

Prof. Ing. Miroslav Balda, DrSc., FEng.
Kardinála Berana 10
301 00 Plzeň

Oponentní posudek disertační práce

Ing. Tomáše Míška

Dynamic Analysis of Bladed Discs of Axial Turbomachinery

Předložená disertační práce obsahuje 123 strany textu, obrázků, tabulek a příloh. Je dobře strukturovaná s perfektní formální úpravou.

V úvodní kapitole práce je podán přehled současného stavu řešení problematiky kmitání olopatkovaných disků a deklarován hlavní cíl práce ve znění "vytvoření metodiky výpočtu vlastních frekvencí lopatek s kontaktní vazbou a určení jejich odezev pro různé typy buzení".

Druhá kapitola je věnována teorii kmitání rotačně symetrických soustav, a to vlastním frekvencím a tvarům a vynucenému kmitání fiktivní soustavy s rozloženými parametry tvořenou předepnutou svinutou strunou.

Třetí kapitola se zabývá rotačně periodickou strukturou, jejím modelem, problémem vlastních hodnot a vynuceným kmitáním s aplikací na koncovou lopatku NT dílu parní turbíny.

Ve čtvrté kapitole se analyzují vzájemné interakce lopatek s torzně kmitajícím rotorem. Každá z kapitol je zakončena dílčími závěry.

Poslední kapitola obsahuje shrnutí disertační práce a závěry s doporučením na pokračování zkoumání dynamiky olopatkovaných disků. Práce je doplněna šesti přílohami doplňujícími vlastní obsah práce.

a. Význam disertace pro obor:

Disertant přistoupil k danému tématu v mnoha směrech nově při dokonalé znalosti prací dosud vytvořených předchůdci. Jako pracovník výrobního podniku kladl důraz na efektivitu použitých postupů a vytvořil tak novou metodiku pro analýzu olopatkovaných disků moderními prostředky. Význam práce pro obor je nesporný.

b. Postup řešení, použité metody a splnění cíle:

Postup řešení problému je logický od jednodušších modelů až k nejsložitějšímu problému kmitání a jeho tlumení u dlouhé lopatky nízkotlakého dílu parní turbíny. K tomu autor použil adekvátní metody a stanovený cíl beze zbytku splnil.

c. Výsledky disertační práce a původní přínos disertanta:

Výsledky disertační práce jsou v mnoha směrech původní. Autor vyvinul nové způsoby hodnocení nebezpečnosti vynucených vibrací olopatkovaných disků a kritéria pro vybuditelnost jistých tvarů kmitů. Podařilo se vytvořit nové modely lopatek a vybrat správné okrajové podmínky tak, že odchylky mezi výpočty a

měření jsou minimální. To vše vede ke zvýšení spolehlivosti nových návrhů oběžných lopatek a disků parních turbín.

d. Systematičnost, přehlednost, formální úprava a jazyková úroveň:

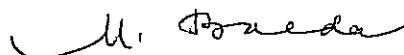
Práce má dobře promyšlenou strukturu a je velmi přehledná, k čemuž přispěla řada názorných obrázků a diagramů i zařazení některých partií práce do příloh. Disertace má perfektní formální úpravu i jazykovou úroveň. V práci jsem nenalezl žádné chyby až na několik málo prohřešků proti správné sazbě dokumentu a proti normalizovanému značení veličin v mechanice.

e. Publikace disertanta:

Seznam veřejných publikací autora disertace obsahuje 7 položek publikovaných v letech 2006 – 2011 na významných konferencích ve Švýcarsku (1), Kanadě (3), Spojených státech (2) a i v České republice (1). S ohledem na profesní pozici autora ve výrobním podniku, který nemůže mít zájem na předávání svého know-how konkurenci, a k řadě veřejně nepublikovaných interních prací a prezentací lze jejich počet přijmout jako přiměřený.

f. Vyjádření oponenta:

S ohledem na výše uvedené skutečnosti hodnotím předloženou disertační práci jako vynikající dílo nově rozvíjející poznání složité problematiky kmitání olopatkovaných disků a přispívající významným způsobem ke zvyšování spolehlivosti velkých parních turbín. Proto bez nejmenších pochybností doporučuji tuto disertaci k obhajobě a po jejím úspěšném průběhu i k udělení titulu Ph.D. autoru, Ing. Tomáši Míškovi.



V Plzni, dne 16. 12. 2011

Dr. Ing. Pavel Polach
Výzkumný a zkušební ústav Plzeň s.r.o.
Výzkum materiálů a strojírenství
Tylova 1581/46
301 00 Plzeň

O p o n e n t n í p o s u d e k

disertační práce k získání akademického titulu doktor v oboru „Aplikovaná mechanika“
Dynamická analýza olopatkovaných disků axiálních turbosoustrojí

Autor: Ing. Tomáš Míšek

Školitel: Prof. Ing. Vladimír Zeman, DrSc.

Disertační práce se zabývá problematikou dynamického chování olopatkovaných disků parních turbín. Obsahuje tři „nosné“ kapitoly. Zabývají se teorií kmitání rotačně symetrických struktur, modelem rotačně periodických struktur a vzájemnou interakcí lopatek a rotoru při uvažování torzního kmitání. Odvozené matematické vztahy jsou převážně aplikovány na oběžnou lopatku LSB48 vyráběnou ve společnosti ŠKODA POWER s.r.o. Disertační práce je pro detailnější vysvětlení některých řešených problematik vhodně doplněna šesti přílohami.

V úvodu disertační práce je stručně a výstižně popsána problematika mechanického zatěžování rotačních částí axiálních turbosoustrojí. Pozornost je věnována zejména dynamice olopatkovaných disků, využití rotační periodicity pro řešení této problematiky, problematice vynuceného kmitání, vibracím lopatek buzených torzním momentem generátoru a hodnocením odezev systému z pohledu vysokocyklové únavy. Na závěr úvodu je uveden hlavní cíl disertační práce: vytvoření metodiky výpočtu vlastních frekvencí oběžných lopatek s kontaktní vazbou a dále určení jejich odezev pro různé typy buzení. Uvedená metodika by měla sloužit ve ŠKODA POWER s.r.o. při návrhu nových a ověřování vlastností již provozovaných oběžných lopatek.

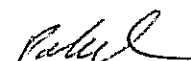
Kapitola 2 se zabývá teorií kmitání rotačně periodických konstrukcí. Problematika je vysvětlována na příkladu předepnuté struny stočené do kruhu. Řešení je prováděno analyticky.

V kapitole 3 jsou odvozeny vztahy pro výpočet charakteristik vlastního kmitání rotačně periodické struktury. Dále jsou odvozeny vztahy pro řešení několika typů vynuceného kmitání rotačně periodické struktury: pro harmonické buzení silou periodicky rozloženou v obvodovém směru, pro buzení obecně rozloženou statickou silou. Je posuzována vybuditelnost vlastního tvaru kmitu rotačně periodické struktury. Aplikace rotačně periodické podmínky je uplatněna na jednoduchém příkladu a na oběžné lopatce LSB48. Při výpočtu dynamického chování lopatky LSB48 je využita redukce stupňů volnosti a je podrobně provedena harmonická analýza této lopatky.

Kapitola 4 je věnována problematice vzájemné interakce lopatek a rotoru z pohledu torzního kmitání. Na jednoduchém příkladu je objasněn princip vzájemné interakce oběžných lopatek a rotoru. Je uveden postup řešení vlastního i vynuceného kmitání. Odvozená metodika je aplikována opět na lopatku LSB48 (osazenou na zkušebním rotoru – pro srovnání s výsledky experimentálních měření – a na rotorové soustavě označované „Indie“).

1/3

Posudek, Míšek



Kapitola 5 „Shrnutí a závěr“ velice přehledným způsobem shrnuje výsledky uvedené v disertační práci a uvádí výhled prací do budoucna.

Ve všech uvedených kapitolách jsou odvozovaná/popisovaná teorie či konkrétní výsledky výpočtů velmi dobře graficky doplňovány. Grafické výstupy jsou velmi přehledné a mají dobrou vypovídací schopnost. Za každým uvedeným tématem, kterým se daná část disertační práce zabývá, je velmi vhodně voleno stručné shrnutí dosažených výsledků (pod názvem „díleční závěry“).

Celkově je disertační práce Ing. Tomáše Míška velmi kvalitní a obsáhlá. Množství práce a odborných znalostí autora vložených do odvození matematických vztahů pro výpočet kmitání rotačně symetrických struktur, pro výpočet kmitání periodických struktur a pro stanovení vzájemné interakce oběžných lopatek a rotoru z pohledu torzního kmitání je zjevné. Pro stanovení modálních vlastností a vynuceného kmitání periodických struktur byl vytvořen v systému MATLAB uživatelský program, postup výpočtu vzájemného torzního kmitání oběžných lopatek a rotoru byl zautomatizován v programovacím jazyku APDL v prostředí komerčního software ANSYS. Uplatnitelnost výsledků práce při konstrukčních návrzích olopatkovaných disků axiálních rotačních strojů je zřejmá. Autor (jako zaměstnanec ŠKODA POWER s.r.o.) aplikoval většinu v disertační práci odvozených/uvedených metod a postupů na svém pracovišti při dynamických analýzách olopatkovaných disků parních turbín. Hlavním přínosem práce z odborného hlediska je bezesporu odvození matematických vztahů, které umožňují výpočet charakteristik vlastního kmitání a vynuceného kmitání olopatkovaných disků parních turbín založený na rotační periodicitě struktury bez přímého použití komerčního MKP software. To umožňuje zahrnout různé vlivy nepostihnutelné komerčními softwary, přičemž vytvořený uživatelský program PERIO je transparentní. Je nutné vyzdvihnout zejména řešení problematiky vynuceného kmitání, kde je velmi dobře vysvětlena vybuditelnost určitých vlastních tvarů kmitů při splnění určitých podmínek (v dostupné literatuře věnující se problematice „SAFE diagramů“ není tento problém kvalifikovaně objasněn). Je ovšem nutné poznamenat, že se čtenáři může disertační práce jevit jako příliš „hutná“ – občas nejsou uváděny mezikroky, které vedou k formulaci následující rovnice na základě rovnice předešlé.

Výhledy dalších činností v návaznosti na disertační práci (uvedené v kapitole 5) jsou vhodným pokračováním výzkumu dynamického chování olopatkovaných disků parních turbín.

Na autora mám tři doplňující dotazy:

1. Příklad kmitající předpnuté struny stočené do kruhu je převzat z literatury nebo se jedná o (vhodně zvolený) vlastní příklad?
2. Vysvětlíte podrobněji problematiku vybuditelnosti vlastního tvaru kmitu (podkapitola 3.3.3, resp. praktická využitelnost v podkapitole 3.6). Lze zobecnit, jaká hodnota parametru χ_n (viz vztah 3.38) je v „turbínářské“ praxi pro provoz oběžných lopatek ještě akceptovatelná?
3. Jakým konkrétním způsobem jsou ve výpočtovém modelu provázány sousední lopatky LSB48 v místě dosednutí vazebních členů při výpočtu charakteristik vlastního kmitání olopatkovaného disku? Mají konečné prvky obsahující uzly kontaktních ploch stejné materiálové vlastnosti jako jsou materiálové vlastnosti ostatních konečných prvků, na něž je výpočtový model lopatky diskretizován?

Poznámka k jazykové úrovni:

Po odborné i stylistické stránce je disertační práce na výborné úrovni. Menší pečlivost byla věnována nedokonalostem typu „menší češtinářský prohřešek“, které se práci vyskytují. Jedná se zejména o zápisy hodnot fyzikálních jednotek bez mezery: 1000mm znamená tisícimilimetrový, 1000 mm znamená tisíc milimetrů. Dále: slovo „viz“ je rozkazovacím způsobem slova vidět ve 2. osobě jednotného čísla a píše se bez tečky za slovem, občas jsou chybně rozdělena slova (statické, dynam-ické, neb-ude atd.), občas se vyskytují překlapy (tei-boss místo tie-boss, vyžít místo využít apod.), nejednotně jsou používána malá a velká písmena ve slovech ANSYS a DOF, není správně uveden popis obrázku 7.3, atd.

Publikační činnost autora je, s ohledem na distanční formu studia, na dobré úrovni, zejména kvalitativně. Autor uvádí v disertační práci celkem 7 publikací souvisejících s tématem práce, u tří je hlavním autorem, u čtyř je spoluautorem. Jedná se o příspěvky uvedené ve sbornících vědeckých konferencí konaných v Kanadě (3), v USA (2), v České republice (1) a ve Švýcarsku (1). Jedna publikace je napsána v českém jazyce, šest v angličtině. Ve čtyřech případech se jedná o sborníky z velice prestižních konferencí ASME Turboexpo.

Závěrem lze konstatovat, že disertační práce splnila bezezbytku stanovený hlavní cíl, postup řešení a metody zpracování jsou vhodně voleny (dosažené výsledky a konkrétní přínosy předkladatele pro další rozvoj vědy jsou komentovány výše). Vypracováním disertační práce autor prokázal, že ovládá vědecké metody, má hluboké teoretické znalosti a přináší nové poznatky do oboru dynamiky olopatkovaných disků. Doktorskou disertační práci doporučuji k obhajobě.

V Plzni, dne 14.12.2011



