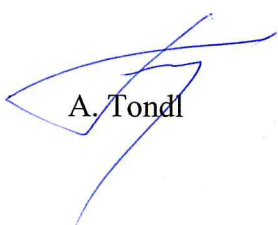


Posudek disertační práce Ing. Antonína Skarolka: „Numerical Analysis with Aerostatic Journal Bearings“.

Plynová ložiska se stala aktuální zejména v důsledku požadavku zvýšení otáček a snížení příkonu rotačního zařízení a nahradit valivá ložiska. Počátky intenzivnějšího výzkumu zejména v USA a Anglii začínají v polovině minulého století. Tomuto úkolu byly věnovány i speciální konference (např. Gas Bearing Conferences na Univ. v Southamptonu). Ale i u nás některá výzkumná pracoviště započaly s výzkumem (SVÚSS, Výzkumný ústav bavlnářský, ČKD). Výzkum se zabýval i experimenty na modelech.

Rozvoj počítačů poskytl možnost analyzovat složitější modely. Právě numerické analýze rotorových systémů v aerostatických ložiskách je věnována předložená disertace. Obsahuje analýzy ilustrované řadou diagramů ukazující vliv různých parametrů a dává možnosti analyzovat i složitější rotorové systémy. Disertace je přínosem především pro analýzu složitějších modelů a splňuje požadavky kladené na úroveň disertace. Mám jednu připomínku: Při požadavku dosažení velmi vysokých otáček rotoru je třeba vzít v úvahu viskozitu plynu. Například u mnou zkoušených modelů s požadavkem dosažení velmi vysokých otáček byla hranice maximálních otáček dána hranicí vzniku samobuzených kmitů obdobně jako u rotorů uložených v olejových ložiskách. Jednalo se vesměs o relativně tuhé rotory, kde vlastní frekvence systému byly dány spíše plynem radiálních ložisek a zkoušené frekvence otáček rotoru převyšovaly dvojnásobek nejnižší vlastní frekvenci systému.

Doporučuji, aby doktorand i po úspěšné obhajobě pokračoval ve výzkumu plynových ložisek a to nejlépe v širší kolektivě, který by také se věnoval i experimentálnímu výzkumu, což by usnadnilo skutečnou realizaci v technické praxi.



A. Tondl

24. 2. 2012

OPONENTSKÝ POSUDEK

DOKTORSKÉ DISERTAČNÍ PRÁCE

Doktorand : Ing. Antonín Skarolek
Název práce : Numerical analysis of rotor systems with aerostatic journal bearings
Školitel : doc. Ing. Josef Mevald, CSc.
Konzultant : Ing. Jan Kozánek, CSc.
Oponent : prof. Ing. Jaroslav Zapoměl, DrSc.

Předložená disertační práce se zabývá rozvojem matematických modelů aerostatických ložisek a jejich implementací do matematických modelů rotorových soustav. Skládá se z úvodu, tří kapitol, závěru, seznamu literatury a tří příloh.

V úvodu práce disertant podává stručný přehled konstrukčního provedení aereodynamických a aerostatických ložisek a zabývá se základy teorie mazání se zaměřením se na plynná maziva, základními vztahy, omezením použitelnosti klasické Reynoldsovy rovnice a problematikou matematického modelování rotorů. V první kapitole (v textu práce kapitola 2) se autor věnuje přístupům k sestavení pohybové rovnici pružných rotorů (hřídel je nahrazen Timošenkovým nosníkem) a numerickým metodám pro její řešení. Disertant zde také podává výsledky vlastních simulací zaměřených na matematické aspekty použitých metod. Druhá kapitola (v textu práce kapitola 3) se zabývá isothermickým modelováním aerostatických ložisek. Ve třetí kapitole (v textu práce kapitola 4), která je věnována tepelné analýze aerostatických ložisek, disertant představuje hlavní výsledky své práce. V závěru pak autor svou práci shrnuje, uvádí její hlavní přínosy a srovnává výsledky svých simulací s výsledky experimentů uvedených v literatuře.

Věcné připomínky k práci

- V úvodu práce chybí formulace cílů, a to i přesto, že kapitola 1.6 je nazvána "Motivation and objectives".
- V disertační práci by měla být jasněji vymezena hranice mezi vlastní prací vykonanou disertantem a obecným popisem metod a prací jiných autorů a jasněji definovány vstupní parametry analyzovaných problémů.
- Specifikace provedených výpočtových simulací není dostatečná. Především chybí číselné zadání některých vstupních dat, takže simulace nejsou opakovatelné jinými autory.
- Vztah (1.75) není kompatibilní s předchozími vztahy. Je uveden pro formulaci problému v komplexním oboru, zatímco předchozí vztahy jsou platné pro formulaci problému v oboru reálném.
- V kapitole 2.2.2 se disertant zmiňuje o materiálovém tlumení. Vztahy (2.36), (2.37) pro řešení problémů z oblasti dynamiky rotorů jsou obecně nepoužitelné. Navíc není pravda, že síly materiálového tlumení jsou úměrné deformačním posuvům (přesněji by mělo být řečeno přetvořením). Tyto síly lze považovat za úměrné změně přetvoření (nikoliv samotnému přetvoření).
- Silový rozbor v kapitole 3.3 je nejasný. Z pohybových rovnic (3.34) plyne, že se týkají tuhého kotouče uloženého v aerostatickém ložisku a že tento kotouč může kmitat pouze posuvným pohybem ve dvou k sobě kolmých směrech. Vztah (3.39) a další uvažují i momenty. To odpovídá natáčení kotouče, pro což nejsou sestaveny pohybové rovnice.

- Jednotky úhlové rychlosti otáčení nejsou jasné (např. str.122). Použita je jednotka s^{-1} . To ovšem může znamenat počet otáček za sekundu (t.j. Hz) nebo také rad/s.

Formální připomínky k práci

- V disertační práci se vyskytuje několik pravopisných chyb.

Dotaz k rozpravě :

Jaké jsou časové nároky na použití vypracovaného modelu aerostatického ložiska pro stanovení ložiskových sil a je možno ho použít i pro simulaci přechodové odezvy rotoru (výpočet ložiskových sil v každém integračním kroku) za pomoci počítačové techniky běžné používané pro vědecko technické výpočty v rozumném čase ?

Závěr

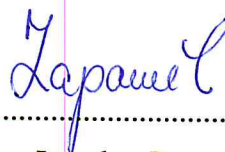
Zvolené téma předložené disertační práce Ing. Antonína Skarolka je aktuální. Práce se zabývá matematickým modelováním aerostatických ložisek. Obtížnost tohoto problému spočívá především v tom, že na jejich chování se podílí řada fyzikálních jevů z oblasti mechaniky, dynamiky proudění plynů, termodynamiky a problémů vedení tepla. Disertant použil ve své práci moderních metod a postupů. Je nutno ocenit především, že práce je pojata komplexně (kombinace několika fyzikálních jevů, vliv detailů, např. přívodů vzduchu na chování ložiska, atd.). Dalšími klady práce jsou, že výsledky počítačových simulací jsou porovnávány s výsledky experimentů prezentovaných v literatuře a že se autor zabýval podrobně i matematickými aspekty modelování (jako je diskretizace, počet iterací atd.) na přesnost výsledků. Řešená problematika je multidisciplinární. Výsledky práce přispívají k rozvoji metody počítačového modelování v technické oblasti dynamiky rotorů a aerostatických radiálních ložisek. Za hlavní přínos práce lze považovat rozpracování termo-hydropneumatického modelu mazání aerostatických ložisek (kapitola 4). Nedostatkem práce je, že nedefinuje předem své cíle a že nejsou uvedeny dostatečné podklady pro opakování počítačových simulací dalšími autory. Ve své práci disertant prokázal schopnost sestavování matematických modelů, rozvoje metod řešení, realizace počítačových simulací a vyhodnocování výsledků.

Úprava i grafické provedení předložené disertační práce jsou dobré. Z jejího obsahu a z dalších publikací disertanta vyplývá, že práce přináší nové poznatky, a proto ji

d o p o r u č u j i

k obhajobě a v případě jejího obhájení i udělení akademicko vědeckého titulu PhD.

V Ostravě 19. března 2012



prof. Ing. Jaroslav Zapoměl, DrSc.
(oponent)

prof. Ing. Jaroslav Zapoměl, DrSc.

VŠB - Technická univerzita Ostrava, Katedra mechaniky, 17. listopadu 15, Ostrava - Poruba

prof. Ing. Eduard Malenovský, DrSc.
Vysoké učení technické
Fakulta strojního inženýrství
Technická 2
616 69 Brno

Oponentský posudek doktorské disertační práce

Ing. Antonín Skarolek

Numerical Analysis of Rotor Systems with Aerostatic Journal Bearings

Úvod

Téma disertační práce je zaměřeno na vybranou problematiku dynamických vlastností rotorových soustav.

V podstatě je práce rozdělena do tří částí. První se v podstatě zabývá teoretickou analýzou dynamických vlastností elastických rotorů na bázi MKP. Druhá a třetí část je zaměřena na analýzu dynamických vlastností kluzných ložisek. Druhá analyzuje izotermický model proudění a třetí termický model.

Na úvod je nutno konstatovat, že celá práce by mohla být psána přehledněji a čitelněji. Orientace v textu je značně obtížná a v řadě případů téměř nemožná.

Dosažení stanoveného cíle

Cíle disertační práce je nutno vidět jednak v rovině obecnějšího pojetí a jednak v jednotlivých detailních částech komplexního řešení. Na základě prezentovaných výsledků lze konstatovat, že cíle doktorské práce byly splněny.

Zvolená metodika

Rozsah práce je široký. Každá oblast vyžaduje odlišný přístup a tedy i odlišnou metodiku řešení. Celkově byla zvolena vhodná metodika jak pro oblast teoretické i aplikační oblasti. Některé drobné připomínky případně dotazy, které nemají zásadní vliv na řešení problematiky, uvádím níže.

Výsledky disertační práce

Poměrně velká část práce je věnována teoretickému rozboru analýzy na bázi MKP. Tato analýza je známá, propracovaná, hodně publikovaná, a dle mého názoru není nutno ji v práci znovu publikovat.

Na druhou stranu je nutno konstatovat, že disertační práce přinesla nové poznatky zejména z pohledu výpočtového modelování aerostatických ložisek. Vytvořený výpočtový model ukázal přednosti a možnost využití.

Formální úroveň práce

Doktorandská disertační práce Ing. Skarolka není psána věcně, v některých pasážích až moc stručně bez konkrétních závěrů, které z ní vyplývají, což je na úkor srozumitelnosti. Grafická úroveň řady obrázků nepřispívá k bližšímu porozumění zkoumané problematice, některé věcné připomínky budou specifikovány níže. Řada obrázků je velmi špatně čitelná a uvedené závěry v textu lze velmi obtížně rozeznat a v některých případech nejsou obrázky dostatečně komentovány.

Některá terminologie, jako např. „silně a slabě“ gyroskopické soustavy, atd. nejsou běžnou terminologií v dynamice rotorových soustav, redukce „defektivních soustav“ atd.

Naprosto postrádám vstupní data pro výpočtovou analýzu celé rotorové soustavy. Postrádám výpočtový model rotorové soustavy.

Obecné připomínky

- Práce je psána v angličtině, ale některé citace jsou v českém jazyce. Pokud je zvolen tento přístup k psaní, citace by měla být v angličtině s poznámkou, že daný literární odkaz je psán v českém jazyce.
- Postrádám analýzu modálních vlastností lineárních i nelineárních rotorových soustav. (slovní popis tvarů kmitání, analýzu frekvenčního naladění, vliv nelinearit atd.)
- Celá řada obrázků je naprosto nečitelná. Chybí lepší popis os, křivek a v textu analýza významu obrázků (vstupní data pro výpočet, co bylo cílem analýzy a jaké jsou závěry).
- V mnohých případech chybí vstupní data, na základě kterých byl provádět výpočet (fyzikální, geometrické parametry i parametry pro numerickou analýzu).
- Celá řada obrázků je naprosto „nepřehledná“ a není v textu dostatečně vysvětlena (obr. 1.8, 2.18, 2.24 2.15, 2.16, 2.8 a celá řada dalších). Dále chybí závěr z analýzy konvergence (obr. 3.8 str. 77) a opět celá řada dalších.
- K obr. 3.13 opět chybí závěr, srovnání metod a analýza výsledků.
- U experimentální analýzy chybí analýza experimentu (rozbor chyb, nejistot, opakovatelnost měření, metodika měření a vyhodnocení atd.).
- Úplně postrádám popis experimentu, i když jsou prezentovány výsledky bez odkazu na zdroj.

Připomínky a dotazy k obhajobě

- V čem spatřujete nový přínos, publikovaný v kapitole 2 (MKP), oproti stávajícím publikacím.
- Srovnajte Runge-Kuthovu a Newmarkovu metodu, jejich přínos a vhodnost.
- Uveďte, zda je výpočtový model v pořádku ve vztahu k Taylorovu číslu.
- Zdůvodněte značné zjednodušení modelu ložiska v kap. 4.2 (zanedbání nelineárních členů). Byl testován podíl těchto členů ve všech rovnicích?
- Uveďte jaký byl model výpočtu dynamických vlastností vzduchové vrstvy na bázi MKP, včetně okrajových podmínek pro rychlosti, tlaky a teplotu.
- Hodnocena je vhodnost tří metod – viz abstrakt – která z metod je nejvhodnější a proč. Na základě jakých kritérií byla vhodnost analyzována.

Závěr

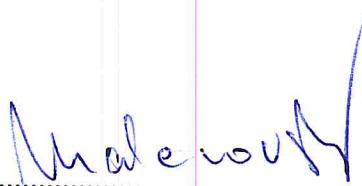
Předložená doktorandská disertační práce splňuje kritéria, která jsou kladena na disertanta, jak po stránce teoretické, odborné i aplikační. Ing. Skarolek ukázal, že je nejen teoreticky fundován, ale že je schopen cíleně analyzovat výsledky výpočtového modelování, analyzovat výsledky. Přípomínky a výtky nesnižují dobrou vědeckou úroveň doktorské práce. Publikační činnost autora během celého období doktorského studia svědčí o vědecké erudici doktoranda.

Doktorandská disertační práce splnila všechny formulované a vytýčené cíle a je velkým přínosem zejména pro rozvoj oboru. Navrhuji, aby po úspěšném obhájení byl udělen akademicko – vědecký titul doktor.

Hodnocení tezí

K tezím nemám zásadní připomínky. Po zapracování připomínek, které jsou k práci, mohou být publikované.

V Brně 19.2.2012



.....
prof. Ing. Eduard Malenovský, DrSc.