

Obsah

1.0 Úvod	5
1.1 Limity radiálních ložisek	6
2.0 Hydrodynamická ložiska	8
2.1 Ložiska s pevnou geometrií	8
2.2 Ložiska s naklápěcími segmenty	12
2.3 Ložiska turbodmychadel	15
2.4 Ložiska pro nízkoviskózní kapaliny	17
3.0 Aerodynamická ložiska	20
3.1 Ložiska s naklápěcími segmenty (LNS)	20
3.2 Fóliová ložiska	24
4.0 Aerostatická ložiska	28
4.1 Vliv vnějšího tlumení na stabilitu rotoru v aerostatických ložiskách	31
5.0 Dynamika rotoru v kluzných ložiskách	33
5.1 Vliv typu uložení na stabilitu rotoru	33
5.2 Možnosti ovlivnění dynamiky rotoru prostřednictvím ložisek	34
5.2.1 Ladění kritických otáček	34
5.2.2 Zvýšení rezervy stability rotoru	37
5.3. Nestabilita rotoru	39
5.3.1 Základní typy nestability rotoru	39
5.3.2 Typické případy nestability rotoru	40
5.3.2.1 Nestabilita tuhého rotoru v aerodynamických ložiskách	40
5.3.2.2 Nestabilita pružného rotoru v hydrodynamických ložiskách.....	42
5.3.2.2.1 Nestabilita VT dílu parní turbíny	42
5.3.2.2.2 Nestabilita rotoru rychloběžné parní turbíny.....	45
5.3.2.2.3 Nestabilita rotoru dvoustupňové expanzní turbíny	49
5.3.2.2.4 Nestabilita rotoru radiálních kompresorů	51
5.3.2.2.5 Nestabilita rotoru spalovací turbíny	54
5.3.2.2.6 Nestabilita zkušebního rotoru.....	55
5.3.2.2.7 Nestabilita rotorů turbodmychadel	57
5.3.3 Nestabilita rotoru ve valivých ložiskách.....	59
5.4 Zvýšení meze stability prostřednictvím vnějšího buzení	62
5.5 Kontakt rotoru se statorem	66
6.0 Ověření dynamických vlastností kluzných ložisek	70
6.1 Zkušební zařízení aerostatických ložisek	70

6.2 Zkušební zařízení aerodynamických ložisek	72
6.3 Zkušební zařízení hydrodynamických ložisek	73
6.4 Dynamický model zkušebního zařízení	74
7.0 Provozní dovyvažování rotorů	77
7.1 Dynamický zesilovací faktor	78
7.2 Příklady provozního dovyvažování	80
7.2.1 Vyvažování rotorů expanzních turbín	80
7.2.2 Vyvažování rotorů turbodmychadel	83
8.0 Některé zajímavé aplikace plynových ložisek	86
8.1 Zubní vrtačky	86
8.2 Expanzní turbíny	87
8.3 Turbo-cirkulátory/dmychadla plynu	89
8.4 Turbo-expandéry	93
8.5 Kompondér pro oběh se superkritickým CO ₂	94
8.6 Nepodařené projekty	95
8.6.1 Turbodmychadlo o výkonu 100 kW	95
8.6.2 Expanzní turbína 7,5 kW	96
8.6.3 Turbo-cirkulátor o výkonu 6 kW	96
9.0 Diagnostika rotorů s kluznými ložisky	99
9.1 Kapacitní snímače	99
9.2 Snímače pracující na principu vířivých proudů	101
9.3 Kombinace měření relativních a absolutních vibrací	103
10.0 Postup při návrhu uložení	106
10.1 Příklad návrhu uložení rotoru v aerodynamických ložiskách	110
10.2 Příklad návrhu uložení rotoru v hydrodynamických ložiskách	112
11.0 Reference	118