

1	ÚVOD	3
1.1	Zatížení částí turbínových motorů	5
2	AXIÁLNÍ LOPATKOVÁNÍ	7
2.1	Výpočet napjatosti listů lopatek od odstředivých sil a tlaků plynů	12
2.1.1	Souřadnicová soustava a geometrické charakteristiky	13
2.1.2	Tahové zatížení listu lopatky od odstředivých sil	14
2.1.3	Ohybové zatížení listu lopatky od tlaků plynů	17
2.1.4	Ohybové zatížení od odstředivých sil - snížení ohybových momentů	21
2.1.5	Ohybové zatížení od odstředivých sil u čepově uchycené lopatky	26
2.1.6	Vliv ohybových deformací na ohybové zatížení	29
2.1.7	Zatížení listu lopatky kroucením	30
2.1.8	Výsledná nominální namáhání od odstředivých sil a tlaků plynů u nezkroucené lopatky	32
2.1.9	Vliv tvarových účinků na napjatost	33
2.1.10	Bandážované lopatky	36
2.1.11	Základní kritéria pevnosti	39
2.2	Výpočet napjatosti s vlivem teplotního pole	40
2.2.1	Výpočet tepelného napětí u listu lopatky	42
2.3	Životnost turbínových lopatek v podmínkách kvazistatického zatížení	46
2.3.1	Základní zákonitosti creepových jevů (tečení)	48
2.3.2	Výpočet srovnávací creepové životnosti	55
2.4	Zámky lopatek	56
2.4.1	Stromečkové zámky	57
2.4.2	Rybinové zámky	61
2.4.3	Čepové zámky	64
2.5	Materiály axiálního lopatkování	66
2.5.1	Materiály pro kompresorové lopatky	67
2.5.2	Materiály lopatek turbín	69
3	DISKY	75
3.1	Tvary disků	75
3.2	Způsob zatížení a provozní podmínky	77
3.3	Výpočet nominální napjatosti disku s pozvolnou změnou průřezu od odstředivých sil a radiálně nerovnoměrného rozložení teplot	80
3.3.1	Základní rovnice pro výpočet napjatosti disku v elastickém stavu	81
3.3.2	Rotující disk konstantní pevnosti v elastickém stavu	83
3.3.3	Rotující disk konstantní tloušťky nerovnoměrně ohřátý v elastickém stavu	84
3.3.4	Výpočet napjatosti rotujícího disku s pozvolnou změnou průřezu nerovnoměrně ohřátého v elastickém stavu	90
3.3.5	Řešení napjatosti rotujícího, radiálně nerovnoměrně ohřátého disku v elastickém stavu	94

	Strana
3.3.6 Výpočet nominální napjatosti disku s vlivem creepu (tečení)	97
3.4 Výpočet napjatosti rotujícího disku s libovolným průřezem a teplotním polem	99
3.4.1 Náhlá změna průřezu	100
3.4.2 Bubnové konstrukce	103
3.4.3 Radiální kola	103
3.4.4 Lokální tvarové účinky	104
3.5 Kriteria pevnosti a životnosti, součinitelé bezpečnosti	108
3.6 Materiály disků	110
4 ROTORY, POMOCNÉ NÁHONY A LOŽISKA	113
4.1 Zatížení soustav rotorů a pomocných náhonů	115
4.1.1 Zatížení od kroutícího momentu	115
4.1.2 Setrvačné síly při pozemních, poryvových a obratových zatíženích letadla	116
4.1.3 Osové síly	121
4.1.4 Zatížení nevývahou	123
4.1.5 Zatížení od kmitání	123
4.2 Výpočet napjatosti a kontrola životnosti rotorů a pomocných náhonů	123
4.2.1 Kontrola vrtulového hřídele	123
4.3 Ložiska	125
4.3.1 Irvanlivost, životnost a poruchy ložisek	126
4.3.2 Výběr ložiska - předběžný návrh	129
4.4 Materiály	131
4.4.1 Materiály hřídelů	131
4.4.2 Materiály ložisek	132
5 SKŘÍŇOVÉ SYSTÉMY	133
5.1 Zatížení skříňových částí	135
5.1.1 Síly na ložiskové opory	135
5.1.2 Síly v závěsech hnací jednotky	135
5.1.3 Zatížení statických a dynamických tlaků proudící látky	136
5.1.4 Zatížení vlastními hmotami při obrazech a poryvech	137
5.1.5 Zatížení tepelnými napětími	138
5.1.6 Zatížení vlastními hmotami od kmitání, montážní a technologická pnutí	138
5.2 Výpočet namáhání skříní	138
5.2.1 Namáhání válcových nevyztužených skořepin	139
5.2.2 Namáhání válcové skořepiny s vlivem vyztužujících prvků	145
5.3 Stabilita válcových skořepin	148
5.4 Odhady životnosti skříní	152
5.5 Materiály skříní	152
6 ŠROUBOVÉ SPOJE	155
6.1 Zatížení šroubových spojů	155
6.1.1 Silové poměry za provozu - rozdělení zatížení	156

6.1.2	Současné působení hlavních zatížení, předpětí a tepelného zatížení	161
6.2	Volba předpětí	164
6.3	Nerovnoměrné zatížení v závitech a tvarové účinky	165
6.4	Statická únosnost šroubového spoje	168
6.5	Šroubové spojení při proměnném zatížení	170
6.6	Výpočet provozního zatížení šroubů přírubového šroubového spoje	174
6.7	Materiály šroubů a matic	176
7	REDUKTORY	177
7.1	Limitování únosnosti ozubení	179
7.1.1	Opotřebení	180
7.1.2	Pitting	181
7.1.3	Zadírání	181
7.1.4	Lomy	182
7.1.5	Plastické tečení za studena	182
7.2	Kinematický rozbor	183
7.3	Provozní zatížení ozubení	190
7.4	Pevnostní výpočty ozubení	190
7.4.1	Výpočet ozubení na měrný tlak	191
7.4.2	Výpočet ozubení na ohyb	193
7.4.3	Výpočet ozubení na zadírání	195
7.5	Vliv korekce na únosnost ozubení	195
7.6	Materiály ozubených kol	198
8	VRTULE	200
8.1	Síly a momenty působící na vrtuli	201
8.2	Pevnostní výpočet listu	205
8.2.1	Zatížení listu vrtule od hmotových sil vlivem rotace	206
8.2.2	Zatížení listu vrtule od aerodynamických sil	213
8.2.3	Zatížení od setrvačných sil při obrazech letounu a poryvech	220
8.2.4	Namáhání listu	222
8.3	Uchycení listu	224
8.4	Hlava vrtule	227
8.5	Vyvažovací závaží	230
8.6	Materiály vrtulí	231
9	NÍZKOCYKLOVÉ PORUŠOVÁNÍ ČÁSTÍ LETECKÝCH TURBÍNOVÝCH MOTORŮ	233
9.1	Všeobecně	233
9.2	Základní zákonitosti při cyklických napětově deformačních procesech	236
9.3	Základní modely vyčerpání cyklické životnosti a kumulace poškození	240
9.3.1	Únavové křivky v podcreepové oblasti - NCÚ	241
9.3.2	Modely kumulace poškození	245
9.3.3	Cyklický creep	246
9.3.4	Základní modely při superpozici únavy a creepu	247

	Strana
9.4 Sledování rozvoje trhlin	252
9.5 Postup předpovědi cyklické životnosti částí v podmínkách NCÚ a creepu	254
9.5.1 Základní koncepční přístupy	254
9.5.2 Základní prvky odhadových postupů	256
9.5.3 Experimentální modelování cyklických procesů v kritických oblastech	261
9.5.4 Doplnující poznámky	264
9.6 Příklad postupu odhadu životnosti reálných částí	266
9.6.1 Návrhový odhad	268
9.6.2 Odhad na základě zkoušek reálných částí	269
 DOPORUČENÁ A POUŽITÁ LITERATURA	 273