

OBSAH:

Předmluva	9
I. ÚVOD	11
1. Definice a klasifikace lopatkových mříží	12
2. Geometrické a aerodynamické veličiny lopatkové mříže	14
2.1 Geometrické veličiny lopatkové mříže	15
2.2 Aerodynamické veličiny lopatkové mříže	16
3. Charakteristika lopatkové mříže	23
4. Hlavní úlohy lopatkových mříží	24
4.1 Přímá úloha (PÚ)	24
4.2 Nepřímá úloha (NÚ)	24
4.3 Aerodynamické zatížení lopatkové mříže	26
4.4 Definice lopatkové mříže pomocí aerodynamických veličin	27
4.5 Optimalizace lopatkových mříží	27
5. Metody řešení přímé a nepřímé úlohy	27
5.1 Experimentální mechanika tekutin	28
5.2 Počítačová mechanika tekutin (CFD)	28
II. MODEL VÁZKÉHO PROUDĚNÍ V LOPATKOVÝCH MŘÍŽÍCH	30
1. Základní představy o obtékání těles a proudění v kanálech	30
1.1 Tělesa (deska, profil, válec)	30
1.2 Kanály (potrubí, dýza, difuzor)	32
1.3 Mříže (kanály a soustava těles)	33
2. Mezní vrstvy na lopatkových mřížích	34
2.1 Přilehlé mezní vrstvy	34
2.2 Odtržené mezní vrstvy :	37
3. Model vlivu úhlu náběhu	40
3.1 Referenční úhly náběhu (přilehlé mezní vrstvy)	41
3.2 Nenávrhový režim (odtržené mezní vrstvy)	42
4. Model vlivu Reynoldsova čísla na mezní vrstvy	44
4.1 Základy představy o vlivu Reynoldsova čísla na obtékání těles	44
4.2 Model vzájemného vlivu Re a tlakového gradientu (rozložení rychlosti)	51
4.3 Obecný model vlivu Re , RR , Tu a Ra na mezní vrstvy (MV)	53
4.4 Vliv nízkého Re a zvýšené intenzity turbulence na obtékání mříží	56
5. Model vlivu Machova čísla	60
5.1 Podzvukové proudění	63
5.2 Transsonické a supersonické proudění	65
6. Prostorové (3D) proudění v mřížích	67
7. Modely výpočtu vazkého proudění v mřížích	68
7.1 Prandtlův (zonální) model pro přilehlé proudění	69
7.2 Zobecněný zonální model pro odtržené proudění	69
7.3 Vazké (laminární, přechodové a turbulentní) 3D proudění	70
III. MĚŘENÍ LOPATKOVÝCH MŘÍŽÍ	72
1. Úvod	72
2. Aerodynamické tunely	72
2.1 Nízkorychlostní tunely	73
2.2 Vysokorychlostní tunely	76
3. Metodika měření mříží	78
3.1 Pokusné lopatky	79
3.2 Měřicí přístroje	79
4. Měření mřížové charakteristiky	80
4.1 Měření ztrátového součinitele	80
4.2 Měření výstupního úhlu proudu	82
5. Měření rozložení tlaku po profilu	82
6. Vizualizace proudění	83

6.1 Proudění na obtékaném povrchu	83
6.2 Proudění uvnitř mříže	84
7. Měření mezních vrstev	84
7.1 Měření žhaveným drátkem (HWA)	84
7.2 LDA	85
7.3 PIV	86
8. Chyby měření a testovací případy	87
8.1 Chyby měření	87
8.2 Náhodné chyby	88
8.3 Testovací případy	90
IV. PŘÍMÁ ÚLOHA (PÚ)	92
1. Experimentální metody řešení PÚ	92
1.1 Kompresorové lopatkové mříže	93
1.2 Turbinové lopatkové mříže	101
2. Metody výpočtu přímé úlohy	105
2.1 Výpočet nevazkého proudění a přilehlé mezní vrstvy	106
2.2 Výpočet PÚ pro nenávrhový režim s odtržením mezní vrstvy	111
2.3 Turbulentní proudění	113
2.4 Zjednodušená metoda řešení PÚ	113
3. Ověření výpočtu přímé úlohy	117
3.1 Ověření výpočtu potenciálního proudění	118
3.2 Ověření výpočtu mezních vrstev	119
3.3 Globální ověření	121
4. Prostorové proudění v lopatkových mřížích	122
4.1 Kompresorové mříže	123
4.2 Turbinové mříže	125
5. Zhodnocení metod řešení PÚ	128
V. NEPŘÍMÁ ÚLOHA (NÚ)	129
1. Experimentální podklady k řešení NÚ	120
1.1 Příklad na návrh mříží s profily CT	130
2. Metody výpočtu nepřímé úlohy (NÚ)	130
2.1 Přehled metod	131
2.2 Návrh kompresorových mříží	132
2.3 Návrh turbinových mříží	137
3. Zjednodušená metoda řešení NÚ s využitím PÚ	137
4. Experimentální ověření NÚ	138
4.1 Ověření návrhu kompresorových mříží	139
4.2 Ověření návrhu turbinových mříží	140
5. Shrnutí	141
VI. OPTIMÁLNÍ LOPATKOVÉ MŘÍŽE	142
1. Definice optimální mříže	142
2. Určování optimálních mříží ze systematických měření	143
3. Určování optimálních mříží z rozložení tlaku (RR)	145
4. Optimalizace RR z teorie mezní vrstvy	146
5. Optimalizace z mezní vrstvy řešením variační úlohy	147
5.1 Rozbor dosažených výsledků	149
5.2 Katalog turbinových profilů s ORR	150
5.3 Aerodynamická série kompresorových mříží s ORR	150
6. Ověření a zpřesňování výsledků z optimálních mříží	152
6.1 Přibližné ověření z dřívějších experimentů	152
6.2 Globální ověření	153
6.3 Stratfordův experiment s odtrhávající se mezní vrstvou	153
6.4 Mříže PVD a CDA	154
7. Zhodnocení	155

VII. CFD- NUMERICKÉ METODY VÝPOČTU PROUDĚNÍ V LOPATKOVÝCH MŘÍŽÍCH	156
1. Úvod	156
2. Fyzikální modely proudění	158
2.1 Nevazké potenciální proudění	158
2.2 Nevazké zavířené proudění	158
2.3 Zonální model	158
2.4 Vazké laminární, přechodové a turbulentní proudění	159
3. Výchozí rovnice	160
3.1 Obecná soustava rovnic	160
3.2 Navierovy-Stokesovy rovnice (N-S)	161
3.3 Úprava N - S rovnic pro turbulentní proudění (RANS)	161
3.4 Zjednodušení N.-S. rovnic pro TSV	162
3.5 Transportní rovnice pro TMV	163
3.6 Integrální vztahy	164
3.7 Nevazké zavířené proudění	165
3.8 Nevazké potenciální proudění	165
4. Modelování a simulace turbulence	165
4.1 Algebraické modely	168
4.2 Jednorovnicové modely	168
4.3 Dvourovnicové modely	169
4.4 Model Reynoldsova napětí (RSM)	171
4.5 Modelování malých vírů (simulace velkých vírů LES)	173
4.6 Přímá numerická simulace N.-S. rovnic (DNS)	173
5. Numerické řešení	174
5.1 Síť	174
5.2 Metody diskretizace	174
5.3 Řešení diferenčních rovnic	175
5.4 Numerické metody pro jednotlivé typy rovnic	175
5.5 Metody řešení fyzikálních modelů proudění	175
6 Metody řešení jednotlivých fyzikálních modelů	179
6.1 Nevazké proudění	180
6.2 Vazké proudění v tenkých smykových vrstvách (TSV)	186
7. Numerické řešení nepřímé úlohy (NÚ) a optimalizace	187
8. Posouzení správnosti a přesnosti výsledku výpočtů	189
8.1 Testovací experimenty	189
8.2 Novější přístupy	190
9. Stávající SW	191
9.1 Publikované programy	191
9.2 Komerční SW	191
VIII. APLIKACE	193
1. Osové ventilátory a turbokompresory (AV, AK)	193
2. Parní, spalovací a Kaplanovy turbíny	194
3. Radiální čerpadla	194
LITERATURA	195