

# OBSAH

<b>1. ZÁKLADNÍ ROVNICE LOPATKOVÝCH STROJŮ - ROZŠÍŘENÍ</b> .....	9
1.1 Síly působící na zakřivený kanál .....	9
1.2 Síly a momenty působící na rotující kanál .....	10
1.3 Obvodová práce a práce odstředivých sil .....	18
1.4 Eulerova n-rovnice .....	20
1.5 Celková relativní entalpie, rotalpie, energetická rovnice pro rotující lopatkovou řadu .....	23
1.6 Prostorové proudění ve stupních lopatkových strojů .....	25
1.6.1 Charakteristika prostorového proudění, souřadný systém a složky rychlostí .....	25
1.6.2 Základní rovnice prostorového proudění ve stupních lopatkových strojů .....	26
1.6.3 Základní rovnice pro osově symetrické prostorové proudění .....	28
<b>2. PRACOVNÍ PROCESY SE ZTRÁTAMI A SE SDÍLENÍM TEPLA</b> .....	30
2.1 Pracovní procesy s třecími ztrátami .....	30
2.2 Součinitel zpětného využití ztrát a součinitel přídavných ztrát .....	32
2.2.1 Součinitel zpětného využití ztrátového tepla (při expanzi) .....	32
2.2.2 Součinitel přídavných ztrát (při kompresi) .....	37
2.3 Pracovní procesy se sdílením tepla .....	41
2.3.1 Expanze s odváděním tepla a s přiváděním tepla .....	41
2.3.2 Komprese se sdílením tepla .....	44
2.3.2.1 Termodynamická analýza kompresních procesů se sdílením tepla .....	44
2.3.2.2 Realizace a efektivnost procesu odvádění tepla při kompresi .....	51
<b>3. AERODYNAMICKÉ A ENERGETICKÉ VLASTNOSTI LOPATKOVÝCH MŘÍŽÍ</b> .....	58
3.1 Změna tlaku v lopatkové mříži .....	58
3.1.1 Proudění bez ztrát .....	58
3.1.2 Proudění se ztrátami .....	59
3.2 Průběh tlaku po profilu .....	61
3.3 Síly působící na profil v lopatkové mříži, aerodynamické součinitele .....	64
3.4 Účinnosti lopatkových mříží, souvislost mezi účinností lopatkové mříže a klouzacím úhlem .....	68
3.4.1 Definice účinností a základní vztahy pro účinnosti .....	68
3.4.2 Vztahy mezi účinnostmi lopatkových mříží .....	70
3.4.3 Vztahy mezi účinnostmi lopatkových mříží a klouzacím úhlem $\varepsilon$ a poměrem $c_x/c_{x,iz}$ .....	73
3.5 Energetické ztráty v turbínových lopatkových mřížích .....	74
3.5.1 Rozdělení energetických ztrát .....	74
3.5.2 Profilové ztráty a další parametry proudu při podzvukovém proudění .....	77
3.5.2.1 Ztráty třením a ztráty odtržením proudu .....	77
3.5.2.2 Ztráty vířením za odtokovou hranou lopatky .....	80
3.5.2.3 Vliv základních geometrických a proudových parametrů na profilové ztráty .....	82
3.5.3 Sekundární ztráty a ztráty radiální mezerou .....	88
3.5.4 Další ztráty v lopatkových mřížích .....	99
3.5.4.1 Ztráta výztužným (tlumícím) drátem .....	99
3.5.4.2 Ztráta změnou poměrné rozteče .....	100
3.5.5 Proudění vlhké páry lopatkovou mříží. Ztráta vlhkosti páry .....	101
3.6 Odklon proudu na výstupu z lopatkové mříže .....	105
3.7 Součinitel průtoku lopatkovou mříží .....	110
3.8 Aerodynamické charakteristiky kompresorových lopatkových mříží .....	112

3.8.1	Metoda Howellova .....	112
3.8.2	Metoda Carterova .....	117
3.8.3	Metoda Liebleinova .....	119
3.8.4	Kriteria přípustného zatížení kompresorové lopatkové mříže .....	122
3.8.5	Energetické ztráty v kompresorové lopatkové mříži .....	124
3.9	Proudění v lopatkových mřížích velkou rychlostí. Vliv stlačitelnosti .....	125
3.9.1	Nadzvukové proudění v turbínových lopatkových mřížích .....	125
3.9.2	Vliv Machova čísla na proudění v kompresorové lopatkové mříži .....	129
<b>4.</b>	<b>STUPEŇ AXIÁLNÍHO LOPATKOVÉHO STROJE .....</b>	<b>139</b>
4.1	Elementární axiální stupeň .....	140
4.2	Součinitele kinematické podobnosti tepelných lopatkových strojů .....	141
4.3	Vztahy mezi bezrozměrnými součiniteli kinematické podobnosti a úhly proudu .....	145
4.4	Prostorové proudění ve stupni lopatkového stroje .....	153
4.4.1	Rovnice radiální rovnováhy .....	154
4.4.2	Změna stupně reakce podél poloměru .....	154
4.4.3	Průběh axiální složky rychlosti .....	156
4.4.4	Lopatkování s konstantní cirkulací po výšce lopatky .....	158
4.4.5	Lopatkování s konstantním měrným průtokem ( $\rho \cdot c_a = \text{konst.}$ ) .....	161
4.4.6	Stupeň s konstantním úhlem $\alpha_1$ .....	164
4.4.7	Lopatkování s konstantní reakcí a konstantní prací ( $\rho_k = \text{konst.}, l_{st} = \text{konst.}$ ) .....	165
4.4.8	Kuželový stupeň s předepsanými proudovými plochami .....	166
<b>5.</b>	<b>STUPEŇ AXIÁLNÍ TURBÍNY .....</b>	<b>171</b>
5.1	Normální elementární stupeň turbíny .....	171
5.2	Obvodová síla, obvodový výkon, obvodová práce a obvodová účinnost, zpracovaný spád .....	174
5.3	Akční stupeň .....	177
5.4	Reakční stupeň .....	181
5.5	Optimální rychlostní poměr při obecné hodnotě stupně reakce .....	186
5.6	Curtisův stupeň .....	187
5.7	Další energetické ztráty ve stupni axiální turbíny a vnitřní termodynamická účinnost stupně ..	193
5.7.1	Ztráty ventilací .....	193
5.7.2	Parciální ostřík a ztráty parciálním ostříkem .....	195
5.7.3	Optimální rychlostní poměr a optimální stupeň parciálního ostříku .....	197
5.7.4	Ztráta vnitřní netěsnosti .....	200
5.7.5	Ztráta vlhkosti páry a opatření pro zmenšení účinků vlhké páry .....	203
5.7.5.1	Ztráta vlhkosti páry u stupně turbíny .....	203
5.7.5.2	Zmenšování vlhkosti páry, eroze ve vlhké páře .....	204
5.7.5.3	Erozní koroze turbín v jaderných elektrárnách .....	211
5.7.6	Vnitřní termodynamická účinnost stupně axiální turbíny .....	212
5.8	Volba návrhových parametrů a postup návrhu turbínového stupně .....	214
5.8.1	Volba stupně reakce .....	214
5.8.2	Volba rychlostního poměru $u/c_{1z}$ .....	215
5.8.3	Určení hlavních rozměrů stupně a obvodové účinnosti .....	215
5.9	Příkladná provedení vícestupňových turbín .....	220

<b>6. STUPEŇ RADIÁLNĚ AXIÁLNÍ TURBÍNY, RADIÁLNĚ AXIÁLNÍ TURBÍNA</b> .....	223
6.1 Oblasti použití, pracovní podmínky a základní koncepce stroje .....	223
6.2 Základní výpočtové vztahy a návrhové podmínky .....	223
6.3 Bezrozměrné součinitele radiálně axiálního stupně turbíny .....	229
6.4 Spirální skříň a bezlopatkový rozváděč .....	232
6.4.1 Spirální skříň .....	232
6.4.2 Bezlopatkový rozváděč .....	234
6.4.3 Respektování ztrát ve spirální skříni a v bezlopatkovém rozváděči .....	235
6.5 Lopatkový rozváděč .....	237
6.6 Energetické ztráty v oběžném kole .....	241
6.7 Regulace výkonu radiálně axiální turbíny změnou statorového průtočného průřezu .....	242
<b>7. STUPEŇ AXIÁLNÍHO KOMPRESORU</b> .....	246
7.1 Normální a elementární stupeň kompresoru .....	246
7.2 Bezrozměrné součinitele podobnosti kompresorového stupně .....	251
7.3 Zvýšení tlaku v axiálním stupni kompresoru .....	253
7.4 Vliv návrhových parametrů na vlastnosti stupně axiálního kompresoru .....	255
7.5 Elementární stupeň jako základ zjednodušeného návrhu stupně kompresoru .....	260
7.5.1 Energetické ztráty v kompresorovém stupni .....	260
7.5.2 Howellův zjednodušený výpočet výkonu stupně kompresoru .....	261
7.6 Poznámky k prostorovému proudění v kompresorovém stupni .....	262
7.7 Charakteristika kompresorového stupně .....	263
7.8 Charakteristika kompresoru .....	267
7.9 Zvláštnosti provozu kompresoru za změněných podmínek. Stabilní a nestabilní provoz kompresoru. Pumpování kompresoru .....	270
<b>8. STUPEŇ RADIÁLNÍHO KOMPRESORU</b> .....	272
8.1 Oblasti použití, pracovní podmínky a základní koncepce stroje .....	272
8.2 Stupeň radiálního kompresoru .....	273
8.3 Bezrozměrné součinitele podobnosti radiálního stupně kompresoru .....	281
8.4 Účinnost stupně radiálního kompresoru .....	283
8.5 Dvouzónový model proudění v oběžném kole .....	284
8.6 Návrh oběžného kola .....	289
8.7 Bezlopatkový difuzor .....	291
8.8 Lopatkový a kanálový difuzor .....	295
8.8.1 Lopatkový difuzor .....	295
8.8.2 Kanálový difuzor .....	296
8.9 Spirální skříň .....	297
8.10 Energetické ztráty a účinnosti stupně radiálního kompresoru a kompresoru .....	297
8.11 Charakteristika stupně radiálního kompresoru .....	304
<b>Literatura</b> .....	307