

Obsah	str.
Předmluva	3
Seznam základních označení	5
1. ZÁKLADNÍ PRINCIPY LOPATKOVÝCH STROJŮ, JEJICH ROZDĚLENÍ A KLASIFIKACE, OBLASTI UŽITÍ, PRACOVNÍ PODMÍNKY	6
1.1 Transformace energie ve strojích	7
1.2 Základní rozdělení energetických / tekutinových strojů	7
1.3 Oblasti užití lopatkových strojů	11
1.4 Pracovní podmínky lopatkových strojů	14
1.5 Zařazení lopatkových strojů do pracovních cyklů a procesů	15
1.5.1 Parní elektrárny a teplárny	15
1.5.2 Plynové turbíny	17
1.5.3 Paroplynové elektrárny a teplárny	17
1.5.4 Vodní elektrárny	18
1.5.5 Chladicí systémy a tepelná čerpadla	19
1.5.6 Letecké motory	19
1.6 Srovnání lopatkových strojů z hlediska měrné energie	20
2. KINEMATIKA A CHARAKTER PROUDĚNÍ V LOPATKOVÝCH STROJÍCH	24
2.1 Kinematika lopatkových strojů	24
2.2 Charakter proudění v lopatkových strojích	26
2.2.1 Stlačitelnost tekutiny a Machovo číslo	27
2.2.2 Vznik vírů v lopatkových strojích	28
2.2.3 Turbulence v lopatkových strojích	28
3. ZÁKLADNÍ ROVNICE LOPATKOVÝCH STROJŮ, IDEÁLNÍ A REÁLNÉ PROCESY V LOPATKOVÝCH STROJÍCH, ÚČINNOSTI	31
3.1 Síly působící na lopatkovou mříž – Eulerova rovnice	31
3.2 Kroutící moment přenášený na rotor lopatkového stroje – zobecněná Eulerova rovnice	34
3.3 Obvodová práce	37
3.4 Rovnice Žukovského	39
3.5 Jiná formulace a interpretace základních rovnic lopatkových strojů	41
3.6 Pracovní proces v tepelném lopatkovém stroji, rozdíl mezi expanzí a kompresí	44
3.6.1 Expanze se ztrátami v diagramu T-s	44
3.6.2 Komprese se ztrátami v diagramu T-s	46
3.7 Srovnávací procesy v tepelných lopatkových strojích	47
3.7.1 Izoentropický, polytropický a skutečný proces, účinnosti	47
3.7.2 Izoentropická a izotermická komprese	50
3.8 Účinnosti lopatkových strojů, znázornění procesů v tepelných lopatkových strojích v i-s diagramu	52
3.8.1 Zvyšování tlaku – přivádění práce	52
3.8.1.1 Kompresory	52
3.8.1.2 Ventilátory	54
3.8.1.3 Čerpadla	55
3.8.2 Snižování tlaku – odvádění práce	56
3.8.2.1 Vodní turbíny	56
3.8.2.2 Tepelné turbíny	58
4. ZÁKLADY VNITŘNÍ AERODYNAMIKY LOPATKOVÝCH STROJŮ, LOPATKOVÉ MŘÍŽE A JEJICH VLASTNOSTI	60
4.1 Způsoby řešení proudění v lopatkových strojích	60
4.2 Lopatkové mříže	61
4.2.1 Rozdělení lopatkových mříží	61
4.2.2 Geometrické a aerodynamické charakteristiky lopatkových mříží	61
4.3 Průběh tlaku po profilu a jeho význam	66

4.4	Mezní vrstva na profilu lopatky a profilové ztráty	70
4.5	Síly působící na profil v lopátkové mříži při izoentropickém proudění a při proudění se ztrátami	71
4.5.1	Síly působící na profil v lopátkové mříži při izoentropickém proudění	72
4.5.2	Síly působící na profil v lopátkové mříži při proudění reálné (vazké) tekutiny	73
4.6	Účinnosti lopátkových mříží	75
4.7	Energetické ztráty v lopátkových mřížích	77
5.	PODOBNOT STUPŇŮ TEPELNÝCH LOPÁTKOVÝCH STROJŮ	81
6.	STUPEŇ AXIÁLNÍHO LOPÁTKOVÉHO STROJE	85
6.1	Elementární a normální stupeň lopátkového stroje	85
6.2	Součinitele podobnosti u stupňů axiálních lopátkových strojů	85
6.3	Axiální stupně tepelných turbín	91
6.3.1	Akční stupeň	91
6.3.2	Reakční stupeň	94
6.3.3	Curtisův stupeň	97
6.3.4	Porovnání axiálních stupňů tepelných turbín	98
6.4	Axiální vodní turbíny	98
6.5	Axiální stupně kompresorů a axiální ventilátory	101
6.5.1	Funkce kompresorového stupně, elementární teorie stupně	101
6.5.2	Volba stupně reakce u kompresorového stupně	104
6.5.3	Kompresorový stupeň při změně průtoku, charakteristika kompresorového stupně (ventilátoru)	104
6.5.4	Nestabilní provozní režim kompresoru (ventilátoru)	105
6.5.5	Kritéria přípustného zatížení kompresorové lopátkové mříže a vliv Machova čísla	106
7.	STUPNĚ RADIÁLNĚ AXIÁLNÍHO LOPÁTKOVÉHO STROJE	109
7.1	Stupeň radiálně axiálního kompresoru, čerpadla	109
7.1.1	Funkce a elementární teorie radiálního stupně kompresoru, čerpadla	109
7.1.2	Účinnost stupně a účinnosti kompresoru	117
7.1.3	Bezrozměrné součinitele radiálního stupně kompresoru	117
7.1.4	Charakteristika radiálně osového stupně kompresoru, ventilátoru, čerpadla	118
7.1.5	Difuzory radiálně axiálních kompresorů a čerpadel	119
7.2	Stupeň radiálně axiální turbíny, radiálně axiální turbína	122
7.2.1	Funkce a elementární teorie radiálně axiální tepelné turbíny	122
7.2.2	Bezrozměrné součinitele radiálně axiálního stupně tepelné turbíny	125
7.2.3	Radiálně axiální a diagonální vodní turbíny	126
8.	RADIÁLNÍ LOPÁTKOVÉ STROJE	129
8.1	Radiální stupeň turbíny, radiální turbína	129
8.2	Radiální ventilátory	132
9.	VÍCESTUPŇOVÉ A VÍCETĚLESOVÉ LOPÁTKOVÉ STROJE	134
10.	HRDLA LOPÁTKOVÝCH STROJŮ	141
10.1	Vstupní a výstupní hrdla lopátkových strojů, jejich funkce, podstata jejich funkce	141
10.2	Přeměna energie v hrdle	143
10.3	Spirální skříně	144
10.4	Sací trouba u vodních turbín	146
11.	SACÍ VÝŠKA U ČERPATEL, KAVITACE U ČERPATEL A U VODNÍCH TURBÍN	148
11.1	Sací výška u čerpadel	148
11.2	Kavitace u čerpadel	150
11.3	Kavitace u vodních turbín	152
12.	PODOBNOT LOPÁTKOVÝCH STROJŮ	153
12.1	Základní vztahy	153

12.2	Modelování lopatkových strojů	154
12.3	Specifické (měrné) otáčky	156
12.4	Vliv specifických otáček na tvar oběžného kola	158
13.	CHARAKTERISTIKY LOPATKOVÝCH STROJŮ, REGULACE LOPATKOVÝCH STROJŮ, PARALELNÍ PROVOZ LOPATKOVÝCH STROJŮ	160
13.1	Charakteristiky ventilátorů a jejich regulace	160
13.2	Charakteristiky turbokompresorů	162
13.3	Charakteristiky čerpadel	166
13.4	Paralelní provoz čerpadel a ventilátorů	167
13.5	Spotřební charakteristiky parních turbín	170
13.6	Spotřební charakteristiky plynových turbín	174
	Literatura	177

Předmluva

Lopatkové stroje zahrnují velmi širokou oblast strojů. Jejich společným účelem je nejčastěji transformace energie, proto velkou část lopatkových strojů lze zařadit mezi energetické stroje. Energie je přenášena pomocí tekutiny a proto se nazývají též tekutinové. Účelem lopatkových strojů je někdy jen doprava tekutiny, případně se změnou jejího objemu.

Významným znakem lopatkových strojů je kontinuální transformace energie – na rozdíl od strojů objemových.

Podstatným a rozhodujícím znakem lopatkových strojů jsou podstatné změny rychlosti pracovní látky – adekvátní změnám kinetické energie tekutiny při proudění strojem. Energie je přenášena z tekutiny na rotor stroje nebo z rotoru na tekutinu, a proto se tyto stroje též nazývají rotordynamické stroje nebo turbostroje.

Jednotlivé skupiny lopatkových strojů vznikly pro uspokojování různých potřeb člověka (turbíny parní, plynové, vodní, čerpadla, ventilátory, turbokompresory, dmychadla, měniče otáček a momentu, hydraulické spojky, větrné mlýny a větrné elektrárny, ...), v různých časových obdobích a za velmi rozdílných teoretických znalostí, nutných k jejich návrhu, konstrukci a provozování. Proto též teorie, výpočtové postupy, konstrukční přístupy a způsoby označování se v jednotlivých skupinách lopatkových strojů liší. Přitom základní podstata všech těchto dílčích skupin lopatkových strojů je stejná. To umožňuje podat jednotnou základní teorii celé této ohromné skupiny strojů s vyznačením specifických účelů a pracovních podmínek dílčích skupin těchto strojů. Bylo přitom nezbytné navázat na některé tradiční přístupy a podklady vytvářené po mnoho desetiletí ve vyhraněných skupinách lopatkových strojů a objasnit tyto přístupy z pozic obecné teorie. Autor se ujal tohoto nelehkého úkolu, který byl ztížen nezbytností nepřekročit přijatelný rozsah knihy.

Knihy je určena studentům technických vysokých škol a všem pracovníkům zabývajících se návrhem, výpočtem, konstrukcí, výrobou a provozem těchto strojů. Autor věří, že specialisté na jednotlivé typy lopatkových strojů najdou v knize inspiraci pro jejich rozvíjení i v dalších oblastech a typech lopatkových strojů.