

	str.
Předmluva	2
SEZNAM POUŽITÉHO OZNAČENÍ	5
1. ÚVOD	7
1.1 Aplikace kryogenní techniky	7
1.2 Stručná historie kryogenní techniky	10
1.3 Klasifikace chladicích soustav v kryogenní technice	11
2 VLASTNOSTI LÁTEK POUŽÍVANÝCH V KRYOGENNÍ TECHNICE	12
2.1 Dusík	15
2.2 Kyslík	15
2.3 Argon	15
2.4 Neon	16
2.5 Krypton	16
2.6 Xenon	16
2.7 Ozón	16
2.8 Fluor	16
2.9 Vodík	16
2.10 Metan	17
2.11 Helium	18
2.11.1 Helium $^4\text{He}$	18
3. TERMODYNAMICKÉ ZÁKLADY	20
3.1 Diagramy reálných látek	23
3.2 Základní termodynamické změny pro dosažení kryogenních teplot	25
3.3 Změna termodynamických veličin při kompresi reálného plynu	25
3.4 Expanze bez konání vnější práce	26
3.5 Expanze s konáním vnější práce	30
3.6 Porovnání adiabatické expanze s konáním a bez konání vnější práce	33
3.7 Nerovnovážná expanze	34
3.8 Vlnová expanze plynu	37
3.9 Snížení teploty syté kapaliny odčerpáním par	39
4. IDEÁLNÍ POROVNÁVACÍ OBĚHY	40
4.1 Idealizovaný oběh pro udržování stálé teploty	41
4.2 Ochlazování látek nebo předmětů	43
4.3 Zkapalňování	43
5. OBĚHY KRYOGENNÍCH ZAŘÍZENÍ	45
5.1 Lindeův (Hampsonův) oběh	47
5.2 Lindeův oběh s předchlazením	52
5.3 Lindeův oběh s cirkulací vysokotlakého plynu	55
5.4 Kaskádní oběhy	58
5.5 Vícekomponentní směs jako pracovní látka v okruhu	58
5.6 Oběhy využívající expanze s konáním vnější práce	60
5.7 Kombinované oběhy středotlaké a vysokotlaké	61
5.8 Kombinovaný oběh nízkotlaký	65
5.9 Modifikace kontinuálních kryogenních oběhů	67
5.10 Hodnoty některých parametrů u reálných oběhů (kontinuálních)	68
5.11 Stirlingův oběh	69
5.12 Gifford-McMahonův oběh	77
5.13 Vuilleumier-Taconisův oběh	83
5.14 Pulzní trubice	85

6.	DETANDÉRY KRYOGENNÍCH ZAŘÍZENÍ	86
6.1	Pístové detandéry	86
6.2	Výpočet pístového detandéru	88
6.3	Turbodetandéry	91
6.4	Průběh expanze a působení ztrát v reakčním stupni trubodetandéru	93
7.	DĚLENÍ PLYNNÝCH SMĚSÍ PŘI KRYOGENNÍCH TEPLOTÁCH	97
7.1	Nejmenší práce na rozdělení plynné směsi	97
7.2	Destilace dvousložkové směsi	99
7.3	Nízkoteplotní rektifikace	103
7.4	Návrh rektifikační kolony	106
7.5	Získávání vzácných plynů	110
7.6	Příklady technologických schemat průmyslových dělicích zařízení vzduchu	112
7.7	Dělení plynů při teplotě okolí	115
7.8	Nízkoteplotní propírání plynů	117
8.	NÍZKOTEPLTNÍ VÝMĚNÍKY	118
8.1	Konstrukce nízkoteplotních výměníků	118
8.2	Zvláštnosti výpočtu nízkoteplotních výměníků	121
8.3	Výpočet vícekomponentních výměníků	123
8.4	Regenerační výměníky	126
9.	NÍZKOTEPLTNÍ IZOLACE	129
9.1	Vakuová izolace s homogenní výplní	133
9.2	Mnohovrstvá vakuová izolace (superizolace)	133
10.	NÁDOBY NA KRYOKAPALINY	134
11.	KRYOGENNÍ ARMATURY	138
12.	MĚŘENÍ TEPLOT	140
13.	CHOVÁNÍ KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLU A NĚKTERÝCH LÁTEK ZA NÍZKÝCH TEPLOT	146
	LITERATURA	151
	PŘÍLOHA I.	154
	PŘÍLOHA II.	155