

## Obsah

	str.
1. Úvod	5
1.1. Aplikace kryogeniky	5
1.2. Stručná historie kryogeniky	8
1.3. Rozdělení chladicích soustav v kryogenní technice	10
2. Vlastnosti látek používaných v kryogenice	10
2.1. Dusík	13
2.2. Kyslík	14
2.3. Argon	14
2.4. Neon	14
2.5. Krypton	14
2.6. Xenon	14
2.7. Ozón	15
2.8. Fluor	15
2.9. Vodík	15
2.10. Metan	16
2.11. Helium	16
2.11.1. Helium $^4\text{He}$	16
2.11.2. Helium $^3\text{He}$	18
3. Termodynamické základy	19
3.1. Základní procesy pro dosažení kryogenních teplot	22
3.2. Změna termodynamických veličin při kompresi reálného plynu	23
3.3. Expanze bez konání vnější práce	25
3.4. Expanze s konáním vnější práce	30
3.5. Porovnání adiabatické expanze s konáním a bez konání vnější práce	33
3.6. Nerovnovážná adiabatická expanze	34
4. Ideální porovnávací oběhy	37
4.1. Proces udržování stálé teploty	38
4.2. Ochlazování látek nebo předmětů	40
4.3. Zkapalňování	40
5. Oběhy kryogenních zařízení	42
5.1. Lindeův oběh	44
5.2. Lindeův oběh s předchlazením	49
5.3. Lindeův oběh s cirkulací vysokotlakého plynu	52
5.4. Vícekomponentní směs jako pracovní látka v okruhu	55
5.5. Oběhy využívající expanzi s konáním vnější práce	57
5.6. Kombinované oběhy středotlaké a vysokotlaké	58
5.7. Kombinovaný oběh nízkotlaký	62
5.8. Modifikace kontinuálních kryogenních oběhů	64
5.9. Hodnoty některých parametrů u reálných oběhů (kontinuálních)	65
5.10. Stirlingův oběh	66
5.11. Gifford-McMahonův oběh	74
5.12. Vuilleumier-Taconisův oběh	80
5.13. Pulzní trubice	81

6. Detandéry kryogenních zařízení	83
6.1. Pístové detandéry	83
6.2. Výpočet pístového detandéru	84
6.3. Turbodetandéry	88
6.4. Průběh expanze a působení ztrát ve stupni turbod.	90
7. Dělení plyných směsí při kryogenních teplotách	94
7.1. Nejmenší práce na rozdělení plyné směsi	94
7.2. Destilace a rektifikace	95
7.3. Nízkoteplotní rektifikace	98
7.4. Návrh rektifikační kolony	102
7.5. Získávání vzácných plynů	105
7.6. Příklady technologických schemat průmyslových dělicích zařízení vzduchu	107
7.7. Nízkoteplotní propírání plynů	111
8. Nízkoteplotní výměníky	112
8.1. Konstrukce nízkoteplotních výměníků	113
8.2. Zvláštnosti výpočtu nízkoteplotních výměníků	115
8.3. Výpočet vícekomponentních výměníků	117
8.4. Regenerační výměníky	121
9. Nízkoteplotní izolace	126
9.1. Práškovakuová izolace	129
9.2. Mnohovrstvá vakuová izolace (superizolace)	130
10. Nádoby na kryokapaliny	131
11. Měření teplot	135
12. Chování konstrukčních materiálů a některých látek za nízkých teplot	142
Literatura	148