

Obsah

Předmluva	iii
Seznam tabulek	viii
Seznam obrázků	ix
Seznam příkladů	xi
1 Základy chemické termodynamiky	1
1.1 Termodynamické zákony	1
1.1.1 Objemová a technická práce	2
1.1.2 Přeměna tepla na práci	3
1.1.3 Druhý a třetí termodynamický zákon	5
1.1.4 Další termodynamické funkce, jejich vlastnosti a využití	5
1.1.5 Závislost termodynamických veličin na T, p a T, V	6
1.1.6 Teplotní závislost termodynamických veličin za konstantního tlaku	10
1.1.7 Úlohy na cvičení	10
1.2 Výpočet termodynamických veličin u ideálního plynu	11
1.2.1 Standardní hodnoty termodynamických veličin	12
1.2.2 Termodynamické vlastnosti ideálního plynu - zdroje dat	13
1.2.3 Korelační vztahy pro závislost tepelné kapacity na teplotě	17
1.2.4 Termodynamické vlastnosti id. plynu při teplotě T a tlaku p (Y^*)	19
1.2.5 Termodynamické vlastnosti id. plynu při teplotě T a hustotě ρ (Y^*)	19
1.2.6 Termodyn. vlastnosti id. plynu na základě Helmholtzovy energie	20
1.2.7 Termodynamické vlastnosti ideální směsi ideálních plynů	22
1.2.8 Úlohy na cvičení	24
1.3 Extenzivní kritéria rovnováhy	26
1.3.1 Vyrovnávání teplot u dvou podsystémů	28
1.3.2 Tlaková rovnováha mezi dvěma podsystémy	30
1.3.3 Rovnováha u chemické reakce za konstantní T a konstantního p	32
1.3.4 Vynucené děje	36
1.3.5 Základní úvahy o stabilitě systému	38
1.3.6 Úlohy na cvičení	39
2 Stavové chování plynů a kapalin	41
2.1 Kritický bod a jeho vlastnosti	41
2.1.1 Určování kritických veličin	45
2.1.2 Odhad kritických veličin	46
2.1.3 Úlohy na cvičení	48
2.2 Experimentální stanovení stavového chování	50
2.3 Příčiny reálného chování	52
2.3.1 Klasifikace sil mezi molekulami	53
2.3.2 Mezimolekulární potenciál	55
2.3.3 Vzájemné působení nestejných molekul	56
2.4 Viriální stavová rovnice	57

2.4.1	Závislost viriálních koeficientů na složení	59
2.4.2	Výpočet druhého vir. koeficientu na základě párového potenciálu	60
2.4.3	Empirické odhady pro druhý a třetí viriální koeficient	61
2.4.4	Úlohy na cvičení	64
2.5	Stavové rovnice	66
2.5.1	Volumetrické koeficienty	66
2.5.2	Podmínky kladené na stavové rovnice	68
2.5.3	Kubické stavové rovnice	69
2.5.4	Empirické víceparametrové stavové rovnice	73
2.5.5	Rovnice SAFT	77
2.5.6	Aplikace stavových rovnic na směsi	78
2.5.7	Výpočet objemu, teploty či látkového množství ze stavové rovnice	81
2.5.8	Úlohy na cvičení	82
2.6	Teorém korespondujících stavů (TKS)	84
2.6.1	Dvoupřímý teorém korespondujících stavů	84
2.6.2	Tříparametrový teorém korespondujících stavů	85
2.6.3	Pseudokritické veličiny	87
2.6.4	Anderkova-Pitzerova rovnice	90
2.6.5	Leeova-Keslerova rovnice	91
2.6.6	TKS s jednou či dvěma referenčními látkami	93
2.6.7	Úlohy na cvičení	94
2.7	Stavové chování kapalin	95
2.7.1	Koeficient roztažnosti a stlačitelnosti kapalin	95
2.7.2	Odhad molárního objemu (hustoty) kapalin	97
2.7.3	Určení hustot kapalin za vyšších tlaků	99
2.7.4	Aplikovatelnost stavových rovnic u kapalin	99
2.7.5	Závislost hustoty kapalin na složení (při konstantní teplotě a tlaku)	101
2.7.6	Úlohy na cvičení	102
2.8	Empirická pravidla pro odhad stavového chování směsí	104
2.8.1	Daltonův zákon	104
2.8.2	Amagatův zákon	106
2.8.3	Bartlettovo pravidlo	107
2.8.4	Joffeho pravidlo	107
2.8.5	Modifikované Joffeho pravidlo	108
2.8.6	Hodnocení empirických pravidel	108
2.8.7	Popis chování směsí podle Lemmona, Jacobsena a Roth-Tillnera	110
2.8.8	Úlohy na cvičení	112
3	Termodynamické vlastnosti reálných tekutin	113
3.1	Doplňkové a reziduální veličiny reálného plynu	113
3.1.1	Vztahy pro výpočet doplňkových veličin (proměnné T, p, \mathbf{x})	116
3.1.2	Výpočet doplňkových veličin z exp. dat o stavovém chování	118
3.1.3	Výpočet doplňkových veličin na základě TKS	119
3.1.4	Výpočet reziduálních veličin (nezávislé T, V_m, \mathbf{x} , resp. T, ρ, \mathbf{x})	121
3.1.5	Reziduální veličiny u některých stavových rovnic	124
3.1.6	Výpočet termodynamických veličin pomocí Q -veličin	126
3.1.7	Aplikace Leeovy-Keslerovy rovnice	129
3.1.8	Reziduální veličiny látek na základě Helmholtzovy energie	130
3.1.9	Termodynamické veličiny směsí na základě Helmholtzovy energie	132
3.1.10	Vztahy pro výpočet $Q_A = \alpha^r$ u běžných stavových rovnic	134
3.1.11	Výpočet termodynamických veličin podle Amagatova zákona	135

3.1.12	Další empirická pravidla pro výpočet termodynamických veličin	139
3.1.13	Úlohy na cvičení	140
3.2	Výpočet tepla a práce u homogenních systémů	143
3.2.1	Výpočet tepla, objemové a technické práce pomocí $U, H, S \dots$	143
3.2.2	Počáteční stav systému	143
3.2.3	Určení konečného stavu při vybraných dějích	143
3.2.4	Typ 0: Neřešíme žádnou nelineární rovnici	144
3.2.5	Typ 1: Řešíme jednu nelineární rovnici	146
3.2.6	Typ 2: Řešíme dvě nelineární rovnice	147
3.2.7	Izoentalpický děj a Jouleův-Thomsonův koeficient	149
3.2.8	Exergie	152
3.2.9	Úlohy na cvičení	154
3.3	Parciální molární veličiny (PMV)	157
3.3.1	Určení PMV z veličiny systémové	159
3.3.2	Výpočet PMV z veličin molárních	160
3.3.3	PMV u ideální směsi ideálních plynů	163
3.3.4	PMV u systému, který popisuje tlakový viriální rozvoj	164
3.3.5	Vztahy pro výpočet PMV na základě $V_m(T, p, \mathbf{x})$, event. $z(T, p, \mathbf{x})$	167
3.3.6	PMV u systému, který se řídí Amagatovým zákonem	167
3.3.7	Parciální molární konstanty stavových rovnic	168
3.3.8	Výpočet PMV na základě TKS	170
3.3.9	Výpočet parciálních molárních veličin na základě stavových rovnic	172
3.3.10	Výpočet \bar{V}_i, \bar{H}_i a f_i ze vztahu pro Helmholtzovu energii	176
3.3.11	Úlohy na cvičení	179
4	Fázové rovnováhy	181
4.1	Fázové rovnováhy v jednosložkovém systému	181
4.1.1	Tlak nasycených par	182
4.1.2	Výparná entalpie (výparné teplo)	187
4.1.3	Další typy rovnovah u jednosložkových systémů	192
4.1.4	Úlohy na cvičení	193
4.2	Stavové rovnice a fázové rovnováhy	195
4.2.1	Výpočet hustoty ρ při zadané teplotě T_a a tlaku p_a	195
4.2.2	Výpočet tlaku nasycených par p^s , eventuálně teploty varu	195
4.2.3	Případ, kdy je zadán některý z parametrů na mezi sytosti	196
4.2.4	Termodynamické veličiny heterogenního jednosložkového systému	197
4.2.5	Flash výpočty u jednosložkového dvoufázového systému	198
4.2.6	Úlohy na cvičení	200
4.3	Fázové rovnováhy ve vícesložkových systémech	202
4.3.1	Rovnováha mezi kapalnou a parní fází	202
4.3.2	Úlohy při zadání dvou intenzivních proměnných u binárního systému	203
4.3.3	Flash rovnováhy u binárního systému	204
4.3.4	Tepelné efekty u rovnováhy kapalina-pára	207
4.3.5	Azeotropické chování	213
4.3.6	Výpočet rovnováhy kapalina-pára za vyšších tlaků	215
4.3.7	Výpočet kritického bodu pro zadanou teplotu	218
4.3.8	Rozpustnost kapalin v plynech	219
4.3.9	Rozpustnost plynů v kapalinách	222
4.3.10	Úlohy na cvičení	223
4.4	Další typy fázových rovnovah	227
4.4.1	Stavová rovnice a rovnováha kapalina-kapalina	227

4.4.2	Rovnováha mezi kapalnou a tuhou fází	231
4.4.3	Rovnováha mezi plynnou a tuhou fází	235
4.4.4	Úlohy na cvičení	237
4.5	Stabilita systému vůči rozpadu na více fází	239
4.5.1	Stabilita jednosložkového systému	239
4.5.2	Stabilita binárního systému vůči rozpadu na dvě fáze	246
4.6	Aplikace Newtonovy metody	256
4.6.1	Výpočet hustoty ze stavové rovnice Newtonovou metodou	256
4.6.2	Výpočet p^s u čisté látky ze stavové rovnice	258
4.6.3	Aplikace Newtonovy metody při výpočtu rovnováhy kapalina-pára	260
4.7	Aplikace Wagnerovy rovnice na rovnováhu kapalina-pára	262
	Literatura	265

Seznam tabulek

1.1	Parametry rovnice (1.96) pro výpočet α^0 pro několik látek	22
1.2	Kritéria rovnováhy za různých podmínek	27
2.1	Hodnoty kritických exponentů	44
2.2	Koeficienty rovnice (2.69) pro teplotní závislost $B(T)$	63
2.3	Doporučené vícekonstantové rovnice	75
2.4	Parametry technické verze Wagnerovy stavové rovnice	76
2.5	Konstanty Leeovy-Keslerovy rovnice	92
2.6	Molární objem, koeficienty α_p a κ_T pro některé látky v kapalném stavu za atmosférického tlaku	96
3.1	Doplňková entalpie a entropie při $T_r = 1.1$ a $p_r = 2.0$ pro několik látek	120
3.2	Počet nutných bodů u desetisložkové směsi, potřebných pro určení hustoty směsi libovolného složení	136
3.3	Výpočet tepla a práce při různých dějích	143
3.4	Derivace z , p , V_m , U_m , H_m , S_m , F_m , G_m podle T , ρ , event. T , p	144
3.5	Řešení nejběžnějších úloh termodynamických dějů	145
3.6	Boyleova a inverzní teplota (za nízkého tlaku) u několika plynů	151
3.7	Izobarická tepelná kapacita roztoku NaCl při teplotě 25 °C v závislosti na molalitě	159
4.1	Hodnoty tlaku nasycených par, výparné entalpie a kompresibilitních faktorů na mezi sytosti pro několik látek	185
4.2	Jednotlivé úlohy pro řešení fázové rovnováhy kapalina-pára	203
4.3	Složení kapalných fází u systému $O_2(1)+O_3(2)$ v závislosti na teplotě	228

Seznam obrázků

1.1	Zidealizovaná komprese plynu a její průběh v $p - V$ diagramu	2
1.2	Schematický průběh Carnotova cyklu v $p - V_m$ diagramu	4
1.3	Schematický náčrt tepelného stroje s ustáleným tokem pracovního média	4
1.4	Závislost C_{pm} , H_m a S_m vody na teplotě	9
1.5	Vyrovňávání teplot u dvou podsystémů	28
1.6	Závislost teploty vody a hliníku na čase a na vyměněném teple	29
1.7	Stav systému mimo tlakovou rovnováhu	31
1.8	Závislost změny Helmholtzovy energie a tlaků v podsystémech na ΔV	31
1.9	Závislost Gibbsovy energie a chemických potenciálů na rozsahu reakce	34
1.10	Průběh Gibbsovy energie systému při izomerizaci pentanu	35
1.11	Stav systému mimo osmotickou rovnováhu	39
2.1	$p - V_m$ diagram jednosložkové soustavy	42
2.2	K definici kritických exponentů	44
2.3	Průběh kritických veličin podle různých odhadových metod u n -alkanů	49
2.4	Závislost kritických veličin u n -alkanů a 1-alkoholů na počtu uhlíků n_C	50
2.5	Experimentální nepřesnost v hustotě pro dusík	50
2.6	Schéma piezometru s konstantním objemem a Burnettovy aparatury	51
2.7	Model tuhých koulí	52
2.8	Vzájemné působení nabitých částic	54
2.9	Vzájemné působení dvou dipólů	54
2.10	Kvadrupólový moment u molekuly CO_2	54
2.11	Průběh Lennard-Jonesova 12,6 potenciálu	55
2.12	Párový potenciál u tuhých koulí a pravoúhelníkový potenciál	56
2.13	Vzájemné působení nestejných molekul	57
2.14	Schematická závislost viriálních koeficientů B, C na redukované teplotě	58
2.15	Závislost tlaku na objemu při podkritické teplotě	69
2.16	Procentická odchylka v kompresibilitním faktoru či objemu u CO_2	71
2.17	Vliv počtu parametrů stavové rovnice na váženou standardní odchylku	74
2.18	Závislost $A(x_1)$ pro různé relace	80
2.19	Vliv $a_{ii}(T)$ a k_{ij} na tlak odpovídající bodu varu	81
2.20	Hodnoty kompresibilitního faktoru v závislosti na acentrickém faktoru	86
2.21	Závislost tlaku systému na obsaženém látkovém množství	103
2.22	Závislost molárního objemu binární směsi na složení pro různé typy směsí	105
2.23	Procentická odchylka v z u směsi methanu(1) a ethanu(2)	109
3.1	Závislost doplňkového objemu na tlaku a tlaku na hustotě pro tři izotermy	114
3.2	Závislost entalpie na tlaku pro tři izotermy u reálného plynu	115
3.3	K odvození integrálních vztahů pro veličiny doplňkové (rozdíl mezi body B a D) a reziduální (rozdíl mezi body B a R)	116
3.4	Vztah mezi doplňkovou entalpií směsi a dodatkovou entalpií	137
3.5	Souvislost $V^E(p)$ a $G^E(p)$	138

3.6	Průběh inverzní křivky v $p - T$ diagramu	150
3.7	Experimentální měření doplňkové entalpie	152
3.8	Navození pojmu exergie	153
3.9	K definici parciálního molárního objemu	157
3.10	Objem systému a parciální molární objem složky	159
3.11	Úseková metoda na stanovení parciálních molárních objemů	163
4.1	Ebuliometr na měření tlaku nasycených par	182
4.2	Isoteniskop na měření tlaku nasycených par	182
4.3	Měření tlaku nasycených par látek saturační metodou	183
4.4	Závislost $\ln p^s$ na $1/T$	185
4.5	Závislost $(\Delta_{\text{výp}} H_m / \Delta_{\text{výp}} z)$	186
4.6	Specifikace proměnných u flash výpočtů	204
4.7	Výpočty tepla za konstantního tlaku u binárního systému	208
4.8	Výpočty tepla za konstantní teploty u binárního systému	212
4.9	Rovnováha kapalina-pára u systému methan+n-pentan	216
4.10	Průběh binodální křivky vymezující heterogenní a homogenní oblast	217
4.11	Závislost tlaku na složení kapalné fáze u systému $O_2(1)+O_3(2)$	227
4.12	Závislost složení kapalných fází na teplotě u systému $O_2(1)+O_3(2)$	228
4.13	Závislost složení kapalných fází na T u systému n -hexan(1)+methanol(2)	229
4.14	Závislost složení kapalných fází na T u systému cyklohexan(1)+amoniak(2)	230
4.15	Binární systém s heterogenním azeotropem	230
4.16	Fázový diagram u systému benzen(1)-naftalen(2)	235
4.17	Rozpustnost naftalenu v CO_2 v závislosti na tlaku	238
4.18	Závislost $p(V_m)$ a $A_m(V_m)$ u reálného jednosložkového systému při $T < T_c$	239
4.19	Závislost objemů $V_m^{(\ell)}$, $V_Q^{(\ell)}$, $V_Q^{(g)}$ a $V_m^{(g)}$ na teplotě	241
4.20	Závislost $A_m(V_m)$ u propanu podle van der Waalovy rovnice	242
4.21	Rozpad homogenního jednosložkového systému na dva podsystemy	243
4.22	Závislost $A_m(V_m)$ a $\phi(V_m)$ v okolí heterogenní oblasti	245
4.23	Závislost funkce ϕ na objemu u n -butanu při teplotě 298.15 K	246
4.24	Závislost tlaku na objemu za konstantního složení	247
4.25	Vliv objemu a složení na hodnotu stabilitního determinantu D_A	248
4.26	Rozpad binárního homogenního systému na dva podsystemy	249
4.27	Průběh Q_f v závislosti na složení u heterogenního systému	251
4.28	Vlastnosti tečen sestavených k Q_f za konstantní teploty a tlaku	252
4.29	Průběh Q_f u systému propan-butan při teplotě 298.15 K a tlaku 0.4 MPa	254
4.30	Závislost funkce $\phi(x_1)$ u směsi o složení $x_1 = 0.15; 0.30; 0.40$ a 0.55	255
4.31	Aplikace tangenciálního kritéria u systému methan(1)+ethan(2)+ n -butan	256

Seznam příkladů

Seznam obsahuje jak příklady řešené, sloužící k lepšímu pochopení probíraných témat, tak také příklady neřešené (uvedené kurzívou), z nichž většina je řešena v rámci seminářů k předmětu (jejich zvládnutí je nutným předpokladem ke složení písemné části zkoušky).

1.1 Porovnání izotermické a adiabatické komprese	10
1.2 Parní stroj	10
1.3 Vztah mezi entalpií a změnou entropie	11
1.4 Výpočet technické práce	11
1.5 Přeměna potenciální energie na tepelnou	11
1.6 Výpočet rychlosti zvuku za normálních podmínek	11
1.7 Vztah pro $A_m/(RT)$ u methanu ve stavu ideálního plynu	21
1.8 Výpočet termodynamických veličin u methanu ze závislosti $\alpha^0(\tau, \delta)$	22
1.9 Termodynamické veličiny směsi ve stavu ideálního plynu určené pomocí $C_{pm,i}^0(T)$	23
1.10 Termodynamické veličiny Ar při T_2 a p_2 či T_2 a ρ_2	24
1.11 Termodynamické veličiny N_2 při teplotě T_2 a p_2 či T_2 a ρ_2	24
1.12 Termodynamické veličiny O_2 při teplotě T_2 a tlaku p_2	25
1.13 Termodynamické veličiny vzduchu	25
1.14 Molární Gibbsova energie směsi butanu a isobutanu	25
1.15 Termodynamické veličiny dusíku ze závislosti Helmholtzovy energie	25
1.16 Výpočet termodynamických veličin u methanu ze závislosti $\alpha^0(\tau, \delta)$	25
1.17 Určení tepelné rovnováhy u dvou podsystémů maximalizací entropie	28
1.18 Tlaková rovnováha určená minimalizací Helmholtzovy energie	31
1.19 Určení rovnovážného stavu systému s jednou chemickou reakcí	33
1.20 Výpočet chemické rovnováhy u systému se dvěma chemickými reakcemi	35
1.21 Teplotní rovnováha mezi dvěma podsystémy	39
1.22 Osmotická rovnováha mezi dvěma podsystémy	39
1.23 Chemická rovnováha za konstantní teploty a objemu	40
1.24 Izobarická rovnováha za adiabatických podmínek	40
2.1 Odhad kritických parametrů n -alkanů	46
2.2 Výpočet výšky kapaliny v ampuli pro stanovení kritického bodu	48
2.3 Aplikace Cailletetova-Mathiasova pravidla (2.9)	48
2.4 Kritické veličiny u n -alkanů a 1-alkoholů podle Teji a kol.	48
2.5 Zvýšení nepřesnosti při určování derivace	50
2.6 Komprese jednoho molu páry a ideálního plynu	53
2.7 Aplikovatelnost viriální stavové rovnice s druhým viriálním koeficientem	59
2.8 Druhý viriální koeficient u směsi určený pomocí Lennard-Jonesova potenciálu	61
2.9 Výpočet objemu z objemového viriálního rozvoje	64
2.10 Druhý viriální koeficient podle Lennard-Jonesova potenciálu	65
2.11 Výpočet viriálního koeficientu na základě semiempirických a empirických vztahů	65
2.12 Viriální rovnice u směsi	65

2.13	Určení tlaku pomocí technické verze Wagnerovy rovnice u methanu	77
2.14	Výpočet hustoty či objemu ze stavové rovnice	81
2.15	Určení teploty plynu pomocí technické verze Wagnerovy rovnice	82
2.16	Výpočet molárního objemu ze stavové rovnice	82
2.17	Tlakový zásobník s CO_2	82
2.18	Výpočet tlaku, objemu a teploty u BWR rovnice	83
2.19	Výpočet Boyleovy a inverzní teploty	83
2.20	Helmholtzova energie pro argon	83
2.21	Výpočet tlaku u směsi	83
2.22	Příprava plynné směsi	83
2.23	Příprava ekvimolární směsi	84
2.24	Aplikace Spanovy-Wagnerovy rovnice	84
2.25	Aplikace Anderkovy-Pitzerovy rovnice	91
2.26	Výpočet objemu z rovnice Leehe a Keslera	92
2.27	Odhad kompresibilitního faktoru pomocí referenční látky	93
2.28	Výpočet objemu propynu pomocí pVT dat methanu a propanu	94
2.29	Aplikace Leeovy-Keslerovy rovnice	94
2.30	Výpočet pseudokritických veličin	95
2.31	Použitelnost stavových rovnic u kapalin	100
2.32	Aplikace modifikované Pengovy-Robinsonovy rovnice u methanolu	101
2.33	Hustota kapalné směsi, jejíž jedna složka je nad kritickou teplotou	102
2.34	Závislost tlaku na látkovém množství v autoklávu	102
2.35	Závislost látkového množství paliva v nádrži na teplotě	102
2.36	Odhad hustoty kapalné vody	102
2.37	Pohyb rozhraní u heterogenního systému	103
2.38	Výpočet tlaku u směsi methanu a ethanu s rovnicí Wagnerova typu	111
2.39	Aplikace Amagatova zákona a Redlichovy-Kwongovy stavové rovnice	112
2.40	Výpočet tlaku směsi pomocí empirických pravidel a zákonů	112
2.41	Výpočet objemu směsi pomocí empirických pravidel a zákonů	112
2.42	Výpočet viriálních koeficientů směsi pomocí empirických pravidel a zákonů	112
3.1	Termodynamické veličiny podle Redlichovy-Kwongovy rovnice za dané T a p	127
3.2	Termodynamické veličiny pro zadanou teplotu a hustotu	128
3.3	Určení doplňkových veličin podle Leeovy-Keslerovy rovnice pro zadané T a p	129
3.4	Určení doplňkových veličin podle Leeovy-Keslerovy rovnice pro zadané T a ρ	130
3.5	Aplikace Helmholtzovy energie při výpočtu termodynamických veličin	131
3.6	Termodynamických veličin reálné směsi na základě Helmholtzovy energie	132
3.7	Doplňkové a dodatkové veličiny	138
3.8	Výpočet doplňkových veličin a Q -veličin pomocí $B = B(T)$	140
3.9	Výpočet H_d , C_{pm} a μ_{JT} u směsi	141
3.10	Doplňkové veličiny podle Redlichovy-Kwongovy stavové rovnice	141
3.11	Závislost $A/(RT) = f(\tau, \delta)$ u argonu	141
3.12	Doplňkové veličiny směsi podle BWR rovnice a empirických pravidel	142
3.13	Výpočet tepla u izochorického děje	144
3.14	Určení konečného stavu při izochorickém ději	146
3.15	Výpočet práce u adiabatického děje se zadanou konečnou teplotou	147
3.16	Určení konečného stavu u izobarického děje se zadaným teplem	147
3.17	Určení konečného stavu při adiabatické expanzi na zadaný tlak	148
3.18	Průběh inverzní křivky u van der Waalovy rovnice	150
3.19	Experimentální stanovení doplňkové entalpie	151

3.20	Výpočet tepla a práce při izotermické kompresi	154
3.21	Výpočet tepla potřebného k ohřátí systému II	154
3.22	Kompresie u adiabatického děje	154
3.23	Porovnání adiabatické a izoentalpické expanze	155
3.24	Výpočet Jouleova–Thomsonova koeficientu u plynné směsi	155
3.25	Ochlazování vzduchu kapalnou vodou	155
3.26	Výpočet exergie při chlazení dusíku kapalnou vodou	156
3.27	Výpočet tepla a práce při izotermické kompresi II	156
3.28	Výpočet kompresního poměru u Dieselova motoru	156
3.29	Určení tepla při míšení látek v kapalně fázi	162
3.30	Parciální molární veličiny na základě tlakového viriálního rozvoje	166
3.31	Výpočet \bar{V}_i a \bar{p}_i na základě van der Waalovy rovnice	173
3.32	Parciální molární veličiny na základě Redlichovy–Kwongovy rovnice	176
3.33	Parciální molární veličiny u technické verze Wagnerovy rovnice	178
3.34	Výpočet \bar{V}_i a φ_i z tlakového viriálního rozvoje	179
3.35	Výpočet parciálních molárních veličin u ternární směsi	179
3.36	Výpočet parciálních molárních veličin na základě stavové rovnice	179
3.37	Výpočet K_φ pomocí Redlichovy–Kwongovy rovnice u syntézy NH_3	179
3.38	Alternativní řešení příkladu 3.29 na str. 162	180
3.39	Výpočet parciálních molárních veličin na základě stavové rovnice	180
3.40	Výpočet parciálního molárního objemu z objemu molárního	180
4.1	Rovnovážná křivka mezi kapalnou a tuhou fází	184
4.2	Výpočet výparné entalpie pomocí Antoineovy rovnice	188
4.3	Výparná entalpie z experimentálních dat o tlaku nasycených par	189
4.4	Odhad sublimačního tlaku u vody při -30°C	192
4.5	Aplikace Clapeyronovy rovnice u CO_2	193
4.6	Výpočet změny teploty tání s tlakem	193
4.7	Výpočet výparného tepla z $p^s = f(T)$	193
4.8	Výpočet acentrického faktoru	194
4.9	Trojný bod perfluorocyklohexanu	194
4.10	Aplikace Wagnerovy rovnice	194
4.11	Termodynamicky řízená extrapolace tlaku nasycených par z kalorimetrických dat	194
4.12	Výpočet tlaku nasycených par a dalších veličin na mezi sytosti	197
4.13	Výpočet velikosti fází a jejich entalpie pro zadané hodnoty T, V, n	199
4.14	Adiabatická expanze do dvofázové oblasti u čisté látky	199
4.15	Výpočet teploty pro zadaný p^s , teploty pro zadanou hodnotu výparné entalpie	200
4.16	Výpočet molárních objemů CO_2 v nasyceném stavu a výparné entalpie	200
4.17	Výpočet tepla a práce u heterogenního systému za konstantní teploty, resp. objemu	200
4.18	Výpočet tepla a práce u heterogenního systému za konstantního tlaku	200
4.19	Výpočet technické práce při adiabatické vratné expanzi na základě tabelovaných dat	200
4.20	Výpočet tepla, potřebného k ohřátí CO_2 za konstantního objemu	201
4.21	Výpočet tepla při ohřátí heterogenního systému	201
4.22	Výpočet tepla při ohřátí heterogenního systému II.	201
4.23	Výpočet fázové rovnováhy u binárního systému	204
4.24	Určení velikosti fází a jejich složení při zadání T, V, n_1, n_2	206
4.25	Výpočet rosného bodu u izoentalpické expanze	207
4.26	Výpočet tepla při izobarickém ohřevu heterogenní směsi	211
4.27	Určení složení a tlaku v azeotropickém bodu při zadané teplotě	214
4.28	Určení první aproximace při výpočtu fázové rovnováhy za vysokých tlaků	215

4.29	Výpočet rosných tlaků u vysokotlaké rovnováhy kapalina-pára	215
4.30	Propočet binodální křivky pro zadané složení směsi	218
4.31	Výpočet kritického bodu mezi kapalnou a parní fází za vyšších tlaků	219
4.32	Složení parní fáze u systému voda+plyn - aplikace viriálního rozvoje	221
4.33	Určení obsahu vody v parní fázi pomocí stavové rovnice	221
4.34	Odhad rozpustnosti plynu v kapalinách	222
4.35	<i>Výpočet rovnováhy kapalina pára u binárního systému</i>	223
4.36	<i>Výpočet konečného stavu po izoentropické expanzi</i>	223
4.37	<i>Výpočet tepla při zahřátí systému za konstantního tlaku</i>	223
4.38	<i>Výpočet tepla u systému za konstantní teploty</i>	224
4.39	<i>Výpočet azeotropického složení za konstantního tlaku</i>	224
4.40	<i>Výpočet rovnovážného složení za vyšších tlaků a kritického bodu</i>	225
4.41	<i>Výpočet rovnovážného složení pro definované hodnoty ϕ</i>	225
4.42	<i>Výpočet kritického bodu mezi kapalnou a plynnou fází</i>	226
4.43	<i>Výpočet rozpustnosti vody v methanu</i>	226
4.44	<i>Výpočet rozpustnosti CO_2 v benzenu</i>	226
4.45	Výpočet složení koexistujících kapalných fází	228
4.46	Složení koexistujících fází u systému s heterogenním azeotropem	231
4.47	Výpočet fugacity a aktivity složek pomocí stavové rovnice	233
4.48	Výpočet rozpustnosti naftalenu v kapalném benzenu	234
4.49	Určení vzájemné rozpustnosti benzenu a naftalenu a jejich eutektické teploty . . .	234
4.50	Odhad sublimačního tlaku tuhého naftalenu	237
4.51	Odhad rozpustnosti naftalenu v plynném CO_2	237
4.52	<i>Výpočet rovnováhy kapalina tuhá látka u binárního systému</i>	237
4.53	<i>Výpočet rovnováhy kapalina tuhá látka u binárního systému</i>	238
4.54	Vymezení velikosti labilní a metastabilní oblasti u čisté látky	240
4.55	Aplikace Helmholtzovy energie při posouzení stability systému	241
4.56	Aplikace bilanční metody při posouzení stability systému	243
4.57	Použití tangenciální metody při posouzení stability systému	245
4.58	Výpočet stabilitního determinantu a jeho vlastnosti	247
4.59	Použití bilanční metody u binárního systému při posouzení jeho stability	249
4.60	Posouzení stability binárního systému za $[T, p]$	251
4.61	Sestrojení tečny ke křivce $Q_f(x_1)$	253
4.62	Aplikace tangenciální metody u binárního systému	254
4.63	Aplikace tangenciální metody u ternárního systému	255
4.64	Výpočet objemu (hustoty) ze stavové rovnice Newtonovou metodou	257
4.65	Výpočet tlaku nasycených par se stavové rovnice Newtonovou metodou	259
4.66	Výpočet tlaku a složení parní fáze u binárního systému	261
4.67	Aplikace Wagnerovy rovnice při výpočtu rovnováhy kapalina-pára	262