

# Obsah

	Seznam častěji používaných symbolů . . . . .	13
<b>I</b>	<b>ZÁKLADNÍ POJMY A VZTAHY</b>	
1	Úvod . . . . .	22
2	Jednotky a rozměry . . . . .	26
2.1	Pojem jednotky a rozměru . . . . .	26
2.2	Soustavy měr . . . . .	30
3	Rozměrová analýza . . . . .	35
4	Bilance . . . . .	44
4.1	Obecné bilanční vztahy . . . . .	44
4.2	Hmotnostní bilance . . . . .	50
4.2.1	Základní vztahy . . . . .	50
4.2.2	Vyjádření koncentrací . . . . .	53
4.2.3	Postup při řešení hmotnostních bilancí . . . . .	55
4.2.4	Příklady výpočtů hmotnostních bilancí . . . . .	57
	Příklad 4.2.4-1 Hmotnostní bilance bez chemické reakce . . . . .	58
	Příklad 4.2.4-2 Látková bilance s chemickou reakcí . . . . .	61
5	Spojité prostředí (kontinuum) . . . . .	66
5.1	Pojem kontinua . . . . .	66
5.2	Vztahy mezi extenzívními a intenzívními veličinami . . . . .	68
5.2.1	Extenzívní veličiny závislé na hmotnosti (objemu) . . . . .	68
5.2.2	Extenzívní veličiny závislé na ploše . . . . .	71
5.3	Bilance pro nehybný elementární objem spjitého prostředí — lokální bilance . . . . .	75
5.4	Bilance pro elementární objem pohybující se rychlostí spjitého prostředí — substanciální bilance . . . . .	78
5.5	Teorie podobnosti . . . . .	80
5.5.1	Podobnost . . . . .	80
5.5.2	Modelování . . . . .	85
5.5.3	Teorie analogie . . . . .	86
5.6	Makroskopické bilance . . . . .	87
<b>II</b>	<b>PROUDĚNÍ TEKUTIN (SDÍLENÍ HYBNOSTI)</b>	
6	Základní pojmy a vztahy v proudění tekutin . . . . .	92
6.1	Základní pojmy . . . . .	92
6.2	Hmotnostní bilance proudící tekutiny . . . . .	93
	Příklad 6.2-1 Stanovení střední rychlosti proudění tekutiny v potrubí . . . . .	94

6.3	Bilance hybností proudící tekutiny . . . . .	96
	Příklad 6.3-1 Stanovení síly, kterou tekutina působí na redukční koleno . . . . .	99
6.4	Bilance mechanické energie proudící tekutiny . . . . .	100
6.5	Aplikace teorie podobnosti na proudění tekutin . . . . .	104
<b>7</b>	<b>Tekutina v klidu . . . . .</b>	<b>107</b>
7.1	Základní vztahy . . . . .	107
7.2	Tekutina v poli zemské tíže . . . . .	108
7.2.1	Nestlačitelná tekutina . . . . .	109
	Příklad 7.2.1-1 Funkce pojistného uzávěru . . . . .	110
7.2.2	Stlačitelná tekutina . . . . .	112
7.2.3	Síla působící na okolí tekutiny . . . . .	113
	Příklad 7.2.3-1 Síla působící na uzávěr . . . . .	114
7.3	Tekutina v poli odstředivé síly a síly tíže . . . . .	115
	Příklad 7.3-1 Dělení nemísitelných kapalin v odstředivce . . . . .	118
<b>8</b>	<b>Izotermní proudění ideální tekutiny . . . . .</b>	<b>120</b>
8.1	Bilance hmotnosti, hybnosti a mechanické energie ideální tekutiny . . . . .	120
8.2	Bilanční rovnice pro makroskopický systém s ideální tekutinou . . . . .	121
8.3	Proudění ideální nestlačitelné tekutiny otvorem a oprava na reálnou tekutinu . . . . .	122
	Příklad 8.3-1 Měření toku kapaliny clonou . . . . .	124
	Příklad 8.3-2 Stanovení objemového toku kapaliny jezem . . . . .	127
	Příklad 8.3-3 Doba výtoku kapaliny z nádrže . . . . .	129
<b>9</b>	<b>Ustálené izotermní proudění nestlačitelné tekutiny potrubím . . . . .</b>	<b>130</b>
9.1	Řešení rovnic proudění při laminárním toku . . . . .	130
9.2	Turbulentní proudění tekutiny . . . . .	136
9.3	Kriteriální vztahy . . . . .	143
9.4	Výpočet proudění potrubím . . . . .	146
9.4.1	Základní vztahy . . . . .	146
	Příklad 9.4.1-1 Ztráta mechanické energie při náhlém rozšíření průřezu potrubí . . . . .	146
9.4.2	Řešení některých problémů proudění potrubím . . . . .	152
	Příklad 9.4.2-1 Stanovení tlaku v jednom z průřezů . . . . .	153
	Příklad 9.4.2-2 Stanovení hmotnostního toku . . . . .	156
	Příklad 9.4.2-3 Stanovení průměru potrubí . . . . .	159
	Příklad 9.4.2-4 Stanovení tlaku v jednom z uzlů rozvětveného potrubí . . . . .	162
	Příklad 9.4.2-5 Stanovení účinnosti čerpadla . . . . .	173
	Příklad 9.4.2-6 Stanovení kapacity čerpadla v potrubí . . . . .	174
<b>10</b>	<b>Proudění tekutiny nehybnou vrstvou zrnitého materiálu . . . . .</b>	<b>181</b>
10.1	Úvod . . . . .	181
10.2	Proudění jediné tekutiny vrstvou zrnitého materiálu . . . . .	184
	Příklad 10.2-1 Stanovení poklesu tlaku par proudících vrstvou . . . . .	188
10.3	Proudění dvou tekutých fází vrstvou zrnitého materiálu . . . . .	189
	Příklad 10.3-1 Dvoufázové proudění ve vrstvě . . . . .	193
<b>11</b>	<b>Filtrace . . . . .</b>	<b>195</b>
11.1	Úvod . . . . .	195
11.2	Rovnice proudění tekutiny filtrem . . . . .	196
11.2.1	Bilance filtru . . . . .	196

11.2.2	Rychlost filtrace . . . . .	198
	Příklad 11.2.2-1 Stanovení filtračních charakteristik koláče . . . . .	201
11.3	Filtrace v kalosisu . . . . .	207
	Příklad 11.3-1 Stanovení spotřeby promývací kapaliny . . . . .	210
11.4	Filtrace v bubnovém filtru . . . . .	211
	Příklad 11.4-1 Výpočet bubnového filtru . . . . .	213
11.5	Filtrace v odstředivce . . . . .	216
	Příklad 11.5-1 Filtrace v odstředivce a kalosisu . . . . .	218
<b>12</b>	<b>Usazování . . . . .</b>	<b>220</b>
12.1	Úvod . . . . .	220
12.2	Usazování jednotlivé částice . . . . .	223
	Příklad 12.2-1 Vztahy mezi rychlostí částice a rychlostí usazování . . . . .	224
12.2.1	Obtékání koule . . . . .	225
12.2.2	Mezní vrstva . . . . .	228
12.2.3	Usazování kulové částice v tíhovém poli . . . . .	231
	Příklad 12.2.3-1 Stanovení rychlosti usazování . . . . .	235
	Příklad 12.2.3-2 Stanovení doby, kdy je dosaženo usazovací rychlosti . . . . .	237
12.2.4	Usazování kulové částice v odstředivém poli . . . . .	238
12.2.5	Usazování nekulové částice . . . . .	240
12.3	Usazování souboru částic . . . . .	242
12.3.1	Vliv přítomnosti jiných částic na usazování částice . . . . .	242
	Příklad 12.3.1-1 Rychlost usazování suspenze . . . . .	243
12.3.2	Dělení rozličných částic souboru . . . . .	244
	Příklad 12.3.2-1 Dělení směsi částic usazováním . . . . .	245
12.4	Výpočet usazovacího aparátu . . . . .	247
12.4.1	Periodicky pracující gravitační usazovák . . . . .	247
12.4.2	Průtočný gravitační usazovák s tekutinou proudící kolmo na směr působení hmotnostní síly . . . . .	251
	Příklad 12.4.2-1 Stanovení rozměru gravitačního usazováku . . . . .	253
12.4.3	Průtočný gravitační usazovák s tekutinou proudící proti směru působení hmotnostní síly . . . . .	255
	Příklad 12.4.3-1 Stanovení průměru usazováku . . . . .	256
12.4.4	Usazovací odstředivka . . . . .	256
	Příklad 12.4.4-1 Stanovení kapacity odstředivky . . . . .	259
12.4.5	Cyklón . . . . .	260
	Příklad 12.4.5-1 Kapacita a účinnost cyklónu . . . . .	261
<b>13</b>	<b>Fluidace . . . . .</b>	<b>264</b>
	<i>Doc. Ing. Lubomír Neužil, CSc.</i>	
13.1	Úvod . . . . .	264
13.1.1	Popis jednoduchého pokusu . . . . .	264
13.1.2	Základní vlastnosti fluidní vrstvy a různé typy fluidních vrstev . . . . .	268
13.1.3	Význam a uplatnění fluidní vrstvy . . . . .	271
13.2	Síly působící při proudění tekutiny fluidní vrstvou . . . . .	273
13.2.1	Makroskopické bilance . . . . .	273
13.2.2	Tlaková ztráta fluidní vrstvy . . . . .	277
	Příklad 13.2.2-1 Stanovení velikosti náplně fluidního aparátu a tlakové ztráty ve fluidní vrstvě . . . . .	281
	Příklad 13.2.2-2 Stanovení mezerovitosti fluidní vrstvy z tlakové ztráty . . . . .	282

13.2.3	Vliv roštu na fluidní vrstvu . . . . .	284
	Příklad 13.2.3-1 Výpočet roštu . . . . .	287
13.3	Expanze rovnoměrné fluidní vrstvy . . . . .	290
	Příklad 13.3-1 Stanovení hmotnostního toku tekutiny pro zadanou expanzi fluidní vrstvy . . . . .	296
<b>14</b>	<b>Míchání kapalin mechanickými míchadly . . . . .</b>	<b>300</b>
14.1	Úvod . . . . .	300
14.2	Proudění kapaliny při míchání . . . . .	301
14.3	Doba promíchávání . . . . .	303
14.4	Příkon míchadla . . . . .	307
	Příklad 14.4-1 Stanovení příkonu míchadla . . . . .	312
	Příklad 14.4-2 Odhad charakteristik míchacího zařízení . . . . .	313
<b>III</b>	<b>SDÍLENÍ TEPLA</b>	
<b>15</b>	<b>Základní pojmy a vztahy ve sdílení tepla . . . . .</b>	<b>316</b>
15.1	Základní pojmy . . . . .	316
15.2	Bilance vnitřní energie a bilance entalpie proudící tekutiny . . . . .	318
15.3	Vyjádření bilancí pomocí teplot: Fourierův zákon a Fourierova rovnice . . . . .	322
<b>16</b>	<b>Sdílení tepla vedením v nehybném prostředí . . . . .</b>	<b>325</b>
16.1	Úvod . . . . .	325
16.2	Ustálené vedení tepla směrem kolmým na rovinnou desku . . . . .	326
	Příklad 16.2-1 Stanovení toku tepla rovinnou stěnou . . . . .	330
	Příklad 16.2-2 Stanovení tloušťky vrstvy izolace . . . . .	331
16.3	Ustálené vedení tepla válcovou stěnou v radiálním směru . . . . .	332
	Příklad 16.3-1 Stanovení toku tepla válcovou stěnou . . . . .	335
16.4	Neustálené vedení tepla ve směru kolmém na povrch poloohraničeného masívu . . . . .	337
	Příklad 16.4-1 Stanovení teploty stěny při neustáleném vedení tepla . . . . .	342
<b>17</b>	<b>Sdílení tepla prouděním (přestup tepla) . . . . .</b>	<b>344</b>
17.1	Základní pojmy . . . . .	344
17.1.1	Úvod . . . . .	344
17.1.2	Tepelná mezní vrstva . . . . .	347
17.1.3	Sdílení tepla v turbulentním proudu tekutiny . . . . .	347
17.2	Součinitel přestupu tepla . . . . .	348
17.3	Analogie mezi přestupem tepla a prouděním tekutiny . . . . .	354
17.4	Přestup tepla při kondenzaci čisté nasycené páry . . . . .	356
	Příklad 17.4-1 Kondenzace na stěnách svislé trubky . . . . .	361
17.5	Přestup tepla při proudění trubkou . . . . .	362
	Příklad 17.5-1 Stanovení součinitele přestupu tepla při laminárním proudění trubkou . . . . .	364
	Příklad 17.5-2 Stanovení součinitele přestupu tepla při turbulentním proudění trubkou . . . . .	367
17.6	Přestup tepla při obtékání trubky . . . . .	369
	Příklad 17.6-1 Stanovení součinitele přestupu tepla při obtékání trubky . . . . .	372
	Příklad 17.6-2 Součinitel přestupu tepla při volném proudění vzduchu kolem trubky . . . . .	375
17.7	Přestup tepla při varu . . . . .	376

<b>18</b>	<b>Sdílení tepla sáláním</b>	381
18.1	Základní pojmy	381
18.2	Vyjádření zářivého toku	386
18.3	Výměna tepla sáláním	389
	Příklad 18.3-1 Stanovení součinitele osálení	392
	Příklad 18.3-2 Stanovení toku tepla sáláním	395
	Příklad 18.3-3 Sálání na termoelektrický článek	397
<b>19</b>	<b>Složené sdílení tepla</b>	399
19.1	Úvod	399
19.2	Sdílení tepla konvekcí a sáláním	399
	Příklad 19.2-1 Korekce údaje termoelektrického článku	401
19.3	Prostup tepla	403
19.3.1	Prostup tepla rovinnou stěnou	403
	Příklad 19.3.1-1 Složené sdílení tepla rovinnou stěnou	405
19.3.2	Prostup tepla válcovou stěnou	407
	Příklad 19.3.2-1 Prostup tepla válcovou stěnou	411
19.4	Ustálené vedení tepla tyčí v tekutině dané teploty	413
	Příklad 19.4-1 Vedení tepla tyčí v tekutině	420
<b>20</b>	<b>Výměníky tepla</b>	422
20.1	Úvod	422
20.2	Výměníky tepla s paralelním tokem tekutin	423
20.2.1	Souproudne uspořádání toku tekutin	424
20.2.2	Protiproudne uspořádání toku tekutin	427
	Příklad 20.2.2-1 Stanovení délky výměníku s plášťovými trubkami	429
	Příklad 20.2.2-2 Stanovení počtu a délky trubek svazkového výměníku tepla	431
20.2.3	Převodové jednotky	434
	Příklad 20.2.3-1 Stanovení koncové teploty tekutiny	440
	Příklad 20.2.3-2 Stanovení koncové teploty kondenzátu	441
20.3	Výměníky tepla s křížovým nebo smíšeným tokem tekutin	446
	Příklad 20.3-1 Stanovení délky trubek výměníku se smíšeným tokem tekutin	450
	Příklad 20.3-2 Stanovení koncových teplot při smíšeném toku tekutin	451
20.4	Sdílení tepla v nádobách s promíchávanou kapalinou	453
	Příklad 20.4-1 Stanovení doby chlazení míchané kapaliny	455
<b>21</b>	<b>Odpařování</b>	457
21.1	Úvod	457
21.2	Odpařování v jednom stupni	460
	Příklad 21.2-1 Výpočet jednočlenné odparky	467
	Příklad 21.2-2 Stanovení optimální doby provozu odparky	470
21.3	Tepelná ekonomie odparky	471
	Příklad 21.3-1 Tepelná ekonomie jednočlenné odparky	475
21.4	Odpařování v několika stupních	477
	Příklad 21.4-1 Výpočet dvojčlenné odparky při souproudu	485
	Příklad 21.4-2 Výpočet dvojčlenné odparky při protiproudu	490

<b>IV</b>	<b>SDÍLENÍ HMOTY</b>	
<b>22</b>	<b>Základní pojmy a vztahy ve sdílení hmoty</b>	498
22.1	Úvod	498
22.2	Bilance difundující složky	502
22.3	Vyjádření bilance množství difundující složky pomocí její koncentrace	503
22.4	Makroskopická bilance množství difundující složky	506
<b>23</b>	<b>Molekulová difúze ve směsi dvou složek</b>	508
23.1	Úvod	508
23.2	Ustálená jednorozměrná difúze rovinnou vrstvou	509
	Příklad 23.2-1 Stanovení toku difundující složky a její rychlosti	510
23.3	Ustálená jednorozměrná difúze dvěma vrstvami	512
23.4	Ustálená jednorozměrná difúze vrstvou, provázená chemickou reakcí	514
23.5	Neustálená jednorozměrná difúze polonekonečným masivem	516
<b>24</b>	<b>Přestup hmoty</b>	519
24.1	Úvod	519
24.1.1	Základní pojmy	519
24.1.2	Difúzní mezní vrstva	521
24.1.3	Přestup hmoty v turbulentním proudu tekutiny	522
24.2	Vyjádření přestupu hmoty pomocí empirických součinitelů	522
24.2.1	Součinitel přestupu hmoty	522
24.2.2	Látkový součinitel přestupu hmoty	526
	Příklad 24.2.2-1 Stanovení součinitelů přestupu hmoty	528
24.3	Analogie mezi přestupem hmoty, tepla a hybnosti	530
	Příklad 24.3-1 Analogie mezi přestupem tepla a hmoty	537
24.4	Filmová teorie přestupu hmoty	539
24.5	Teorie obnovování povrchu	542
<b>25</b>	<b>Prostup hmoty</b>	547
25.1	Základní pojmy	547
25.2	Rovnice prostupu hmoty	549
	Příklad 25.2-1 Stanovení součinitele prostupu hmoty	554
<b>26</b>	<b>Výměňky hmoty</b>	558
26.1	Úvod	558
26.2	Hmotnostní (látková) bilance při spojitém styku fází	563
26.2.1	Souproudé uspořádání při ustáleném stavu	564
26.2.2	Protiproudé uspořádání při ustáleném stavu	566
26.2.3	Bilance hmotnosti a rovnováha mezi fázemi	569
26.3	Bilance entalpie při spojitém styku fází	571
26.3.1	Paralelní uspořádání při ustáleném stavu	573
26.4	Plocha výměny hmoty při spojitém styku fází	575
26.5	Výška výměňky se spojitým stykem fází	580
26.5.1	Objemový součinitel přestupu a prostupu hmoty	580
26.5.2	Převodové jednotky	581
26.6	Počet stupňů výměňky se stupňovým stykem fází	592
<b>27</b>	<b>Absorpce</b>	604
27.1	Úvod	604

27.2	Absorpce se spojitým stykem fází . . . . .	606
27.2.1	Látková bilance absorberu . . . . .	606
	Příklad 27.2.1-1 Hmotnostní bilance absorpce . . . . .	609
27.2.2	Entalpická bilance absorberu . . . . .	614
	Příklad 27.2.2-1 Entalpická bilance absorpce . . . . .	616
	Příklad 27.2.2-2 Stanovení rovnovážné čáry při neizotermní absorpci . . . . .	617
27.2.3	Výška absorberu . . . . .	621
	Příklad 27.2.3-1 Stanovení výšky vrstvy výplně . . . . .	624
	Příklad 27.2.3-2 Stanovení výšky absorberu . . . . .	628
	Příklad 27.2.3-3 Výpočet absorpce ve věži s výplní . . . . .	634
27.3	Absorpce se stupňovým stykem fází . . . . .	639
	Příklad 27.3-1 Stanovení počtu rovnovážných pater izotermně pracujícího absorberu . . . . .	641
	Příklad 27.3-2 Stanovení počtu rovnovážných pater adiabaticky pracujícího absorberu . . . . .	642
	Příklad 27.3-3 Odhad počtu pater absorberu . . . . .	648
27.4	Desorpce (exsorpce) . . . . .	648
<b>28</b>	<b>Extrakce . . . . .</b>	<b>650</b>
28.1	Úvod . . . . .	650
28.2	Extrakce se stupňovým stykem fází . . . . .	656
28.2.1	Jednostupňová extrakce . . . . .	656
	Příklad 28.2.1-1 Hmotnostní bilance při jednostupňové extrakci . . . . .	659
	Příklad 28.2.1-2 Hmotnostní bilance při jednostupňové extrakci (poměrové koncentrace) . . . . .	662
28.2.2	Opakovaná extrakce . . . . .	665
	Příklad 28.2.2-1 Hmotnostní bilance při opakované extrakci . . . . .	667
28.2.3	Protiproudá extrakce . . . . .	670
	Příklad 28.2.3-1 Stanovení počtu rovnovážných stupňů extraktorů . . . . .	676
	Příklad 28.2.3-2 Odhad množství a složení produktů z daného extraktorů . . . . .	679
28.2.4	Protiproudá extrakce se zpětným tokem . . . . .	680
28.3	Extrakce se spojitým stykem fází . . . . .	684
<b>29</b>	<b>Destilace . . . . .</b>	<b>687</b>
29.1	Úvod . . . . .	687
29.2	Rovnovážná destilace (jednostupňová nepřetržitá destilace) . . . . .	690
29.3	Nepřetržitá rektifikace (vícestupňová nepřetržitá destilace) . . . . .	694
29.3.1	Rovnice bilancí a počet rovnovážných stupňů . . . . .	694
	Příklad 29.3.1-1 Výpočet patrové rektifikační věže . . . . .	700
29.3.2	Změna poměru zpětného toku . . . . .	704
	Příklad 29.3.2-1 Stanovení $R_{\min}$ a $N_{\min}$ . . . . .	706
29.3.3	Konstantní látkové toky fází . . . . .	707
	Příklad 29.3.3-1 Rektifikace při konstantním látkovém toku fází . . . . .	712
	Příklad 29.3.3-2 Stanovení počtu pater při $\psi_A = \text{konst}$ . . . . .	715
29.4	Diferenciální destilace (jednostupňová periodická destilace) . . . . .	716
	Příklad 29.4-1 Porovnání diferenciální a rovnovážné destilace . . . . .	721
29.5	Periodická rektifikace . . . . .	724
	Příklad 29.5-1 Periodická rektifikace při konstantním poměru zpětného toku . . . . .	730
29.6	Rektifikace se spojitým stykem fází . . . . .	733



29.7	Jiné metody destilace . . . . .	736
	Příklad 29.7-1 Destilace vodní párou . . . . .	741
<b>30</b>	<b>Adsorpce . . . . .</b>	<b>744</b>
30.1	Úvod . . . . .	744
30.2	Adsorpce se stupňovým stykem fází . . . . .	751
30.2.1	Jednostupňová adsorpce . . . . .	751
30.2.2	Opakovaná adsorpce . . . . .	753
30.2.3	Protiproudá adsorpce . . . . .	754
	Příklad 30.2-1 Výpočet stupňového adsorbéru . . . . .	758
30.3	Ustálená adsorpce se spojitým stykem fází . . . . .	762
	Příklad 30.3-1 Výpočet adsorbéru se spojitým stykem fází . . . . .	767
30.4	Neustálená adsorpce se spojitým stykem fází . . . . .	771
	Příklad 30.4-1 Stanovení doby adsorpce . . . . .	775
<b>31</b>	<b>Sušení . . . . .</b>	<b>779</b>
31.1	Úvod . . . . .	779
31.1.1	Základní pojmy . . . . .	779
31.1.2	Rovnováha mezi vlhkým materiálem a plynem . . . . .	782
31.1.3	Entalpický diagram . . . . .	783
	Příklad 31.1-1 Stanovení vlastností vzduchu . . . . .	786
31.2	Periodické sušení . . . . .	787
31.2.1	Bilance hmotnosti a entalpie . . . . .	788
31.2.2	Rychlost sušení . . . . .	792
	Příklad 31.2-1 Stanovení doby sušení . . . . .	799
31.3	Kontinuální sušení . . . . .	803
	Příklad 31.3-1 Bilance kontinuální sušárny . . . . .	806
	Příklad 31.3-2 Rychlost sušení v kontinuálně pracující sušárně . . . . .	812
<b>V</b>	<b>PŘÍLOHY</b>	
	A. Řešení bilančních rovnic transportních dějů . . . . .	818
	B. Ustálené izotermní proudění nestlačitelné tekutiny v laminární mezní vrstvě podél rovinné stěny . . . . .	820
	C. Vrstva zrnitého materiálu . . . . .	826
	D. Ustálený přestup tepla v laminární mezní vrstvě nestlačitelné tekutiny proudící podél rovinné stěny . . . . .	835
	E. Ustálený přestup hmoty v laminární mezní vrstvě nestlačitelné tekutiny proudící podél rovinné stěny . . . . .	841
	<b>Literatura . . . . .</b>	<b>847</b>
	<b>Rejstřík . . . . .</b>	<b>861</b>