

Obsah

	Seznam častěji používaných symbolů	13
I	ZÁKLADNÍ POJMY A VZTAHY	
1	Úvod	22
2	Jednotky a rozměry	26
2.1	Pojem jednotky a rozměru	26
2.2	Soustavy měř	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 spojitého prostředí — lokální bilance	75
5.4	Bilance pro elementární objem pohybující se rychlostí spojitého 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
II	PROUDĚNÍ TEKUTIN (SDÍLENÍ HYBNOSTI)	
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 hybnosti 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
7	Tekutina v klidu	107
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
8	Izotermní proudění ideální tekutiny	120
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
9	Ustálené izotermní proudění nestlačitelné tekutiny potrubím	130
9.1	Řešení rovnic proudění při laminárním toku	130
9.2	Turbulentní proudění tekutiny	136
9.3	Kritériální 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
10	Proudění tekutiny nehybnou vrstvou zrnitého materiálu	181
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
11	Filtrace	195
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
12	Usazování	220
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
13	Fluidace	264
	<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
14	Míchání kapalin mechanickými míchadly	300
14.1	Úvod	300
14.2	Proudění kapaliny při míchání	301
14.3	Doba promíchávání	303
14.4	Příklad míchadla	307
	Příklad 14.4-1 Stanovení příkonu míchadla	312
	Příklad 14.4-2 Odhad charakteristik míchacího zařízení	313
 III SDÍLENÍ TEPLA		
15	Základní pojmy a vztahy ve sdílení tepla	316
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
16	Sdílení tepla vedením v nehybném prostředí	325
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
17	Sdílení tepla prouděním (přestup tepla)	344
17.1	Základní pojmy	344
17.1.1	Úvod	344
17.1.2	Tepelná mezní vrstva	347
17.1.3	Sdílení tepla v turbulentním proudě 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

18	Sdílení tepla sáláním	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
19	Složené sdílení tepla	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
20	Výměníky tepla	422
20.1	Úvod	422
20.2	Výměníky tepla s paralelním tokem tekutin	423
20.2.1	Souproudné uspořádání toku tekutin	424
20.2.2	Protiproudné 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
21	Odpařování	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 dvojitelné odparky při souproudu	485
	Příklad 21.4-2 Výpočet dvojitelné odparky při protiproudu	490

IV SDÍLENÍ HMOTY

22	Základní pojmy a vztahy ve sdílení hmoty	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
23	Molekulová difúze ve směsi dvou složek	508
23.1	Úvod	508
23.2	Ustálená jednorozměrná difúze rovinou 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
24	Přestup hmoty	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
25	Prostup hmoty	547
25.1	Základní pojmy	547
25.2	Rovnice prostupu hmoty	549
	Příklad 25.2-1 Stanovení součinitele prostupu hmoty	554
26	Výměníky hmoty	558
26.1	Úvod	558
26.2	Hmotnostní (látková) bilance při spojitém styku fází	563
26.2.1	Souproudné uspořádání při ustáleném stavu	564
26.2.2	Protiproudné 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 výměníku 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 výměníku se stupňovým stykem fází	592
27	Absorpce	604
27.1	Úvod	604

27.2	Absorpce se spojitým stykem fází	606
27.2.1	Látková bilance absorbéru	606
	Příklad 27.2.1-1 Hmotnostní bilance absorpce	609
27.2.2	Entalpická bilance absorbéru	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 absorbéru	621
	Příklad 27.2.3-1 Stanovení výšky vrstvy výplně	624
	Příklad 27.2.3-2 Stanovení výšky absorbéru	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 absorbéru	641
	Příklad 27.3-2 Stanovení počtu rovnovážných pater adiabaticky pracujícího absorbéru	642
	Příklad 27.3-3 Odhad počtu pater absorbéru	648
27.4	Desorpce (exsorpe)	648
28	Extrakce	650
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 extraktoru	676
	Příklad 28.2.3-2 Odhad množství a složení produktů z daného extraktoru	679
28.2.4	Protiproudá extrakce se zpětným tokem	680
28.3	Extrakce se spojitým stykem fází	684
29	Destilace	687
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
30	Adsorpce	744
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
31	Sušení	779
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

V PŘÍLOHY

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
	Literatura	847
	Rejstřík	861