

# Obsah

|          |                                                             |           |
|----------|-------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Základy bilancování</b>                                  | <b>7</b>  |
| 1.1      | Bilanční rovnice                                            | 7         |
| 1.2      | Bilance za diferenciální bilanční období                    | 11        |
| 1.3      | Bilanční rovnice pro ustálený stav                          | 12        |
| 1.4      | Bilanční rovnice pro uzavřený systém                        | 13        |
| 1.5      | Bilanční rovnice za předpokladu zachování                   | 13        |
| 1.6      | Bilanční rovnice pro ustálený stav za předpokladu zachování | 13        |
| 1.7      | Bilanční schéma                                             | 13        |
| 1.8      | Incidenční matice                                           | 14        |
| <b>2</b> | <b>Materiálové bilance</b>                                  | <b>15</b> |
| 2.1      | Bilance hmotnosti a látkového množství směsi a složek       | 15        |
| 2.2      | Fiktivní proudy                                             | 19        |
| 2.3      | Strategie bilančních výpočtů                                | 22        |
| <b>3</b> | <b>Základy hydrodynamických procesů</b>                     | <b>34</b> |
| 3.1      | Hydrostatika                                                | 34        |
| 3.2      | Proudění tekutin                                            | 37        |
| 3.3      | Teorie podobnosti                                           | 43        |
| 3.4      | Proudění tekutiny trubkou kruhového průřezu                 | 44        |
| 3.5      | Proudění nekruhovým průřezem – ekvivalentní průměr          | 48        |
| 3.6      | Proudění v porézních materiálech                            | 49        |
| <b>4</b> | <b>Doprava tekutin</b>                                      | <b>55</b> |
| 4.1      | Charakteristika čerpadel a potrubí                          | 58        |
| 4.2      | Sací a výtlačná výška                                       | 61        |
| <b>5</b> | <b>Filtrace</b>                                             | <b>71</b> |
| 5.1      | Filtrační přepážky a některé typy filtrů                    | 74        |
| 5.1.1    | Filtrační přepážky                                          | 74        |
| 5.1.2    | Některé typy vsádkových a kontinuálních filtrů              | 75        |
| 5.2      | Bilance hmotnosti a objemu při filtraci                     | 78        |
| 5.3      | Kinetika koláčové filtrace                                  | 79        |
| 5.3.1    | Filtrace při konstantní rychlosti                           | 81        |
| 5.3.2    | Filtrace při konstantním filtračním rozdílu tlaků           | 82        |
| 5.3.3    | Filtrační konstanty                                         | 82        |
| 5.3.4    | Promývání filtračního koláče                                | 83        |
| 5.3.5    | Filtrační cyklus                                            | 84        |

|           |                                                                  |            |
|-----------|------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>6</b>  | <b>Usazování</b>                                                 | <b>92</b>  |
| 6.1       | Základní vztahy a definice . . . . .                             | 92         |
| 6.1.1     | Síly působící na částici . . . . .                               | 92         |
| 6.1.2     | Výpočet usazovací rychlosti izolované částice . . . . .          | 94         |
| 6.1.3     | Usazování nekulových částic . . . . .                            | 94         |
| 6.2       | Usazovák . . . . .                                               | 95         |
| 6.2.1     | Gravitační usazovák . . . . .                                    | 95         |
| 6.2.2     | Usazovací odstředivka . . . . .                                  | 96         |
| 6.2.3     | Cyklón . . . . .                                                 | 97         |
| <b>7</b>  | <b>Fluidace</b>                                                  | <b>103</b> |
| 7.1       | Tlaková ztráta fluidní vrstvy a některé definice . . . . .       | 104        |
| 7.2       | Práh fluidace kulových částic . . . . .                          | 105        |
| 7.3       | Expanze rovnoměrné fluidní vrstvy kulových částic . . . . .      | 106        |
| <b>8</b>  | <b>Míchání</b>                                                   | <b>110</b> |
| 8.1       | Mísení sypkých materiálů . . . . .                               | 110        |
| 8.2       | Míchání kapalin mechanickými míchadly . . . . .                  | 113        |
| 8.2.1     | Modelování míchacích zařízení . . . . .                          | 118        |
| <b>9</b>  | <b>Bilance entalpie</b>                                          | <b>123</b> |
| 9.1       | První věta termodynamická – bilance uzavřeného systému . . . . . | 124        |
| 9.2       | Bilance entalpie otevřeného systému . . . . .                    | 126        |
| 9.3       | Bilance entalpie pro diferenciální bilanční období . . . . .     | 130        |
| 9.3.1     | Úlohy . . . . .                                                  | 141        |
| <b>10</b> | <b>Základy sdílení tepla</b>                                     | <b>143</b> |
| 10.1      | Fourierova rovnice pro vedení tepla . . . . .                    | 143        |
| 10.2      | Vedení tepla rovinou stěnou . . . . .                            | 143        |
| 10.3      | Vedení tepla válcovou stěnou . . . . .                           | 144        |
| 10.4      | Newtonův ochlazovací zákon - přestup tepla . . . . .             | 145        |
| 10.5      | Složené sdílení tepla - prostup tepla . . . . .                  | 146        |
| 10.6      | Složené sdílení tepla rovinou stěnou . . . . .                   | 147        |
| 10.7      | Složené sdílení tepla válcovou stěnou . . . . .                  | 147        |
| 10.8      | Fourierova-Kirchhoffova rovnice . . . . .                        | 147        |
| 10.9      | Kritéria podobnosti pro tepelné procesy . . . . .                | 149        |
| 10.10     | Přestup tepla při varu a kondenzaci . . . . .                    | 151        |
| <b>11</b> | <b>Výměníky tepla</b>                                            | <b>154</b> |
| 11.1      | Příklady konstrukce výměníků tepla . . . . .                     | 154        |
| 11.2      | Celková bilance výměníku tepla . . . . .                         | 154        |
| 11.3      | Diferenciální bilance protiproudého výměníku tepla . . . . .     | 155        |
| <b>12</b> | <b>Odparky</b>                                                   | <b>161</b> |
| 12.1      | Odpařovací zařízení . . . . .                                    | 161        |
| 12.2      | Výpočet jednočlenné odparky . . . . .                            | 163        |

|                                                           |            |
|-----------------------------------------------------------|------------|
| <b>13 Základy sdílení hmoty</b>                           | <b>171</b> |
| 13.1 Mezifázová rovnováha                                 | 172        |
| 13.2 Molekulární přenos hmoty – difuze                    | 174        |
| 13.3 Přenos hmoty při proudění – konvekce                 | 175        |
| 13.4 Rovnice kontinuity složky                            | 175        |
| 13.5 Přenos hmoty k fázovému rozhraní – přestup           | 176        |
| 13.5.1 Určení součinitele přestupu                        | 177        |
| 13.6 Přenos hmoty z jedné fáze do druhé – prostup         | 178        |
| 13.7 Typy výměníků hmoty                                  | 182        |
| <b>14 Extrakce</b>                                        | <b>188</b> |
| 14.1 Zařízení pro extrakci                                | 190        |
| 14.2 Jednostupňová extrakce                               | 192        |
| 14.3 Opakovaná extrakce                                   | 193        |
| 14.4 Protiproudá extrakce                                 | 197        |
| <b>15 Absorpce</b>                                        | <b>204</b> |
| 15.1 Bilance absorpční kolony                             | 205        |
| 15.2 Minimální spotřeba rozpouštědla                      | 207        |
| 15.3 Absorpce se spojitým kontaktem fází                  | 208        |
| 15.4 Stupňová protiproudá absorpce                        | 211        |
| 15.5 Desorpce                                             | 214        |
| <b>16 Destilace a rektifikace</b>                         | <b>223</b> |
| 16.1 Rovnováha kapalina-pára                              | 223        |
| 16.2 Mžiková destilace                                    | 226        |
| 16.3 Kontinuální rektifikace v patrové koloně             | 229        |
| 16.4 Kontinuální rektifikace v plněné koloně              | 236        |
| 16.5 Vsádková destilace                                   | 236        |
| 16.6 Vsádková destilace s rektifikací                     | 240        |
| <b>17 Sušení</b>                                          | <b>244</b> |
| 17.1 Vlastnosti vlhkého vzduchu                           | 245        |
| 17.2 Vlastnosti sušeného materiálu                        | 248        |
| 17.3 Kinetika konvekčního sušení                          | 250        |
| 17.4 Vsádková (periodická) konvekční sušárna              | 251        |
| 17.5 Kontinuální konvekční sušárna                        | 255        |
| 17.6 Druhy sušáren                                        | 259        |
| <b>18 Chemické reaktory</b>                               | <b>265</b> |
| 18.1 Chemická reakční kinetika pro jednu nevratnou reakci | 266        |
| 18.2 Charakterizace průběhu reakce                        | 268        |
| 18.3 Reakční teplo                                        | 269        |
| 18.4 Chemická reakční kinetika pro soustavy reakcí        | 270        |
| 18.5 Průtočný ideálně míchaný reaktor                     | 273        |
| 18.6 Kaskáda průtočných ideálně míchaných reaktorů        | 276        |
| 18.7 Vsádkový ideálně míchaný reaktor                     | 277        |
| 18.8 Trubkový reaktor s pístovým tokem                    | 278        |
| 18.9 Heterogenně katalytické reaktory                     | 281        |

|                                                         |            |
|---------------------------------------------------------|------------|
| <b>19 Principy membránových procesů</b>                 | <b>286</b> |
| 19.1 Princip a třídění membránových separačních procesů | 286        |
| 19.2 Membrány a jejich charakterizace                   | 288        |
| 19.3 Aplikační formy membrán a membránové moduly        | 290        |
| 19.4 Vlastnosti membrán a membránových modulů           | 292        |
| 19.5 Bilancování membránových separačních procesů       | 294        |
| 19.6 Koncentrační polarizace                            | 295        |
| 19.7 Kinetika membránových procesů                      | 297        |
| 19.7.1 Mikrofiltrace a ultrafiltrace                    | 297        |
| 19.7.2 Membránová separace plynů                        | 299        |
| 19.7.3 Pervaporace                                      | 300        |
| 19.7.4 Reversní osmóza (hyperfiltrace)                  | 301        |
| 19.7.5 Dialýza                                          | 302        |
| 19.7.6 Velikost plochy membrány                         | 303        |
| <b>20 Přílohy</b>                                       | <b>305</b> |
| 20.1 Směsi a složky                                     | 305        |
| 20.1.1 Vyjadřování složení směsí                        | 306        |
| 20.1.2 Přepočty složení směsí                           | 307        |
| 20.1.3 Vztahy pro ideální směsi ideálních plynů         | 307        |
| 20.1.4 Vztahy pro směsi zachovávající objem složek      | 308        |
| 20.2 Změna entalpie se změnou teploty, tlaku a složení  | 308        |
| 20.3 Změna entalpie se změnou skupenství                | 310        |
| 20.4 Základní diferenciální vektorové operace           | 311        |
| 20.4.1 Gradient skalárního pole                         | 311        |
| 20.4.2 Divergence vektorového pole                      | 311        |
| 20.4.3 Laplaceův operátor                               | 311        |
| 20.4.4 Materiálová derivace                             | 311        |
| 20.5 Teorie podobnosti                                  | 312        |
| 20.5.1 Kritéria podobnosti pro sdílení hybnosti         | 312        |
| 20.5.2 Kritéria podobnosti pro sdílení tepla            | 312        |
| 20.5.3 Kritéria podobnosti pro sdílení hmoty            | 313        |
| 20.6 Určení výšky absorberu při lineární rovnováze      | 314        |
| 20.7 Lokální bilance                                    | 316        |