

# Obsah

|         |                                                                 |    |
|---------|-----------------------------------------------------------------|----|
| 1       | Úvod (Lodes) . . . . .                                          | 13 |
| 2       | Problémy chemickej techniky (Lodes) . . . . .                   | 17 |
| 3       | Základné pojmy a ich fyzikálny význam (Lodes). . . . .          | 21 |
| 3.1     | Veličiny, jednotky, rozmery, rovnice . . . . .                  | 22 |
| 3.1.1   | Meranie substanciálnych veličín . . . . .                       | 22 |
| 3.1.2   | Sústavy jednotiek . . . . .                                     | 23 |
| 3.1.3   | Rozmery fyzikálnych veličín . . . . .                           | 28 |
| 3.1.4   | Druhy metrologických rovníc . . . . .                           | 30 |
| 3.2     | Tenzory, operátory, pole . . . . .                              | 32 |
| 3.2.1   | Matematické operácie s tenzormi. . . . .                        | 33 |
| 3.2.1.1 | Súčet a rozdiel dvoch vektorov . . . . .                        | 34 |
| 3.2.1.2 | Súčiny vektorov . . . . .                                       | 35 |
| 3.2.2   | Tenzory a dyády. . . . .                                        | 38 |
| 3.2.3   | Operátory — derivácie vektorových veličín . . . . .             | 39 |
| 3.2.4   | Integrály vektorových veličín . . . . .                         | 41 |
| 3.2.4.1 | Krivkový integrál vektorov . . . . .                            | 41 |
| 3.2.4.2 | Plošný integrál vektorov . . . . .                              | 41 |
| 3.2.4.3 | Stokesov teorém. . . . .                                        | 42 |
| 3.2.4.4 | Gaussov teorém . . . . .                                        | 42 |
| 3.2.4.5 | Greenove teorémy . . . . .                                      | 42 |
| 3.2.5   | Skalárne a vektorové pole. . . . .                              | 43 |
| 3.2.5.1 | Skalárne pole . . . . .                                         | 43 |
| 3.2.5.2 | Vektorové pole . . . . .                                        | 44 |
| 3.3     | Tok a hustota toku vlastností . . . . .                         | 47 |
| 3.4     | Bilancie . . . . .                                              | 49 |
| 3.4.1   | Teoretické základy bilančných výpočtov. . . . .                 | 49 |
| 3.4.1.1 | Matematická analógia pri formulácii bilančných rovníc . . . . . | 51 |
| 3.4.1.2 | Spojité prostredie — kontinuum . . . . .                        | 52 |
| 3.4.1.3 | Extenzitné a intenzitné fyzikálne veličiny . . . . .            | 56 |
| 3.4.2   | Všeobecná diferenciálna bilančná rovnica . . . . .              | 60 |
| 3.4.2.1 | Úpravy všeobecnej diferenciálnej bilančnej rovnice . . . . .    | 65 |
| 3.4.2.2 | Diferenciálna bilancia hmotnosti — rovnica kontinuity . . . . . | 67 |

|         |                                                                                                                            |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.4.2.3 | Diferenciálna bilancia hybnosti . . . . .                                                                                  | 70  |
| 3.4.2.4 | Diferenciálna bilančná rovnica energie . . . . .                                                                           | 74  |
| 3.4.2.5 | Diferenciálna rovnica mechanickej energie — Bernoulliho rovnica . . . . .                                                  | 75  |
| 3.4.2.6 | Diferenciálna bilančná rovnica vnútornej energie . . . . .                                                                 | 77  |
| 3.5     | Konštitutívne rovnice — rovnice rýchlosti prenosu vlastností vedením (molekulovým transportom). . . . .                    | 79  |
| 3.5.1   | Reológia — konštitutívne rovnice newtonovských a nenewtonovských sústav . . . . .                                          | 85  |
| 3.5.2   | Simultánne použitie diferenciálnych bilančných a konštitutívnych rovníc . . . . .                                          | 91  |
| 3.5.2.1 | Bilancia hybnosti a rýchlostný profil v kvapaline na zvislej stene pri laminárnom toku . . . . .                           | 92  |
| 3.5.2.2 | Bilancia energie a teplotné pole v sústave s vnútorným zdrojom tepla z viskozitnej disipácie mechanickej energie . . . . . | 97  |
| 3.5.3   | Podmienky jednoznačnosti na riešenie diferenciálnych rovníc bilancii a polí . . . . .                                      | 100 |
| 3.6     | Integrálne, makroskopické bilančné rovnice . . . . .                                                                       | 106 |
| 3.6.1   | Integrálna bilancia hmotnosti jednoduchej sústavy . . . . .                                                                | 109 |
| 3.6.2   | Bilancie hmotnosti integrálnej viaczložkovej sústavy s chemickou reakciou a akumuláciou . . . . .                          | 110 |
| 3.6.3   | Bilancie hybnosti integrálnej sústavy . . . . .                                                                            | 121 |
| 3.6.4   | Bilancia energie jednoduchej integrálnej sústavy . . . . .                                                                 | 122 |
| 3.6.5   | Bilancia energie zložitej integrálnej sústavy. . . . .                                                                     | 124 |
| 3.6.6   | Rovnica mechanickej energie integrálnej sústavy — Bernoulliho rovnica integrálnej sústavy . . . . .                        | 126 |
| 3.7     | Príklady bilančných výpočtov . . . . .                                                                                     | 133 |
| 3.7.1   | Bilancia konverzie vodného plynu pri výrobe vodíka — bilancia množstva látky a výpočty zloženia zmesi . . . . .            | 133 |
| 3.7.2   | Simultánne riešenie bilančných rovníc hmotnosti, energie a hybnosti neizobarického miešania plynov . . . . .               | 141 |
| 3.7.3   | Bilancia rozpúšťania soli v kvapaline v sústave s akumuláciou . . . . .                                                    | 147 |
| 3.7.4   | Bilancia hmotnosti uzavretého zásobníka s neustáleným prietokom kvapaliny . . . . .                                        | 150 |
| 3.7.5   | Materiálová bilancia neustáleného systému s nevratnou chemickou reakciou II. poriadku . . . . .                            | 159 |
| 3.8     | Úlohy z bilančných výpočtov . . . . .                                                                                      | 169 |
| 3.8.1   | Materiálová bilancia kryštalizácie . . . . .                                                                               | 169 |
| 3.8.2   | Výpočet rýchlostného a teplotného poľa v laminárnom toku . . . . .                                                         | 169 |
| 3.8.3   | Úprava diferenciálnej bilančnej rovnice mechanickej energie pre izotermický tok . . . . .                                  | 170 |
| 3.8.4   | Bilancia hmotnosti odparky . . . . .                                                                                       | 170 |
| 3.8.5   | Bilancia hmotnosti extrakcie. . . . .                                                                                      | 171 |
| 3.8.6   | Bilancia hmotnosti spaľovacieho procesu . . . . .                                                                          | 171 |
| 3.8.7   | Tepelná bilancia kondenzátora. . . . .                                                                                     | 171 |
| 3.8.8   | Teplota spalín pri spaľovaní plynu . . . . .                                                                               | 172 |
| 3.8.9   | Výpočet teploty vody vystupujúcej z kondenzátora . . . . .                                                                 | 172 |
| 3.8.10  | Tepelná a hmotnostná bilancia prúdenia v potrubí . . . . .                                                                 | 172 |
| 4       | <b>Prenos hybnosti — hydromechanika (Lodes)</b> . . . . .                                                                  | 176 |
| 4.1     | Operácie založené na prenose hybnosti . . . . .                                                                            | 176 |
| 4.1.1   | Prúdnic, prúdová rúrka, prúdová funkcia. . . . .                                                                           | 178 |
| 4.1.2   | Potenciálový tok. . . . .                                                                                                  | 180 |
| 4.1.3   | Viskozita tekutín a ich zmesí . . . . .                                                                                    | 183 |

|         |                                                                                                    |     |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.1.3.1 | Viskozita plynov a ich zmesí . . . . .                                                             | 184 |
| 4.1.3.2 | Viskozita kvapalín . . . . .                                                                       | 185 |
| 4.1.3.3 | Zdanlivá viskozita nenewtonovských tekutín . . . . .                                               | 186 |
| 4.2     | Druhy toku tekutín — charakter toku . . . . .                                                      | 187 |
| 4.3     | Turbulentný tok . . . . .                                                                          | 190 |
| 4.3.1   | Homogénny a izotropný turbulentný tok . . . . .                                                    | 192 |
| 4.3.2   | Intenzita turbulencie . . . . .                                                                    | 193 |
| 4.3.3   | Korelačné funkcie a mierky turbulencie . . . . .                                                   | 194 |
| 4.3.4   | Integrálne mierky turbulencie . . . . .                                                            | 196 |
| 4.4     | Bilancia hmotnosti, hybnosti a mechanickej energie v tekutine . . . . .                            | 197 |
| 4.4.1   | Bilancia hmotnosti pri toku v rúrkach . . . . .                                                    | 197 |
| 4.4.2   | Bilancia hybnosti pri prúde tekutiny v rúrke . . . . .                                             | 198 |
| 4.4.2.1 | Bilancia hybnosti v neustálenom toku . . . . .                                                     | 198 |
| 4.4.2.2 | Bilancia hybnosti a rýchlostné pole v ustálenom toku tekutiny pri laminárnom prúde . . . . .       | 199 |
| 4.4.3   | Rozmerová analýza . . . . .                                                                        | 205 |
| 4.4.4   | Teória podobnosti . . . . .                                                                        | 210 |
| 4.4.5   | Rovnica mechanickej energie pre ustálený tok tekutiny v rúrke — Bernoulliho rovnica . . . . .      | 216 |
| 4.4.6   | Rýchlostné pole pri turbulentnom prúde tekutiny . . . . .                                          | 218 |
| 4.4.6.1 | Semiempirické rovnice pre Reynoldsovo turbulentné napätie . . . . .                                | 218 |
| 4.4.6.2 | Rýchlostné pole v turbulentnom jadre a turbulentnej medznej vrstve pri prúde v rúrke . . . . .     | 221 |
| 4.5     | Hydrostatika . . . . .                                                                             | 228 |
| 4.6     | Stratová výška — straty tlaku trením a miestne straty . . . . .                                    | 230 |
| 4.6.1   | Straty trením v rúrke . . . . .                                                                    | 230 |
| 4.6.2   | Miestne straty tlaku . . . . .                                                                     | 238 |
| 4.6.3   | Celková hodnota stratovej výšky — $h_{st}$ . . . . .                                               | 240 |
| 4.7     | Pohyb tuhých častíc vo viskóznom prostredí — obtekanie tuhých telies viskóznou tekutinou . . . . . | 241 |
| 4.8     | Tok tekutín vrstvami zrnitého materiálu . . . . .                                                  | 251 |
| 4.8.1   | Jednofázový tok tekutiny vrstvou zrnitého materiálu . . . . .                                      | 256 |
| 4.8.1.1 | Laminárny charakter toku pri prúde tekutiny vrstvou zrnitého materiálu . . . . .                   | 257 |
| 4.8.1.2 | Turbulentný charakter toku pri prúde tekutiny vrstvou zrnitého materiálu . . . . .                 | 259 |
| 4.8.1.3 | Prechodný charakter toku pri prúde tekutiny vrstvou zrnitého materiálu . . . . .                   | 260 |
| 4.8.2   | Dvojfázový tok tekutiny vrstvou zrnitého materiálu . . . . .                                       | 261 |
| 4.8.3   | Tok dvoch navzájom nemiešajúcich sa kvapalín cez vrstvu zrnitého materiálu . . . . .               | 266 |
| 4.8.4   | Filtrácia . . . . .                                                                                | 267 |
| 4.8.4.1 | Bilančné rovnice hmotnosti filtrácie . . . . .                                                     | 268 |
| 4.8.4.2 | Rýchlosť filtrácie . . . . .                                                                       | 268 |
| 4.8.4.3 | Filtrácia pri stálom rozdieli tlaku . . . . .                                                      | 272 |
| 4.8.4.4 | Filtrácia pri konštantnej rýchlosti . . . . .                                                      | 275 |
| 4.8.4.5 | Filtračné zariadenia . . . . .                                                                     | 275 |
| 4.8.5   | Zariadenia na oddeľovanie tuhých častíc z tekutiny v gravitačnom a odstredivom poli . . . . .      | 281 |
| 4.8.5.1 | Usadzovače . . . . .                                                                               | 281 |
| 4.8.5.2 | Cyklóny . . . . .                                                                                  | 284 |
| 4.8.5.3 | Usadzovacie odstredivky . . . . .                                                                  | 286 |
| 4.9     | Fluidizácia . . . . .                                                                              | 288 |

|         |                                                                                                                         |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.9.1   | Kvantitatívne závislosti vo fluidizácii . . . . .                                                                       | 291 |
| 4.9.2   | Rovnice expanzie fluidizácie . . . . .                                                                                  | 292 |
| 4.9.3   | Rovnice na odhad prahovej rýchlosti fluidizácie . . . . .                                                               | 294 |
| 4.9.4   | Prahová rýchlosť fluidizácie polydisperzných vrstiev častíc . . . . .                                                   | 297 |
| 4.9.5   | Kritériá rovnomernosti fluidizovanej vrstvy . . . . .                                                                   | 298 |
| 4.9.6   | Úlet častíc z fluidizovanej vrstvy . . . . .                                                                            | 300 |
| 4.10    | Meranie lokálnych rýchlostí a prietokových množstiev . . . . .                                                          | 304 |
| 4.10.1  | Odporové anemometre — termoanemometre . . . . .                                                                         | 305 |
| 4.10.2  | Laserové dopplerovské anemometre . . . . .                                                                              | 310 |
| 4.10.3  | Mechanické anemometre — Pitotove, Pitotove—Prandtllove rúrky . . . . .                                                  | 312 |
| 4.10.4  | Meranie prietokových množstiev clonkami a venturimetrami . . . . .                                                      | 314 |
| 4.10.5  | Rotametre . . . . .                                                                                                     | 319 |
| 4.10.6  | Výtok kvapaliny otvorom v nádobe . . . . .                                                                              | 322 |
| 4.11    | Čerpadlá . . . . .                                                                                                      | 324 |
| 4.11.1  | Odstredivé čerpadlá . . . . .                                                                                           | 328 |
| 4.11.2  | Potrubie so zaradeným čerpadlom a podobnosť čerpadiel . . . . .                                                         | 333 |
| 4.11.3  | Výhody a nevýhody odstredivých čerpadiel . . . . .                                                                      | 336 |
| 4.11.4  | Výkon odstredivého čerpadla . . . . .                                                                                   | 337 |
| 4.11.5  | Rotačné čerpadlá . . . . .                                                                                              | 338 |
| 4.11.6  | Piestové čerpadlá . . . . .                                                                                             | 339 |
| 4.11.7  | Monžikové dávkovače kvapalín . . . . .                                                                                  | 342 |
| 4.11.8  | Prúdové čerpadlá . . . . .                                                                                              | 342 |
| 4.11.9  | Mamutky . . . . .                                                                                                       | 343 |
| 4.12    | Miešanie kvapalín . . . . .                                                                                             | 344 |
| 4.13    | Príklady z hydromechaniky . . . . .                                                                                     | 351 |
| 4.13.1  | Určenie charakteru toku, rýchlostného poľa a objemového prietoku pri prúde<br>rúrkou . . . . .                          | 351 |
| 4.13.2  | Pomer viskozity a turbulentnej viskozity a závislosti od súradníc pri turbulent-<br>nom toku kvapaliny rúrkou . . . . . | 352 |
| 4.13.3  | Výpočet výkonu čerpadla . . . . .                                                                                       | 354 |
| 4.13.4  | Výpočet rýchlosti a objemového prietoku . . . . .                                                                       | 356 |
| 4.13.5  | Strata tlaku v náplňovej kolóne . . . . .                                                                               | 358 |
| 4.13.6  | Meranie prietokového množstva clonkou . . . . .                                                                         | 360 |
| 4.13.7  | Prepočet charakteristiky odstredivého čerpadla . . . . .                                                                | 361 |
| 4.14    | Úlohy z hydromechaniky . . . . .                                                                                        | 361 |
| 4.14.1  | Určenie charakteru toku prúdenia v rúrke . . . . .                                                                      | 361 |
| 4.14.2  | Určenie kritických rýchlostí zmeny charakteru toku . . . . .                                                            | 361 |
| 4.14.3  | Výpočet stratovej výšky . . . . .                                                                                       | 362 |
| 4.14.4  | Výpočet výkonu na prekonanie strát tlaku . . . . .                                                                      | 362 |
| 4.14.5  | Určenie tlaku na výstupe z čerpadla . . . . .                                                                           | 362 |
| 4.14.6  | Výpočet straty tlaku pri prúde vody . . . . .                                                                           | 362 |
| 4.14.7  | Výpočet priemeru rúrky . . . . .                                                                                        | 362 |
| 4.14.8  | Hmotnostný prietok clonkou . . . . .                                                                                    | 362 |
| 4.14.9  | Zmena počtu otáčok alebo odporu odstredivého čerpadla . . . . .                                                         | 363 |
| 4.14.10 | Strata tlaku v náplňovej kolóne . . . . .                                                                               | 363 |
| 4.14.11 | Veľkosť častíc pri usadzovaní . . . . .                                                                                 | 363 |
| 5       | <b>Prestup tepla (Langfelder)</b> . . . . .                                                                             | 364 |

|           |                                                                                                                 |            |
|-----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.1       | Úvod . . . . .                                                                                                  | 364        |
| 5.2       | Základné pojmy a závislosti . . . . .                                                                           | 365        |
| 5.2.1     | Spôsoby prestupu tepla . . . . .                                                                                | 365        |
| 5.2.2     | Gradient teploty . . . . .                                                                                      | 366        |
| 5.2.3     | Tok tepla a hustota toku tepla . . . . .                                                                        | 368        |
| 5.2.4     | Fourierov zákon . . . . .                                                                                       | 370        |
| 5.2.5     | Diferenciálna rovnica teplotného poľa v telese . . . . .                                                        | 372        |
| 5.2.6     | Ustálený a neustálený prestup tepla . . . . .                                                                   | 378        |
| 5.2.7     | Jednosmerné teplotné pole . . . . .                                                                             | 378        |
| 5.3       | Vedenie tepla . . . . .                                                                                         | 379        |
| 5.3.1     | Vedenie tepla v ustálenom stave . . . . .                                                                       | 379        |
| 5.3.1.1   | Jednosmerné vedenie tepla cez jednoduchú rovinnú platňu (rovnú stenu) . . . . .                                 | 379        |
| 5.3.1.2   | Jednosmerné vedenie tepla cez zloženú rovinnú platňu (rovnú stenu) . . . . .                                    | 382        |
| 5.3.1.3   | Jednosmerné vedenie tepla cez jednoduchú valcovú stenu . . . . .                                                | 383        |
| 5.3.1.4   | Jednosmerné vedenie tepla cez zloženú valcovú stenu . . . . .                                                   | 386        |
| 5.3.1.5   | Riešenie tepelnej vodivosti vzhľadom na závislosť tuhej látky od teploty . . . . .                              | 387        |
| 5.3.1.6   | Ustálené jednosmerné vedenie tepla v prítomnosti zdroja . . . . .                                               | 388        |
| 5.3.1.7   | Viacsmerné ustálené teplotné pole . . . . .                                                                     | 391        |
| 5.3.2     | Vedenie tepla v neustálenom stave . . . . .                                                                     | 395        |
| 5.3.2.1   | Neustálené teplotné pole v tuhom telese bez zdroja . . . . .                                                    | 395        |
| 5.3.2.2   | Približné riešenie diferenciálnej rovnice nestacionárneho teplotného poľa v tuhej<br>látke bez zdroja . . . . . | 401<br>404 |
| 5.4       | Prestup tepla prúdením . . . . .                                                                                | 404        |
| 5.4.1     | Newtonov ochladzovací zákon . . . . .                                                                           | 404        |
| 5.4.1.1   | Hustota toku tepla prúdením . . . . .                                                                           | 407        |
| 5.4.1.2   | Fyzikálny význam koeficienta prestupu tepla . . . . .                                                           | 407        |
| 5.4.1.3   | Charakter koeficienta prestupu tepla . . . . .                                                                  | 408        |
| 5.4.1.4   | Nelineárny charakter Newtonovej rovnice . . . . .                                                               | 409        |
| 5.4.1.5   | Makroskopický charakter Newtonovej rovnice . . . . .                                                            | 409        |
| 5.4.2     | Závislosť koeficienta prestupu tepla od fyzikálnych vlastností systému . . . . .                                | 409        |
| 5.4.3     | Stredná hodnota koeficientu prestupu tepla prúdením . . . . .                                                   | 412        |
| 5.4.3.1   | Určujúce teploty . . . . .                                                                                      | 413        |
| 5.4.4     | Prestup tepla prúdením bez fázovej premeny . . . . .                                                            | 414        |
| 5.4.4.1   | Ustálený prestup tepla v podmienkach voľného prúdenia tekutiny . . . . .                                        | 414        |
| 5.4.4.1.1 | Voľné prúdenie pri extrémne malých hodnotách Gr a Ra . . . . .                                                  | 414        |
| 5.4.4.1.2 | Voľné prúdenie v neobmedzenom priestore . . . . .                                                               | 416        |
| 5.4.4.1.3 | Voľné prúdenie v obmedzenom priestore . . . . .                                                                 | 417        |
| 5.4.4.2   | Prestup tepla pri nútenom prúdení tekutín . . . . .                                                             | 418        |
| 5.4.4.2.1 | Vplyv dĺžky rúrky . . . . .                                                                                     | 419        |
| 5.4.4.2.2 | Vplyv zakrivenia rúrky . . . . .                                                                                | 420        |
| 5.4.4.2.3 | Vplyv orientácie smeru prúdenia v rúrke . . . . .                                                               | 420        |
| 5.4.4.2.4 | Vplyv smeru prestupu tepla . . . . .                                                                            | 421        |
| 5.4.4.2.5 | Prestup tepla pri prúdení v medzikruží . . . . .                                                                | 422        |
| 5.4.4.2.6 | Prestup tepla pri obtekaní rúrky . . . . .                                                                      | 423        |
| 5.4.4.2.7 | Nútené obtekanie zväzku rúrok . . . . .                                                                         | 424        |
| 5.4.4.2.8 | Prestup tepla prúdením v nádobe s miešaním . . . . .                                                            | 428        |
| 5.4.4.2.9 | Niektoré špeciálne prípady prestupu tepla v podmienkach núteného prúdenia bez<br>fázovej premeny . . . . .      | 429        |

|            |                                                                                                                                  |     |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.4.4.2.10 | Kombinácia voľného a núteného prúdenia . . . . .                                                                                 | 429 |
| 5.4.5      | Ustálený prestup tepla pri fázovej premene . . . . .                                                                             | 430 |
| 5.4.5.1    | Prestup tepla pri kondenzácii čistých pár . . . . .                                                                              | 430 |
| 5.4.5.2    | Prestup tepla pri vare kvapalín. . . . .                                                                                         | 438 |
| 5.4.6      | Prehľad približných rozsahov hodnôt koeficienta prestupu tepla prúdením v rôznych situáciách konvektívnej výmeny tepla . . . . . | 442 |
| 5.5        | Konduktívno-konvektívne problémy . . . . .                                                                                       | 443 |
| 5.5.1      | Rebrované povrchy . . . . .                                                                                                      | 443 |
| 5.5.1.1    | Účinnosť rebra a účinnosť rebrovaného povrchu . . . . .                                                                          | 444 |
| 5.5.1.2    | Teplotné pole v rebre a jeho vzťah k účinnosti rebra . . . . .                                                                   | 445 |
| 5.5.1.3    | Navrhovanie rebrovaných povrchov . . . . .                                                                                       | 449 |
| 5.5.2      | Prechodový odpor . . . . .                                                                                                       | 452 |
| 5.5.3      | Ohrev alebo chladenie telesa s malými rozmermi a veľkou vodivosťou, tekutinou s konštantnou teplotou . . . . .                   | 454 |
| 5.5.4      | Okrajová podmienka tretieho druhu . . . . .                                                                                      | 455 |
| 5.5.4.1    | Schmidtova grafická metóda v okrajovej podmienke tretieho druhu . . . . .                                                        | 456 |
| 5.5.5      | Numerické riešenie nestacionárneho teplotného poľa v okrajovej podmienke tretieho druhu. . . . .                                 | 457 |
| 5.6        | Prestup tepla žiarením . . . . .                                                                                                 | 458 |
| 5.6.1      | Základné pojmy . . . . .                                                                                                         | 459 |
| 5.6.2      | Planckov zákon . . . . .                                                                                                         | 462 |
| 5.6.3      | Stefanov—Boltzmanov zákon . . . . .                                                                                              | 464 |
| 5.6.4      | Žiarivosť . . . . .                                                                                                              | 466 |
| 5.6.5      | Kirchhoffov zákon. . . . .                                                                                                       | 467 |
| 5.6.6      | Niektoré radiačné vlastnosti reálnych telies . . . . .                                                                           | 469 |
| 5.6.7      | Uhlový koeficient alebo radiačný tvarový faktor . . . . .                                                                        | 470 |
| 5.6.7.1    | Všeobecné vyjadrenie uhlového koeficienta. . . . .                                                                               | 471 |
| 5.6.7.2    | Možnosti výpočtu uhlového koeficienta . . . . .                                                                                  | 474 |
| 5.6.7.3    | Vzťahy medzi uhlovými koeficientmi . . . . .                                                                                     | 475 |
| 5.6.8      | Výmena tepla žiarením medzi reálnymi telesami . . . . .                                                                          | 477 |
| 5.6.8.1    | Výmena žiarenia medzi dvoma nekonečnými rovnobežnými stenami . . . . .                                                           | 479 |
| 5.6.8.2    | Výmena žiarenia medzi povrchmi dvoch nekonečných koaxiálnych valcov . . . . .                                                    | 480 |
| 5.6.8.3    | Úplne uzavreté teleso. . . . .                                                                                                   | 480 |
| 5.6.9      | Radiačné clony . . . . .                                                                                                         | 481 |
| 5.6.10     | Žiarenie plynov . . . . .                                                                                                        | 483 |
| 5.6.10.1   | Bougerov—Lambertov—Beerov zákon . . . . .                                                                                        | 483 |
| 5.6.10.2   | Žiarivosť oxidu uhličitého a vodnej pary. . . . .                                                                                | 484 |
| 5.6.10.3   | Výmena žiarenia medzi plynom a absolútne čiernym povrchom . . . . .                                                              | 486 |
| 5.6.10.4   | Výmena tepla žiarením medzi plynom a sivým povrchom . . . . .                                                                    | 487 |
| 5.6.11     | Slnečné žiarenie . . . . .                                                                                                       | 488 |
| 5.6.12     | Kombinovaný koeficient prestupu tepla prúdením a sálaním . . . . .                                                               | 489 |
| 5.6.13     | Vplyv žiarenia na účinnosť rebrovaného povrchu a na veľkosť prechodového odporu. . . . .                                         | 490 |
| 5.6.14     | Vplyv žiarenia na meranie teploty plynu. . . . .                                                                                 | 491 |
| 5.7        | Prechod tepla . . . . .                                                                                                          | 492 |
| 5.7.1      | Prechod tepla v ustálenom stave . . . . .                                                                                        | 492 |
| 5.7.1.1    | Úhrnná hnacia sila. . . . .                                                                                                      | 494 |
| 5.7.1.2    | Úhrnný koeficient prechodu tepla . . . . .                                                                                       | 496 |

|           |                                                                                                              |     |
|-----------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.7.1.3   | Úhrnný tepelný odpor . . . . .                                                                               | 501 |
| 5.7.1.4   | Odpor spôsobený znečistením povrchu . . . . .                                                                | 502 |
| 5.7.1.5   | Možnosti zosilnenia prechodu tepla. . . . .                                                                  | 504 |
| 5.7.1.5.1 | Rebrovanie a účinnosť rebrovania . . . . .                                                                   | 505 |
| 5.7.1.6   | Izolované povrchy . . . . .                                                                                  | 507 |
| 5.7.1.6.1 | Straty tepla z izolovaného potrubia. . . . .                                                                 | 507 |
| 5.7.1.6.2 | Kritický priemer izolácie . . . . .                                                                          | 510 |
| 5.7.2     | Výmenníky tepla . . . . .                                                                                    | 513 |
| 5.7.2.1   | Druhy výmenníkov tepla . . . . .                                                                             | 513 |
| 5.7.2.2   | Tepelná bilancia výmenníka tepla . . . . .                                                                   | 521 |
| 5.7.2.3   | Teplotný profil výmenníka tepla . . . . .                                                                    | 523 |
| 5.7.2.4   | Čiastková bilancia výmenníka tepla. . . . .                                                                  | 526 |
| 5.7.2.5   | Výpočet výmenníka tepla vo všeobecnom prípade. . . . .                                                       | 528 |
| 5.7.2.6   | Výpočet výmenníkov tepla pri použití strednej hodnoty úhrnného koeficienta prechodu tepla . . . . .          | 532 |
| 5.7.2.6.1 | Výmenník 1—1 . . . . .                                                                                       | 532 |
| 5.7.2.6.2 | Výmenník 1—2 a výmenníky so zložitejším usporiadaním prúdov . . . . .                                        | 534 |
| 5.7.2.6.3 | Systémy výmenníkov . . . . .                                                                                 | 536 |
| 5.7.2.6.4 | Účinok výmenníka a prevodová jednotka . . . . .                                                              | 539 |
| 5.7.2.6.5 | Hospodárnosť výmenníkov tepla . . . . .                                                                      | 542 |
| 5.7.3     | Prechod tepla v neustálenom stave . . . . .                                                                  | 542 |
| 5.7.3.1   | Ohrev alebo chladenie kvapaliny v miešacej nádobe pomocou kvapaliny s konštantnou vstupnou teplotou. . . . . | 543 |
| 5.8       | Odparovanie kvapalín . . . . .                                                                               | 544 |
| 5.8.1     | Teplota varu roztokov . . . . .                                                                              | 545 |
| 5.8.2     | Činnosť odparovača . . . . .                                                                                 | 548 |
| 5.8.3     | Výpočet jednočlennej odparky . . . . .                                                                       | 548 |
| 5.8.3.1   | Materiálová bilancia jednočlennej odparky. . . . .                                                           | 549 |
| 5.8.3.2   | Entalpická bilancia jednočlennej odparky . . . . .                                                           | 550 |
| 5.8.3.3   | Výpočet ohrevnej plochy odparovača . . . . .                                                                 | 551 |
| 5.8.3.4   | Koeficient prestupu tepla prúdením roztoku . . . . .                                                         | 552 |
| 5.8.4     | Konštrukcia odparovačov. . . . .                                                                             | 553 |
| 5.8.5     | Štiavne pary . . . . .                                                                                       | 560 |
| 5.8.6     | Ohrevná para . . . . .                                                                                       | 560 |
| 5.8.7     | Index hospodárnosti odparovača . . . . .                                                                     | 561 |
| 5.8.7.1   | Rekompresia štiavnej pary . . . . .                                                                          | 561 |
| 5.8.7.2   | Viacčlenná odparka . . . . .                                                                                 | 562 |
| 5.8.7.2.1 | Výpočet viacčlennej odparky . . . . .                                                                        | 568 |
| 5.8.7.2.2 | Optimálny počet členov viacčlennej odparky . . . . .                                                         | 571 |
| 5.9       | Príklady . . . . .                                                                                           | 572 |
| 5.9.1     | Výpočet teplotného poľa a toku tepla v rovnej stene v ustálenom stave. . . . .                               | 572 |
| 5.9.2     | Výpočet koeficienta prestupu tepla . . . . .                                                                 | 573 |
| 5.9.3     | Výpočet toku tepla z rebrovaného povrchu . . . . .                                                           | 574 |
| 5.9.4     | Výpočet teploty platne v neustálenom stave . . . . .                                                         | 575 |
| 5.9.5     | Numerický výpočet teplotného poľa v telese . . . . .                                                         | 576 |
| 5.9.6     | Výpočet toku tepla žiarením zo spalín na sivé teleso. . . . .                                                | 577 |
| 5.9.7     | Návrhový výpočet výmenníka tepla. . . . .                                                                    | 581 |
| 5.9.8     | Výpočet hrúbky tepelnej izolácie . . . . .                                                                   | 584 |



|        |                                                                  |            |
|--------|------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.9.9  | Výpočet teploty varu roztoku . . . . .                           | 586        |
| 5.9.10 | Výpočet úhrnného koeficienta prechodu tepla odparovača . . . . . | 586        |
| 5.9.11 | Výpočet jednočlennej odparky . . . . .                           | 588        |
|        | <b>Prílohy, tabuľky a grafy. . . . .</b>                         | <b>595</b> |
|        | <b>Zoznam používanej symboliky . . . . .</b>                     | <b>661</b> |