

# OBSAH

|                                                                                                               |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| PŘEDMLUVA . . . . .                                                                                           | 13  |
| SEZNAM ZÁKLADNÍCH OZNAČENÍ A INDEXŮ . . . . .                                                                 | 15  |
| SEZNAM ZÁKLADNÍCH KRITÉRIÍ PODOBNOSTI . . . . .                                                               | 23  |
| 1. ÚVOD . . . . .                                                                                             | 27  |
| 1.1. Základní způsoby sdílení tepla . . . . .                                                                 | 27  |
| 1.2. Základní termokinetické pojmy a veličiny a jejich závislost na teplotě a tlaku . . . . .                 | 29  |
| 2. STACIONÁRNÍ VEDENÍ A PROSTUP TEPLA TĚLESY . . . . .                                                        | 43  |
| 2.1. Stacionární vedení a prostup tepla rovinnou stěnou . . . . .                                             | 44  |
| 2.2. Stacionární vedení a prostup tepla válcovou stěnou . . . . .                                             | 48  |
| 2.3. Stacionární vedení a prostup tepla kulovou stěnou . . . . .                                              | 52  |
| 2.4. Stacionární vedení tepla tyčí . . . . .                                                                  | 55  |
| 2.4.1. Stacionární vedení tepla tyčí neohraničené délky . . . . .                                             | 57  |
| 2.4.2. Stacionární vedení tepla tyčí konečné délky . . . . .                                                  | 58  |
| 2.5. Stacionární vedení tepla žebry . . . . .                                                                 | 60  |
| 2.5.1. Sdílení tepla kruhovým žebrem . . . . .                                                                | 60  |
| 2.6. Stacionární vedení tepla v tělesech se zdroji tepla . . . . .                                            | 63  |
| 2.6.1. Stacionární vedení tepla v rovinné stěně se stálým zdrojem tepla . . . . .                             | 63  |
| 2.6.2. Stacionární vedení tepla ve válci se stálým zdrojem tepla . . . . .                                    | 66  |
| 2.6.3. Stacionární vedení tepla v kouli se stálým zdrojem tepla . . . . .                                     | 68  |
| 2.6.4. Souhrnné rovnice teplotních polí v základních geometrických tělesech se stálým zdrojem tepla . . . . . | 70  |
| 2.6.5. Stacionární vedení tepla ve válcové stěně se stálým zdrojem tepla . . . . .                            | 71  |
| 2.7. Stacionární vedení tepla pórovitou stěnou . . . . .                                                      | 78  |
| 2.7.1. Chlazení porézní rovinné stěny plynem . . . . .                                                        | 79  |
| 2.7.2. Chlazení porézní rovinné stěny odparem kapaliny . . . . .                                              | 82  |
| 2.8. Stacionární přestup tepla při elektrickém ohřevu vodiče . . . . .                                        | 84  |
| 2.9. Stacionární vedení tepla v prostředí s vloženými tělesy . . . . .                                        | 85  |
| 2.10. Tepelný odpor složitých těles . . . . .                                                                 | 89  |
| 2.11. Stacionární vedení tepla v rozích . . . . .                                                             | 91  |
| 2.12. Zjednodušené numerické řešení stacionárního vedení tepla v tělesech složitého tvaru . . . . .           | 93  |
| 3. NESTACIONÁRNÍ VEDENÍ TEPLA V TĚLESECH . . . . .                                                            | 101 |
| 3.1. Ohřev a ochlazování rovinné stěny . . . . .                                                              | 103 |

|         |                                                                                                    |            |
|---------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 3.2.    | Ohřev a ochlazování válce . . . . .                                                                | 109        |
| 3.3.    | Ohřev a ochlazování koule . . . . .                                                                | 114        |
| 3.4.    | Vícerozměrné nestacionární teplotní pole . . . . .                                                 | 118        |
| 3.5.    | Nestacionární vedení tepla při extrémních hodnotách Biotova čísla . . .                            | 121        |
| 3.5.1.  | Ohřev a ochlazování těles při malých Biotových číslech . . . . .                                   | 122        |
| 3.5.2.  | Ohřev a ochlazování těles při velkých Biotových číslech . . . . .                                  | 123        |
| 3.5.3.  | Vliv rozměrů a tvaru tělesa na rychlost ochlazování nebo ohřevu . . .                              | 124        |
| 3.6.    | Regulární režim ohřevu ochlazování těles . . . . .                                                 | 125        |
| 3.7.    | Ohřev a ochlazování polomasivu . . . . .                                                           | 127        |
| 3.7.1.  | Ohřev a ochlazování polomasivu při stálé teplotě povrchové roviny . .                              | 127        |
| 3.7.2.  | Ohřev a ochlazování polomasivu v prostředí stálé teploty . . . . .                                 | 129        |
| 3.8.    | Ochlazování polomasivu při tuhnutí kapalně fáze . . . . .                                          | 131        |
| 3.8.1.  | Tuhnutí kapalně polomasivu při stálé teplotě povrchové roviny . . .                                | 131        |
| 3.8.2.  | Tuhnutí kapalně polomasivu při stálé teplotě okolního prostředí . . .                              | 133        |
| 3.9.    | Periodicky proměnné teplotní pole polomasivu . . . . .                                             | 135        |
| 3.9.1.  | Teplotní pole polomasivu s periodicky proměnnou teplotou povrchové<br>roviny polomasivu . . . . .  | 135        |
| 3.9.2.  | Teplotní pole polomasivu při periodické změně teploty prostředí . . . .                            | 139        |
| 3.10.   | Periodicky proměnné teplotní pole v rovinné stěně . . . . .                                        | 142        |
| 3.10.1. | Periodicky proměnné teplotní pole v neohraničené rovinné velmi tenké<br>stěně . . . . .            | 143        |
| 3.10.2. | Periodicky proměnné teplotní pole v neohraničené rovinné stěně střední<br>tloušťky . . . . .       | 143        |
| 3.10.3. | Periodicky proměnné teplotní pole v neohraničené velmi silné rovinné<br>stěně . . . . .            | 146        |
| 3.11.   | Numerické a grafické řešení nestacionárního vedení tepla v tělesech . .                            | 146        |
| 3.11.1. | Řešení nestacionárního teplotního pole v tělesech metodou diferencí . .                            | 146        |
| 3.11.2. | Řešení nestacionárního teplotního pole v tělesech grafickou metodou . .                            | 148        |
| 3.11.3. | Řešení nestacionárního teplotního pole v tělesech numerickými metoda-<br>mi . . . . .              | 150        |
| 3.12.   | Nestacionární vedení tepla v soustavách těles při jednorázovém a perio-<br>dickém ohřevu . . . . . | 152        |
| 3.13.   | Elektrická analogie vedení tepla v tělesech . . . . .                                              | 157        |
| 4.      | <b>SDÍLENÍ TEPLA V TEKUTINÁCH BEZ FÁZOVÉ PŘEMĚNY . . .</b>                                         | <b>159</b> |
| 4.1.    | Teoretické základy proudění tekutin . . . . .                                                      | 159        |
| 4.2.    | Teoretické základy sdílení tepla v tekutině . . . . .                                              | 162        |
| 4.3.    | Hydrodynamická a termokinetická podobnost . . . . .                                                | 164        |
| 4.3.1.  | Odvození hydrodynamických kritérií podobnosti z diferenciálních rov-<br>nic . . . . .              | 164        |
| 4.3.2.  | Odvození termokinetických kritérií podobnosti z diferenciálních rovnic                             | 167        |
| 4.4.    | Rozměrová analýza . . . . .                                                                        | 169        |
| 4.5.    | Numerické řešení sdílení tepla v tekutinách . . . . .                                              | 170        |
| 4.6.    | Experimentální řešení sdílení tepla v tekutinách . . . . .                                         | 172        |
| 4.6.1.  | Vyjádření experimentu kritériální rovnicí . . . . .                                                | 173        |

|         |                                                                                                         |     |
|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.6.2.  | Určující rozměr, určující teplota a náběhová délka . . . . .                                            | 174 |
| 4.7.    | Sdílení tepla při nuceném proudění tekutiny v potrubí a ve šterbině . . . . .                           | 176 |
| 4.7.1.  | Sdílení tepla při laminárním proudění tekutiny v trubce . . . . .                                       | 176 |
| 4.7.2.  | Sdílení tepla při turbulentním proudění tekutiny v trubce . . . . .                                     | 178 |
| 4.7.3.  | Přestup tepla v přechodové oblasti proudění tekutiny v trubce . . . . .                                 | 180 |
| 4.7.4.  | Vliv drsnosti stěny na přestup tepla a tlakovou ztrátu při proudění<br>tekutiny v trubce . . . . .      | 180 |
| 4.7.5.  | Sdílení tepla při proudění tekutiny nekruhovým průřezem . . . . .                                       | 182 |
| 4.7.6.  | Přestup tepla při proudění tekutiny v zakřivené trubce . . . . .                                        | 183 |
| 4.8.    | Sdílení tepla při nuceném obtékání těles . . . . .                                                      | 183 |
| 4.8.1.  | Sdílení tepla při nuceném laminárním obtékání desky . . . . .                                           | 184 |
| 4.8.2.  | Sdílení tepla při nuceném turbulentním obtékání desky . . . . .                                         | 185 |
| 4.8.3.  | Sdílení tepla při kolmém obtékání trubky . . . . .                                                      | 186 |
| 4.8.4.  | Sdílení tepla při kolmém obtékání žebrované trubky . . . . .                                            | 187 |
| 4.8.5.  | Sdílení tepla při šikmém a podélném obtékání trubky . . . . .                                           | 188 |
| 4.8.6.  | Sdílení tepla při kolmém obtékání trubek ve svazku . . . . .                                            | 189 |
| 4.8.7.  | Sdílení tepla při obtékání koule . . . . .                                                              | 191 |
| 4.9.    | Sdílení tepla při volném proudění tekutiny . . . . .                                                    | 192 |
| 4.9.1.  | Sdílení tepla při volném proudění tekutiny podél svislé stěny . . . . .                                 | 192 |
| 4.9.2.  | Sdílení tepla při volném proudění tekutiny na vodorovné trubce . . . . .                                | 193 |
| 4.9.3.  | Sdílení tepla při volném proudění tekutiny ve šterbině . . . . .                                        | 194 |
| 4.10.   | Sdílení tepla v tekutých kovech . . . . .                                                               | 197 |
| 4.11.   | Sdílení tepla ve zředěných a hustých plynech . . . . .                                                  | 199 |
| 4.11.1. | Vliv tlaku a teploty plynu na sdílení tepla při volném proudění plynu<br>podél svislé stěny . . . . .   | 200 |
| 4.11.2. | Vliv tlaku a teploty plynu na sdílení tepla při nuceném proudění plynu<br>podél rovinné stěny . . . . . | 201 |
| 4.11.3. | Vliv tlaku a teploty plynu na sdílení tepla při nuceném obtékání koule . . . . .                        | 205 |
| 4.12.   | Sdílení tepla na rotující ploše . . . . .                                                               | 206 |
| 4.13.   | Sdílení tepla při proudění plynu vysokou rychlostí . . . . .                                            | 208 |
| 4.14.   | Sdílení tepla mezi tuhými částicemi a plynem . . . . .                                                  | 211 |
| 4.15.   | Intenzifikace přestupu tepla ze stěny do tekutiny . . . . .                                             | 214 |
| 4.16.   | Vliv usazenin na součinitel přestupu tepla ze stěny do tekutiny . . . . .                               | 216 |
| 5.      | <b>SDÍLENÍ TEPLA PŘI VARU KAPALINY . . . . .</b>                                                        | 218 |
| 5.1.    | Teoretické základy bublinkového varu kapaliny . . . . .                                                 | 218 |
| 5.2.    | Experimentální řešení bublinkového varu při volném proudění kapaliny . . . . .                          | 222 |
| 5.3.    | Experimentální řešení bublinkového varu při nuceném proudění<br>kapaliny . . . . .                      | 225 |
| 5.4.    | Kritická hustota tepelného toku při bublinkovém varu kapaliny . . . . .                                 | 227 |
| 5.5.    | Blánový var kapaliny . . . . .                                                                          | 229 |
| 5.6.    | Odpařování a var tenké vrstvy kapaliny . . . . .                                                        | 231 |
| 5.6.1.  | Odpařování tenké vrstvy kapaliny . . . . .                                                              | 231 |
| 5.6.2.  | Var tenké vrstvy kapaliny . . . . .                                                                     | 232 |
| 5.7.    | Povrchový var v podchlazené kapalině . . . . .                                                          | 233 |

|        |                                                                                               |            |
|--------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 5.8.   | Var kapaliny na pórovitém povrchu . . . . .                                                   | 235        |
| 5.9.   | Var kapaliny v kapilárních soustavách tepelných trubíc . . . . .                              | 236        |
| 5.10.  | Var tekutých kovů . . . . .                                                                   | 237        |
| 6.     | <b>SDÍLENÍ TEPLA PŘI KONDENZACI PÁRY . . . . .</b>                                            | <b>239</b> |
| 6.1.   | Teoretické základy blánové kondenzace páry . . . . .                                          | 239        |
| 6.2.   | Experimentální řešení blánové kondenzace klidové páry na rovinné ploše . . . . .              | 245        |
| 6.3.   | Experimentální řešení blánové kondenzace klidové páry na trubce a svazku trubek . . . . .     | 247        |
| 6.4.   | Experimentální řešení blánové kondenzace proudící páry . . . . .                              | 249        |
| 6.5.   | Kondenzace páry za přítomnosti inertního plynu . . . . .                                      | 251        |
| 6.6.   | Kondezace páry na fázovém rozhraní s podchlazenou kapalinou . . . . .                         | 254        |
| 6.7.   | Kondezace přehřáté a vlhké páry . . . . .                                                     | 257        |
| 6.8.   | Kapičková kondezace páry . . . . .                                                            | 258        |
| 6.9.   | Kondenzace par tekutých kovů . . . . .                                                        | 261        |
| 7.     | <b>SDÍLENÍ TEPLA PŘI TÁNÍ A TUHNUTÍ . . . . .</b>                                             | <b>263</b> |
| 7.1.   | Tuhnutí klidové kapaliny na podchlazené stěně . . . . .                                       | 263        |
| 7.2.   | Tuhnutí kapek a tání kuličky tuhé fáze . . . . .                                              | 265        |
| 7.3.   | Tuhnutí a tání kovů a nekovů . . . . .                                                        | 267        |
| 7.3.1. | Bezrozměrné řešení tání povrchů desky . . . . .                                               | 269        |
| 7.3.2. | Numerická řešení . . . . .                                                                    | 271        |
| 8.     | <b>SDÍLENÍ TEPLA ZÁŘENÍM . . . . .</b>                                                        | <b>275</b> |
| 8.1.   | Teoretické základy záření tuhých těles . . . . .                                              | 276        |
| 8.1.1. | Základní pojmy a zákony . . . . .                                                             | 277        |
| 8.1.2. | Záření dokonale černého tělesa . . . . .                                                      | 279        |
| 8.1.3. | Záření skutečného tělesa . . . . .                                                            | 283        |
| 8.2.   | Teoretické základy záření plynů . . . . .                                                     | 285        |
| 8.2.1. | Teoretické řešení záření plynového tělesa . . . . .                                           | 286        |
| 8.2.2. | Experimentální řešení záření plynového tělesa . . . . .                                       | 287        |
| 8.3.   | Sdílení tepla zářením mezi tuhými tělesy, mezi nimiž je průteplivé prostředí . . . . .        | 288        |
| 8.3.1. | Sdílení tepla zářením mezi dvěma rovinnými rovnoběžnými neohrazenými stěnami . . . . .        | 289        |
| 8.3.2. | Sdílení tepla zářením mezi povrchy tvořícími uzavřenou soustavu . . . . .                     | 293        |
| 8.3.3. | Sdílení tepla zářením mezi povrchy obecného tvaru a polohy v prostoru . . . . .               | 297        |
| 8.4.   | Sdílení tepla zářením mezi tuhými tělesy, mezi nimiž je záření pohlcující prostředí . . . . . | 305        |
| 8.4.1. | Selektivní záření mezi plynem a povrchem stěny . . . . .                                      | 305        |
| 8.4.2. | Sdílení tepla zářením mezi vrstvou plynu a povrchem tuhého tělesa . . . . .                   | 308        |
| 8.4.3. | Ekvivalentní tloušťka plynového tělesa . . . . .                                              | 312        |
| 8.5.   | Záření plynů s tuhými částicemi . . . . .                                                     | 313        |
| 8.6.   | Současné sdílení tepla zářením a konvekcí . . . . .                                           | 315        |

|         |                                                                         |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.7.    | Zonální metoda řešení sdílení tepla zářením . . . . .                   | 317 |
| 8.7.1.  | Základní principy zonální metody . . . . .                              | 318 |
| 8.7.2.  | Aditivní model radiačních vlastností plynu . . . . .                    | 318 |
| 8.7.3.  | Přímé výměnné plochy . . . . .                                          | 321 |
| 8.7.4.  | Celkové výměnné plochy . . . . .                                        | 324 |
| 8.7.5.  | Orientované výměnné plochy . . . . .                                    | 325 |
| 8.7.6.  | Tepelná bilance zářivého toku . . . . .                                 | 326 |
| 8.7.7.  | Řešení kombinovaného přenosu tepla zonální metodou . . . . .            | 327 |
| 8.8.    | Sdílení tepla zářením v prostoru pece . . . . .                         | 328 |
| 8.9.    | Sdílení tepla u radiačních rekuperátorů . . . . .                       | 332 |
| 9.      | SOUČASNÉ SDÍLENÍ TEPLA A PŘENOS HMOTNOSTI . . . . .                     | 335 |
| 9.1.    | Teoretické základy . . . . .                                            | 335 |
| 9.2.    | Podobnost přenosových dějů . . . . .                                    | 343 |
| 10.     | TEPELNÉ IZOLACE . . . . .                                               | 350 |
| 10.1.   | Tepelná vodivost izolačních materiálů . . . . .                         | 350 |
| 10.1.1. | Vliv poréznosti na tepelnou vodivost izolačních materiálů . . . . .     | 351 |
| 10.1.2. | Vliv vlhkosti na tepelnou vodivost izolačních materiálů . . . . .       | 353 |
| 10.1.3. | Vliv teploty na tepelnou vodivost izolace . . . . .                     | 355 |
| 10.1.4. | Vliv chemického složení na tepelnou vodivost izolace . . . . .          | 356 |
| 10.1.5. | Vliv směru tepelného toku na tepelnou vodivost izolace . . . . .        | 356 |
| 10.1.6. | Vakuové izolace . . . . .                                               | 357 |
| 10.1.7. | Provozní tepelná vodivost izolace . . . . .                             | 358 |
| 10.1.8. | Ekvivalentní tepelná vodivost a ekvivalentní tloušťka izolace . . . . . | 359 |
| 10.2.   | Výpočtové metody tepelných toků a tloušťky izolace . . . . .            | 360 |
| 10.2.1. | Základní výpočty . . . . .                                              | 360 |
| 10.2.2. | Zjednodušený výpočet tepelných ztrát . . . . .                          | 362 |
| 10.2.3. | Hospodárná tloušťka tepelné izolace . . . . .                           | 364 |
| 10.2.4. | Minimální a kritický průměr tepelné izolace potrubí . . . . .           | 367 |
| 10.2.5. | Teplota vnějšího povrchu izolace potrubí . . . . .                      | 369 |
| 10.3.   | Vlhnutí tepelné izolace . . . . .                                       | 370 |
| 10.3.1. | Hygroskopičnost . . . . .                                               | 371 |
| 10.3.2. | Difúze vodní páry . . . . .                                             | 372 |
| 10.3.3. | Tok kapalné vlhkosti působením kapilárních sil . . . . .                | 382 |
| 10.4.   | Požadavky na tepelné izolace . . . . .                                  | 383 |
| 10.4.1. | Tepelné izolace v kryogenní technice . . . . .                          | 384 |
| 10.4.2. | Tepelné izolace v chladicí technice . . . . .                           | 384 |
| 10.4.3. | Izolace v tepelné technice . . . . .                                    | 385 |
| 10.4.4. | Izolace pro vyšší a vysoké teploty . . . . .                            | 385 |
| 11.     | TEPLOSMĚNNÉ ELEMENTY . . . . .                                          | 396 |
| 11.1.   | Trubkové svazky . . . . .                                               | 398 |
| 11.2.   | Teplosměnné elementy s nepřímými kanály . . . . .                       | 409 |
| 11.3.   | Tepelné trubice . . . . .                                               | 415 |

|         |                                                                                                                                           |     |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.3.1. | Gravitační tepelné trubice . . . . .                                                                                                      | 416 |
| 11.3.2. | Kapilární tepelné trubice . . . . .                                                                                                       | 418 |
| 12.     | REKUPERAČNÍ VÝMĚNÍKY TEPLA . . . . .                                                                                                      | 425 |
| 12.1.   | Přestup a prostup tepla u rekuperačních výměníků tepla . . . . .                                                                          | 425 |
| 12.2.   | Početní vztahy pro výkony jednoduchých výměníků tepla . . . . .                                                                           | 437 |
| 12.3.   | Zjednodušené řešení obecného případu . . . . .                                                                                            | 444 |
| 12.4.   | Rekuperační výměníky při změnách podmínek provozu . . . . .                                                                               | 447 |
| 12.5.   | Regulace tepelného výkonu rekuperačních výměníků tepla . . . . .                                                                          | 452 |
| 12.6.   | Hydraulické odpory rekuperačních výměníků tepla . . . . .                                                                                 | 455 |
| 12.7.   | Konstrukční provedení rekuperačních výměníků tepla . . . . .                                                                              | 460 |
| 12.7.1. | Výměníky kapalina–kapalina . . . . .                                                                                                      | 462 |
| 12.7.2. | Výměníky plyn–plyn . . . . .                                                                                                              | 464 |
| 12.7.3. | Výměníky kapalina–plyn . . . . .                                                                                                          | 465 |
| 12.8.   | Ekonomické dimenzování výměníků tepla . . . . .                                                                                           | 466 |
| 13.     | REGENERAČNÍ VÝMĚNÍKY TEPLA . . . . .                                                                                                      | 468 |
| 13.1.   | Určující tepelné parametry regeneračních výměníků tepla . . . . .                                                                         | 469 |
| 13.2.   | Tepelná bilance regeneračních výměníků tepla . . . . .                                                                                    | 470 |
| 13.3.   | Návrh vývojového diagramu pro výpočet účinnosti regeneračního výměníku tepla . . . . .                                                    | 472 |
| 14.     | SMĚŠOVACÍ VÝMĚNÍKY TEPLA . . . . .                                                                                                        | 476 |
| 14.1.   | Přestup tepla a přenos hmotnosti u směšovacích výměníků tepla . . . . .                                                                   | 477 |
| 14.2.   | Vlhčení vzduchu . . . . .                                                                                                                 | 501 |
| 14.3.   | Ventilátorové chladicí věže . . . . .                                                                                                     | 506 |
| 14.4.   | Chladicí věže s přirozeným tahem vzduchu . . . . .                                                                                        | 520 |
| 15.     | SDÍLENÍ TEPLA VE STAVEBNICTVÍ . . . . .                                                                                                   | 531 |
| 15.1.   | Vnější okrajové podmínky . . . . .                                                                                                        | 532 |
| 15.2.   | Prostup tepla oknem . . . . .                                                                                                             | 537 |
| 15.2.1. | Prostup tepla oknem se vzduchovou mezerou bez uvažování a s uvažováním sluneční radiace . . . . .                                         | 537 |
| 15.2.2. | Prostup tepla jednoduchým sklem při jeho oslunění . . . . .                                                                               | 540 |
| 15.3.   | Prostup tepla při harmonickém kolísání teploty vzduchu na jedné straně přímé stěny . . . . .                                              | 541 |
| 15.3.1. | Útlum kolísání teplot a tepelných toků v jednoduché stěně . . . . .                                                                       | 545 |
| 15.3.2. | Útlum přenosu kolísání teplot z vnějšího prostředí do vnějšího povrchu stěny . . . . .                                                    | 549 |
| 15.3.3. | Prostup tepla přímou stěnou při periodickém kolísání teploty vzduchu na vnější straně a stále teplotě vzduchu na straně vnitřní . . . . . | 550 |
| 16.     | VYTÁPĚNÍ BUDOV . . . . .                                                                                                                  | 553 |
| 16.1.   | Sdílení tepla ve vytápěném prostoru . . . . .                                                                                             | 553 |
| 16.1.1. | Tepelná pohoda . . . . .                                                                                                                  | 554 |

|         |                                                                                           |            |
|---------|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 16.1.2. | Teplota vzduchu ve vytápěném prostoru . . . . .                                           | 555        |
| 16.1.3. | Účinná teplota okolních ploch . . . . .                                                   | 556        |
| 16.1.4. | Sdílení tepla mezi člověkem a okolím . . . . .                                            | 556        |
| 16.1.5. | Tepelné ztráty budov . . . . .                                                            | 557        |
| 16.2.   | Sdílení tepla u otopných těles . . . . .                                                  | 560        |
| 16.2.1. | Volba druhu a typu otopného tělesa . . . . .                                              | 563        |
| 16.2.2. | Výpočet velikosti otopného tělesa . . . . .                                               | 564        |
| 16.3.   | Otopná tělesa . . . . .                                                                   | 566        |
| 16.3.1. | Konstrukční druhy otopných těles . . . . .                                                | 566        |
| 16.3.2. | Geometrické charakteristiky otopného tělesa . . . . .                                     | 569        |
| 16.3.3. | Teplotechnické charakteristiky otopného tělesa . . . . .                                  | 570        |
| 16.3.4. | Provozní charakteristiky otopného tělesa . . . . .                                        | 572        |
| 16.4.   | Otopné plochy . . . . .                                                                   | 576        |
| 16.4.1. | Sdílení tepla při stropním a podlahovém vytápění . . . . .                                | 576        |
| 16.4.2. | Konstrukční řešení stropního a podlahového vytápění z hlediska sdílení<br>tepla . . . . . | 581        |
| 16.5.   | Žebrované výměníky tepla kapalina–plyn . . . . .                                          | 582        |
| 16.6.   | Vyměníky tepla pro ohřev vody . . . . .                                                   | 585        |
| 16.6.1. | Výměníky tepla voda–voda . . . . .                                                        | 585        |
| 16.6.2. | Výměníky tepla pára–voda . . . . .                                                        | 587        |
| 16.6.3. | Konstrukční řešení výměníků tepla . . . . .                                               | 587        |
| 16.7.   | Kotle pro vytápění budov . . . . .                                                        | 589        |
| 16.7.1. | Tepelný výpočet ohniště výtopenského kotle . . . . .                                      | 589        |
| 16.7.2. | Sdílení tepla v ohništi . . . . .                                                         | 591        |
| 16.7.3. | Typy kotlů pro vytápění budov . . . . .                                                   | 592        |
| 16.8.   | Zařízení na využívání sluneční zářivé energie pro ohřev vody . . . . .                    | 597        |
| 16.8.1. | Tepelná energie . . . . .                                                                 | 597        |
| 16.8.2. | Rovinné sběrače . . . . .                                                                 | 598        |
| 16.8.3. | Absorbce slunečního záření u rovinných kolektorů . . . . .                                | 599        |
| 16.8.4. | Přenos tepla z absorberu . . . . .                                                        | 601        |
| 16.8.5. | Základní návrhové charakteristiky . . . . .                                               | 603        |
| 16.8.6. | Typy rovinných kolektorů . . . . .                                                        | 605        |
| 16.8.7. | Zařízení pro přípravu teplé užitkové vody . . . . .                                       | 607        |
| 16.9.   | Tepelná čerpadla . . . . .                                                                | 608        |
| 16.9.1. | Princip tepelného čerpadla . . . . .                                                      | 609        |
| 16.9.2. | Topný faktor tepelného čerpadla . . . . .                                                 | 610        |
| 16.9.3. | Zdroje tepla pro tepelná čerpadla . . . . .                                               | 612        |
| 16.9.4. | Typy tepelných čerpadel . . . . .                                                         | 614        |
| 17.     | <b>SDÍLENÍ TEPLA V CHLADICÍ TECHNICE . . . . .</b>                                        | <b>615</b> |
| 17.1.   | Sdílení tepla při varu chladiva . . . . .                                                 | 615        |
| 17.1.1. | Var chladiva na zaplavené trubce . . . . .                                                | 616        |
| 17.1.2. | Var chladiva na vnější straně svazku trubek . . . . .                                     | 620        |
| 17.1.3. | Var chladiva na zaplaveném svazku žebrovaných trubek . . . . .                            | 622        |
| 17.1.4. | Var chladiva při skrápění trubek . . . . .                                                | 624        |

|         |                                                                       |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| 17.1.5. | Var chladiva uvnitř trubek a kanálů . . . . .                         | 625 |
| 17.2.   | Sdílení tepla při kondenzaci chladiva . . . . .                       | 629 |
| 17.2.1. | Kondenzace chladiva na horizontálních trubkách . . . . .              | 629 |
| 17.2.2. | Kondenzace chladiva na žebrovaných horizontálních trubkách . . . . .  | 632 |
| 17.2.3. | Kondenzace chladiva na vertikálních plochách . . . . .                | 633 |
| 17.2.4. | Kondenzace chladiva uvnitř vertikálních šterbinových kanálů . . . . . | 634 |
| 17.2.5. | Kondenzace chladiva uvnitř horizontálních trubek . . . . .            | 635 |
| 18.     | SDÍLENÍ TEPLA V KRYOGENNÍ TECHNICE . . . . .                          | 640 |
| 18.1.   | Rekuperační výměníky tepla v kryogenní technice . . . . .             | 641 |
| 18.1.1. | Dvoutrubkové souosé výměníky . . . . .                                | 641 |
| 18.1.2. | Svazkové výměníky tepla . . . . .                                     | 642 |
| 18.1.3. | Vinuté výměníky tepla . . . . .                                       | 643 |
| 18.1.4. | Vinuté výměníky ze žebrovaných trubek . . . . .                       | 646 |
| 18.1.5. | Deskožebrové výměníky tepla . . . . .                                 | 647 |
| 18.1.6. | Sítové výměníky tepla . . . . .                                       | 649 |
| 18.2.   | Regenerační výměníky tepla . . . . .                                  | 651 |
| 18.3.   | Vedení tepla závěsnou trubkou u Dewarovy nádoby . . . . .             | 656 |
| 18.4.   | Sdílení tepla v kapalném heliu . . . . .                              | 659 |
| 19.     | SDÍLENÍ TEPLA V PRŮMYSLOVÝCH PECÍCH . . . . .                         | 661 |
| 19.1.   | Makrobalance energie a tepla . . . . .                                | 661 |
| 19.1.1. | Sestavení makrobalance energie . . . . .                              | 662 |
| 19.1.2. | Tepelné členy makrobalance energie . . . . .                          | 665 |
| 19.1.3. | Význam makrobalancí tepla a energie . . . . .                         | 670 |
| 19.2.   | Způsoby ohřevu v pecích . . . . .                                     | 672 |
| 19.2.1. | Ohřev vedením, prouděním a tepelným zářením . . . . .                 | 672 |
| 19.2.2. | Ostatní způsoby ohřevu vsázky . . . . .                               | 675 |
| 19.3.   | Sdílení tepla při vyšších a vysokých teplotách . . . . .              | 677 |
| 19.3.1. | Intenzita přenosu tepla . . . . .                                     | 677 |
| 19.3.2. | Řešení úloh sdílení tepla v pecích . . . . .                          | 679 |
| 19.3.3. | Látkové funkce při vyšších teplotách . . . . .                        | 685 |
| 19.4.   | Průmyslové pece . . . . .                                             | 695 |
|         | LITERATURA . . . . .                                                  | 704 |
|         | REJSTŘÍK . . . . .                                                    | 713 |