

# Spis treści

|                                                                                                             |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Od autora .....                                                                                             | 5   |
| Wstęp .....                                                                                                 | 7   |
| 1. Czynniki robocze .....                                                                                   | 11  |
| 1.1. Woda i para wodna .....                                                                                | 11  |
| 1.2. Parametry podkrytyczne, krytyczne i nadkrytyczne .....                                                 | 16  |
| 1.3. Oleje diatermiczne .....                                                                               | 19  |
| 2. Paliwa .....                                                                                             | 23  |
| 2.1. Spalanie paliw .....                                                                                   | 23  |
| 2.2. Konwencjonalne i alternatywne źródła energii .....                                                     | 29  |
| 2.3. Biomasa .....                                                                                          | 31  |
| 2.4. Paliwa energetyczne .....                                                                              | 39  |
| 2.5. Ropa naftowa .....                                                                                     | 59  |
| 2.6. Gaz ziemny .....                                                                                       | 69  |
| 2.7. Metan z pokładów węgla i wysypisk komunalnych .....                                                    | 72  |
| 2.8. Paliwa LPG .....                                                                                       | 75  |
| 2.9. Perspektywy dostaw gazu dla polskiej energetyki .....                                                  | 77  |
| 3. Konstrukcje kotłów .....                                                                                 | 81  |
| 3.1. Oznaczenia kotłów .....                                                                                | 81  |
| 3.2. Klasyfikacja kotłów parowych .....                                                                     | 82  |
| 3.3. Ruszty .....                                                                                           | 85  |
| 3.4. Kotły rusztowe .....                                                                                   | 100 |
| 3.5. Kotły pyłowe .....                                                                                     | 134 |
| 3.6. Kotły o parametrach nadkrytycznych .....                                                               | 177 |
| 3.7. Kotły fluidalne .....                                                                                  | 207 |
| 3.8. Fluidalno-pyłowy system spalania HUS w kotle OP-130EKM .....                                           | 240 |
| 3.9. Kocioł wodny ze stacjonarnym złożem fluidalnym .....                                                   | 242 |
| 3.10. Kocioł OFz 660 .....                                                                                  | 243 |
| 3.11. Wpływ jakości paliwa i parametrów pary na konstrukcję kotła fluidalnego ze złożem cyrkulacyjnym ..... | 248 |
| 3.12. Wpływ granulacji węgla, popiołu, materiału inertnego i sorbentu na pracę kotła .....                  | 251 |
| 3.13. Kotły EVT – doświadczenia eksploatacyjne .....                                                        | 253 |
| 3.14. Zalety kotłów fluidalnych .....                                                                       | 257 |
| 3.15. Kotły na biomasę .....                                                                                | 260 |
| 3.16. Kotły odzyskowe .....                                                                                 | 268 |

|                                                                                             |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 3.17. Kotle na paliwa ciekłe i gazowe .....                                                 | 274 |
| 3.18. Kotle kondensacyjne .....                                                             | 287 |
| 4. Praktyczne uwagi do obliczeń projektowych i sprawdzających kotłów .....                  | 297 |
| 4.1. Zasady bilansowania kotła .....                                                        | 297 |
| 4.2. Założenia projektowe .....                                                             | 299 |
| 4.3. Kocioł parowy na parę przegrzaną .....                                                 | 300 |
| 4.4. Temperatura spalin wylotowych z kotła .....                                            | 309 |
| 5. Obliczenia cieplne .....                                                                 | 317 |
| 5.1. Symbole i współczynniki przeliczeniowe .....                                           | 317 |
| 5.2. Wartość opałowa paliw .....                                                            | 319 |
| 5.3. Wartość opałowa mieszaniny paliw .....                                                 | 323 |
| 5.4. Zapotrzebowanie na powietrze .....                                                     | 323 |
| 5.5. Skład i objętość spalin .....                                                          | 326 |
| 5.6. Entalpia powietrza i spalin .....                                                      | 331 |
| 5.7. Temperatura teoretyczna spalania (adiabatyczna) .....                                  | 335 |
| 5.8. Bilans energetyczny, sprawność i straty ciepłe kotła .....                             | 336 |
| 5.9. Sprawność kotła .....                                                                  | 345 |
| 5.10. Obliczenia stężeń tlenków azotu, dwutlenku siarki i tlenku węgla .....                | 348 |
| 6. Obliczenia cieplne komory paleniskowej .....                                             | 361 |
| 6.1. Wymiana ciepła w komorze paleniskowej .....                                            | 362 |
| 6.2. Wymiary komory paleniskowej .....                                                      | 370 |
| 6.3. Objętość komory paleniskowej kotła .....                                               | 374 |
| 6.4. Powierzchnia ścian .....                                                               | 375 |
| 6.5. Efektywna grubość warstwy promieniującej w palenisku .....                             | 379 |
| 6.6. Bezwymiarowa temperatura spalin na wylocie z komory paleniskowej .....                 | 382 |
| 6.7. Emisyjność (stopień czerni) płomienia .....                                            | 386 |
| 6.8. Kryterium Boltzmanna .....                                                             | 394 |
| 6.9. Temperatura spalin na wylocie i powierzchnia ścian komory paleniskowej .....           | 395 |
| 6.10. Ciepło doprowadzone do komory paleniskowej .....                                      | 397 |
| 6.11. Obliczenia komór paleniskowych ze złożem fluidalnym .....                             | 400 |
| 6.12. Obliczenia cieplne palenisk z cyrkulacyjną warstwą fluidalną .....                    | 411 |
| 6.13. Obliczenia komór paleniskowych rusztowych narzutnikowych .....                        | 420 |
| 6.14. Strefowe obliczenia cieplne komór paleniskowych .....                                 | 426 |
| 7. Obliczenia cieplne powierzchni konwekcyjnych i półpromieniowanych .....                  | 435 |
| 7.1. Ciepło przejęte przez powierzchnię ogrzewalną .....                                    | 436 |
| 7.2. Ciepło oddane przez spaliny przepływające przez powierzchnię .....                     | 436 |
| 7.3. Ciepło przejęte przez czynnik .....                                                    | 437 |
| 7.4. Współczynnik przenikania ciepła $k$ .....                                              | 438 |
| 7.5. Współczynnik przenikania ciepła dla powierzchni grodziowych (półpromieniowanych) ..... | 440 |
| 7.6. Współczynnik efektywności cieplnej .....                                               | 465 |
| 7.7. Współczynnik zanieczyszczenia powierzchni ogrzewalnych .....                           | 465 |
| 7.8. Współczynnik przejmowania ciepła od ścianki do czynnika roboczego .....                | 468 |
| 7.9. Średnia różnica temperatury .....                                                      | 469 |
| 8. Przemiał .....                                                                           | 473 |
| 8.1. Młyny wolnobieżne .....                                                                | 475 |
| 8.2. Młyny średniobieżne .....                                                              | 476 |
| 8.3. Młyny szybkobieżne .....                                                               | 491 |

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 8.4. Skład ziarnowy pyłu .....                                                             | 499 |
| 8.5. Podatność przemialowa węgla energetycznych .....                                      | 504 |
| 8.6. Regeneracja elementów mielących .....                                                 | 509 |
| 8.7. Młyn N 90.60.....                                                                     | 511 |
| 9. Obliczenia wytrzymałościowe elementów ciśnieniowych kotła, stal kotłowa .....           | 513 |
| 9.1. Stal żaroodporna .....                                                                | 513 |
| 9.2. Stal żarowytrzymała.....                                                              | 514 |
| 9.3. Stale ferrytyczno-martenzytyczne 9–12% Cr.....                                        | 521 |
| 9.4. Rury kotłowe .....                                                                    | 523 |
| 9.5. Ściany sitowe .....                                                                   | 541 |
| 9.6. Obliczenia okrągłych den płaskich w elementach podlegających ciśnieniu wewnętrznemu . | 546 |
| 9.7. Połączenia kołnierzo-śrubowe .....                                                    | 552 |
| 9.8. Przygotowanie krawędzi do spawania.....                                               | 568 |
| 9.9. Gatunki stali na elementy ciśnieniowe kotłów wodnych i parowych .....                 | 575 |
| 10. Materiały ceramiczne i izolacyjne .....                                                | 603 |
| 10.1. Włókniste izolacyjne materiały ogniotrwale .....                                     | 603 |
| 10.2. Wyroby ceramiczne .....                                                              | 606 |
| Dodatek .....                                                                              | 613 |