

# Spis treści

|                                                                            |           |
|----------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Wykaz ważniejszych oznaczeń, skrótów, jednostek</b>                     | <b>13</b> |
| <b>Przedmowa</b>                                                           | <b>17</b> |
| <b>Wstęp</b>                                                               | <b>19</b> |
| <b>1. Charakterystyka biopaliw</b>                                         | <b>21</b> |
| 1.1. Wprowadzenie                                                          | 22        |
| 1.2. Rola i znaczenie biopaliw po przystąpieniu Polski do UE               | 26        |
| 1.3. Rodzaje biopaliw                                                      | 27        |
| 1.3.1. Definicja i podział biomasy na biopaliwa                            | 27        |
| 1.3.2. Charakterystyka biomasy jako nośnika energii                        | 28        |
| 1.3.3. Metody przetwarzania biomasy na biopaliwo                           | 30        |
| 1.4. Przyszłość biopaliw w Polsce                                          | 33        |
| Bibliografia                                                               | 33        |
| <b>2. Fotosynteza</b>                                                      | <b>37</b> |
| 2.1. Wprowadzenie                                                          | 38        |
| 2.2. Fotosynteza biomasy                                                   | 38        |
| 2.2.1. Wprowadzenie do mechanizmu fotosyntezy                              | 38        |
| 2.2.2. Nośniki energii fotosyntezy                                         | 42        |
| 2.2.3. Biochemiczny mechanizm fotosyntezy                                  | 44        |
| 2.2.4. Pozostałe szlaki autotroficznego wiązania CO <sub>2</sub> w biomasę | 48        |
| 2.3. Termodynamika procesu fotosyntezy biomasy                             | 50        |
| 2.3.1. Podstawowe etapy procesu fotosyntezy biomasy                        | 50        |
| 2.3.2. Sprawność procesu fotosyntezy w ujęciu termodynamicznym             | 54        |
| 2.3.3. Sprawność procesu fotosyntezy w ujęciu biotechnologicznym           | 54        |
| 2.3.4. Sprawność procesu fotosyntezy w ujęciu fizykochemicznym             | 56        |
| 2.3.5. Sprawność procesu fotosyntezy upraw rolnych                         | 57        |
| 2.4. Techniczne wykorzystanie fotosyntezy                                  | 57        |
| 2.4.1. Wykorzystanie fotosyntezy do oczyszczania spalin                    | 57        |
| 2.4.2. Biotechnologia z wykorzystaniem alg                                 | 59        |

|           |                                                                |            |
|-----------|----------------------------------------------------------------|------------|
| 2.4.3.    | Fotobioogniwa                                                  | 59         |
| 2.5.      | Znaczenie i rola ditlenku węgla w przyrodzie                   | 62         |
| 2.5.1.    | Efekt cieplarniany                                             | 62         |
| 2.5.2.    | Ditlenek węgla a globalne ocieplenie                           | 64         |
| 2.5.3.    | Rehabilitacja ditlenku węgla                                   | 68         |
|           | Bibliografia                                                   | 71         |
| <b>3.</b> | <b>Zasoby biopaliw</b>                                         | <b>77</b>  |
| 3.1.      | Wprowadzenie                                                   | 79         |
| 3.2.      | Globalny potencjał energetyczny biomasy do 2050 roku           | 80         |
| 3.2.1.    | Szacunkowe wartości                                            | 80         |
| 3.2.2.    | Metodyka szacowania potencjału biomasy                         | 82         |
| 3.2.3.    | Bilans potencjału nadwyżki produkcji żywności                  | 83         |
| 3.2.4.    | Potencjał bioenergetyczny odłogów i obszarów zdegradowanych    | 86         |
| 3.2.5.    | Sumaryczny światowy potencjał biopaliw z nadwyżki plonów       | 88         |
| 3.2.6.    | Światowy potencjał energetyczny pozostałości z upraw rolnych   | 88         |
| 3.2.7.    | Światowy potencjał energetyczny pozostałości z upraw leśnych   | 89         |
| 3.2.8.    | Światowy potencjał energetyczny pozostałości hodowlanych       | 89         |
| 3.2.9.    | Światowy potencjał energetyczny odpadów organicznych           | 90         |
| 3.2.10.   | Potencjał energetyczny biomateriałów, strumienia kategorii VII | 90         |
| 3.2.11.   | Sumaryczny globalny potencjał energetyczny biomasy             | 92         |
| 3.3.      | Metodologia szacowania potencjału bioenergii                   | 95         |
| 3.3.1.    | Metodologia szacowania zasobów bioenergii w Europie            | 95         |
| 3.3.2.    | Dane statystyczne dotyczące jednostek administracyjnych        | 97         |
| 3.3.3.    | Rolnicze Bazy Danych                                           | 98         |
| 3.3.4.    | Dane dotyczące użytkowania gruntów                             | 98         |
| 3.3.5.    | Sposób prowadzenia obliczeń                                    | 99         |
| 3.3.6.    | Areał niezbędny do zaspokojenia potrzeb żywnościowych          | 99         |
| 3.3.7.    | Potencjalne zasoby energetyczne nadwyżki gruntów rolnych       | 105        |
| 3.3.8.    | Ocena i sposób szacowania potencjału upraw biopaliw            | 106        |
| 3.4.      | Potencjał energetyczny biomasy w Europie                       | 107        |
| 3.5.      | Potencjał energetyczny biomasy w Polsce                        | 114        |
| 3.5.1.    | Model obliczeniowy dla Polski                                  | 114        |
| 3.5.2.    | Potencjał energetyczny zasobów biomasy w Polsce                | 116        |
|           | Bibliografia                                                   | 119        |
| <b>4.</b> | <b>Charakterystyka biopaliw</b>                                | <b>125</b> |
| 4.1.      | Wprowadzenie                                                   | 126        |
| 4.2.      | Drewno                                                         | 127        |
| 4.2.1.    | Ilość drewna w Polsce                                          | 127        |
| 4.2.2.    | Nowoczesne technologie pozyskiwania drewna w lasach w Polsce   | 129        |
| 4.2.3.    | Rodzaje drewna energetycznego                                  | 133        |
| 4.2.4.    | Zrębki                                                         | 133        |
| 4.2.5.    | Brykiety drzewne                                               | 135        |
| 4.2.6.    | Pelety drzewne                                                 | 136        |
| 4.2.7.    | Inne pozostałe odpady drzewne, takie jak kora, trociny, wióry  | 136        |
| 4.2.8.    | Plantacje drewna energetycznego                                | 138        |
| 4.3.      | Słoma                                                          | 140        |
| 4.3.1.    | Nadwyżka słomy w Polsce                                        | 140        |

|        |                                                                               |     |
|--------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.3.2. | Charakterystyka słomy jako nośnika energii                                    | 141 |
| 4.3.3. | Sposoby szacowania zasobów słomy                                              | 141 |
| 4.3.4. | Zasoby słomy w Polsce                                                         | 145 |
| 4.3.5. | Rodzaje biopaliwa stałego ze słomy                                            | 149 |
| 4.4.   | Plantacje energetyczne                                                        | 155 |
| 4.4.1. | Powody zakładania plantacji energetycznych                                    | 155 |
| 4.4.2. | Charakterystyka roślin plantacji energetycznych                               | 155 |
| 4.4.3. | Przyszłościowe rośliny plantacji energetycznych w Polsce                      | 167 |
| 4.4.4. | Konopie przemysłowe rośliną energetyczną                                      | 170 |
| 4.4.5. | Wpływ plantacji energetycznych na środowisko w Polsce                         | 176 |
| 4.4.6. | Plantacje energetyczne w warunkach polskich                                   | 179 |
| 4.4.7. | Rachunek energetyczny biopaliw z plantacji energetycznych                     | 182 |
| 4.5.   | Niekonwencjonalne rodzaje lub sposoby zagospodarowania biomasy jako biopaliwa | 186 |
| 4.5.1. | Wprowadzenie                                                                  | 186 |
| 4.5.2. | Owies na tle innych roślin energetycznych                                     | 187 |
| 4.5.3. | Charakterystyka energetyczna owsa                                             | 188 |
| 4.6.   | Odpady biomasy (komunalne – RDF, ściekowe, opony)                             | 189 |
| 4.6.1. | Nieprzetworzone i przetworzone formy biomasy                                  | 189 |
| 4.6.2. | Palna frakcja odpadów komunalnych (RDF)                                       | 190 |
| 4.6.3. | Zużyte opony                                                                  | 202 |
| 4.6.4. | Odpady z oczyszczalni ścieków                                                 | 203 |
|        | Bibliografia                                                                  | 206 |

## 5. Metody konwersji biomasy – spalanie 221

|        |                                                     |     |
|--------|-----------------------------------------------------|-----|
| 5.1.   | Wprowadzenie                                        | 222 |
| 5.2.   | Metody konwersji biomasy                            | 223 |
| 5.3.   | Spalanie biomasy                                    | 224 |
| 5.3.1. | Kotły na biomasę pochodzenia drzewnego małej mocy   | 225 |
| 5.3.2. | Wykorzystanie drewna do produkcji ciepła w Polsce   | 226 |
| 5.3.3. | Budowa i zasada działania kotłowni opalanej drewnem | 229 |
| 5.3.4. | Elektrociepłownie na biomasę                        | 230 |
| 5.3.5. | Spalanie słomy                                      | 232 |
| 5.3.6. | Spalanie owsa                                       | 235 |
| 5.4.   | Współspalanie biomasy                               | 237 |
| 5.4.1. | Przegląd metod spalania i współspalania biomasy     | 237 |
| 5.4.2. | Stan wiedzy na temat współspalania biomasy          | 238 |
| 5.4.3. | Przykłady współspalania biomasy                     | 239 |
| 5.4.4. | Badania procesu współspalania                       | 240 |
| 5.4.5. | Wyniki badań współspalania w Ciepłowni Lębork       | 241 |
| 5.4.6. | Próby terenowe współspalania RDF                    | 248 |
| 5.4.7. | Ekonomiczna ocena współspalania biomasy             | 250 |
| 5.4.8. | Ekologiczna ocena spalania i współspalania biomasy  | 252 |
| 5.5.   | Technologia ORC w konwersji biomasy                 | 254 |
| 5.5.1. | Wprowadzenie                                        | 254 |
| 5.5.2. | Obieg ORC                                           | 255 |
| 5.5.3. | Sprawność obiegu ORC                                | 256 |
| 5.5.4. | Warianty instalacji z obiegiem ORC                  | 256 |
| 5.5.5. | Kogeneracyjna elektrociepłownia ORC na biomasę      | 258 |

|        |                                                                |     |
|--------|----------------------------------------------------------------|-----|
| 5.6.   | Małe elektrociepłownie – kogeneracja rozproszona               | 259 |
| 5.6.1. | Zalety i wady małych jednostek kogeneracyjnych                 | 259 |
| 5.6.2. | Mikroturbiny gazowe                                            | 260 |
| 5.6.3. | Turbina gazowa o odwróconym obiegu                             | 261 |
| 5.6.4. | Obieg Kaliny                                                   | 262 |
| 5.6.5. | Wykorzystanie silnika Stirlinga do konwersji energii z biomasy | 264 |
| 5.6.6. | Wykorzystanie ogniw paliwowych do konwersji energii z biomasy  | 267 |
| 5.7.   | Podsumowanie                                                   | 276 |
|        | Bibliografia                                                   | 277 |

## 6. Termiczne metody konwersji biomasy – karbonizacja, zgazowanie i hydrotermiczny reforming 285

|        |                                                                           |     |
|--------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 6.1.   | Wprowadzenie                                                              | 286 |
| 6.2.   | Metody termicznej konwersji biomasy                                       | 286 |
| 6.3.   | Mechanizmy suchego termicznego rozkładu biomasy                           | 288 |
| 6.4.   | Biokarbonizacja biomasy                                                   | 290 |
| 6.4.1. | Biokarbonat                                                               | 290 |
| 6.4.2. | Biokarbonizery                                                            | 291 |
| 6.4.3. | Produkcja biokarbonatu w Polsce                                           | 291 |
| 6.5.   | Zgazowanie biomasy                                                        | 292 |
| 6.5.1. | Warunki zgazowania biomasy                                                | 292 |
| 6.5.2. | Sposoby zgazowania biomasy                                                | 293 |
| 6.5.3. | Typy urządzeń do zgazowania biomasy                                       | 294 |
| 6.5.4. | Typy urządzeń do zgazowania biokarbonatu                                  | 296 |
| 6.5.5. | Doświadczenia zagraniczne ze zgazowania biomasy                           | 297 |
| 6.5.6. | Polskie doświadczenia ze zgazowaniem biomasy                              | 299 |
| 6.6.   | Zgazowanie biomasy przez hydrotermiczny reforming                         | 302 |
| 6.6.1. | Stany fizyczne wody                                                       | 302 |
| 6.6.2. | Właściwości wody w stanie nadkrytycznym (SCW)                             | 304 |
| 6.6.3. | Stan nadkrytyczny (SCW) wody jako czynnik zgazowania biomasy              | 305 |
| 6.6.4. | Utleniające właściwości wody w stanie nadkrytycznym                       | 305 |
| 6.6.5. | Przykłady wykorzystania wody w stanie nadkrytycznym do zgazowania biomasy | 306 |
| 6.6.6. | Reaktory SCWG do zgazowania biomasy                                       | 308 |
| 6.6.7. | Zgazowanie biomasy wysokotemperaturową parą wodną (HiTS)                  | 308 |
| 6.6.8. | Przyszłość technologii SCWG                                               | 309 |
|        | Bibliografia                                                              | 310 |

## 7. Termiczne metody konwersji biomasy – piroliza 315

|        |                                          |     |
|--------|------------------------------------------|-----|
| 7.1.   | Wprowadzenie – rys historyczny pirolizy  | 316 |
| 7.2.   | Mechanizmy pirolizy biomasy              | 317 |
| 7.3.   | Kinetyka pirolizy biomasy                | 319 |
| 7.3.1. | Wprowadzenie                             | 319 |
| 7.3.2. | Mechanizmy kinetyki pirolizy             | 321 |
| 7.4.   | Badania eksperymentalne pirolizy biomasy | 323 |
| 7.5.   | Zagadnienia techniczne pirolizy biomasy  | 325 |
| 7.6.   | Typy reaktorów pirolitycznych            | 329 |
| 7.6.1. | Ogólna charakterystyka pirolizerów       | 329 |



|         |                                                   |     |
|---------|---------------------------------------------------|-----|
| 7.6.2.  | Pirolizer młynowy i rurowy                        | 330 |
| 7.6.3.  | Pirolizer fluidalny i bębnowy                     | 331 |
| 7.6.4.  | Pirolizer stożkowy obrotowy, cyklonowy i PyRos    | 332 |
| 7.7.    | Przykłady instalacji pirolitycznych               | 333 |
| 7.7.1.  | Przegląd najnowszych technologii pirolizy biomasy | 333 |
| 7.7.2.  | Instalacja szybkiej pirolizy BTG                  | 333 |
| 7.7.3.  | Technologia Pyrocycling™                          | 335 |
| 7.7.4.  | Instalacja do konwersji biomasy ENTECH            | 337 |
| 7.7.5.  | Technologia WGT                                   | 337 |
| 7.7.6.  | Technologia Ragallera                             | 337 |
| 7.7.7.  | Technologia HD-PAWA-THERM                         | 338 |
| 7.7.8.  | Instalacja recyklingu RDF                         | 338 |
| 7.7.9.  | Instalacja quasi-ciągłego recyklingu opon         | 339 |
| 7.7.10. | Technologia ciągłej pirolizy całych opon          | 341 |
| 7.8.    | Podsumowanie                                      | 343 |
|         | Bibliografia                                      | 343 |

## 8. Katalityczna konwersja biomasy 347

|        |                                                             |     |
|--------|-------------------------------------------------------------|-----|
| 8.1.   | Wprowadzenie                                                | 348 |
| 8.2.   | Biodegradacja termiczno-katalityczna z uwodornieniem        | 348 |
| 8.2.1. | Katalityczny mechanizm rozkładu i upłynniania biomasy       | 348 |
| 8.2.2. | Uwodornienie ciekłych produktów pirolizy biomasy            | 349 |
| 8.3.   | Katalityczne upłynnianie biomasy do paliw metodą GTL        | 351 |
| 8.3.1. | Katalityczne upłynnianie syngazu z biomasy do GTL           | 351 |
| 8.3.2. | Mechanizmy reakcji Fischera-Tropscha produkcji biopaliw GTL | 352 |
| 8.3.3. | Technologia i reaktory Sasol do syntezy paliw GTL           | 354 |
| 8.3.4. | Technologia SMDS                                            | 358 |
| 8.3.5. | Technologia ExxonMobile produkcji GTL                       | 359 |
| 8.4.   | Katalityczne upłynnianie biomasy do paliw BtL               | 359 |
| 8.4.1. | Technologia Carbo-V® firmy CHOREN                           | 360 |
| 8.4.2. | Technologia firmy Alphakat                                  | 363 |
| 8.4.3. | Polskie próby katalitycznego rozkładu biomasy               | 366 |
| 8.5.   | Biopaliwo nowej generacji – DME                             | 367 |
| 8.5.1. | Technologie produkcji metanolu i DME z biomasy              | 367 |
| 8.5.2. | Dwuetałowa technologia produkcji DME                        | 368 |
| 8.5.3. | Jednoetałowa synteza DME bezpośrednio z syngazu             | 370 |
| 8.6.   | Grassolina                                                  | 371 |
| 8.6.1. | Właściwości celulozy                                        | 371 |
| 8.6.2. | Średnio- i niskotemperaturowe metody rozkładu celulozy      | 372 |
| 8.6.3. | Rozkład celulozy cieczami jonowymi                          | 373 |
| 8.6.4. | Technologia AFEX rozkładu celulozy                          | 374 |
| 8.6.5. | Perspektywy produkcji grassoliny                            | 376 |
| 8.7.   | Podsumowanie                                                | 376 |
|        | Bibliografia                                                | 376 |

## 9. Biopaliwa płynne – biodiesel 381

|        |                                |     |
|--------|--------------------------------|-----|
| 9.1.   | Wprowadzenie                   | 382 |
| 9.2.   | Rodzaje biopaliw płynnych      | 383 |
| 9.2.1. | Klasyfikacja biopaliw płynnych | 383 |

|         |                                                                                   |     |
|---------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 9.2.2.  | Biopaliwa I, II, III i IV generacji                                               | 385 |
| 9.3.    | Pochodzenie biodiesla                                                             | 386 |
| 9.4.    | Surowce do produkcji biodiesla                                                    | 388 |
| 9.4.1.  | Wprowadzenie                                                                      | 388 |
| 9.4.2.  | Olej rzepakowy                                                                    | 389 |
| 9.4.3.  | Alkohole                                                                          | 391 |
| 9.4.4.  | Katalizatory stosowane przy produkcji biodiesla                                   | 391 |
| 9.5.    | Rodzaje estryfikacji kwasów tłuszczowych                                          | 394 |
| 9.6.    | Przemysłowe metody prowadzenia procesu transestryfikacji                          | 395 |
| 9.6.1.  | Wiadomości ogólne                                                                 | 395 |
| 9.6.2.  | Metoda produkcji biodiesla stosowana przez firmę Henkel                           | 396 |
| 9.6.3.  | Proces produkcji biodiesla opracowany przez firmę Lurgi                           | 397 |
| 9.6.4.  | Wielostopniowa technologia Connemanna                                             | 398 |
| 9.6.5.  | Technologia estryfikacji oleju sojowego                                           | 398 |
| 9.6.6.  | Technologia estryfikacji zużytych tłuszczów LUT                                   | 400 |
| 9.6.7.  | Technologia opracowana w ICHP                                                     | 400 |
| 9.6.8.  | Metoda Cvengrosa-Powazaneca                                                       | 401 |
| 9.6.9.  | Proces Vogel&Noot                                                                 | 403 |
| 9.6.10. | Inne wybrane technologie produkcji FAME                                           | 403 |
| 9.7.    | Gliceryna jako produkt uboczny produkcji biodiesla                                | 404 |
| 9.7.1.  | Metody zagospodarowania gliceryny                                                 | 404 |
| 9.7.2.  | Próba rozwiązania problemu gliceryny dzięki Gliperolowi                           | 406 |
| 9.8.    | Koszty produkcji FAME                                                             | 407 |
| 9.9.    | Biodiesel – eksploatacja                                                          | 409 |
| 9.9.1.  | Normy do badań biodiesla                                                          | 409 |
| 9.9.2.  | Badania eksploatacyjne biodiesla w autobusach miejskich                           | 411 |
| 9.9.3.  | Badania eksploatacyjne biodiesla w generatorze prądotwórczym                      | 412 |
| 9.9.4.  | Badania przydatności biodiesla w silnikach okrętowych                             | 416 |
| 9.10.   | Polskie doświadczenia w produkcji biodiesla                                       | 419 |
| 9.10.1. | Elstar Oils S.A. Elbląg, zakład w Malborku                                        | 419 |
| 9.10.2. | Czechowice-Dziedzice w ramach Grupy LOTOS S.A.                                    | 421 |
| 9.10.3. | Rafineria Trzebinia w ramach Grupy PKN ORLEN                                      | 422 |
| 9.11.   | Produkcja biopaliw na potrzeby własne                                             | 423 |
| 9.11.1. | Warunki produkcji biopaliw na potrzeby własne                                     | 423 |
| 9.11.2. | Analiza energetyczna produkcji biopaliwa RME                                      | 425 |
| 9.11.3. | Analiza ekonomiczna produkcji biopaliwa RME                                       | 425 |
| 9.12.   | Dokumenty europejskie i ustawodawstwo krajowe dotyczące biopaliw i biokomponentów | 427 |
| 9.12.1. | Regulacje prawne o charakterze ramowym                                            | 428 |
| 9.12.2. | Regulacje prawne o charakterze szczegółowym                                       | 428 |
| 9.12.3. | Regulacje prawne dotyczące indywidualnej produkcji biopaliw                       | 429 |
| 9.12.4. | Wpływ ustawodawstwa na rynek biopaliw w Polsce                                    | 431 |
| 9.13.   | Szanse rozwoju biopaliw                                                           | 433 |
| 9.14.   | Podsumowanie                                                                      | 434 |
|         | Bibliografia                                                                      | 435 |

## 10. Biopaliwa płynne – bioetanol

441

|       |                            |     |
|-------|----------------------------|-----|
| 10.1. | Wprowadzenie               | 442 |
| 10.2. | Charakterystyka bioetanolu | 442 |

|                                                                          |     |
|--------------------------------------------------------------------------|-----|
| 10.3. Surowce do produkcji bioetanolu                                    | 445 |
| 10.4. Mechanizm fermentacji alkoholowej                                  | 447 |
| 10.5. Metody produkcji bioetanolu                                        | 448 |
| 10.5.1. Trzy etapy produkcji etanolu                                     | 448 |
| 10.5.2. Technologia logen                                                | 451 |
| 10.5.3. Technologia ICM                                                  | 452 |
| 10.5.4. Technologia z użyciem wody w stanie nadkrytycznym                | 453 |
| 10.6. Biorafinerie perspektywą rozwoju produkcji bioetanolu              | 455 |
| 10.7. Światowa produkcja bioetanolu                                      | 456 |
| 10.8. Niemieckie działania w zakresie promocji biopaliw i biokomponentów | 458 |
| 10.9. Badania bioetanolu jako paliwa do silników spalinowych             | 459 |
| Bibliografia                                                             | 461 |

## 11. Biogaz 465

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 11.1. Wprowadzenie                                                           | 466 |
| 11.2. Mechanizm powstawania biogazu                                          | 467 |
| 11.3. Technologie wytwarzania i zagospodarowania biogazu                     | 471 |
| 11.4. Biogaz z oczyszczalni ścieków                                          | 473 |
| 11.5. Biogaz z wysypisk śmieci                                               | 477 |
| 11.5.1. Charakterystyka gazu wysypiskowego                                   | 477 |
| 11.5.2. Technologie pozyskiwania biogazu z odpadów                           | 481 |
| 11.5.3. Wybrane europejskie przykłady pozyskiwania biogazu z odpadów         | 484 |
| 11.5.4. Eksploatacja gazu wysypiskowego w Polsce                             | 485 |
| 11.6. Pozyskiwanie biogazu w gospodarstwach rolnych                          | 486 |
| 11.6.1. Rolnicze źródła biogazu                                              | 486 |
| 11.6.2. Technologie pozyskiwania biogazu w rolnictwie                        | 487 |
| 11.6.3. Pozyskiwanie biogazu na polskiej wsi                                 | 490 |
| 11.6.4. Korzyści i potencjał energetyczny biogazu                            | 495 |
| 11.6.5. Koncepcja wiejskiej spółdzielczej elektrociepłowni opalanej biogazem | 497 |
| 11.7. Biogaz w świetle prawa                                                 | 498 |
| 11.7.1. Biogaz rolniczy w Prawie energetycznym                               | 498 |
| 11.7.2. Świadectwa pochodzenia biogazu                                       | 499 |
| 11.7.3. Kolorowe certyfikaty                                                 | 499 |
| 11.8. Konwersja biogazu                                                      | 501 |
| 11.8.1. Wprowadzenie                                                         | 501 |
| 11.8.2. Metody wzbogacania i oczyszczania biogazu                            | 502 |
| 11.8.3. Konwersja biogazu w ciepłą energię użytkową                          | 505 |
| 11.8.4. Konwersja biogazu w energię elektryczną                              | 506 |
| 11.8.5. Koncepcje zagospodarowania ciepła odpadowego z konwersji biogazu     | 507 |
| 11.8.6. Konwersja biogazu w energię mechaniczną                              | 509 |
| 11.9. Zalety i wady produkcji energii z biogazu                              | 509 |
| 11.10. Biogaz a bezpieczeństwo energetyczne Polski                           | 510 |
| Bibliografia                                                                 | 512 |