

# 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
<b>6.</b>	<b>Termiczne metody konwersji biomasy – karbonizacja, zgazowanie i hydrotermiczny reforming</b>	<b>285</b>
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
<b>7.</b>	<b>Termiczne metody konwersji biomasy – piroliza</b>	<b>315</b>
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 Ragaillera	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
<b>8.</b>	<b>Katalityczna konwersja biomasy</b>	<b>347</b>
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.	Dwuetapowa technologia produkcji DME	368
8.5.3.	Jednoetapowa 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
<b>9.</b>	<b>Biopaliwa płynne – biodiesel</b>	<b>381</b>
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
<b>11. Biogaz</b>	<b>465</b>
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