

# Spis treści

<b>Wykaz ważniejszych skrótów i symboli</b> . . . . .	XIII
<b>1.</b> Wprowadzenie . . . . .	1
1.1. Definicja i rodzaje biopaliw . . . . .	1
1.2. Definicja biomasy . . . . .	3
1.3. Metody konwersji biomasy w biopaliwa . . . . .	3
1.4. Biopaliwa 1. i 2. generacji . . . . .	4
1.5. Zastosowanie i standardy jakości biopaliw . . . . .	6
1.6. Rozwój rynku biopaliw w aspekcie zrównoważonego rozwoju . . . . .	7
1.6.1. Aspekty środowiskowe produkcji biopaliw 8 • 1.6.2. Aspekty ekonomiczne produkcji biopaliw 13 • 1.6.3. Aspekty społeczne produkcji biopaliw 17 • 1.6.4. Perspektywy rozwoju rynku biopaliw 17	
Literatura . . . . .	18
<b>2.</b> Charakterystyka i właściwości biomasy . . . . .	21
Wprowadzenie . . . . .	21
2.1. Rodzaje biomasy do produkcji biopaliw . . . . .	22
2.1.1. Biomasa drzewna 23	
2.2. Charakterystyka chemiczna biomasy . . . . .	28
2.3. Właściwości fizyczne biomasy . . . . .	30
2.4. Kaloryczność biomasy . . . . .	31
2.5. Wskaźniki produkcji biomasy . . . . .	32
Literatura . . . . .	32
<b>3.</b> Technologie biodiesla . . . . .	35
Wprowadzenie . . . . .	35
3.1. Surowce do produkcji biodiesla . . . . .	37
3.1.1. Oleje do produkcji biopaliw 1. generacji 37 • 3.1.2. Oleje do produkcji biopaliw 2. generacji 38 • 3.1.3. Oleje i tłuszcze odpadowe 39	

3.2. Produkcja oleju . . . . .	40
3.2.1. Wstępne przygotowanie ziarna 40 • 3.2.2. Tłoczenie oleju 41 •	
3.2.3. Ekstrakcja oleju 42 • 3.2.4. Oczyszczanie oleju surowego 42	
3.3. Oleje jako biopaliwo i metody jego przetwarzania . . . . .	44
3.3.1. Charakterystyka chemiczna olejów i tłuszczu do produkcji biodiesla 46 •	
3.3.2. Wpływ składu chemicznego olejów i tłuszczu na właściwości biodiesla 48	
3.4. Wytwarzanie biodiesla – procesy i operacje jednostkowe. . . . .	49
3.4.1. Wytwarzanie estrów metylowych 50 • 3.4.2. Separacja estrów metylowych	
i gliceryny 58 • 3.4.3. Oczyszczanie estrów metylowych 59 • 3.4.4. Gospodarka	
metanolem 61 • 3.4.5. Oczyszczanie fazy glicerynowej 63	
3.5. Instalacje technologiczne do produkcji biodiesla . . . . .	65
3.5.1. Systemy okresowe 66 • 3.5.2. Systemy z przepływem ciągłym	
bezcisnieniowe 67 • 3.5.3. Systemy dwustopniowe z wykorzystaniem tłuszczu	
odpadowych jako surowców 68 • 3.5.4. Systemy ciśnieniowe 69 •	
3.5.5. Sposoby wykorzystania i zagospodarowania gliceryny 71	
3.6. Wskaźniki jakości biodiesla . . . . .	73
Literatura . . . . .	78
<b>4. Technologie bioetanolu . . . . .</b>	<b>82</b>
Wprowadzenie . . . . .	82
4.1. Wykorzystanie bioetanolu jako paliwa . . . . .	83
4.2. Surowce do wytwarzania bioetanolu . . . . .	84
4.3. Procesy i operacje jednostkowe . . . . .	86
4.3.1. Wstępne przygotowanie surowców 86 • 4.3.2. Hydroliza 87 •	
4.3.3. Fermentacja alkoholowa 88 • 4.3.4. Destylacja i rektyfikacja 89 •	
4.3.5. Odwadnianie/osuszanie bioetanolu 91 • 4.3.6. Produkty uboczne 96	
4.4. Wytwarzanie bioetanolu z surowców zawierających sacharozę –	
technologie 1. generacji . . . . .	97
4.4.1. Surowce zawierające sacharozę 97 • 4.4.2. Technologie produkcji	
bioetanolu z surowców zawierających sacharozę 98 • 4.4.3. Zagospodarowanie	
produktów ubocznych 102	
4.5. Wytwarzanie bioetanolu z surowców zawierających skrobię –	
technologie 1. generacji . . . . .	103
4.5.1. Hydroliza i fermentacja alkoholowa surowców zawierających skrobię 103	
• 4.5.2. Metoda sucha produkcji bioetanolu 106 • 4.5.3. Metoda mokra	
produkcji bioetanolu z kukurydzy 108	
4.6. Wytwarzanie bioetanolu z biomasy lignocelulozowej – technologie	
2. generacji. . . . .	109
4.6.1. Wstępna obróbka biomasy lignocelulozowej 112 • 4.6.2. Detoksykacja 116	
• 4.6.3. Fermentacja etanolowa hydrolizatów lignocelulozowych 117 •	
4.6.4. Produkty uboczne fermentacji 118	
4.7. Konwersja surowców lignocelulozowych do bioetanolu z wykorzystaniem	
procesów termochemicznych . . . . .	119
4.7.1. Technologia Coskata 119 • 4.7.2. Technologia ZeaChem 121	
4.8. Koncepcja lignorafinerii . . . . .	121
Literatura . . . . .	123

<b>5.</b>	Technologie biogazu . . . . .	125
	Wprowadzenie . . . . .	125
5.1.	Wytwarzanie biogazu metodą fermentacji metanowej. . . . .	126
	5.1.1. Podstawy biochemiczne procesu 126 • 5.1.2. Charakterystyka substratów pod kątem produkcji biogazu 128 • 5.1.3. Czynniki środowiskowe wpływające na wytwarzanie biogazu 130 • 5.1.4. Kofermentacja 131	
5.2.	Przetwarzanie odpadów komunalnych na biogaz . . . . .	132
	5.2.1. Charakterystyka odpadów komunalnych 134 • 5.2.2. Potencjał biogazowy odpadów komunalnych i ich frakcji 135	
5.3.	Systemy przetwarzania odpadów komunalnych na biogaz . . . . .	136
	5.3.1. Systemy mokre 137 • 5.3.2. Systemy suche 143 • 5.3.3. Systemy perkolacyjne 146	
5.4.	Wytwarzanie biogazu rolniczego . . . . .	148
	5.4.1. Substraty i kosubstraty do wytwarzania biogazu rolniczego 149 • 5.4.2. Przygotowanie biomasy roślinnej do fermentacji 160 • 5.4.3. Fermentacja biomasy w systemach suchych i mokrych 164 • 5.4.4. Parametry technologiczne procesu 166	
5.5.	Systemy wytwarzania biogazu rolniczego . . . . .	169
5.6.	Oczyszczanie i wzbogacanie biogazu . . . . .	170
	5.6.1. Oczyszczanie biogazu 172 • 5.6.2. Wzbogacanie (uszlachetnianie) biogazu 172 • 5.6.3. Porównanie metod wzbogacania biogazu z przeznaczeniem na biopaliwo 178	
	Literatura . . . . .	179
<b>6.</b>	Zgazowanie biomasy . . . . .	183
	Wprowadzenie . . . . .	183
6.1.	Charakterystyka i przygotowanie surowców do zgazowania . . . . .	184
6.2.	Spalanie biomasy. . . . .	186
6.3.	Zgazowanie biomasy . . . . .	187
	6.3.1. Mechanizm zgazowania 188 • 6.3.2. Warunki operacyjne zgazowania 190 • 6.3.3. Generatory gazu 190	
6.4.	Systemy oczyszczania gazu surowego . . . . .	200
	6.4.1. Usuwanie smoły 202 • 6.4.2. Usuwanie popiołu 207 • 6.4.3. Usuwanie zanieczyszczeń 209 • 6.4.4. Przetwarzanie/wzbogacanie gazu syntezowego 212 • 6.4.5. Kierunki rozwoju technologii zgazowania biomasy z wykorzystaniem generatorów strumieniowych 214	
	Literatura . . . . .	220
<b>7.</b>	Biopaliwa syntetyczne. . . . .	222
	Wprowadzenie . . . . .	222
7.1.	Synteza Fischera–Tropscha . . . . .	223
	7.1.1. Model kinetyczny syntezy węglowodorów 226 • 7.1.2. Produkty syntezy Fischera–Tropscha 227	
7.2.	Warunki syntezy Fischera–Tropscha . . . . .	229
	7.2.1. Katalizatory 229 • 7.2.2. Temperatura i ciśnienie 230	
7.3.	Reaktory do syntezy Fischera–Tropscha . . . . .	231

7.4. Systemy wytwarzania biopaliw z wykorzystaniem syntezy Fischera–Tropscha . . . . .	234
7.5. Metanol i jego pochodne . . . . .	236
7.5.1. Budowa i właściwości 236 • 7.5.2. Synteza metanolu 238 • 7.5.3. Synteza dimetyloeteru 241 • 7.5.4. Synteza alkoholi mieszanych 242 • 7.5.5. Wytwarzanie etanolu 244	
Literatura . . . . .	245
<b>8. Piroliza biomasy . . . . .</b>	<b>247</b>
Wprowadzenie . . . . .	247
8.1. Piroliza biomasy lignocelulozowej . . . . .	247
8.2. Wpływ warunków termicznych na pirolizę biomasy . . . . .	250
8.3. Podział metod pirolizy i ich charakterystyka . . . . .	251
8.4. Pirolizery . . . . .	254
8.5. Produkty pirolizy . . . . .	262
8.6. Systemy pirolizy . . . . .	265
8.7. Wzbogacanie biooleju . . . . .	268
8.8. Wybrane systemy produkcji oleju pirolitycznego . . . . .	271
Literatura . . . . .	272
<b>9. Technologie biowodoru. . . . .</b>	<b>275</b>
Wprowadzenie . . . . .	275
9.1. Wytwarzanie biowodoru z biomasy z wykorzystaniem metod termochemicznych . . . . .	277
9.1.1. Wytwarzanie biowodoru z syngazu 278 • 9.1.2. Wytwarzanie biowodoru z biomasy metodą pirolizy 281 • 9.1.3. Wytwarzanie biowodoru z biomasy metodą hydrotermalnego zgazowania (SCWG) 281	
9.2. Wytwarzanie biowodoru metodami biotechnologicznymi . . . . .	282
9.2.1. Produkcja biowodoru metodą fermentacji ciemnej 283 • 9.2.2. Fotofermentacja 289	
9.3. Biologiczna konwersja tlenku węgla z wytworzeniem biowodoru z wody (reakcja WGS) . . . . .	293
9.4. Biofotoliza . . . . .	294
Literatura . . . . .	294
<b>10. Biopaliwa 3. i 4. generacji. . . . .</b>	<b>297</b>
Wprowadzenie . . . . .	297
10.1. Wytwarzanie biomasy glonów w procesie fotosyntezy . . . . .	298
10.2. Fotosyntetyczna produkcja lipidów do wytwarzania biopaliw 3. generacji. . . . .	300
10.3. Wytwarzanie biowodoru z udziałem glonów . . . . .	302
10.3.1. Biofotoliza bezpośrednia 302 • 10.3.2. Biofotoliza pośrednia 303	
10.4. Charakterystyka fotobioreaktów do syntezy glonów . . . . .	305
10.4.1. Podstawowe kryteria projektowe 305 • 10.4.2. Rozwiązania konstrukcyjne wybranych typów fotobioreaktorów 308	
Literatura . . . . .	312
<b>Wykaz nazw roślin wyższych . . . . .</b>	<b>315</b>

<b>Wykaz nazw glonów, grzybów, drożdży i bakterii</b> . . . . .	317
<b>Skorowidz</b> . . . . .	319

Płyta CD

1. Rośliny wykorzystywane do produkcji biopaliw.
  - Drzewa i krzewy
  - Rośliny oleiste
  - Rośliny zawierające sacharozę
  - Rośliny zawierające skrobię
  - Trawy
2. Produkty uboczne z rolnictwa i leśnictwa.
  - Odpadowa biomasa drzewna
  - Odpadowa biomasa roślin zielnych
3. Literatura
4. Przykłady obliczeń technologicznych.
  - Zadanie 1 – Produkcja biodiesla
  - Zadanie 2 – Przetwarzanie odpadów
  - Zadanie 3 – Wytwarzanie biogazu