

# SPIS TREŚCI

|                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Wprowadzenie .....                                                                                               | 7  |
| 1.1. Rynek biopaliw, potencjał surowcowy .....                                                                      | 8  |
| 1.2. Uwarunkowania środowiskowe rozwoju biopaliw .....                                                              | 10 |
| 1.3. Biopaliwa – regulacje formalno-prawne .....                                                                    | 12 |
| 1.4. Biopaliwa I generacji .....                                                                                    | 16 |
| 1.5. Biopaliwa II generacji (surowce lignocelulozowe) .....                                                         | 18 |
| 1.6. Biopaliwa III generacji (glony) .....                                                                          | 20 |
| 1.7. Biopaliwa IV generacji (eksploracja mechanizmów fotosyntetycznych) .....                                       | 20 |
| 2. Biopaliwa stałe .....                                                                                            | 22 |
| 2.1. Surowiec (produkcja, logistyka) .....                                                                          | 25 |
| 2.2. Technologie zagęszczania i kondycjonowania biomasy .....                                                       | 34 |
| 3. Procesy i produkty spalania, pirolizy, zgazowania .....                                                          | 42 |
| 3.1. Spalanie .....                                                                                                 | 42 |
| 3.2. Zgazowanie .....                                                                                               | 42 |
| 3.3. Piroliza .....                                                                                                 | 43 |
| 3.3.1. Ogólny mechanizm pirolizy .....                                                                              | 44 |
| 3.3.2. Podział procesów pirolizy .....                                                                              | 44 |
| 3.3.3. Olej pirolityczny .....                                                                                      | 47 |
| 3.3.4. Gaz pirolityczny .....                                                                                       | 48 |
| 3.3.5. Technologia .....                                                                                            | 48 |
| 3.3.6. Mechanizm degradacji biomasy lignocelulozowej w procesie pirolizy .....                                      | 49 |
| 3.3.7. Biowęgiel jako biopaliwo stałe .....                                                                         | 51 |
| 4. Biopaliwa ciekłe .....                                                                                           | 54 |
| 4.1. Bioetanol .....                                                                                                | 54 |
| 4.2. Przemysł procesów fermentacyjnych .....                                                                        | 56 |
| 4.3. Produkcja etanolu .....                                                                                        | 57 |
| 4.4. Etanol jako biopaliwo .....                                                                                    | 58 |
| 4.4.1. Rośliny cukrowe .....                                                                                        | 60 |
| 4.4.1.1. Charakterystyka technologiczna surowca – burak cukrowy .....                                               | 60 |
| 4.4.1.2. Proces fermentacji w aspekcie technologii wytwarzania<br>cukru z buraka cukrowego i trzciny cukrowej ..... | 61 |
| 4.4.2. Rośliny skrobiowe .....                                                                                      | 62 |
| 4.4.3. Surowce lignocelulozowe .....                                                                                | 63 |
| 4.4.3.1. Wytwarzanie etanolu 2G z surowca lignocelulozowego .....                                                   | 65 |
| 4.4.3.2. Technologie procesowe .....                                                                                | 67 |
| 4.4.4. Inne źródła biomasy lignocelulozowej .....                                                                   | 69 |
| 5. Biopaliwa gazowe .....                                                                                           | 70 |
| 5.1. Biogaz .....                                                                                                   | 70 |
| 5.1.1. Rodzaje fermentacji .....                                                                                    | 70 |
| 5.1.2. Metan – wartość energetyczna i jakość .....                                                                  | 71 |
| 5.1.3. Produkcja biogazu z biomasy lignocelulozowej .....                                                           | 72 |

|                                                                        |     |
|------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.1.4. Biogazownie w Polsce i na świecie .....                         | 75  |
| 5.1.5. Technologie otrzymywania biogazu .....                          | 76  |
| 5.2. Biowodór .....                                                    | 77  |
| 5.2.1. Wstęp .....                                                     | 77  |
| 5.2.2. Metody termochemiczne wytwarzania biowodoru .....               | 79  |
| 5.2.3. Metody biochemiczne wytwarzania biowodoru .....                 | 80  |
| 5.2.4. Biokonwersja .....                                              | 85  |
| 5.3. Gaz syntezowy .....                                               | 87  |
| 5.3.1. Proces termochemicznego przerobu biomasy lignocelulozowej ..... | 87  |
| 5.3.2. Rozwiązania technologiczne procesu zgazowania biomasy .....     | 90  |
| 5.3.3. Technologie rynkowe zgazowania biomasy lignocelulozowej .....   | 96  |
| 5.4. Pochodne procesu Fischera-Tropscha .....                          | 104 |
| 6. Wykorzystanie biopaliw .....                                        | 110 |
| 6.1. Wstęp .....                                                       | 110 |
| 6.2. Etanol jako paliwo silników spalinowych .....                     | 111 |
| 6.3. Ogniwa paliwowe .....                                             | 113 |
| 6.4. Etanolowe ogniwa paliwowe – rodzaje .....                         | 115 |
| 6.4.1. Pośrednie ogniwa paliwowe zasilane etanolem .....               | 116 |
| 6.4.2. Ogniwa paliwowe ze stałym tlenkiem .....                        | 116 |
| 6.4.3. Ogniwo paliwowe z membraną do wymiany protonów .....            | 117 |
| 6.4.4. Ogniwo paliwowe bezpośrednio zasilane etanolem .....            | 117 |
| 6.4.5. Alkaliczne DEFC .....                                           | 118 |
| 6.5. Katalizatory .....                                                | 118 |
| 6.6. Koszt DEFC .....                                                  | 119 |
| 6.7. Komercyjne wykorzystanie ogniw paliwowych .....                   | 119 |
| 6.7.1. Zastosowanie DEFC .....                                         | 120 |
| 6.8. Podsumowanie .....                                                | 121 |
| 7. Zrównoważony rozwój biopaliw .....                                  | 122 |
| 7.1. Biopaliwa jako produkt biorafinerii .....                         | 124 |
| 7.1.1. Platforma cukrowa .....                                         | 128 |
| 7.1.2. Platforma termo-chemiczna .....                                 | 131 |
| 7.2. Biopaliwa jako komponent gospodarki cyrkulacyjnej .....           | 132 |
| 8. Podsumowanie .....                                                  | 135 |
| Literatura .....                                                       | 137 |
| Streszczenie .....                                                     | 161 |