

# Spis treści

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Wykaz skrótów .....                                                                                    | 9  |
| Słowo wstępu .....                                                                                     | 11 |
| Cel i zakres monografii .....                                                                          | 15 |
| Rozdział 1.                                                                                            |    |
| Zjawisko wybuchowości pyłów .....                                                                      | 17 |
| Rozdział 2.                                                                                            |    |
| Charakterystyka potencjalnych źródeł zapłonu pyłów .....                                               | 25 |
| 2.1. Gorące powierzchnie .....                                                                         | 25 |
| 2.2. Płomienie i gorące gazy oraz cząsteczki .....                                                     | 26 |
| 2.3. Iskry generowane mechanicznie .....                                                               | 26 |
| 2.4. Urządzenia elektryczne .....                                                                      | 27 |
| 2.5. Prądy błądzące i katodowa ochrona przed korozją .....                                             | 28 |
| 2.6. Wyładowania elektrostatyczne .....                                                                | 28 |
| 2.7. Wyładowania atmosferyczne .....                                                                   | 32 |
| 2.8. Fale o częstotliwości radiowej od $10^4$ Hz do $3 \cdot 10^{11}$ Hz .....                         | 33 |
| 2.9. Fale elektromagnetyczne o częstotliwości<br>od $3 \cdot 10^{11}$ Hz do $3 \cdot 10^{15}$ Hz ..... | 33 |
| 2.10. Promieniowanie jonizujące .....                                                                  | 34 |
| 2.11. Ultradźwięki .....                                                                               | 34 |
| 2.12. Adiabatyczne sprężanie i fale ciśnienia .....                                                    | 35 |
| 2.13. Reakcje egzotermiczne, w tym samozapalenie pyłów .....                                           | 35 |

## Rozdział 3.

### Właściwości pyłów i parametry wybuchowości wpływające

|                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------|----|
| na zjawisko wybuchu .....                                                     | 37 |
| 3.1. Wpływ rozmiaru cząsteczek pyłu na jego wybuchowość .....                 | 37 |
| 3.2. Wpływ stężenia tlenu w atmosferze na wybuchowość pyłów ....              | 38 |
| 3.3. Różnice i podobieństwa pomiędzy wybuchami pyłów<br>palnych i gazów ..... | 39 |
| 3.4. Maksymalne ciśnienie wybuchu $p_{max}$ .....                             | 41 |
| 3.5. Granice wybuchowości pyłów .....                                         | 45 |
| 3.6. Minimalna temperatura zapłonu pyłu .....                                 | 48 |
| 3.7. Minimalna energia zapłonu obłoku pyłu .....                              | 49 |
| 3.8. Rezystywność pyłu w warstwie .....                                       | 50 |
| 3.9. Skłonność nagromadzeń pyłu do samozapalenia .....                        | 51 |

## Rozdział 4.

|                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Technologie wytwarzania energii z paliw stałych .....                                      | 53 |
| 4.1. Powstawanie złóż węgla .....                                                          | 54 |
| 4.2. Rozkład termiczny węgla .....                                                         | 55 |
| 4.3. Utlenianie koksu .....                                                                | 55 |
| 4.4. Szacowanie ciepła spalania dla rozdrobnionej substancji palnej ...                    | 56 |
| 4.5. Optymalizacja produkcji energii przy współspalaniu<br>węgla i biomasy .....           | 58 |
| 4.6. Produkcja i obróbka biomasy .....                                                     | 60 |
| 4.6.1. Charakterystyka biomasy jako paliwa .....                                           | 60 |
| 4.6.2. Rozkład termiczny i spalanie biomasy .....                                          | 68 |
| 4.7. Zagrożenia pożarowo-wybuchowe związane z wykorzystaniem<br>biomasy w energetyce ..... | 71 |
| 4.7.1. Szybkość rozprzestrzeniania płomienia .....                                         | 71 |
| 4.7.2. Przykłady zdarzeń niebezpiecznych z udziałem<br>pyłów biomasy .....                 | 71 |
| 4.7.3. Analiza zjawisk sprzyjających powstawaniu pożarów<br>i wybuchów pyłów .....         | 73 |

## Rozdział 5.

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| Sposoby zapobiegania pożarom i wybuchom pyłów .....                | 77 |
| 5.1. Zadania ochrony przeciwybuchowej .....                        | 77 |
| 5.2. Zapobieganie nadmiernemu samonagrzewaniu pyłów w silosach ... | 78 |



|                                                                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.3. Stosowanie urządzeń odpornych na wybuch .....                                                             | 80  |
| 5.4. Kanały eksplozyjne (dywertery) .....                                                                      | 80  |
| 5.5. Urządzenia odciążające wybuch .....                                                                       | 82  |
| 5.6. Bezpłomieniowe urządzenia odciążające wybuch .....                                                        | 84  |
| 5.7. Systemy izolowania wybuchu .....                                                                          | 85  |
| 5.8. Systemy tłumienia wybuchu .....                                                                           | 87  |
| 5.9. Kontrola źródeł zapłonu i środki organizacyjne .....                                                      | 89  |
| Rozdział 6.                                                                                                    |     |
| Opis materiału badawczego .....                                                                                | 91  |
| 6.1. Przygotowanie próbek do badań .....                                                                       | 93  |
| 6.2. Analiza kształtu ziaren uzyskanego pyłu biomasy .....                                                     | 98  |
| 6.3. Rozkład granulometryczny badanych próbek .....                                                            | 102 |
| Rozdział 7.                                                                                                    |     |
| Badania eksperymentalne .....                                                                                  | 105 |
| 7.1. Parametry wybuchowości oznaczane w komorze sferycznej<br>o pojemności 20 dm <sup>3</sup> .....            | 106 |
| 7.1.1. Metoda badawcza oznaczania maksymalnego ciśnienia<br>wybuchu $p_{\max}$ .....                           | 106 |
| 7.1.2. Metoda badawcza oznaczania maksymalnej szybkości<br>narastania ciśnienia wybuchu $(dp/dt)_{\max}$ ..... | 108 |
| 7.1.3. Metoda badawcza oznaczania dolnej granicy<br>wybuchowości obłoków pyłu .....                            | 109 |
| 7.1.4. Wyniki badań .....                                                                                      | 109 |
| 7.2. Oznaczanie minimalnej temperatury zapłonu pyłu .....                                                      | 115 |
| 7.2.1. Metoda badawcza .....                                                                                   | 115 |
| 7.2.2. Wyniki badań .....                                                                                      | 116 |
| 7.3. Klasyfikacja materiału pod kątem jego rezystywności .....                                                 | 118 |
| 7.3.1. Metoda badawcza .....                                                                                   | 118 |
| 7.3.2. Wyniki badań .....                                                                                      | 119 |
| 7.4. Określanie wartości ciepła spalania brutto .....                                                          | 119 |
| 7.4.1. Metoda badawcza .....                                                                                   | 119 |
| 7.4.2. Wyniki badań .....                                                                                      | 120 |
| 7.5. Oznaczanie minimalnej energii zapłonu obłoku pyłu .....                                                   | 121 |
| 7.5.1. Metoda badawcza .....                                                                                   | 121 |
| 7.5.2. Wyniki badań .....                                                                                      | 123 |

|                                                                              |     |
|------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.6. Analiza termograwimetryczna (TG) .....                                  | 123 |
| 7.6.1. Metoda badawcza .....                                                 | 123 |
| 7.6.2. Podsumowanie wyników badań .....                                      | 125 |
| 7.6.3. Wyniki badań w atmosferze utleniającej .....                          | 126 |
| 7.6.4. Wyniki badań w atmosferze inertnej .....                              | 128 |
| 7.7. Analiza FTIR .....                                                      | 132 |
| 7.7.1. Metoda badawcza .....                                                 | 132 |
| 7.7.2. Podsumowanie wyników badań .....                                      | 133 |
| 7.7.3. Wyniki badań w atmosferze utleniającej .....                          | 136 |
| 7.7.4. Wynik badań w atmosferze inertnej .....                               | 144 |
| 7.8. Analiza elementarna .....                                               | 153 |
| 7.8.1. Metoda badawcza .....                                                 | 153 |
| 7.8.2. Wyniki badań .....                                                    | 153 |
| 7.9. Badanie korelacji liniowych pomiędzy uzyskanymi<br>wynikami badań ..... | 156 |
| 7.9.1. Metoda badawcza .....                                                 | 156 |
| 7.9.2. Wyniki badań .....                                                    | 158 |
| Rozdział 8.                                                                  |     |
| Zestawienie wniosków .....                                                   | 163 |
| 8.1. Wnioski ogólne .....                                                    | 163 |
| 8.2. Wnioski z badań poszczególnych próbek .....                             | 172 |
| 8.2.1. Pył z pelletu siano/słoma .....                                       | 172 |
| 8.2.2. Pył z odpadu po blanszowaniu orzechów ziemnych ....                   | 175 |
| 8.2.3. Pył z łupin orzechów włoskich .....                                   | 179 |
| 8.2.4. Pył z pelletu słonecznikowego .....                                   | 182 |
| 8.2.5. Pył z pelletu drzewnego .....                                         | 185 |
| Rozdział 9.                                                                  |     |
| Podsumowanie wniosków z przeprowadzonej pracy badawczej .....                | 187 |
| Rozdział 10.                                                                 |     |
| Kierunki dalszych badań .....                                                | 191 |
| Literatura .....                                                             | 193 |