

SPIS TREŚCI

WYKAZ PODSTAWOWYCH SYMBOLI I OZNACZEŃ	9
1. WPROWADZENIE	13
1.1. Wstęp	13
1.2. Problemy badawcze stosowania biopaliw gazowych do zasilania tłokowych silników spalinowych	16
1.3. Motywacja realizacji badań w zakresie podjętej tematyki	18
1.4. Cel, zakres oraz tezy pracy	19
2. STAN WIEDZY W ZAKRESIE ENERGETYCZNEGO WYKORZYSTANIA BIOPALIW GAZOWYCH	23
2.1. Spalanie biopaliw gazowych w stacjonarnych silnikach spalinowych	23
2.1.1. Silniki o zapłonie iskrowym (ZI)	23
2.1.2. Silniki o zapłonie samoczynnym (ZS) z dawką pilotującą paliwa ciekłego	30
2.1.3. Silniki spalinowe pracujące w trybie HCCI	32
2.2. Inne urządzenia energetyczne zasilane biogazami	35
3. ANALIZA PARAMETRÓW PRACY SILNIKA SPALINOWEGO ZASILANEGO PALIWEM GAZOWYM	38
3.1. Charakterystyka wybranych paliw gazowych	38
3.1.1. Biogaz (gaz fermentacyjny)	38
3.1.2. Gaz z procesu pirolizy oraz zgazowania biomasy	40
3.2. Właściwości mieszanki gazowo-powietrznej	44
3.2.1. Ogólna charakterystyka napełniania silnika spalinowego ładunkiem	44
3.2.2. Objętościowa dawka mieszanki gazowo-powietrznej	47
3.2.3. Wartość opałowa mieszanki gazowo-powietrznej	52
3.3. Parametry obiegu porównawczego silnika ZI zasilanego paliwem gazowym ..	55
3.3.1. Algorytm obliczeniowy oraz przyjęte założenia	55
3.3.2. Wpływ składu mieszanki na parametry energetyczne osiągnane przez silnik spalinowy	64
3.4. Określenie przebiegu chwilowych parametrów wewnętrznych silnika na podstawie techniki indykacji	74
3.4.1. Identyfikacja parametrów stanu czynnika roboczego	74
3.4.2. Chwilowy bilans energii komory spalania – uwalnianie energii chemicznej paliwa gazowego	76

4. BADANIA LABORATORYJNE SILNIKÓW ZASILANYCH PALIWEM GAZOWYM	86
4.1. Charakterystyka stanowisk badawczych.....	86
4.1.1. Stanowiska do badań silników ZI.....	86
4.1.2. Stanowisko badawcze silnika HCCI	92
4.1.3. Paliwa wykorzystywane podczas badań.....	96
4.1.4. Aparatura badawcza oraz niepewność wyników pomiarowych.....	99
4.2. Plan eksperymentu.....	102
4.2.1. Założenia ogólne	102
4.2.2. Zakres przeprowadzonych badań eksperymentalnych	103
4.3. Realizacja badań eksperymentalnych oraz wyniki obliczeń	107
4.3.1. Przebieg chwilowych wartości ciśnienia oraz temperatury w cylindrze.....	107
4.3.2. Kontrola początku procesu spalania w silniku HCCI	113
4.3.3. Powtarzalność kolejnych cykli roboczych badanych silników spalinowych	117
5. OCENA PARAMETRÓW WEWNĘTRZNYCH PODCZAS SPALANIA BIOPALIW GAZOWYCH	127
5.1. Uwalnianie energii chemicznej paliwa w zakresie zmiennych warunków procesu spalania oraz stosowanych paliw	127
5.1.1. Intensywność uwalniania energii chemicznej paliwa	127
5.1.2. Stopień wypalenia paliwa.....	134
5.1.3. Całkowity kąt spalania	140
5.2. Efektywność procesu konwersji energii w odniesieniu do parametrów wewnętrznych.....	146
5.2.1. Jednostkowa praca wewnętrzna	146
5.2.2. Sprawność wewnętrzna	151
5.2.3. Wpływ wartości opałowej modelowego gazu syntezowego na parametry silnika ZI.....	158
5.3. Emisja substancji szkodliwych w odniesieniu do pracy wewnętrznej silnika.....	162
5.3.1. Wielkość emisji spalin silnika ZI dla zmiennych parametrów regulacyjnych oraz rodzaju stosowanego paliwa.....	162
5.3.2. Porównanie wskaźników emisji silnika HCCI oraz ZI podczas zasilania gazem syntezowym o zbliżonym składzie.....	174
6. ZBIORCZE UJĘCIE WYNIKÓW BADAŃ SILNIKA ZI	178
6.1. Spalanie gazu ziemnego, biogazu, gazu syntezowego oraz tlenu węgla w silniku ZI.....	178
6.1.1. Wpływ rodzaju paliwa gazowego na wartość mocy elektrycznej pozyskiwanej w układzie	178
6.1.2. Efektywność wytwarzania energii elektrycznej w układzie silnik ZI – generator prądu elektrycznego	183

6.1.3. Emisja substancji szkodliwych odniesiona do energii elektrycznej generowanej przez układ silnik ZI – generator prądu elektrycznego	189
6.2. Możliwości poprawy regulacji silnika ZI zasilanego gazem syntezowym	198
6.2.1. Jakościowa regulacja obciążenia silnika ZI zasilanego gazem zawierającym wodór	198
6.2.2. Minimalizacja szkodliwego oddziaływania na środowisko naturalne układu CHP	202
6.2.3. Elementy bilansu energii układu CHP	216
7. PODSUMOWANIE I WNIOSKI KOŃCOWE	223
7.1. Podsumowanie	223
7.2. Wnioski	225
7.3. Kierunki dalszych badań	229
BIBLIOGRAFIA	231
Streszczenie	246