

Spis treści

| | |
|---|-----------|
| Streszczenie | 9 |
| Summary | 11 |
| Spis najważniejszych oznaczeń i symboli | 13 |
| L Wstęp | 17 |
| 2. Skroplony gaz ziemny (LNG) | 22 |
| 2.1. Właściwości fizykochemiczne LNG..... | 22 |
| 2.2. Przygotowanie gazu ziemnego do obróbki kriogenicznej..... | 22 |
| 2.3. Skraplanie gazu ziemnego..... | 26 |
| 2.3.1. Metody skraplania gazu ziemnego..... | 26 |
| 2.3.2. Klasyczny cykl kaskadowy..... | 27 |
| 2.3.3. Cykl kaskadowy z mieszanym czynnikiem chłodzącym..... | 28 |
| 2.3.4. Cykl rozprężania z zastosowaniem turboekspandera..... | 28 |
| 2.4. Magazynowanie LNG..... | 28 |
| 2.5. Rozładunek i regazyfikacja LNG..... | 30 |
| 2.5.1. Wprowadzenie..... | 30 |
| 2.5.2. Technologia rozładunku..... | 32 |
| 2.5.3. Regazyfikacja LNG..... | 34 |
| 3. Analiza zmienności składu LNG w świetle regulacji i norm jakościowych | 36 |
| 3.1. Wprowadzenie..... | 36 |
| 3.2. Normy i regulacje prawne dotyczące jakości zregazyfikowanego skroplonego gazu ziemnego wprowadzanego do sieci gazowej..... | 37 |
| 3.3. Zakres składów LNG poddany analizie..... | 39 |
| 3.4. Przykładowe wymagania jakościowe wobec skroplonego gazu ziemnego w terminalu LNG..... | 39 |

| | |
|---|-----------|
| 3.5. Składy LNG z różnych źródeł importowych..... | 41 |
| 3.6. Kryteria jakościowe a zawartość poszczególnych składników LNG. | 42 |
| 3.6.1. Dobór przykładowych składów LNG na podstawie kryterium ciepła spalania..... | 44 |
| 3.6.2. Dobór przykładowych składów LNG na podstawie kryterium maksymalnej liczby Wobbego..... | 44 |
| 3.6.3. Rekomendacje dotyczące zakresu zawartości składników gazu skroplonego..... | 45 |
| 3.7. Analiza zawartości poszczególnych składników lekkiego LNG..... | 48 |
| 3.8. Skład gazu odparowanego BOG (<i>Boil-off Gas</i>) dla analizowanych przypadków..... | 50 |
| 3.9. Różnorodność składów LNG na podstawie kryterium gęstości..... | 51 |
| 3.10. Analiza jakościowa przyjętych składów bazowych skroplonego gazu ziemnego (LNG)..... | 53 |
| 3.10.1. Wprowadzenie..... | 53 |
| 3.10.2. Założenia dla części obliczeniowej..... | 53 |
| 3.10.3. Zakres gęstości LNG (faza ciekła)..... | 54 |
| 3.10.4. Zakres gęstości gazu ziemnego (faza gazowa)..... | 58 |
| 3.10.5. Zakres liczby Wobbego, ciepła spalania i wartości opałowej..... | 61 |
| 3.11. Podsumowanie..... | 62 |
| 4. Wymagania jakościowe wobec skroplonego gazu ziemnego (LNG) jako paliwa silnikowego..... | 67 |
| 4.1. Wprowadzenie..... | 67 |
| 4.2. Kryterium liczby metanowej..... | 68 |
| 4.3. Metody wyznaczania liczby metanowej..... | 69 |
| 4.4. Przykładowe metody obliczenia liczby metanowej..... | 73 |
| 4.4.1. Metoda <i>HIC</i> | 73 |
| 4.4.2. Metoda PKI DNV..... | 76 |
| 4.4.3. Metoda Cummins..... | 79 |
| 4.5. Wymagania producentów silników dotyczące jakości paliwa gazowego. | 80 |
| 4.6. Analiza zmian składów skroplonego gazu ziemnego według kryterium liczby metanowej..... | 81 |
| 4.7. Bunkrowanie statków..... | 82 |
| 5. Rekomendacje dotyczące składów LNG według przyjętych kryteriów. | 85 |
| 5.1. Wprowadzenie..... | 85 |
| 5.2. Składy bazowe..... | 85 |

| | |
|---|------------|
| 5.3. Kryterium maksymalnej wartości ciepła spalania ($H_{s_{max}} = 45,3 \text{ MJ/m}_n^3$)..... | 86 |
| 5.4. Kryterium maksymalnej liczby Wobbego ($W_{s_{max}} = 56,9 \text{ MJ/m}_n^3$)..... | 87 |
| 5.5. Kryteria liczby metanowej dla gazu ziemnego jako paliwa silnikowego ... | 88 |
| 5.6. Maksymalne dopuszczalne zawartości zanieczyszczeń..... | 90 |
| 5.7. Zakres zmian gęstości..... | 90 |
| 6. Zmiany jakościowe LNG podczas transportu i magazynowania | 92 |
| 6.1. Wprowadzenie..... | 92 |
| 6.2. Założenia do modelowania procesu starzenia się LNG..... | 96 |
| 6.3. Model termodynamiczny według Migliorego..... | 98 |
| 6.3.1. Zbiornik magazynowy..... | 101 |
| 6.3.2. Procedura obliczeniowa w modelu Migliorego..... | 103 |
| 6.4. Modelowanie procesu wietrzenia według Pellegrini..... | 103 |
| 6.5. Proponowany zmodyfikowany model procesu magazynowania | 106 |
| 6.5.1. Opis modelu..... | 106 |
| 6.5.2. Procedura obliczeniowa..... | 110 |
| 6.5.3. Założenia obliczeniowe..... | 111 |
| 6.5.4. Wyniki obliczeń..... | 112 |
| 6.5.5. Porównanie wyników zmodyfikowanego modelu z wynikami modelu Migliorego..... | 120 |
| 7. Badanie zmian ciśnienia i temperatury w zbiornikach instalacji lądowych LNG..... | 126 |
| 7.1. Wprowadzenie..... | 126 |
| 7.2. Przepływ ciepła do zbiorników instalacji lądowych LNG..... | 127 |
| 7.2.1. Płaszcz zbiornika magazynowego LNG..... | 127 |
| 7.2.2. Dopływ ciepła przez kołnierz połączeniowy i przewód paliwowy..... | 131 |
| 7.3. Procesy dynamiczne podczas napełniania zbiornika i magazynowania LNG..... | 134 |
| 7.4. Wnioski..... | 135 |
| 8. Podsumowanie..... | 136 |
| 8.1. Wnioski..... | 136 |
| 8.2. Zagadnienia wymagające dodatkowych analiz..... | 139 |
| Literatura..... | 143 |