

Spis treści

Streszczenie	9
Summary	11
Spis najważniejszych oznaczeń i symboli	13
1. 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>H/C</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