

Jakub Stachów

Bezpieczeństwo konstrukcji okrętów i systemy zabezpieczeń instalacji pomocniczych i siłowni z napędem zasilanym paliwami LNG w odniesieniu do przepisów Bureau Veritas i wymagań kodeksu IGF

JEL: R41 DOI: 10.24136/atest.2019.076

Data zgłoszenia: 15.12.2018 Data akceptacji: 08.02.2019

W artykule omówione zostały wybrane zagadnienia dotyczące bezpieczeństwa konstrukcji statków, systemów magazynowni, przesyłu, obróbki i przygotowni skroplonego gazu jako paliwa zasilającego okrętowe systemy napędowe i zespoły prądotwórcze, w odniesieniu do niektórych wymagań Kodeksu IGF oraz przepisów towarzystwa klasyfikacyjnego Bureau Veritas. W pracy przedstawiono fundamentalne kryteria i założenia Kodeksu IGF, które mogą być uwzględnione w trakcie tworzenia koncepcji i projektowania jednostek zasilanych paliwem LNG mając na uwadze problematykę limitu emisji zanieczyszczeń powietrza pochodzących ze statków a określone w Załączniku VI Konwencji MARPOL.

Słowa kluczowe: Kodeks IGF, paliwo LNG, MARPOL Annex VI.

Wstęp

Ponad 90% transportu towarów na świecie odbywa się drogą morską. Ocenia się, że transport morski generuje ok. 2,7% zanieczyszczenia CO₂ emitowanego do atmosfery [5].

Państwa oraz ich Administracje starają się podjąć wyzwania, które przyczynią się w przyszłości do znacznej redukcji emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń atmosfery. Wprowadzono w tym celu limity emisji zanieczyszczeń zapisanych w Konwencji Marpol. Załącznik VI, Konwencji MARPOL dotyczący zapobieganiu zanieczyszczeniu powietrza przez statki, przyjęto po raz pierwszy w 1997 roku przez IMO. Ustanawia on poprzez zapisane prawidła coraz bardziej rygorystyczne normy i ograniczenia emisji zanieczyszczeń do atmosfery, do których należą tlenki siarki (SO_x), tlenki azotu (NO_x) oraz inne gazy cieplarniane. Ponadto poprzez zapisy załącznika VI zabrania się celowych emisji substancji zubożających warstwę ozonową. Komisja Ochrony Środowiska IMO okresowo dokonuje przeglądu załącznika VI MARPOL. Ostatnie odnotowane zmiany w tym zakresie to stopniowa redukcja globalna emisji SO_x, NO_x i cząstek stałych. Zostały też wprowadzone obszary kontroli emisji (*ang.* ECA – *Emission Control Area*) w celu ograniczenia zanieczyszczeń powietrza, w wyznaczonych obszarach morskich. Do ww. obszarów należą następujące rejony świata: Północnoamerykański ECA (USA, Kanada), US Caribbean ECA (Porto Rico), ECA w Morzu Bałtyckim, ECA w Morzu Północnym (w tym kanał La Manche). [2] Planowany i projektowany jest również rejon ECA na obszarach: Morza Norweskiego, Morza Barentsa, Morze Śródziemnego i rejonu wód Japonii.

Zgodnie z najnowszym załącznikiem VI do MARPOL globalny pułap siarki zostanie zmniejszony, począwszy od 1 stycznia 2020 roku, z obecnego poziomu 3,50% do 0,50%. Limity obowiązujące w ECA dla SO_x i cząstek stałych zostały już obniżone do poziomu 0,10% od 1 stycznia 2015 roku. [2]

W przepisach uwzględniono także stopniowe obniżanie emisji NO_x w związku z limitami emisji zawartymi w "Tier I, II, III, i IV" dla

wysokoprężnych silników spalinowych zainstalowanych na statkach zbudowanych w różnych przedziałach czasowych.



Rys.1 Istniejące i planowane w przyszłości rejony ECA

Wymagania dotyczące limitów zawartości substancji szkodliwych w spalinach określone w Załączniku VI można zrealizować poprzez między innymi stosowanie paliw z niską zawartością siarki oraz używanie (*ang.* *skruberów - katalizatorów spalin*) w układach wydechowych. Opcją konkurencyjną dla rozwiązania systemu wydechowego z katalizatorem czyszczącym spaliny i jednocześnie produkującego znaczne ilości zanieczyszczonej wody (popłuczyn) jest opcja przejścia na paliwa alternatywne, które mają ograniczoną do minimum lub zerową zawartość siarki. Należą do nich, między innymi, paliwa ze skroplonego gazu ziemnego (LNG), metanol oraz w mniejszym stopniu biopaliwa. Wybór technicznego rozwiązania i decyzja dla armatorów jakie rozwiązanie wybrać aby sprostać wymaganiom Konwencji Marpol nie jest łatwa i wymaga wielu analiz technicznych, ekonomicznych, infrastrukturalnych oraz ocen ryzyka. Biorąc pod uwagę przede wszystkim korzyści dla środowiska, stosowanie paliw LNG w silnikach spalinowych jest na dzień dzisiejszy jedną z najbardziej czystych ekologicznie opcji. Widoczny jest znaczny rozwój, szybka ewolucja i coraz powszechniejsze zastosowanie technologii paliw o niskiej temperaturze zapłonu. Uwzględniając kierunek rozwoju zastosowania paliw alternatywnych, Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) stworzyła Kodeks IMO IGF, którego celem jest zapewnienie międzynarodowego standardu dla statków stosujących takie paliwa. [5]

1. Kodeks IGF oraz przepisy Bureau Veritas dotyczące obiektów pływających zasilanych skroplonym gazem (LNG)

IMO po raz pierwszy zajęło się wykorzystaniem gazu ziemnego jako paliwa w roku 2009. Opracowano wtedy Międzynarodowy Kodeks dla statków zasilanych gazem (Kodeks IGF).

Podstawową filozofią tego dokumentu było stworzenie obowiązkowych przepisów i standardów dotyczących aranżacji konstrukcji kadłubów, instalacji i magazynowania, kontroli i monitorowania maszyn, urządzeń i systemów wykorzystujących paliwa o

niskiej temperaturze zapłonu (NG, LPG FP<60° C). Celem tych przepisów było zminimalizowanie ryzyka dla bezpieczeństwa statku, jego załogi i środowiska, uwzględniając naturę i charakterystykę paliw. Ostatni tekst przyjęty w czerwcu 2015 roku, zawarty jest w rezolucji MSC.391 (95) i zaczął obowiązywać od 1 stycznia 2017 roku.

Kod IGF ma zastosowanie dla statków powyżej 500 Ton Brutto i jednostek przeliczonych na paliwo o niskiej temperaturze zapłonu, niezależnie od daty budowy. [1]

Stale analizując potrzeby rynku okrętowego i oczekiwania armatorów, światowy lider w klasyfikacji i tworzeniu przepisów morskich, towarzystwo klasyfikacyjne Bureau Veritas opracowało i wydało następujące dokumenty :

NR 481 w 2002 r. : Projektowanie i instalacja silników dwupaliwowych przy użyciu gazu o niskim ciśnieniu (zaktualizowany w 2007 r.) [3,4]

NR 529 w 2007 r. : Zasady bezpieczeństwa dotyczące instalacji silników napędzanych gazem na statkach (zaktualizowano w styczniu 2017 r.). [3,4]

2.Specyfika skroplonych gazów LNG i typy zagrożeń .

Niebezpieczeństwa jakie mogą powodować skroplone gazy, ryzyka i wynikające z nich konsekwencje związane są głównie z cechami fizyko-chemicznych węglowodorów. Na przykład skroplony gaz ziemny (LNG) transportowany w temperaturze około -163 ° C, posiada bardzo niską temperaturę wrzenia oraz niską energię potrzebną do zapłonu. Cząsteczki węglowodorów mają bardzo małą wielkość co determinuje zachowania wysokiego stopnia szczelności instalacji i zbiorników.

Podstawową przyczyną zagrożeń dla życia ludzi, konstrukcji statków oraz środowiska naturalnego mogą być niekontrolowane przecieki czynnika z instalacji, urządzeń oraz rozszczelnienia zbiorników magazynujących paliwo a także, brak wystarczającej kontroli nad utrzymaniem wymaganych przez bezpieczeństwo magazynowania i przesyłu roboczych parametrów fizycznych paliw. Konsekwencją wynikającą z właściwości chemicznych i fizycznych skroplonych gazów i wymienionych zagrożeń, mogą być opisane poniżej zjawiska.

W wyniku niekontrolowanego przecieku płynne paliwo (LNG) tworzy najpierw tak zwane „jeziorko” (*ang. pool*). Ciekły gaz *następnie* gwałtownie paruje (szybciej nad wodą niż lądem) tworząc chmurę opar, która jest cięższa od powietrza. Porusza się ona z wiatrem. Omawiana chmura napotykając źródło zapłonu, pali się tworząc „jeziorko ognia” (*ang. pool fire*). Tego typu pożary węglowodorów, zasilane olejem i gazem, mają bardzo szybki wzrost temperatury do 1000 ° C w ciągu 5 minut. Pożary węglowodorowe są niezwykle turbulentne, ponieważ ogień zasysają tlen dla podtrzymania procesu spalania. [5]

Wyciekający LNG, na przykład nieszczelnego rurociągu lub pękniętego zbiornika, może także generować pożar strumieniowy spowodowany rozpylonym w sposób ciągły paliwem pod ciśnieniem co najmniej 2 barów. Ten typ pożaru ma znaczną intensywność i prędkość.

W przestrzeni zamkniętej chmura par węglowodorów może eksplodować. [5]

Rozlany LNG na wodzie może ulec gwałtownej przemianie fazowej, co wytwarza falę uderzeniową. W tym przypadku opary nie spalają się. [5]

Eksplozja wrzących opar cieczy (*ang. BLEVE Boiling Liquid Expanding Vapour Explosion*) to proces spowodowany zapłonem cieczy, w sytuacji gdy na przykład zbiornik pod wysokim ciśnieniem rozszczelnia się najczęściej w wyniku ogrzewania z zewnątrz lub uszkodzenia mechanicznego poszycia. W momencie pęknięcia

naczynia, ciśnienie gwałtownie się w nim zmniejsza i cała objętość cieczy gwałtownie wrze co w konsekwencji prowadzi do szybkiego wzrostu objętości, eksplozji i pożaru. [5]

Kontakt ciekłego gazu o temperaturze kriogenicznej z konstrukcją kadłuba powoduje kruche pęknięcie okrętowych stali węglowych. Specyfika gazów skroplonych LNG i LPG wymaga zatem ciągłej kontroli ciśnienia i temperatury czynnika z w zbiorniku magazynującym. Naturlane wnikanie ciepła, spowodowane wysoką różnicą temperatur, powoduje odparowanie cieczy i wzrost ciśnienia w zbiorniku. Gaz i jego nadmiar powstający w wyniku parowania musi być zagospodarowany w każdej sytuacji, nawet w momencie, kiedy silnik nie zużywa paliwa i zawory ciśnieniowe w instalacji dostarczającej paliwo nie są otwarte. Możliwość utylizacji odparowanego gazu lub ponownego jego skroplenia, akumulacja powstałego ciśnienia a także zapewnienie jednostce pływającej (zgodnie z wymaganiami Konwencji SOLAS) wystarczającej ilości energii w każdej probabilistycznej okoliczności do zasilania elektrowni i napędu statku to główne wyznaczniki techniczne, determinujące konstrukcję okrętów i siłowni zasilanych tego typu paliwem. [5]

3.Wybrane przepisy i wytyczne projektowe Kodeksu IGF dotyczące jednostek zasilanych paliwami (LNG).

Przy projektowaniu jednostki pływającej zasilanej paliwami z rodziny LNG, należy uwzględnić gęstość energii jaką należy zgromadzić i zdefiniować wynikającego z tego tytułu przestrzeni niezbędnej do przechowywania paliwa LNG. Przy tej samej wartości energetycznej LNG ma objętość około 1,8 razy większą niż objętość diesla oleju opałowego. Paliwo ciężkie HFO w 1 m³ zawiera około 44 GJ energii, natomiast skroplone LNG w temperaturze -163 ° C -około 25GJ/m³. [5]

Jednym z głównych założeń Kodeksu IGF jest utrzymanie maksymalnego poziomu rozdzielności pomiędzy niebezpiecznymi przestrzeniami w których może być gaz a zdefiniowanymi w przepisach obszarami bezpiecznymi. Realizowane jest to na drodze:

- brak bezpośredniej komunikacji pomiędzy pomieszczeniami gazowymi i przestrzeniami innymi niż niebezpieczne (np. koferdam)
- wzmocniona izolacja przeciwpożarowa przestrzeni gazowych (A60 oraz koferdam). [1]

Kolejnym założeniem jest segregacja systemów okrętowych. Systemy żęzowe zainstalowane w obszarach, w których może znajdować się gaz, są oddzielone od systemu żęzowego przestrzeni, w których nie może występować paliwo. System żęzowy nie może prowadzić do pomp zlokalizowanych w bezpiecznych miejscach.

Wszelkie kanały stosowane do wentylacji przestrzeni niebezpiecznych powinny być oddzielne od tych stosowanych do wentylacji pomieszczeń innych niż niebezpieczne.

Kodeks IGF definiuje przestrzenie zawierające i mające kontakt z paliwami LNG w formie ciekłej i gazowej.

Przeznaczone przestrzenie związane z paliwem gazowym powinny być ograniczone do minimum i dobrze zidentyfikowane. Należą do nich:

- stacja bunkrowania,
- system magazynowania i przesyłu paliwa
- pomieszczenie przygotowania paliwa zawierające pompy,
- sprężarki, parowniki
- pomieszczenie odbiorników gazu (siłownie)

Przechowywanie, przesyłanie, przetwarzanie, dystrybucja paliwa gazowego powinno być takie, aby liczba i zasięg stref niebezpiecznych był ograniczony do minimum. [1]

Stacja bunkrowania powinna znajdować się na otwartym pokładzie z efektywną wentylacją naturalną. Zamknięte lub półzamknięte stacje bunkrowania mogą być akceptowane z zastrzeżeniem szczególnych względów i rozwiązań w ramach oceny ryzyka. Należy

opracować szczególne wymagania dla zamkniętych i częściowo zamkniętych stacji bunkrowania (w szczególności w zakresie wentylacji i wykrywania gazu). [1]

Zbiorniki zapasowe, systemy przesyłu i procesy mogą znajdować się w tych samych przestrzeniach. [1]

Zgodnie z zapisami Kodeksu IGC, który obowiązuje także dla Kodeksu IGF, w zakresie klasyfikacji zbiorników skroplonego gazu, dzielimy je na dwa rodzaje:

- zbiorniki membranowe permanentnie zintegrowane z konstrukcją kadłuba stanowiącą ich integralną całość,
- zbiorniki niezależne typu A, B i C, podparte na fundamentach zamocowanych do konstrukcji kadłuba (ładowni). [1]

Lokalizacja zbiornika zapasowego/magazynującego jest jednym z najbardziej kontrowersyjnych i dyskutowanych problemów w branży okrętowej. Ostateczne wymagania określające pozycję zbiornika została określona w dokumencie IMO MSC95.

Zbiorniki paliwa muszą być chronione przed uszkodzeniami spowodowanymi na przykład kolizją lub gruntowaniem statku w następujący sposób:

- minimalna odległość od burty na wysokości letniej wodnicy:
 - B (szerokość) / 5 lub 11.5 m, w zależności od tego, która z tych wartości jest mniejsza,
- minimalna odległość od burty dla statków pasażerskich:
 - B / 10, dla statków towarowych: od 0,8 do 2 m w zależności od pojemności zbiornika
- minimalna odległość od dna:
 - B / 15 lub 2 m, w zależności od tego, która wartość jest mniejsza.

W kodeksie IGF nie ma ograniczeń dotyczących lokalizacji poniżej miejsc zakwaterowania, pod warunkiem, że ryzyko jest właściwie zidentyfikowane i rozwiązane. Zbiorniki paliwa lub urządzenia znajdujące się na pokładzie otwartym powinny być tak umiejscowione, aby zapewnić odpowiednią naturalną wentylację w celu zapobiegnięcia kumulacji steżonego gazu. Powinny być tak rozmieszczone, aby uwolniony gaz został wyprowadzony do atmosfery z dala od stref bezpiecznych. System musi być tak zaprojektowany, aby wyciek ze zbiornika lub jego połączeń nie zagrażał konstrukcji statku i personelowi na pokładzie. Potencjalny wyciek nie może ograniczać dostępu do miejsc zbiórek, dróg ewakuacyjnych i urządzeń ratunkowych. [1]

Kodeks IGF wymaga aby zapewnić środki umożliwiające bezpieczne opróżnianie skroplonego gazu ze zbiorników.

Zbiorniki typu C można opróżniać za pomocą ciśnienia gazu obojętnego. Powinno być zapewnione możliwe opróżnianie i odpowietrzanie zbiorników paliwa za pomocą systemów rurociągów paliwowych. Instrukcje dotyczące wykonywania tych procedur muszą być dostępne na pokładzie.

Przed odpowietrzeniem suchym powietrzem należy inertać system i zbiorniki za pomocą gazu obojętnego, aby uniknąć niebezpiecznej atmosfery wybuchowej w zbiornikach i przewodach paliwowych. [1]

Jeżeli zbiorniki magazynujące skroplone gazy znajdują się na otwartym pokładzie, konstrukcyjna stal okrętowa musi być

zabezpieczona przed potencjalnymi wyciekami ze złącza w zbiorniku i innymi źródłami wycieku za pomocą wanierek ściętych. Materiał wanierek musi posiadać temperaturę obliczeniową odpowiadającą temperaturze paliwa przewożonego pod ciśnieniem atmosferycznym. Ciśnienie robocze zbiorników powinno być wzięte pod uwagę. Ciśnienie i temperaturę w zbiorniku muszą być utrzymane w granicach projektowych. Gaz ziemny w stanie ciekłym może być przechowywany w zbiorniku z ustawieniem zaworu nadmiarowego maksymalnie (MARVS) do 1,0 MPa. Maksymalne dopuszczalne ciśnienie robocze (MAWP) zbiornika nie powinno przekra-

czać 90% maksymalnego dopuszczalnego ustawienia zaworu bezpieczeństwa (MARVS).

Połączenia rurowe ze zbiornikiem należy montować powyżej najwyższego poziomu cieczy w zbiornikach, z wyjątkiem zbiorników paliwa typu C. [1]

Systemy przesyłowe i układy zasilania paliwem powinien być tak skonstruowane, aby konsekwencje jakiegokolwiek

przecieku paliwa została zminimalizowana, zapewniając jednocześnie bezpieczny dostęp do obsługi i inspekcji. [6]

Instalacja rurociągów do przesyłania paliwa powinna być zaprojektowana tak, aby w wyniku, uszkodzenia jednej bariery (ścianki) nie mogło dojść do wycieku z paliwa z systemu rurociągów na zewnątrz powodując zagrożenie dla osób na pokładzie. Może to być zrealizowane, na przykład, poprzez zastosowanie rurociągów o podwójnych ściankach, wentylowanych z systemem wykrywania przecieków gazu. Główna linia zasilania gazem dla każdego odbiornika musi być wyposażona w ręcznie obsługiwany zawór odcinający i automatycznie obsługiwany główny zawór paliwowy (*ang. master gas*). Zawory powinny znajdować się w części rurociągu, która znajduje się poza przedziałem maszynowym zawierającym gaz i być musi obsługiwana z rejonów bezpiecznych. [1]

Główny zawór paliwa gazowego po jego aktywowaniu przez system bezpieczeństwa powinien automatycznie odcinać dopływ gazu. Tam, gdzie przewody paliwowe przechodzą przez przestrzenie zamknięte na statku, powinny być chronione przez dodatkową osłonę, która może być wentylowanym kanałem lub rurociągiem o podwójnej ściance. System rur lub rurociągów o podwójnych ściankach powinien być wentylowany mechanicznie z wydajnością 30 wymian powietrza na godzinę i wyposażone w system wykrywania przecieku gazu. [1]

Rurociągów paliwowych nie należy umieszczać w odległości mniejszej niż 800 mm od burty statku. Przewody paliwowe nie mogą być prowadzone bezpośrednio przez pomieszczenia mieszkalne, pomieszczenia usługowe, pomieszczenia urządzeń elektrycznych lub posterunki dowodzenia określone w Konwencji SOLAS. Przewody paliwowe prowadzone przez pomieszczenia ro-ro, pomieszczenia kategorii specjalnej i na pokładach otwartych muszą być chronione przed uszkodzeniami mechanicznymi.

Układ napędowy i układ zasilania paliwem muszą być tak zaprojektowane, aby zapewniały bezpieczeństwo działania po każdym wycieku gazu i nie prowadziły do niedopuszczalnej utraty mocy napędowej statku. [1]

Przestrzeń przygotowania/obsługi paliwa powinna znajdować się na otwartym pokładzie, chyba że pomieszczenie jest rozmieszczone i zamontowane zgodnie z wymaganiami TCS (*ang. Tank Connection Space*). Przestrzeń podłączenia zbiornika nie może znajdować się w sąsiedztwie przedziałów maszynowych kategorii A. Jeżeli jest to wymagane, przestrzeń powinna być rozdzielona koferdamem, o co najmniej 900 mm szerokości, od grodzi siłowni klasy izolacji A-60 od strony maszynowni.

Nie może znajdować się ona także w pobliżu pomieszczeń mieszkalnych, usługowych i kontrolnych. [1]

Prawdopodobieństwo wybuchu gazu w przedziale maszynowym, zasilanym paliwem gazowym, musi być ograniczone do minimum.

Kodeks IGF definiuje dwie alternatywne koncepcje siłowni:

- przedziały maszynowe gazobezpieczne, gdzie w każdym warunkach jakakolwiek awaria nie może prowadzić do uwolnienia paliwa gazowego do przestrzeni maszynowej. Wszystkie przewody paliwowe w obrębie siłowni gazobezpiecznej muszą być zamknięte, wentylowane i poprowadzone w obudowie gazoszczelnej zgodnie z wymaganiami punktu 9.6 Kodeksu IGF. Si-

łownia tego typu nie wymaga ochrony przeciwybuchowej sprzętu elektrycznego.

Wymagana jest wentylacja z 30-krotną wymianą powietrza na godzinę. Wloty i wyloty wentylacyjny zbudowane muszą być z podójnymi ściankami. [1]

- przedziały maszynowe chronione ESD: zawierają rozwiązania, w których przestrzenie uważane są za bezpieczne w warunkach normalnych, ale w pewnych nietypowych/awaryjnych sytuacjach, przestrzeń może być zdefiniowana jako potencjalnie niebezpieczna. [1]. W przypadku potencjalnie niebezpiecznych warunków związanych z zagrożeniem gazowym, awaryjne wyłączenie/odstawienie wyposażenia niebezpiecznego (źródła zapłonu) jest automatycznie uruchamiane ESD (ang. *emergency shut down*).

W chronionym przez ESD przedziale maszynowym, każdy pojedynczy wyciek gazu odprowadzany jest do atmosfery poprzez

system wentylacji. Musi on być tak zaprojektowany, aby zapewnić przestrzeń/kubaturę dla prawdopodobnego obliczeniowego maksymalnego wycieku z powodu awarii technicznej instalacji. Przestrzenie, w których wystąpiła awaria prowadząca do niebezpiecznych stężeń gazów, (np. pęknięcia rury gazowej lub przedmuchu z uszczelnień) są zabezpieczone przez wybuchem za pomocą urządzeń (zaworów) obniżających ciśnienie i rozwiązań ESD. Rurociągi paliwa gazowego w chronionych przez ESD przedziałach maszynowych powinny być zlokalizowane tak daleko, jak to możliwe od instalacji elektrycznych i zbiorników zawierających łatwopalne ciecze. Powinny być chronione również przed uszkodzeniami mechanicznymi. Siłownie ESD muszą być wyposażone w systemy wykrywania ognia i gazu, alarm pożarowy i gazowy, oświetlenie i wentylatory w najwyższej klasie przeciwybuchowej i iskrobezpiecznej. Wymagana jest również wentylacja przestrzeni maszynowej z 30-krotną wymianą powietrza na godzinę. [1]

4. Klasyfikacja obszarów zagrożenia.

Przedmiotem i celem klasyfikacji obszaru zagrożenia jest określenie rejonów, w których prawdopodobne jest wystąpienie atmosfery wybuchowej. Klasyfikacja stref zagrożenia jest oparta na funkcji częstotliwości występowania atmosfery wybuchowej i źródeł zapłonu. Analizę przeprowadza się w celu umożliwienia wyboru sprzętu elektrycznego, który może być bezpiecznie obsługiwany w tych obszarach. W przypadku, gdy konieczne jest stosowanie urządzeń elektrycznych w obszarze, w którym może występować atmosfera wybuchowa gazu (i nie można wyeliminować jej wokół jakiegokolwiek źródła zapłonu) należy podjąć środki mają na celu zmniejszenie prawdopodobieństwa wystąpienia czynników, tak aby prawdopodobieństwo ich wystąpienia było jak najmniejsze i dopuszczalne. Kodeks IGF 12.4 Przepisy dotyczące klasyfikacji obszaru:

- 12.4.1 Klasyfikacja obszaru jest metodą analizy i klasyfikacji obszarów, w których mogą występować wybuchowe atmosfery gazowe. Celem klasyfikacji jest umożliwienie wyboru urządzeń elektrycznych, które mogą być bezpiecznie eksploatowane w tych obszarach.
- 12.4.2 W celu ułatwienia doboru odpowiedniego urządzenia elektrycznego i zaprojektowania odpowiednich instalacji elektrycznych obszary niebezpieczne są podzielone na strefy 0, 1 oraz 2.
- 12.4.3 Kanaly wentylacyjne powinny mieć tę samą klasyfikację co przewietrzana przestrzeń. [1]

Rejony niebezpieczne i dobór urządzeń elektrycznych opierają się na normach IEC 60092-502; IEC 60079-10-1: 2008; IEC 60092-502: 1999. Rejony zdefiniowano w sposób następujący:

Rejon zagrożony:

- "Rejon, w którym atmosfera wybuchowego gazu istnieje lub może być obecna, w ilościach, które wymagają specjalnych środków ostrożności przy budowie, instalacji i użyciu urządzeń elektrycznych" [1]

Rejon niezagrożony:

- "Rejon, w którym nie oczekuje się obecności atmosfery wybuchowej, w ilościach, które wymagają specjalnych środków ostrożności przy budowie, instalacji i użytkowaniu aparatury elektrycznej"[1]

Zdefiniowano strefy

Strefa 0: obszar, w którym atmosfera gazu wybuchowego jest obecna w sposób ciągły lub jest obecna przez długi czas;

Strefa 0 obejmuje, ale nie jest ograniczona do wnętrza zbiorników paliwa, wszelkich przewodów ciśnieniowych lub inne systemów odpowietrzających zbiorniki paliwa, rury i urządzenia zawierające paliwo. [1]

Strefa 1: obszar, w którym atmosfera wybuchowego gazu prawdopodobnie wystąpi podczas normalnej pracy. Strefa 1 rejonu zagrożenia obejmuje, ale nie jest ograniczona do przestrzeni przyłączeniowej zbiorników, miejsc do przechowywania paliwa (z wyjątkiem zbiorników typu C) i przestrzeni między

przestrzeniami przygotowania paliwa. Rejony na otwartym pokładzie w obrębie wanierek rozlewowych/ściekowych otaczających zawory kolektory paliwa i 3 m poza nimi, do wysokości 2,4 m powyżej pokładu, zamknięte lub półzamknięte pomieszczenia, w których znajdują się rury zawierające gaz, np. kanały wokół rur gazowych, półzamknięte stacje bunkrowania. Przestrzeń maszynową chronioną przez ESD uważa się za obszar niezagrożony podczas normalnej eksploatacji, ale wymagane jest certyfikowane wyposażenie funkcjonujące po wykryciu wycieku gazu w strefie 1.

Strefa 2: obszar, w którym atmosfera wybuchowego gazu nie może wystąpić w normalnym działaniu, a jeśli wystąpi, prawdopodobnie wystąpi rzadko i będzie istnieć tylko przez krótki czas.

Strefa 2 rejonu zagrożenia obejmuje, ale nie jest ograniczona do obszarów w promieniu 1,5 m otaczające otwarte lub półzamknięte przestrzenie strefy 1. Przestrzeń zawierająca zaryglowaną kłapę do przestrzeni przyłączeniowej zbiornika. [1]

5. Wentylacja systemów i przestrzeni na jednostkach zasilanych paliwem LNG.

Kodeks IGF Rozdział 13 zawiera wymagania dotyczące wentylacji koniecznej do bezpiecznej eksploatacji instalacji gazowej, maszyn i urządzeń pomocniczych.

Wszelkie kanały wentylacyjne stosowane do przewietrzania przestrzeni niebezpiecznych powinny być oddzielone od kanałów obsługujących rejony bezpieczne.

Wentylacja musi być wydajna i funkcjonować w każdych warunkach oraz rejonach, w których statek operuje.

Wentylatory obsługujące pomieszczenia zawierające gaz nie mogą być źródłem zapłonu par zarówno w wentylowanej przestrzeni jak i w systemie wentylacyjnym. Wentylatory muszą posiadać odpowiednią klasę iskrobezpieczności. Silniki elektryczne wentylatorów nie mogą być umieszczane w kanałach wentylacyjnych przeznaczonych do obsługi przestrzeni niebezpiecznych, chyba, że silnik posiada certyfikat potwierdzający klasę zabezpieczenia dla tej samej strefy zagrożenia, co obsługiwana przestrzeń. [1]

Wymagana wydajność instalacji wentylacyjnej jest zwykle oparta na całkowitej objętości pomieszczenia. Wentylatory, kanały wentylacyjne, powinny mieć budowę nieiskraczącą i być zatwierdzone przez BV. [5]

Rejon przyłączenia zbiornika TCS powinien mieć zaprojektowany mechaniczny system wentylacji wymuszonej typu wyciągowego z

wydajnością 30 m³ / h, oraz być wyposażony w automatyczne klapy przeciwpożarowe, które powinny być zamontowane w tulei wentylacyjnej (kanale) przewidzianej dla rejonu przyłączeniowego TCS. [1]

Rejon przestrzeni przygotowania paliwa : powinien mieć zaprojektowany mechaniczny system wentylacji podciśnieniowej z wydajnością 30 m³ / h, który musi działać podczas pracy pomp lub sprężarek. [1]

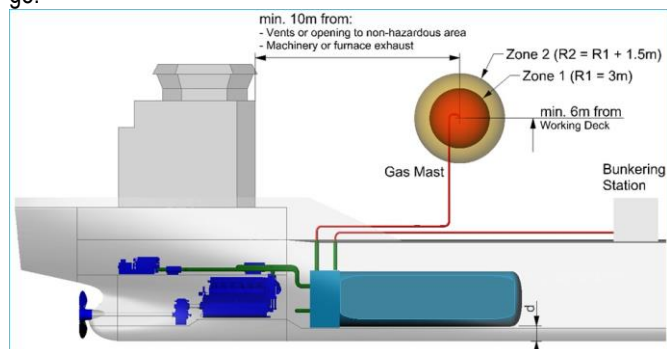
W rejon siłowni gazobezpiecznej system wentylacyjny przewidziany dla przestrzeni siłowni oraz podwójnych rurociągów/ komór gazowych musi być niezależny od wszystkich innych systemów wentylacyjnych. Wlot wentylacji dla rurociągu lub kanałów o podwójnej ścianie powinien zawsze znajdować się w strefie bezpiecznej, z dala od źródła zapłonu. Otwór wlotowy powinien być zaopatrzone w odpowiednią osłonę z siatki drucianej zabezpieczony przed dostępem wody, umieszczony musi być na otwartym powietrzu. Wydajność wentylacji kanału rurowego lub rurociągu o podwójnych ściankach może wynosić poniżej 30 wymian powietrza na godzinę, jeżeli zapewniona jest prędkość przepływu minimum 3 m / s. Prędkość przepływu musi być obliczona dla kanału z zainstalowanymi przewodami paliwowymi i innymi komponentami.

Rejon przestrzeni maszynowni chronionej ESD wymaga system wentylacyjny typu wyciągowego o wydajności 30m³ / h.

System wentylacyjny przedziału maszynowego musi być niezależny od wszystkich innych systemów wentylacyjnych. [1]

W celu zapobieżenia recyrkulacji gazów i opar Kodeks IGF ściśle określa lokalizację wlotów i wylotów powietrza.

Wloty powietrza pomieszczeń niebezpiecznych zamkniętych należy umieszczać w obszarach, które nie są zdefiniowane jako zagrożone Wloty powietrza dla przestrzeni bezpiecznych zamkniętych muszą być pobierane z obszarów innych niż zagrożone w odległości co najmniej 1,5 m od granic jakichkolwiek obszarów zagrożonych. Gdy kanał wlotowy przechodzi przez bardziej niebezpieczną przestrzeń, przewód powinien być gazoszczelny i mieć nadciśnienie w stosunku do tej przestrzeni. Wyloty powietrza z pomieszczeń innych niż niebezpieczne powinny znajdować się poza strefami zagrożonymi wybuchem. Wyloty powietrza z niebezpiecznych pomieszczeń zamkniętych powinny znajdować się w otwartym obszarze. W przypadku przejść z przestrzeni niezagrażonych do strefy zagrożonej wybuchem musi być zapewniona śluza powietrzna i utrzymywane nadciśnienie w stosunku do obszaru zagrożonego.



Rys.2. Lokalizacja masztu wentylacyjnego

6.Instalacja elektryczna – zagadnienia ogólne.

Kodeks IGF w rozdziale 14 określa wymagania dotyczące projektowania instalacji elektrycznych, których celem jest zminimalizowanie ryzyka zapłonu w obecności łatwopalnej atmosfery.

Systemy generujące i dystrybuje energię elektryczną oraz powiązane systemy kontroli powinny być zaprojektowane w taki sposób, aby żaden defekt nie spowodował utraty zdolności do

utrzymywania parametrów zbiornika paliwa w zakresie ciśnienia i temperatury w granicach normalnych wartości roboczych.

Instalacje elektryczne muszą być zgodne z normą co najmniej równoważną wymaganiom przepisów IEC 60092. W przypadku instalacji sprzętu elektrycznego w strefach zagrożonych wybuchem systemy muszą być dobrane, instalowane i utrzymywane zgodnie ze standardami co najmniej równoważnymi normie IEC 60092-502:1999. [1]

7.Systemy monitorowania i kontroli .

Wymagania dotyczące kontroli, monitorowania bezpieczeństwa systemów, które wspierają wydajną i bezpieczną eksploatację instalacji gazowych, zawarte są w rozdziale 15 Kodeksu IGF.

Systemy sterowania, monitorowania i bezpieczeństwa instalacji zasilanej gazem muszą być tak zaprojektowane aby moc pozostała z obsługi napędu i wytwarzania elektryczności była zachowana dla obsługi systemów automatyki zgodne z wymaganiami punktu 9.3.1 kodeksu IGF. Należy tak przewidzieć system bezpieczeństwa instalacji gazowej, aby w przypadku awarii automatycznie zamknąć układ zasilania gazem. W przypadku siłowni chronionej przez ESD, system bezpieczeństwa musi zapewnić odcięcie dopływu paliwa po wycieku gazu, a ponadto odłączyć wszystkie urządzenia elektryczne w maszynowni, nie posiadające certyfikatów bezpieczeństwa. Jednym z podstawowych wymogów kontroli i monitorowania jest wykrywanie opar gazu w przestrzeniach gdzie może się on potencjalnie znajdować. Kodeks IGF wymaga stałą instalację detektorów gazu w rejonach:

- TCS – przestrzeń podłączenia zbiornika
- wszystkie kanały wokół przewodów paliwowych
- siłownie i przestrzenie zawierające gazociągi, urządzenia gazowe lub odbiorniki gazu
- pomieszczenia przygotowania paliwa gdzie zlokalizowane są między innymi sprężarki, pompy
- inne zamknięte przestrzenie zawierające przewody paliwowe lub
- śluzy
- zbiorniki wyrównawcze obiegu grzewczego gazu
- wloty wentylacyjne do pomieszczeń mieszkalnych i maszynowni,
- maszynownie gazobezpieczne i chronione ESD [1]

8.Zabezpieczenie przeciwpożarowe.

Poza wymaganiami Konwencji SOLAS mających zastosowanie w jednostkach o pojemności większej niż 500 ton brutto, Kodeks IGF w rozdziale 11 definiuje środki i wymagania zapewniające ochronę przeciwpożarową, wykrywania i zwalczania pożarów instalacji związanych z przechowywaniem, przesyłem i wykorzystaniem gazu ziemnego LNG jako paliwa okrętowego.

Pomieszczenia mieszkalne, posterunki dowodzenia, drogi ewakuacji oraz przedziały maszynowe, zlokalizowane naprzeciwko zbiorników paliwa na otwartym pokładzie, powinny być zabezpieczone według klasy izolacyjności A-60. Dodatkowo, zbiorniki paliwa muszą być odseparowane od ładunku zgodnie z wymogami Międzynarodowego Morskiego Kodeksu Towarów Niebezpiecznych (IMDG). Zbiornik paliwa musi być oddzielony od maszynowni i pomieszczeń kategorii A lub innych przestrzeni o wysokim zagrożeniu pożarowym, grodzią z izolacją klasy A60 i koferdamem o dystansie co najmniej 900mm.

Stacja bunkrowania powinna być oddzielona przedziałem klasy A-60 od maszynowni i pomieszczeń kategorii A. [1]

Dodatkowym wymaganiem dotyczącym instalacji wodnej przeciwpożarowej w przypadku gdy zbiornik (zbiorniki) paliwa znajduje się na otwartym pokładzie, jest konieczność instalacji zaworów

odcinających na głównej magistrali wodnej w celu odizolowania uszkodzonych odcinków instalacji w przypadku zagrożenia w rejonie. [1]

Należy zainstalować wodny system tryskaczowy w celu chłodzenia i ochrony przeciwpożarowej odsłoniętej części zbiornika paliwa umieszczonej na otwartym pokładzie.

System zraszania wodą powinien również powinien mieć zasięg do rejonu nadbudówki, pomieszczenia kompresorów, pompowni, stacji bunkrowania, pomieszczeń kontroli, chyba że zbiornik znajduje się w odległości co najmniej 10 m.

Proszkowa stała instalacja gaśnicza powinna być zainstalowana w rejonie stacji bunkrowania. Wydajność instalacji musi wynosić co najmniej 3,5 kg / s przez co najmniej 45 sekund. System powinien być ustawiony w sposób ułatwiający ręczne uruchomienie z bezpiecznego miejsca poza obszarem chronionym.

Stały system wykrywania i sygnalizacji pożaru zgodny z wymaganiami IMO Kodeksu Systemu Bezpieczeństwa Pożarowego (*ang. FSS Code*) musi być zapewniony w rejonie magazynownia paliwa, przestrzeni wokół zbiornika paliwowego, kanałach wentylacyjnych i pozostałych rejonach, w których nie można wykluczyć pożaru. [1]

9. Analiza i ocena ryzyka.

Ocena ryzyka to skuteczny sposób na poprawę bezpieczeństwa w celu zidentyfikowania wszystkich możliwych awarii, które mogłyby doprowadzić do utraty dostawy paliwa gazowego oraz oceny konsekwencji zajścia tych awarii i wszelkich zdarzeń związanych z wyciekiem gazu. Ocena ryzyka, zgodnie z wymaganiami Kodeksu IGF §4.2, jest obowiązkowa dla każdej nowej lub zmienionej koncepcji funkcjonownia statku. [5]

Kodeks IGF stanowi jedynie ogólny wymóg oceny ryzyka. Dlatego, istnieje potrzeba lepszego zdefiniowania, co należy uczynić i jakie podjąć działania. Bureau Veritas stworzyło procedurę identyfikacji zagrożeń i analizy ryzyka „HAZID” która jest wymagana dla następujących przestrzeni i systemów w każdym nowym projekcie:

- zbiorniki skroplonego gazu,
- podłączenie do zbiorników TCS,
- pomieszczenie do przygotowania paliwa, jeśli jest zamknięte, półzamknięte lub zawierające układ wysokiego ciśnienia
- stacje bunkrowania, jeśli są zamknięte lub półzamknięte
- przedziały maszynowe chronione ESD
- odpowietrzanie, wentylacje

Ryzyka analizuje się przy użyciu akceptowalnych i uznanych technik. Jako minimalny wymóg uwzględnia się czynniki takie jak: utrata przewidzianej funkcji, uszkodzenie części, pożar, eksplozję, porażenie prądem elektrycznym. Identyfikacja zagrożeń (HAZID) to przedstawienie i zrozumienie ryzyka związanego z konkretnym przypadkiem. Na przykład: ocena ryzyka, instalacji paliwa gazowego i jego systemów bezpieczeństwa poprzez identyfikację wszystkich możliwych przypadków zdarzeń i zagrożeń, które są istotne dla statku w odniesieniu do układu paliwowego i jego działania. Welimiuje to ryzyko lub przynajmniej ograniczy je do niskiego akceptowalnego poziomu, poprzez zastosowanie łagodzących i zapobiegawczych środków oraz dostępnych metod zabezpieczeń. Poprzez analizę wyników HAZID określone są wszelkie możliwe dodatkowe działania w zakresie projektu i bezpieczeństwa konstrukcji, do których należą między innymi:

- zalecenia,
- badania oceny konsekwencji (np. badania dyspersji gazów), które muszą być wykonane w następujących fazach projektowych.

Uczestnikami zespołu HAZID są przede wszystkim armatorzy, operatorzy statku, projektanci statków, specjaliści do spraw bezpieczeństwa i maszyn, producenci, władze bandery. [5]

Podsumowanie

LNG jako czyste paliwo wykorzystywane do zasilania okrętowych sytemów napędowych i prądowców to dojrzała i realistyczna coraz powszechniej stosowana technologia. Jest ona szczególnie stosowana w rejonach kontroli emisji spalin ECA, do której w naszym rejonie należy Morze Bałtyckie i Północne z przyległymi cieśninami i kanałami.

Biorąc pod uwagę przedstawioną w artykule specyfikę paliw LNG oraz wymagania przepisów towarzystw klasyfikacyjnych, Konwencji Międzynarodowych (a w szczególności uwzględniając rentowność takiego sposobu zasilania jednostek, wybór typu zbiornika i jego lokalizację, umiejscowienia masztu wentylacyjnego i stacji bunkrowania, segregację pomieszczeń, procedury, szkolenie i treningi załóg, czas operacji bunkrowania) armatorzy i projektanci okrętów i instalacji LNG stają z pewnością przed trudnym wyborem i decyzją czy taki sposób zasilania spełni zakładane oczekiwania. Najbliższy czas pokaże czy technologia paliw LNG na trwałe wpisze się w okrętowy krajobraz nadchodzących lat i epoki walki z zanieczyszczeniem powietrza oraz efektem cieplarnianym.

Polska ma szansę spożytkować nadchodzącą koniunkturę na rynku będąc chociażby posiadaczem terminalu gazowego LNG w Świnoujściu.

Bibliografia:

1. Kodeks IGF MSC/95/22
2. Załącznik VI Konwencji MARPOL
3. Przepisy Bureau Veritas NR 481 w 2002 r.: Projektowanie i instalacja silników dwupaliwowych przy użyciu gazu o niskim ciśnieniu (zaktualizowany w 2007 r.)
4. Przepisy Bureau Veritas NR 529 w 2007 r.: Zasady bezpieczeństwa dotyczące instalacji silników napędzanych gazem na statkach (zaktualizowano w styczniu 2017 r.)
5. Bureau Veritas: Materiały niepublikowane Bureau Veritas.
6. Banaszek A., Łosiewicz Z., Jurczak W., *Corrosion influence on safety of hydraulic pipelines installed on decks of contemporary product and chemical tankers*, Polish Maritime Research nr 2 (98)/2018 Vol.25 ISSN 1233-2585, str.71-77

Safety of the ship structure and installations powered by LNG fuels in relation to the Bureau Veritas rules and IGF Code requirements

The article presents generally selected issues regarding the safety of ship structures, fuel containment systems, processing and preparation of LNG liquefied gas as fuel for marine propulsion systems and generating sets, in relation to certain requirements of the IGF Code and the provisions of the classification society Bureau Veritas rules. The publication presents the fundamental criteria and assumptions of the IGF Code, which may be taken into account when creating the concept and design of units powered by LNG fuel, also considering the limits of air pollution emissions from ships defined in Annex VI of the MARPOL Convention.

Keywords: IGF Code, LNG Fuel, MARPOL Annex VI.

Autorzy:

mgr inż. **Jakub Stachów** – Ekspert branży morskiej, ISM&ISPS Audytor w Bureau Veritas Polska.