

Andrzej Adamkiewicz, Karol Igielski, Marcin Szczepanek

Kształcenie personelu eksploatującego instalacje transportu ING metodami symulacyjnymi

W artykule przedstawiono możliwości kształcenia i rozwijania kwalifikacji personelu eksploatującego instalacje transportu gazów płynnych z wykorzystaniem metod symulacji komputerowej. Symulator, w procesie kształcenia personelu związanego z obsługą łańcucha transportowego LNG jest kluczowym narzędziem ze względu na praktyczne zastosowanie zdobywanych umiejętności. Akademia Morska w Szczecinie, jako jedyny ośrodek w Polsce posiada bazę dydaktyczną opartą na nowoczesnych rozwiązaniach technicznych pozwalających na szkolenia załóg statków transportujących LNG i personelu terminali.

Słowa kluczowe: instalacje przesyłu gazu, transport LNG, metody symulacyjne, kształcenie

Wstęp

Przewóz gazu drogą morską od początku swojego istnienia jest najbardziej bezpieczną i ekonomiczną formą transportu tego ważnego dla każdego rozwijającego się państwa surowca. Pomimo, iż w ostatnich latach przewóz gazów skroplonych rozwija się w bezprecedensowym tempie, do tej pory nie odnotowano żadnych poważnych wypadków zarówno po stronie jednostek transportujących LNG (Liquefied Natural Gas), jak i terminali przeładunkowych.

Ze względu na dużą wrażliwość fizyko-chemiczną oraz znaczenie surowca, wymagane jest utrzymanie wysokich standardów bezpieczeństwa i bezwypadkowości dla zachowania tak wysokiego trendu rozwojowego. Utrzymanie istniejącego stanu jest możliwe jedynie poprzez doskonalenie kadr związanych z transportem LNG na jak najwyższym poziomie kształcenia.

Akademia Morska w Szczecinie rozwinęła własną bazę szkoleniową umożliwiającą obecnym oraz przyszłym operatorom morskim i obsługi lądowej terminali na zdobywanie wiedzy i niezbędnych umiejętności w tym zakresie. Jest to odpowiedź na dynamiczny rozwój polskiej gospodarki morskiej w kierunku bezpiecznego transportu paliw płynnych i gazowych poprzez, między innymi, budowę terminala przeładunku gazów skroplonych w Świnoujściu.

1. Baza symulatorowa Akademii Morskiej w Szczecinie

Aktualnie najlepszym sposobem szkolenia personelu zajmującego się eksploatacją jest praca na różnego rodzaju symulatorach. Ten typ treningu zapewnia maksimum realizmu przy minimali-

zacji konsekwencji popełnionego błędu. Niezwykle istotne jest odpowiednie przygotowanie do pełnienia zadań związanych zarówno z wejściem lub wyjściem jednostki transportującej LNG do terminala, jak i samym procesem przeładunku.

Akademia Morska w Szczecinie od 2011 roku posiada w swojej bazie szkoleniowej symulatory Liquid Cargo Handling Simulator – LCHS 4000 & 5000 oraz Operator Training Simulators OTS.

LCHS jest urządzeniem pozwalającym na szkolenie kadry morskiej obsługującej jednostki zajmujące się transportem paliw i gazów w postaci płynnej oraz obsługi lądowej związanej z procesami transferu ładunku.

W procesie kształcenia kadry odpowiedzialnej za odbiór, regazyfikację i przesyłanie gazu do sieci lądowych ogromną rolę spełnia Ogólny Symulator Terminala LNG – OST, będący własnością spółki Polskie LNG, na którym odbywają się szkolenia z obsługi oraz procesów systemowych.

2. Symulator Ładunków Płynnych – Liquid Cargo Handling Simulator 4000 & 5000

Symulator LCHS umożliwia szkolenie kadr morskich i lądowych w operacjach związanych z przeładunkiem ładunków płynnych pomiędzy statkiem a terminalem w zgodności z wymaganiami międzynarodowych konwencji STCW (Międzynarodowa konwencja o wymaganjach w zakresie wyszkolenia marynarzy, wydawania świadectw oraz pełnienia wacht), MARPOL (Międzynarodowa konwencja o zapobieganiu zanieczyszczeniu morza przez statki) oraz SOLAS (Międzynarodowa konwencja o bezpieczeństwie życia na morzu), jak również w zgodzie z przepisami nadrzędnymi danego państwa.

Architektura symulatora modeluje różne typy zbiornikowców do przewozu paliw płynnych i gazowych oraz dwa terminale ładunkowe. Wśród dostępnych modeli statków znajdują się jednostki współcześnie eksploatowane w transporcie morskim i przemyśle *off shore*:

- Large Crude Oil Carrier – LCC,
- Very Large Crude Oil Carrier – VLCC,
- Floating, Production, Storage, Offloading – FPSO,
- Liquefied Petroleum Gas Tanker – LPG Tanker,
- Liquefied Natural Gas Tanker – LNG Tanker (ze zbiornikami sferycznymi i membranowymi),
- LNG Tanker typu Q-Flex,
- Product Tanker.
- Chemical Tanker,

Przykładowe modele wyżej wymienionych jednostek wraz z ekranami symulacyjnymi przedstawiono rysunkach 1 i 2.

Symulator Ładunków Płynnych i Terminala LNG, którego częścią składową jest moduł symulujący pracę terminala przeładunku ładunków płynnych posiada dwa rodzaje modeli infrastruktury lądowej:

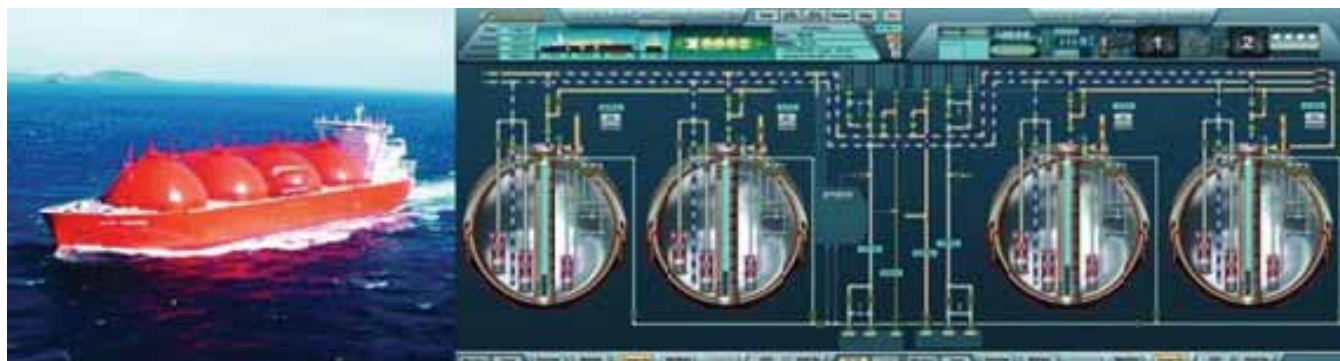
1. Standardowy terminal do przeładunku ładunków płynnych – jest to model „otwarty” pozwalający na projektowanie dowolnej struktury i konfiguracji terminala przeładunkowego.

2. Terminal LNG Świnoujście (model oparty na obecnie budowanym obiekcie w Świnoujściu).

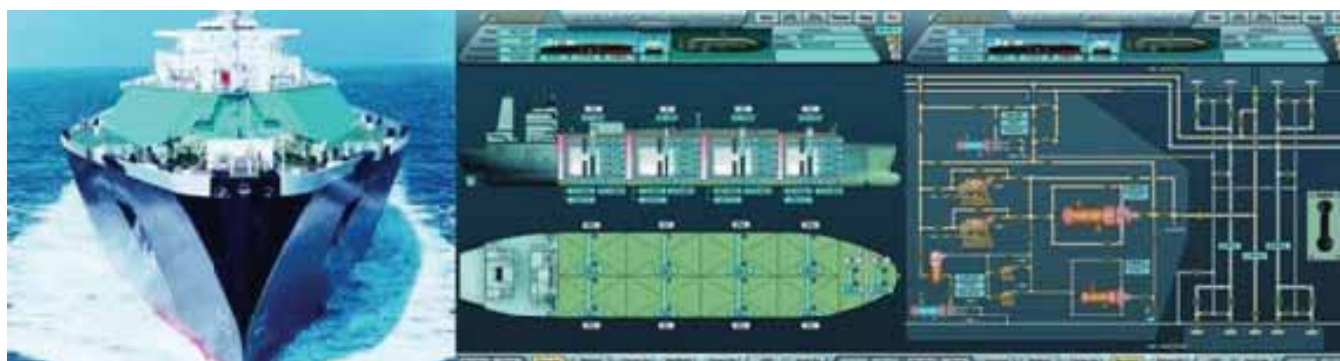
Moduł ten umożliwia szkolenie personelu pracującego na terenie terminali przeładunkowych LNG zarówno w obszarze przeładunku i magazynowania, jak również w zakresie postępowania w momencie wystąpienia sytuacji awaryjnych na terenie terminali. Przy pomocy ekranów operacyjnych (rys. 3), przedstawiających ogólny podgląd terminala, sprężarki, pompy, składowanie, nabrzeże przeładunkowe, zbiorniki gazu wyziewnego i obojętnego, zbiorniki wody pożarnej i deszczowej, możliwe jest przeprowadzenie procedur zacumowania statków LNG i Q-FLEX do nabrzeża, podłączenia do głównych rurociągów transportowych/przesyłowych (manifoldów), przeprowadzenia procesu transferu ładunku oraz odłączenia i odcumowania od nabrzeża [2].

Szkolenie na symulatorze może odbywać się w trzech trybach:

1. Stand alone bridge – każde stanowisko stanowi odrębny model.
2. Combined ship to ship bridge – stanowiska szkoleniowe połączone ze sobą, jako współpraca statek – statek. W tym trybie następuje wymiana informacji pomiędzy modelami matematycznymi na dwóch odrębnych stanowiskach



Rys. 1. Model statku LNG ze zbiornikami sferycznymi typu MOSS zaimplementowany w symulatorze LCHS [1]



Rys. 2. Model statku LNG ze zbiornikami membranowymi zaimplementowany w symulatorze LCHS [1]



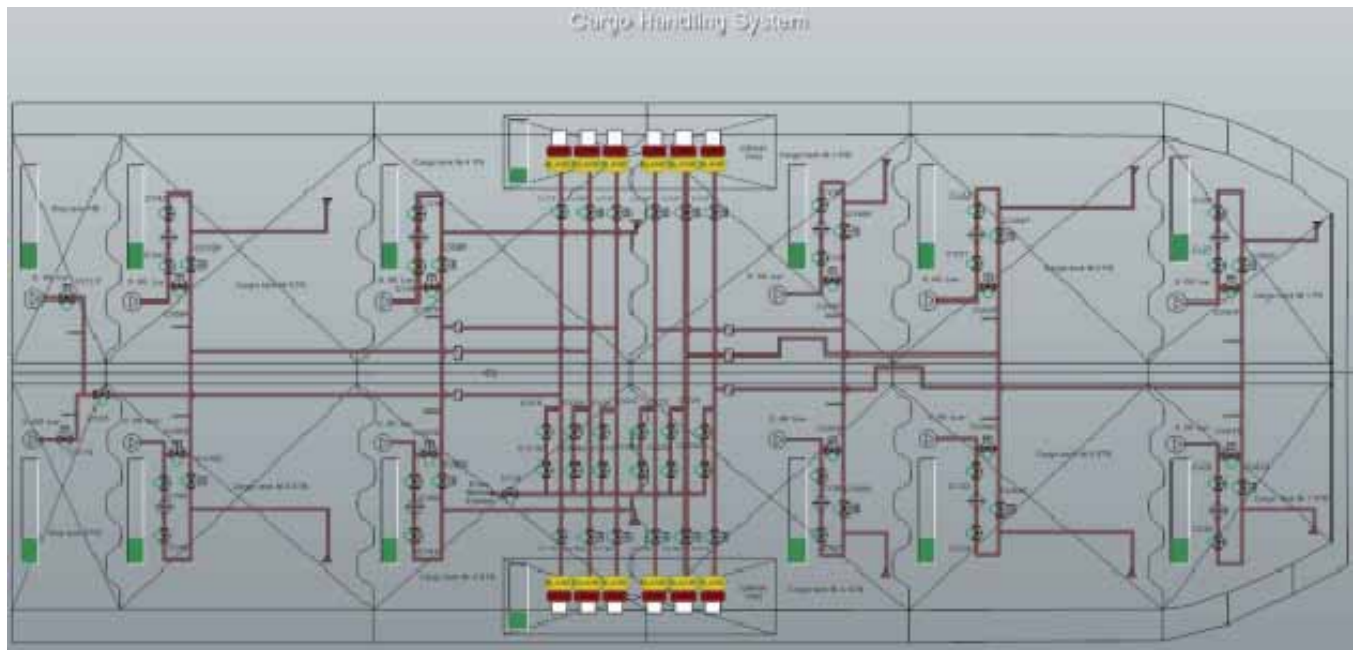
Rys. 3. Przykład podziału ekranów operacyjnych na stanowisku użytkownika [2]

- w taki sposób, że wszystkie czynności na jednym stanowisku (tym samym wszystkie popełnione błędy w procesie obsługi) transmitowane jest na stanowisko będące w systemie. Tryb ten pozwala na współpracę pomiędzy osobami biorącymi udział w szkoleniu, co pozwala na bieżącą wymianę informacji oraz co bardzo istotne, wyuczenie zwyczaju komunikacji pomiędzy ładem i statkiem.
3. Combined ship to terminal – stanowiska szkoleniowe połączone ze sobą jako współpraca statek – terminal lub terminal i dwa statki. W swoim założeniu tryb ten jest analogiczny do poprzedniego z tą różnicą, że występuje możliwość symulacji trzech modeli w obrębie jednego stanowiska. Praca w trybie Combined ship to terminal daje możliwość szkolenia kadry związanej bezpośrednio z procesami decyzyjnymi związanymi zarówno z ruchem jednostek, jak i z operacjami przeładunkowymi.
 - Symulator LCHS 4000 & 5000 [4] pozwala realizować dowolny etap operacji przeładunkowych lub całościowy proces załadunku lub wyładunku od momentu zacumowania statku do terminalu. Możliwość tworzenia scenariuszy pozwala na wprowadzenie do procedur eksploatacyjnych zagadnień związanych z bezpieczeństwem, awaryjnością systemów statkowych, terminala, zagrożeniami życia i środowiska.
 - Instruktor posiada możliwości: przydzielenia tego samego scenariusza na wszystkie stanowiska szkoleniowe, podzielenia stanowisk na grupy szkoleniowe o dowolnej liczebności, jak również przydzielić na każde stanowisko inny scenariusz. Stanowisko treningowe posiada sześć funkcji:
 1. CCR – Cargo Control Room – funkcja CCR pozwala na przywołanie na dany wyświetlacz paneli mimicznych realistycznych urządzeń statkowych, które znajdują się w pomieszczeniu kontroli załadunku. Mogą to być np.: obsługa systemu zasilania pomp typu FRAMO, obsługa i sterowanie przepustnicami pomp, panele odpowiadające za system detekcji gazów w atmosferze zbiornika, system ODME.
 2. ER – Engine Room – funkcja ER przywołuje na dany wyświetlacz panele, które z reguły znajdują się w siłowni statkowej.
 3. SYS – System Diagrams – funkcja SYS służy do wyświetlania schematów różnych systemów statkowych takich jak:
 - system balastowy,
 - system ładunkowy – rozkład zbiorników, rurociągów i manifoldów rysunku 4,
 - system przeciwpożarowy,
 - system gazu obojętnego (Inert Gas System),
 - oraz pozwala na przełączanie zaworów lokalnych (sterowanych ręcznie).
 4. CMS – Computer Monitoring Systems – funkcja CMS odpowiada za przywoływanie systemów statkowych kontrolowanych zdalnie oraz za zdalne monitorowanie.
 5. DECK – ta funkcja przywołuje trójwymiarową wizualizację statku wraz z interaktywną obsługą urządzeń pokładowych. Urządzenia wybrane z poziomu wizualizacji są podświetlane na odpowiednich diagramach.
 6. CCTV – Closed Circuit Television – interaktywna wizualizacja 3D, która może być zastosowana między innymi w opcjach poruszania się przez użytkownika po modelu terminala oraz opcjach podglądu przy pomocy sieci telewizyjnej przemysłowej CCTV z możliwością wprowadzenia takich efektów wizualnych jak dzień/noc, zróżnicowana widoczność, wilgotność, mgła, płomienie, dymy, rozlewy, itp. Użytkownik ma do dyspozycji 32 kamery monitorujące obszar terminala i instalacji przeładunkowych na statku, przedstawione na rysunku 5.

3. Symulator OST

Symulator do szkoleń operatorskich (OST) modeluje standardowy terminal LNG i obejmuje infrastrukturę przeznaczoną do rozładunku jednostek transportujących LNG, urządzeń do składowania gazu LNG, instalacje gazu odparowanego, system regazyfikacji oraz przesyłu gazu.

Symulator pracuje w oparciu o platformę symulacji dynamicznych o wysokim realizmie, który za-



Rys. 4. Zrzut z ekranu symulacyjnego LCHS 4000 & 5000 przykładowych schematów systemów statku



Rys. 5. Zrzuty z ekranów symulacyjnych LCHS 4000 & 5000 widoków z systemu CCCV

pewnia rozbudowany zestaw komponentów technologicznych i bibliotek opracowanych w oparciu o fundamentalne zasady techniczne.

Szkolenie wspomagane przez symulator opiera się na scenariuszach i tworzy wirtualne środowisko, w którym uczestnicy szkolenia mogą zapoznać się z typowymi i wyjątkowymi sytuacjami, jakie mogą występować podczas eksploatacji, w relatywnie krótkim czasie, nawet przed rozruchem instalacji. Osoby szkolone mają do wyboru jeden z wielu zaprogramowanych scenariuszy. Po uruchomieniu symulatora uczestnik szkolenia może zdalnie zainicjować jedną z procedur (np. uruchomienie, wyłączenie, obejście) lub zareagować na jeden lub kilka alarmów sygnalizujących odchyłki parametrów od wartości normalnych.

Platforma zawiera również specjalne narzędzia umożliwiające instruktorom prowadzącym szkolenia zmiany jednego bądź kilku parametrów, wygenerowanie w dowolnym czasie problemów w symulatorze (np. zatrzymanie lub awaryjne wyłączenie urządzenia, wprowadzenie odchyłki wskazań czujniki itp.). Działania te pozwalają sprawdzić, jak osoby szkolone radzą sobie z różnymi problemami w sytuacjach niestandardowych.

Systemy symulowane na OST LNG:

1. System rozładunku LNG: obejmuje 3 ramiona rozładunkowe: rurociąg rozładunkowy, rurociąg gazu odparowanego, schładzacz instalacji powrotu gazu oraz zbiornik spustowy na nabrzeżu.
2. System magazynowania LNG: obejmuje 3 zbiorniki magazynowe wyposażone w 9 pomp wewnętrznych.
3. System zagospodarowania gazu odparowanego : obejmuje schładzacz po stronie ssawnej sprężarek, separator po stronie ssawnej sprężarek, niskociśnieniowy zbiornik skroplin, 3 sprężarki gazu odparowanego, rekondensator oraz schładzacz.
4. System wysyłkowy: obejmuje 8 wysokociśnieniowych pomp wysyłkowych, 8 regazyfikatorów SCV (Submerged Combustion Vaporizer – parownik spalania zanurzonego, spalający gaz ziemny w celu uzyskania ciepła niezbędnego do regazyfikacji LNG) , instalację paliwa gazowego wyposażoną w dwa podgrzewacze oraz separator.
5. System wydmuchu: obejmuje zbiornik skroplin wydmuchu oraz komin wentylacyjny.

Symulator OST LNG pracuje na 4 monitorach, z których każdy przedstawia następujące informacje:

- Ekran 1 zawsze pokazuje prezentację graficzną całego procesu;
- Ekran 2 może zawierać zestawienie alarmów, elementy graficzne interfejsu człowiek- maszyna (Human – Machine Interface – HMI), ekrany specjalizowane lub płytę czołową, zależnie od wyboru operatora;

- Ekran 3 może zawierać główny pasek narzędzi, elementy graficzne interfejsu HMI lub płytę czołową, zależnie od wyboru operatora;

- Ekran 4 może zawierać linię statusu i alarmu, elementy graficzne interfejsu HMI i jedną płytę czołową, zależnie od wyboru operatora.

Przykładowy widok na ekrany operacyjne przedstawiono na rysunku 6 [5].

Aby stworzyć realistyczne warunki szkolenia, do interakcji z symulowanymi procesami w symulatorze zastosowano emulację Honeywell Process Knowledge System (PKS) Experion następujących typów interfejsów:

1. Pięćdziesiąt dwie strony graficznych procesów (Distributed Control System – DCS) dla symulowanych procesów.
2. Osiem płyt czołowych aparatury, umożliwiających dostęp do wskazań przetworników (wartości procesowe), kontrolerów (nastawy, tryby pracy, itp.), zaworów (otwarty/zamknięty, napęd) i silników (zatrzymanie).
3. Dziewiętnaście zdefiniowanych gotowych trendów, spełniających cele scenariuszy szkoleniowych.
4. Trzy specjalizowane ekrany umożliwiające dostęp do wizualizacji tankowca LNG, sytuacji normalnych/krytycznych oraz urządzeń ze sterowaniem na obiekcie.
5. Trzydzieści cztery ekrany systemu wyłączenia awaryjnego (*Emergency Shut Down* - ESD).
6. Zestawienia alarmów wraz możliwością ich zatwierdzania.

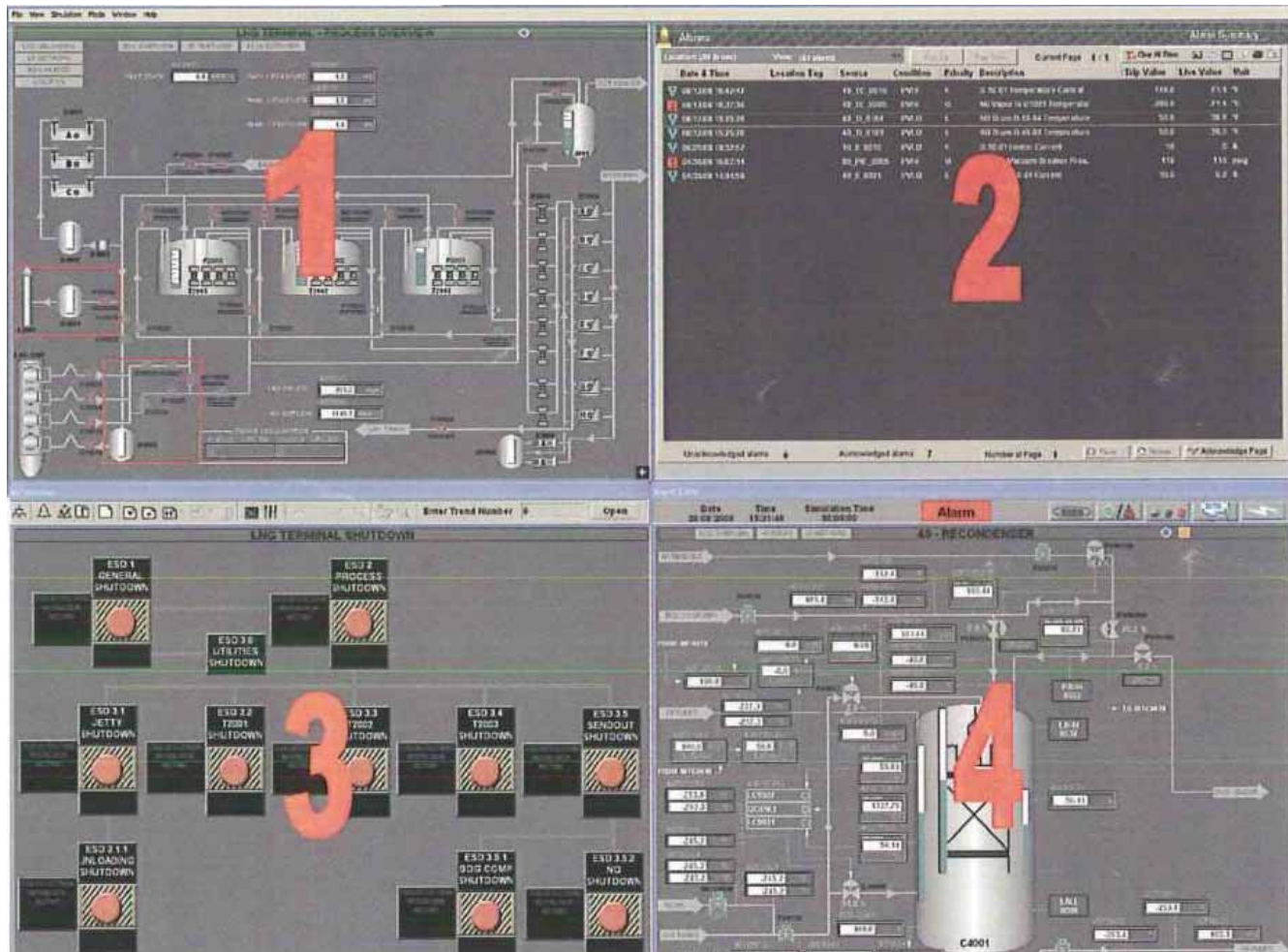
Przypadki podstawowe i scenariusze szkoleniowe

Symulator OST swoje biblioteki opiera na tzw. przypadkach podstawowych, czyli warunkach eksploatacyjnych w stanie ustalonym. Do nich zaliczono:

1. Szczytowa zdolność wysyłkowa / brak rozładunku statku;
2. Szczytowa zdolność wysyłkowa z rozładunkiem statku;
3. Zerowa zdolność wysyłkowa / brak rozładunku statku;
4. Niska zdolność wysyłkowa / brak rozładunku statku.

Na podstawie przypadków podstawowych opracowano poniższe scenariusze szkoleniowe zawierające wszystkie elementy i procedury, których znajomość pozwala na prawidłową obsługę infrastruktury przeładunkowej.

1. Przejście terminalu z Przypadku podstawowego nr 2 do Przypadku podstawowego nr 3;
2. Przejście terminalu z Przypadku podstawowego nr 3 do Przypadku podstawowego nr 2;
3. Wypadnięcie dwóch regazyfikatorów SCV;
4. Wypadnięcie jednej sprężarki BOG (Boil-Off Gas);
5. Prowadzenie rozładunku, podczas gdy 2 z 3 sprężarek BOG są niesprawne;



Rys. 6. Pogląd na ekrany symulacyjne [5]

6. Regulacja mieszanki wysyłkowej w celu uwzględnienia wymagania zwiększenia wartości opałowej (High Heating Value – HHV);
7. Regulacja mieszanki wysyłkowej w celu uwzględnienia wymagania zmniejszenia wartości opałowej (HHV);
8. Przejście terminala do wolnej wysyłki bez rozładunku statku, po wypadnięciu podgrzewacza gazu paliwowego;
9. Wznowienie pracy terminala po krótkiej awarii zasilania;
10. Rozpoczęcie procesu rozładunku tankowca LNG;
11. Awaria zasilania na jednej z linii zasilającej w energię elektryczną;
12. Obejście rekondensera i utrzymanie zdolności wysyłkowej terminala;
13. Wypadnięcie 2 pomp niskiego ciśnienia w dwóch różnych zbiornikach LNG

Podsumowanie

Wykorzystanie symulatora, jako narzędzia w procesie kształcenia kadr związanych z obsługą łańcucha transportowego LNG jest kluczowe ze względu na praktyczne zastosowanie zdoby-

wanych umiejętności. Trening na najbardziej zbliżonym do rzeczywistego obiekcie z możliwością dostarczania scenariuszy opartych na wykorzystywanych w pracy procedurach, narzędziach oraz możliwych sytuacjach awaryjnych pozwala szkółcom się na bezpieczne wykonywanie operacji technologicznych

i uczenie się na błędach, bez wpływu na rzeczywiste procesy.

Segment morski łańcucha transportowego gazów skroplonych oparty jest na nowoczesnych i technologicznie skomplikowanych statkach i infrastrukturze przesyłowej. Niesie to za sobą konieczność ciągłego doskonalenia kadr oficerskich i obsługi oraz rozwoju metod kształcenia. Wyłącznie kompilacja wysoko wyszkolonej kadry i nowoczesnych statków zapewni najwyższy poziom bezpieczeństwa całego segmentu.

Literatura

1. Igielski K., *Symulator LCHS firmy TRANSAS jako narzędzie kontroli stateczności i wytrzymałości gazowca LNG podczas operacji przeładunkowych*. Zeszyty Naukowe AM w Szczecinie, Nr 25 Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2011.

2. Prill K., *Wykorzystanie Symulatora Przewozu Ładunków Płynnych i Terminalu LNG firmy Transas w procesie projektowania i weryfikacji dokumentacji wymaganej Kodeksem ISPS*. Zeszyty Naukowe AM w Szczecinie, Nr 25 Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2011.
3. Trzop S., *Hossa na nowe technologie w transporcie i magazynowaniu gazu ziemnego*. Nowoczesne gazownictwo 2005, nr 3 (X), s. 43-44
4. Instrukcje symulatora LCHS 4000 & 5000 firmy Transas.
5. Instrukcja symulatora OTS firmy SNC – Lavalin.

Training staff qualifications of the transport LNG gas using a computer simulation method

The article presents the possibility of training and increasing the staff qualifications of the transport gas in liquid form using a computer simulation method. Simulator as a tool in the process of staff training related to the operation of LNG transport chain is essential because of the practical application of skills acquired during the teaching course. Maritime University in Szczecin, as the only center in Poland, has a teaching database based on modern technical solutions to support the training of tanker ship's crew and terminal staff.

Key words: transport gas in liquid form, LNG transport chain, computer simulation method, staff training

Autorzy:

dr hab. inż. of. mech. wacht. **Andrzej Adamkiewicz** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Mechaniczny, Katedra Diagnostyki i Remontów Maszyn

mgr inż. st. of. **Karol Igielski** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny, Centrum Technologii Przewozów LNG

dr inż. of. mech. wacht. **Marcin Szczepanek** – Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Mechaniczny, Instytut Eksploatacji Siłowni Okrętowych