

Wybór lokalizacji terminalu kontenerowego w Świnoujściu

**Prof. dr hab. inż. kpt. ż.w. Stanisław Gucma¹, dr hab. inż. Izabela Kotowska², prof. nadzw. AM w Szczecinie,
dr hab. inż. kpt. ż.w. Wojciech Ślaczka¹, prof. nadzw. AM w Szczecinie**

¹Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Nawigacyjny

²Akademia Morska w Szczecinie, Wydział Inżynieryjno-Ekonomiczny Transportu

Koncepcja budowy terminalu kontenerowego w Świnoujściu opracowana przez Zarząd Morskich Portów Szczecin i Świnoujście S.A. zawiera następujące założenia:

- Terminal kontenerowy w Świnoujściu powinien przeładowywać w pierwszym etapie budowy 0,5 mln TEU rocznie, a docelowo 1,5 mln TEU rocznie.

- Dowóz i wywóz kontenerów do/z terminalu będzie odbywać się przy wykorzystaniu następujących środków transportu:

- samochodowy – po uruchomieniu drogi szybkiego ruchu S3 (w trakcie realizacji);

- kolejowy – po modernizacji nadodrzańskiej magistrali kolejowej (w trakcie realizacji);
 - wodny – po modernizacji Odrzańskiej Drogi Wodnej docelowo do IV klasy żeglowności, a w bieżącej pięcioletniej do III klasy żeglowności (obecnie IV klasa – do kanału Hawela).
- Terminal kontenerowy w Świnoujściu powinien być zlokalizowany na zewnątrz portu Świnoujście, czyli w Porcie Zewnętrznym lub na wschód od niego.
- Terminal kontenerowy w Świnoujściu powinien mieć możliwości obsługi kontenerowców oceanicznych do 20 000 TEU i feederów do 10 000 TEU.

Uwzględniając powyższe założenia oraz ograniczenia związane ze wstępnym wyborem położenia terminalu opracowano jego optymalną lokalizację.

OGRANICZENIA ZWIĄZANE Z WYBOREM LOKALIZACJI TERMINAŁU KONTENEROWEGO W ŚWINOUJŚCIU

Lokalizację terminalu kontenerowego w Świnoujściu ogranicza istniejący terminal LNG w Porcie Zewnętrznym Świnoujście oraz plany jego rozbudowy.

Do podstawowych ograniczeń wyboru lokalizacji terminalu kontenerowego należą:

1. Plany rozwoju Terminalu LNG w Porcie Zewnętrznym.
2. Strefa zagrożeń związana z rozładunkiem gazowców LNG na stanowisku rozładunkowym Terminalu LNG –

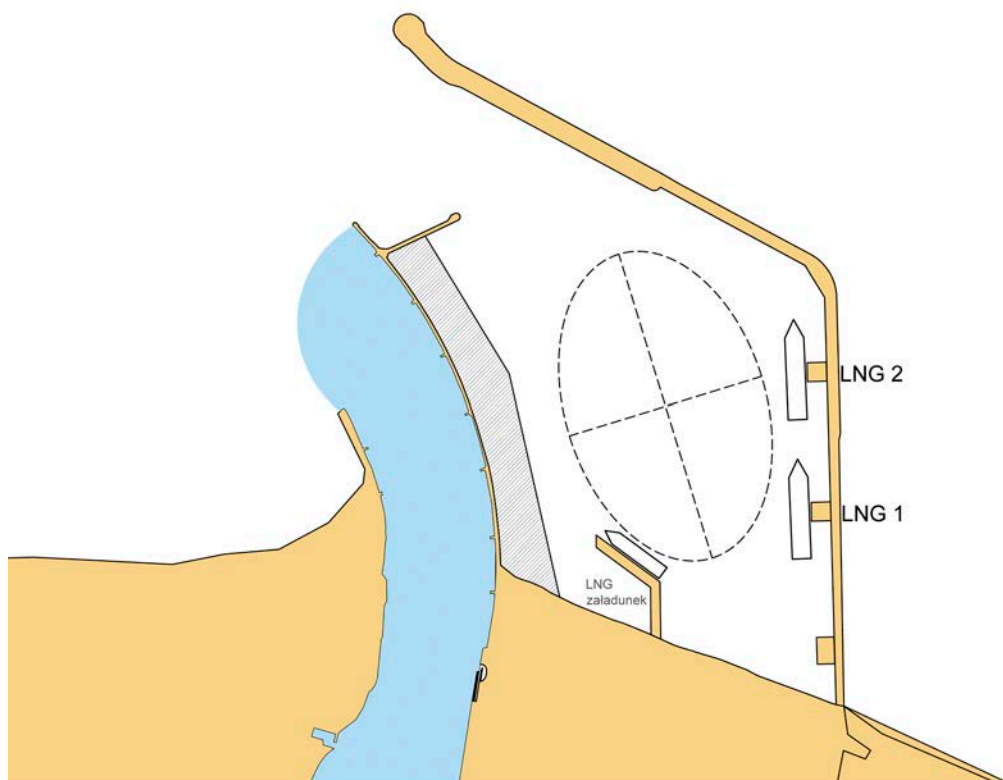
strefa ta dotyczy zarówno akwenu Portu Zewnętrznego, jak i akwenów na wschód od niego.

3. Strefa ograniczeń manewrowych kontenerowców w trakcie rozładunku gazowców LNG przy stanowisku rozładunkowym Terminalu LNG (dotyczy tylko akwenu Portu Zewnętrznego).
4. Wielkość obsługiwanych w terminalu kontenerowców.
5. Ilość jednocześnie rozładowywanych kontenerowców.
6. Ograniczenia technologiczne związane z transportem kontenerów ze statku na place składowe i ich składowaniem.

Plany rozwoju Terminalu LNG w Porcie Zewnętrznym Świnoujście

W Porcie Zewnętrznym Świnoujście jest planowana budowa stanowiska załadunkowego LNG (rys. 1) dla feederów LNG o pojemności ładunkowej do 100 000 m³ i długości do 250 m oraz bunkierek LNG o pojemności ładunkowej od 200 do 10 000 m³ i długości od 35 do 100 m. W przyszłości zaplanowano tam również budowę drugiego stanowiska rozładunkowego – LNG 2.

Możliwe jest również załadowanie zachodniej części Portu Zewnętrznego do szerokości 170 m (rys. 1), co pozwoli na usytuowanie tam nabrzeży niewymagających szerokiego zaplecza lądowego (np. nabrzeża masowe z taśmociągami na place składowe zlokalizowane w Porcie Handlowym Świnoujście). Wykazały to badania symulacyjne prowadzone w Akademii Morskiej w Szczecinie [2].



Rys. 1. Planowane docelowe zagospodarowanie Portu Zewnętrznego Świnoujście (badania własne)

Strefa zagrożeń związana z manewrowaniem i rozładunkiem gazowców LNG

Do głównych zagrożeń wynikających z manewrowania i operacji przeładunkowych gazowca LNG, które mają wpływ na projektowany terminal kontenerowy i statki tam cumujące, zalicza się:

- zagrożenie związane z kolizją manewrującego w Porcie Zewnętrznym Świnoujście statku ze stojącym przy stanowisku rozładunkowym gazowcem LNG;
- zagrożenie związane z kolizją gazowca LNG z dalbą odbojową podczas podchodzenia do stanowiska rozładunkowego;
- nieszczelności, które na skutek awarii lub błędu operatora mogą wystąpić w systemie rur i zaworów służących do przeładunku LNG, zarówno po stronie statku, jak i terminalu;
- uszkodzenia rurociągu przeładunkowego na skutek nieutrzymania stałej pozycji statku przy nabrzeżu, np. w wyniku zerwania cum statku;
- uderzenia innego statku w gazowiec, na którym prowadzony jest przeładunek;
- celowego działania, np. na skutek ataku terrorystycznego (z łądu, wody lub powietrza).

Analizując potencjalne zagrożenia związane z technologią rozładunku i manewrującymi statkami, określono strefy zagrożenia dla terminalu kontenerowego zlokalizowanego w Porcie Zewnętrznym Świnoujście. Na rys. 2 i 3 przedstawiono strefy natężenia promieniowania termicznego w Porcie Zewnętrznym Świnoujście dla pola powierzchni otworu wycieku równego 1 m^2 . Wielkość otworu jest wynikiem analizy badań prędkości manewrujących potencjalnych statków w Porcie Zewnętrznym Świnoujście. Prędkość liniowa będąca wynikiem prędkości kątowej manewrującego statku nie przekracza 5 węzłów. Wskutek takiej ekstremalnej prędkości może nastąpić przebicie poszycia wewnętrznego nie większe niż 1 m^2 i zarazem odpowiednio duży wyciek gazu LNG [7]. Przy takim założeniu wyznaczono graniczne strefy, w szczególności strefę, w której gęstość promieniowania termicznego nie przekroczy 5 kW/m^2 . Intensywność promieniowania termicznego o takiej gęstości nie ma już destrukcyjnego wpływu na urządzenia i składowane kontenery. W obszarze tym mogą również przebywać ratownicy w indywidualnej odzieży ochronnej.

Granice oddziaływania strefy 5 kW/m^2 przyjęto jako minimalną bezpieczną odległość przycumowanego kontenerowca w terminalu kontenerowym od gazowca LNG. Promień strefy natężenia promieniowania cieplnego do wartości równej 5 kW/m^2 wyniesie około 550 m.

Strefa ograniczeń manewrowych kontenerowców w Porcie Zewnętrznym w trakcie rozładunku gazowca LNG

„Maksymalnym” gazowcem LNG wchodzącym do Portu Zewnętrznego Świnoujście i cumującym przy stanowisku

rozładunkowym Terminalu LNG jest Q-Flex o parametrach $L_c \approx 315 \text{ m}$, $B \approx 50 \text{ m}$, $T \leq 12,5 \text{ m}$. W pierwszym etapie eksploatacji terminalu LNG jest planowane wejście i rozładunek dwóch gazowców LNG typu Q-Flex w miesiącu. Docelowo, po wybudowaniu trzeciego zbiornika do świnoujskiego terminalu LNG będą wchodzić 4 gazowce typu Q-Flex w miesiącu.

Gazowiec typu Q-Flex rozładowuje się w ciągu $15 \div 20$ godzin. W trakcie rozładunku gazowca LNG manewrowanie innego dużego statku w Porcie Zewnętrznym jest ograniczone. Mogą to być jedynie manewry, których dostępny akwen żeglugowy mieści się poza strefą bezpieczeństwa, którą należy przyjąć jako równą długości gazowca typu Q-Flex od jego burty (rys. 2). Jest to strefa, która uniemożliwia obracanie „maksymalnego” kontenerowca w Porcie Zewnętrznym Świnoujście podczas rozładunku gazowca LNG. Kontenerowiec wchodzi, obraca się i cumuje i dlatego możliwe jest tylko jego wyjście z Portu Zewnętrznego Świnoujście i to nie we wszystkich warunkach eksploatacyjnych.

Planowana wielkość statków obsługiwanych w terminalu kontenerowym

Wielkość „maksymalnych” statków wchodzących do terminalu kontenerowego w Świnoujściu będzie zależeć od wariantów jego lokalizacji oraz głębokości podejścia do Świnoujścia:

Wariant 1. Terminal kontenerowy zlokalizowany w Porcie Zewnętrznym Świnoujście. Głębokość podejścia $h = 14,5 \text{ m}$. „Maksymalny” kontenerowiec wchodzący do terminalu: 7000 TEU, 90 000 DWT, $L_c = 315 \text{ m}$, $B = 43,0 \text{ m}$, $T = 13,0 \text{ m}$ (docelowo $T = 14,5 \text{ m}$).

Wariant 2. Terminal kontenerowy zlokalizowany na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście. Głębokość podejścia $h = 14,5 \text{ m}$. „Maksymalny” kontenerowiec wchodzący do terminalu: 18 000 TEU, 200 000 DWT, $L_c = 400 \text{ m}$, $B = 60,0 \text{ m}$, $T = 13,0 \text{ m}$ (docelowo $T = 16,0 \text{ m}$).

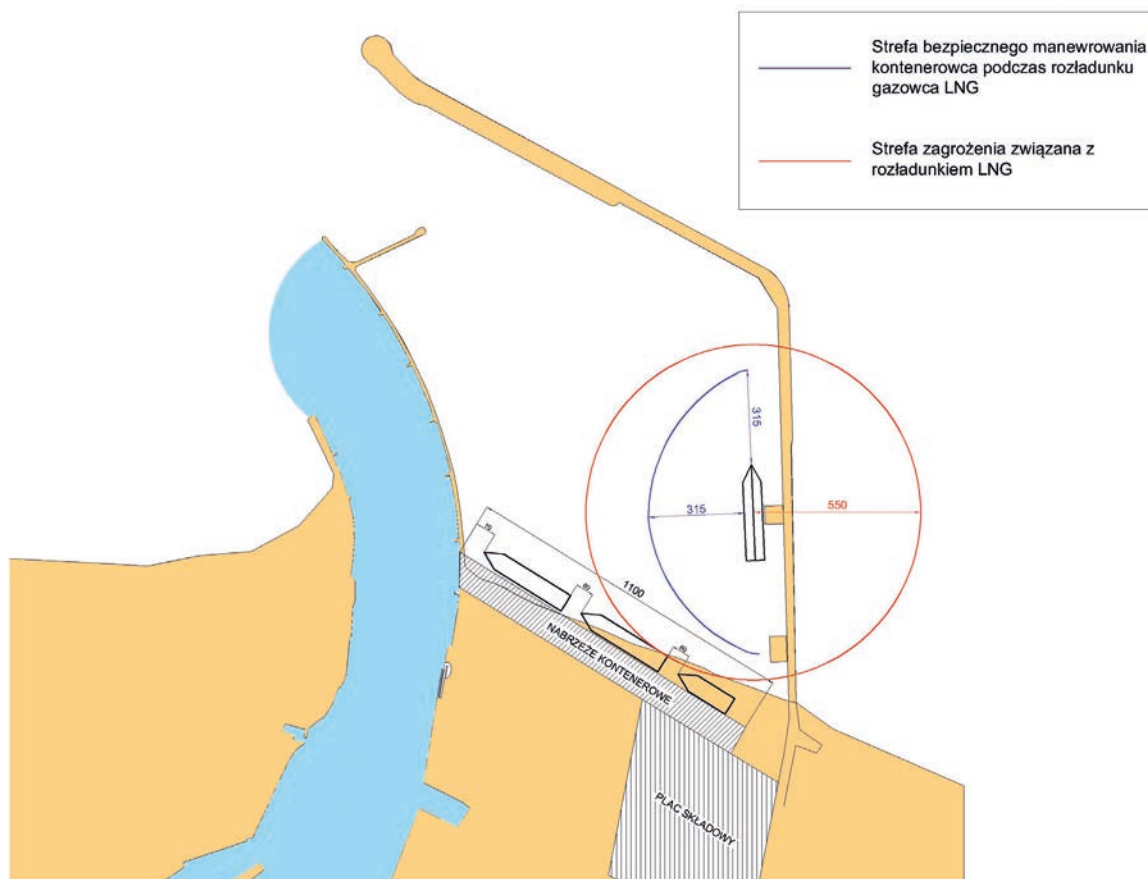
W przypadku planowanego pogłębienia podejścia do Świnoujścia:

- pogłębienie północnego toru podejściowego do pławy „N-1” na $h = 16,5 \div 17,0 \text{ m}$;
- pogłębienie toru podejściowego od pławy „N-1” (43,175) do główek portu $h = 16,5 \text{ m}$;

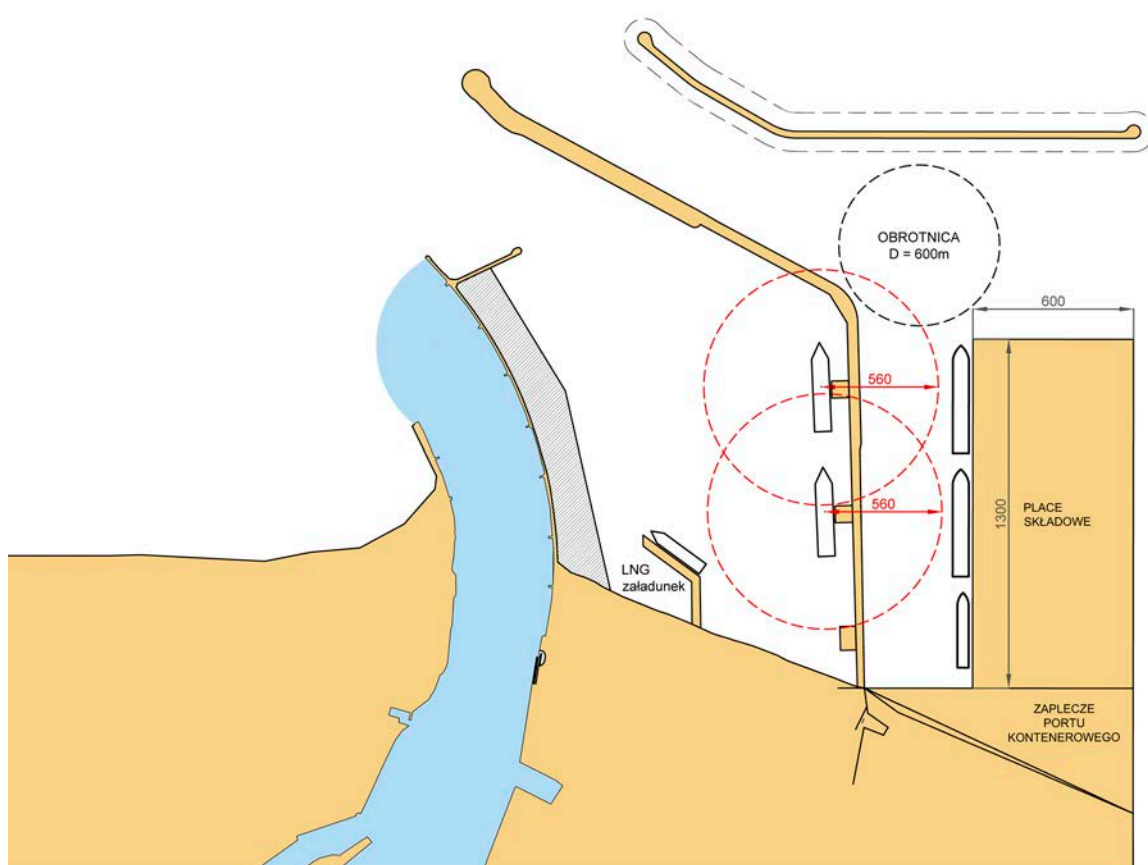
Zanurzenie kontenerowców można zwiększyć do 14,5 m. Należy przy tym zaznaczyć, że zdecydowana większość „maksymalnych” kontenerowców wchodzi na Bałtyk z zanurzeniem mniejszym niż 13,0 m, co wynika z warunków eksploatacji tego rodzaju statków [8].

Planowana liczba jednocześnie rozładowywanych w terminalu kontenerowców

Liczba obsługiwanych w terminalu kontenerowym statków określono, wychodząc z założenia, że „maksymalny” kontenerowiec zajmuje długość nabrzeża równą sumie długości całkowitej i szerokości statku. Planowana liczba jednocześnie obsługiwanych statków zależy od wariantu lokalizacji terminalu.



Rys. 2. Wariant 1. Terminal kontenerowy zlokalizowany w Porcie Zewnętrznym Świnoujście [5]



Rys. 3. Wariant 2. Terminal kontenerowy zlokalizowany na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście (badania własne)

Ograniczenia technologiczne związane z wewnątrz-terminalowym transportem kontenerów

Ograniczenia technologiczne związane są z długością drogi transportu kontenerów ze statku na plac składowy. Przyjęto, że droga transportu kontenerów jest liczona od środka placu składowego do burty (śródkręcia) najbardziej oddalonego statku.

Przyjęto trzy ograniczenia technologiczne wewnątrz-terminalowego transportu kontenerów:

1. bez ograniczeń – droga ≤ 500 m,
2. średnie ograniczenie – droga $500 \div 1000$ m,
3. duże ograniczenie – droga > 1000 m.

Wielkość placów składowych kontenerów zależy od przyjętej technologii przeładunkowo-składowej oraz liczby przeładowywanych w terminalu kontenerów i wielkości obsługiwanych statków.

WARIANTY LOKALIZACJI TERMINALU KONTENEROWEGO W ŚWINOUJŚCIU

Przeprowadzono wstępną analizę porównawczą siedmiu wariantów lokalizacji terminalu kontenerowego w Świnoujściu [5]. Oprócz kryteriów wyboru lokalizacji opisanych powyżej dodatkowym kryterium była minimalizacja wejścia terminalu w ład. Wybrano dwa warianty lokalizacji terminalu kontenerowego w Świnoujściu, które porównano w artykule:

- Wariant 1. Terminal kontenerowy zlokalizowany wewnątrz Portu Zewnętrznego Świnoujście (rys. 2)
- Wariant 2. Terminal kontenerowy zlokalizowany na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście (rys. 3)

Wariant 1. budowy terminalu kontenerowego wewnątrz Portu Zewnętrznego Świnoujście

„Maksymalny” kontenerowiec, który może bezpiecznie wejść do Portu Zewnętrznego Świnoujście, na podstawie prowadzonych badań symulacyjnych, określono następująco:

- $L_c = 320$ m,
- $B = 50$ m,
- $T = 13,0$ m [6].

Należy przy tym zaznaczyć, że podejście do Świnoujścia może ograniczyć maksymalne zanurzenie kontenerowca do $T = 13,0$ m. Dotyczy to zarówno toru podejściowego do pławy „N-1” (minimalna głębokość $h = 15,1$ m), jak i głębokości toru od pławy „N-1” do główek ($h = 14,5$ m).

Rozwiązanie przestrzenne wariantu 1. przedstawiono na rys. 2. Linie cumowniczą przeprowadzono skośnie w stosunku do linii nabrzeża ze względu na strefę zagrożenia LNG. Całkowita długość linii cumowniczej 1100 m, w tym 850 m przeznaczono na kontenerowce o długości rzędu 300 m, natomiast pozostałe 250 m przeznaczono na feedery o długości rzędu 200 m lub barki. Maksymalna liczba stanowisk cumowniczych to:

- $2 \times \text{feeder } L_c \sim 300$ m i $1 \times \text{feeder } L_c \sim 200$ m;
- $2 \times \text{feeder } L_c \sim 300$ m i $2 \times \text{barka } L_c \sim 100$ m.

Portowa infrastruktura nawigacyjna to: wejście do Portu Zewnętrznego Świnoujście, obrotnica i dostępny akwen portowy poza strefą bezpieczeństwa postoju gazowców LNG. Parametry poszczególnych elementów infrastruktury można przedstawić następująco:

- Istniejące wejście do portu:
 - szerokość toru podejściowego $d_p = 200$ m,
 - szerokość toru w główkach $d = 250$ m,
 - głębokość torów $h = 14,5$ m.
- Istniejąca obrotnica:
 - parametry obrotnicy $l_o = 1000$ m, $b_o = 650$ m.
- Akwen portowy poza strefą bezpieczeństwa postoju gazowców LNG:
 - szerokość akwenu portowego $d_b \approx 500$ m.

Planowane warunki bezpiecznej eksploatacji kontenerowców:

1. Wejście do portu:
 - kontenerowiec wchodzi do terminalu kontenerowego, obraca się na obrotnicy wewnątrz Portu Zewnętrznego, podchodzi i cumuje lewą burtą do nabrzeża.
 - kontenerowiec $L_c = 250 \div 320$ m, wejście i obracanie wyłącznie przy pustym Terminalu LNG.
 - kontenerowiec $L_c < 250$ m, wejście, obracanie i cumowanie bez ograniczeń poza strefą bezpieczeństwa postoju gazowców LNG.
2. Dopuszczalne warunki hydrometeorologiczne:
 - prędkość wiatru 10 m/s (możliwe cumowanie do 12,5 m/s – prędkość wzrostu podczas przejścia torem wodnym);
 - prędkość prądu – bez ograniczeń;
 - widzialność $Z \geq 2$ Mm;
 - minimalny stan wody w Świnoujściu $\Delta h = -0,5$ m.
3. Asysta holownicza:
 - 4 holowniki: napęd azymutalny lub cykloidalny, minimalny sumaryczny uciąg 160 t.
4. Pilotaż obowiązkowy.
5. Wymagane uruchomienie systemu PNS (Pilotowego Systemu Nawigacyjnego) i systemu dynamicznego określania rezerwy wody pod stępką.

Możliwości rozbudowy terminalu kontenerowego:

- Brak możliwości rozbudowy terminalu kontenerowego:
 - brak możliwości wydłużenia linii cumowniczej;
 - brak możliwości powiększenia placów składowych kontenerów.
- Niespełniony warunek dotyczący rozbudowy Terminalu LNG w Świnoujściu:
 - brak możliwości budowy stanowiska załadunkowego w zaplanowanej lokalizacji.

Wariant 2. budowy Terminalu Kontenerowego na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście

Parametry „maksymalnego” kontenerowca, który może bezpiecznie wejść do terminalu kontenerowego zbudowanego na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście określono w przypadku istniejącego i planowanego podejścia do Świnoujścia:

- Istniejące podejście do Świnoujścia, czyli:
 - zachodni tor podejściowy do pławy „N-1” (poprzez Świn-N) przechodzi przez morze terytorialne Niemiec – minimalna głębokość $h = 15,1$ m,
 - tor podejściowy od pławy „N-1” (43,175 km) – minimalna głębokość $h = 14,5$ m (przebudowa części toru na dwukierunkowy).
- Planowane podejście do Świnoujścia, czyli:
 - przebudowa północnego toru podejściowego do pławy „N-1” – pogłębienie do $h = 16,5 \div 17,0$ m,
 - tor podejściowy od pławy „N-1” (43,175 km) – przebudowa toru (pogłębienie toru do $h = 16,0$ m).

Parametry „maksymalnego” kontenerowca wchodzącego do terminalu kontenerowego położonego na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście można przyjąć w zależności od podejścia do portu:

1. Istniejące podejście do Świnoujścia:
 $L_c = 400$ m,
 $B = 60$ m,
 $T = 13,0$ m.
2. Planowane podejście do Świnoujścia:
 $L_c = 400$ m,
 $B = 60$ m,
 $T = 14,5$ m.

Rozwiązanie przestrzenne wariantu 2. Przedstawiono na rys. 3. Całkowita długość linii cumowniczej 1300 m, głębokość przy nabrzeżu $h = 16,0$ m. Maksymalna liczba stanowisk cumowniczych to:

- $2 \times$ kontenerowiec oceaniczny $L_c \approx 400$ m; $1 \times$ feeder $L_c = 280 \div 300$ m,
- 4 feedery $L_c = 280 \div 300$ m.

Portowa infrastruktura nawigacyjna to: wejście do portu, obrotnica i akwen podejścia do nabrzeża przy stojących kontenerowcach na pozostałych stanowiskach przeładunkowych. Parametry poszczególnych elementów infrastruktury będą następujące:

- Wejście do portu:
 - szerokość toru podejściowego $d_p \approx 220$ m,
 - szerokość toru w główkach $d = 300$ m,
 - głębokość toru:
 - istniejąca $h = 14,5$ m,
 - planowana $h \approx 16,0$ m.
- Obrotnica:
 - średnica obrotnicy $D_o \approx 600 \div 700$ m.

- Akwen podejścia do nabrzeża przy zajętych pozostałych stanowiskach przeładunkowych:
 - szerokość dostępnego akwenu portowego $d_b = 340$ m.

Planowane warunki bezpiecznej eksploatacji kontenerowców dotyczą zarówno istniejącego, jak i planowanego toru podejściowego do Świnoujścia. Przebudowa będzie tak przeprowadzona, aby zachować analogiczne warunki bezpiecznej eksploatacji kontenerowców:

1. Wejście do portu:
 - kontenerowiec wchodzi do terminalu kontenerowego, obraca się na obrotnicy, podchodzi rufą i cumuje prawą burtą do nabrzeża.
2. Wyjście kontenerowca z portu bez ograniczeń.
3. Dopuszczalne warunki hydrometeorologiczne:
 - prędkość wiatru 10 m/s (możliwe cumowanie do 12,5 m/s – prędkość wzrostu podczas przejścia torem wodnym);
 - prędkość prądu – bez ograniczeń;
 - widzialność $Z \geq 2$ Mm;
 - minimalny stan wody w Świnoujściu $\Delta h = -0,5$ m.
4. Asysta holownicza:
 - 4 holowniki: napęd azymutalny lub cykloidalny, minimalny sumaryczny uciąg 200 t.
5. Pilotaż obowiązkowy.
6. Obowiązkowe uruchomienie systemu PNDS (Pilotowo-Dokujący System Nawigacyjny) i systemu dynamicznego określania rezerwy wody pod stępką.

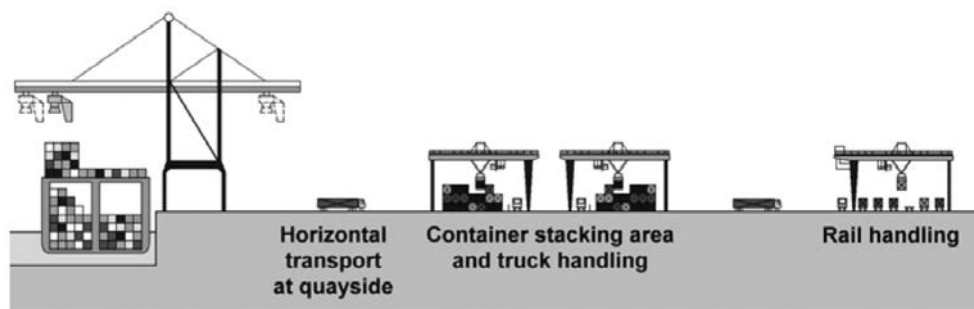
Możliwość rozbudowy terminalu kontenerowego:

- możliwości rozbudowy terminalu kontenerowego bez naruszania układu portowego:
 - nawet dwukrotnego wydłużenia linii cumowniczej ze wschodniej strony „półwyspu kontenerowego”;
 - powiększenia placów składowych kontenerów poprzez poszerzenie „półwyspu kontenerowego”.

Istnieje możliwość etapizacji budowy terminalu kontenerowego poprzez skrócenie linii nabrzeża umożliwiającego obsługę dwóch kontenerowców oceanicznych. Linię cumowniczą można skrócić o około 320 m w części południowej. Zakończenie budowy i wyposażenia tej części nabrzeża nie spowoduje zakłóceń w pracy terminalu kontenerowego. Skrócenie nabrzeża pociągnie za sobą ograniczenie prac pogłębiarskich w części akwenu przylegającego do tego nabrzeża oraz przesunięcie na późniejszy etap budowy nabrzeży barkowych. Obsługa barek może odbywać się wtedy na nabrzeżach kontenerowych.

Wybór technologii przeładunkowo-składowej

Na terminalach kontenerowych są stosowane różne technologie przeładunkowo-składowe, które determinują ich układ funkcjonalny. W obu wybranych wariantach zastosowano technologię RTG+TTU (rys. 4), polegającą na obsłudze przewozów



Rys. 4. Technologia przeładunkowo-składowa zastosowana w obu wariantach terminalu kontenerowego: suwnice RTG i ciągniki terminalowe [1]

w relacjach statek – plac składowy za pomocą ciągników terminalowych (TTU) oraz obsługę placów składowych z wykorzystaniem suwnic bramowych na kołach ogumionych (RTG).

Technologia ta ma wiele zalet, między innymi:

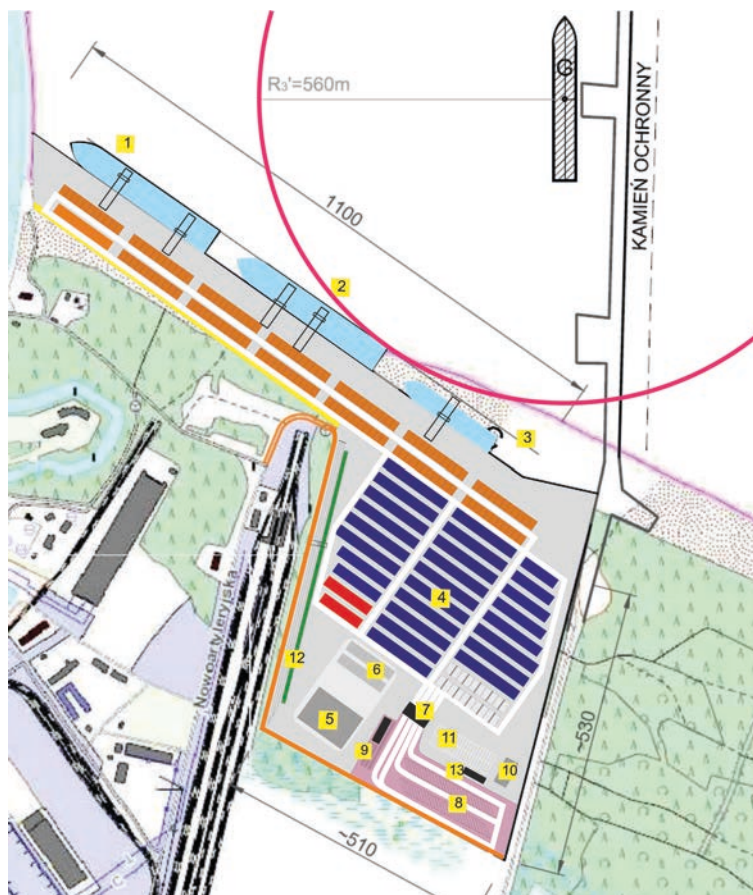
1. System oparty na suwnicach RTG charakteryzuje się dużym stopniem wykorzystania powierzchni składowej od 30% do nawet 100% (w przypadku technologii opartej na *reach stackers*), wyższą niż w innych technologiach przeładunkowo-składowych.
2. Ze względu na obsługę przewozów wewnątrz terminalu za pomocą ciągników terminalowych może być stosowany na terminalach, gdzie bloki składowe są zlokalizowane w znacznej odległości od linii nabrzeża.
3. Charakteryzuje się niższymi, w porównaniu z systemami automatycznymi, kosztami zakupu urządzeń przeładun-

kowych oraz dużą substytucyjnością i mobilnością urządzeń przeładunkowych w przypadku na przykład awarii.

Wadę stanowią wyższe koszty pracy w porównaniu z technologiami opartymi na urządzeniach zautomatyzowanych [1].

Rozwiązanie technologiczne terminalu kontenerowego wewnątrz Portu Zewnętrznego Świnoujście. Wariant 1.

Ze względu na dopuszczalną wielkość statku wchodzącego do terminalu przyjęto założenie, że terminal będzie pełnił funkcję terminalu feederowego i żeglugi morskiej bliskiego zasięgu. W terminalu uwzględniono dwa obszary składowania kontenerów [1]. Pierwszy obszar jest zlokalizowany bezpośrednio na nabrzeżu przeładunkowym i obejmuje dwa rzędy bloków



Rys. 5. Koncepcja terminalu kontenerowego w Świnoujściu – wariant 1. (Rozwiązanie technologiczne układu portowego)

kontenerowych (rys. 5) (bloki zaznaczone na pomarańczowo). Kontenery składowane w tym obszarze są przeznaczone przede wszystkim do obsługi relacji statek – barka. Na placach składowych (bloki zaznaczone na niebiesko) kontenery, oddalone od linii nabrzeża, są przeznaczone przede wszystkim do obsługi relacji statek/środk transportu lądowego. W projekcie uwzględniono ponadto:

- stanowiska postoju kontenerów chłodniczych i niebezpiecznych (bloki zaznaczone kolorem białym – chłodnicze, czerwonym – niebezpieczne),
- terminal kolejowy (nr 12),
- magazyn konteneryzacyjny (nr 5) i stanowisko składowania kontenerów pustych (nr 6),
- warsztat (nr 10) i plac postojowy sprzętu zmechanizowanego (nr 11),
- miejsce obsługi pojazdów ciężarowych: parking (nr 6), stanowisko odpraw (nr 13), bramę wjazdową (nr 7).

Wstępnie oszacowana zdolność przeładunkowa tego obszaru wynosi 450 000 TEU rocznie, z możliwością zwiększenia

do około 600 tys. TEU, przy założeniu skrócenia czasu postoju kontenerów w porcie.

Rozwiązanie technologiczne terminalu kontenerowego na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście. Wariant 2.

W wariantcie 2. (rys. 6) terminal jest zlokalizowany na wschód od falochronu wschodniego. Zaprojektowany obszar obejmuje 104,8 ha. Nabrzeże jest zaprojektowane do obsługi dwóch statków oceanicznych (nr 1) i jednego feederowego (nr 2) jednocześnie. W terminalu zaprojektowano również stanowisko obsługi barek (nr 3). Obszar przeznaczony na place składowe dla kontenerów pozwala na separację kontenerów w zależności od relacji (wyładunkowa/załadunkowa) lub kierunków (przeznaczonych dla poszczególnych linii żeglugowych) (nr 4). Głębokość nabrzeża (liczona od linii nabrzeża do linii wyznaczonej przez najdalej wysunięty rząd bloków kontenerów) wynosi 540 m i jest optymalna przy tej wielkości terminali. Terminal kolejowy (nr 12) i miejsce obsługi pojazdów ciężarowych zlo-



Rys. 6. Koncepcja terminalu kontenerowego w Świnoujściu – Wariant 2. (Rozwiązanie technologiczne układu portowego)

kalizowano w południowej części terminalu kontenerowego. Układ dróg dojazdowych nie przecina linii kolejowej prowadzącej do terminalu. Ponadto projekt obejmuje:

- parking dla samochodów ciężarowych, około 100 pojazdów, (nr 8),
- stanowisko odpraw,
- bramę z układem 4 stanowisk wjazdowych i 4 wyjazdowych (nr 7),
- biurowiec z parkingiem dla samochodów osobowych (nr 9),
- warsztat (nr 10) i miejsce postojowe sprzętu zmechanizowanego (nr 11),
- magazyn konteneryzacyjny (nr 5) wraz z placem dla kontenerów pustych (nr 6).

Wstępnie oszacowana zdolność przeładunkowa tego obszaru wynosi 1 500 000 TEU rocznie, z możliwością zwiększenia do około 2 mln TEU przy założeniu skrócenia czasu postoju kontenerów w porcie. Projekt przewiduje możliwość rozbudowy i zwiększenia przepustowości o kolejne 1,5 mln TEU. Zmiany te jednak pociągają za sobą konieczność budowy nabrzeży po wschodniej stronie terminalu, zwiększenia liczby urządzeń i sprzętu zmechanizowanego w terminalu oraz wzrost ruchu statków na torze wodnym. W analizie założono wstępnie, że terminal będzie obsługiwany przez statki oceaniczne o pojemności do 20 tys. TEU i feederowe o pojemności rzędu 1500 TEU.

Ponieważ w pierwszym okresie działalności terminalu osiągnięcie przeładunków na poziomie jego zdolności przeładunkowej jest mało prawdopodobne, proponuje się realizację inwestycji w trzech etapach:

- 1 etap: terminal o zdolności przeładunkowej na poziomie 500 tys. TEU,
- 2 etap: terminal o zdolności przeładunkowej na poziomie 1000 tys. TEU,
- 3 etap: terminal o zdolności przeładunkowej na poziomie 1500 tys. TEU.

Określone etapy projektu dotyczą wyposażenia i uzbrojenia terminalu. Nie przewiduje się natomiast etapowania podstawowej infrastruktury technicznej terminalu.

PODEJŚCIE DO PORTU ŚWINOUJŚCIE W PRZYPADKU OBU WARIANTÓW LOKALIZACJI TERMINALU KONTENEROWEGO

Minimalna bezpieczna głębokość toru podejściowego do Portu Świnoujście dla „maksymalnych” kontenerowców o maksymalnym zanurzeniu $T = 13,0$ m poruszających się z prędkościami $V = 8 \div 10$ węzłów wynosi $h = 14,5$ m [6].

Analiza batymetrii podejściowego toru wodnego Portu Zewnętrznego Świnoujście wskazuje jednoznacznie na możliwość wprowadzenia ruchu dwukierunkowego dla „maksymalnych” kontenerowców na odcinku od pławy „N-1” (42,8 km) – kotwicznisko N3 do pary pław „9-10” (13,6 km). Na tym odcinku tor wodny w północnej części przechodzi przez akwen o naturalnych głębokościach powyżej 14,5 m, a w południowej jego części przechodzi przez akweny o głębokościach $13,5 \div 14,5$ m, które wymagają niewielkich prac pogłębiarskich (rys. 7).

Na odcinku od pary pław „9-10” (13,6 km) do pary pław „15-16” (1,7 km) „maksymalne” kontenerowce (oceaniczne i feedery) muszą poruszać się w ruchu jednokierunkowym. Tor na tym odcinku dla „maksymalnych” feederów ($L_c = 320$ m) nie musi być przebudowywany, natomiast dla kontenerowców oceanicznych ($L_c = 400$ m) wymaga pewnej korekty, która będzie przeprowadzona na etapie projektowania.

Zakładając, na podstawie analizy warunków batymetrycznych, ruch dwukierunkowy „maksymalnych” kontenerowców na torze podejściowym do Świnoujścia od pławy „N-1” (42,8 km) do pary pław „9-10” (13,6 km), można stwierdzić, że obecnie taki ruch jest możliwy pomiędzy pławą „N-1” a parą pław „1-2”. Tor przechodzi tam po naturalnych głębokościach większych od 14,5 m (rys. 7).

Szerokość dwukierunkowego toru wodnego określono na poziomie ufności $1 - \alpha = 0,95$ dla następujących systemów nawigacyjnych:

- PNS – Pilotowy System Nawigacyjny;
- Metoda optyczna dzienna;
- Metoda optyczna nocna;
- Metoda radarowa.

Obliczenia przeprowadzono dla następujących warunków hydrometeorologicznych:

- prędkość wiatru $V_w = 10$ m/s,
- prędkość prądu $V_p = 1$ węzeł,
- wysokość fali $h_f = 0,5$ m.

Bezpieczną szerokość dwukierunkowego podejściowego toru wodnego określono metodą CIRM [3, 4] przy wykorzystaniu PNS lub metody radarowej oraz metody optycznej (zakładając przebudowę oznakowania nawigacyjnego, i przez to poprawę dokładności metod optycznych):

- Wariant 1. (kontenerowiec $L_c = 315$ m):

$$d = 450 \text{ m}$$

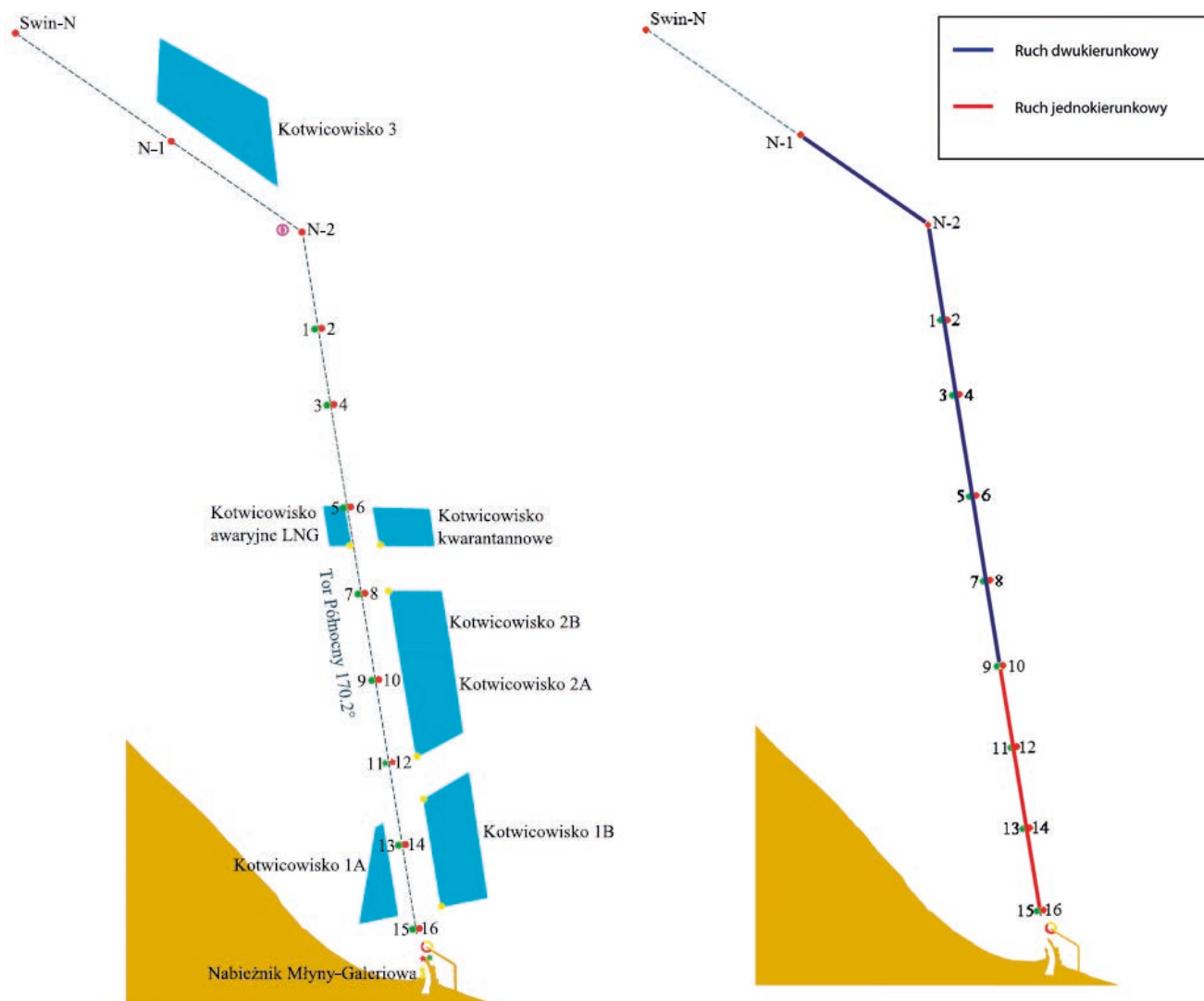
- Wariant 2. (kontenerowiec $L_c = 400$ m):

$$d = 500 \text{ m}$$

Należy zaznaczyć, że bezpieczne szerokości dwukierunkowego toru wodnego mogą ulec zmniejszeniu po modernizacji oznakowania nawigacyjnego. Modernizację tą należy przeprowadzić na etapie projektowania podejściowej drogi wodnej.

Oba warianty porównano w aspekcie parametrów ruchu statków na podejściowym torze wodnym do Portu Zewnętrznego Świnoujście. Przeprowadzono eksperyment symulacyjny dla prognozowanego ruchu w 2021 roku. Analizując wyniki eksperymentów symulacyjnych można wyciągnąć następujące wnioski:

- model wykazuje stabilność i jego parametry, takie jak: długości kolejki oczekujących statków oraz liczebności statków na torze, stabilizują się w czasie;
- oczekiwania na wejście w grupie największych statków są mało znaczące;
- największe opóźnienia średnie występują w przypadku grupy statków o najmniejszym zanurzeniu do 7 m, w tym promów morskich (średnio 0,6 h na statek), co może po-



Rys. 7. Schemat toru podejściowego do Świnoujścia z zaznaczonymi kotwicowiskami, systemem oznakowania nawigacyjnego i planowanym podziałem na odcinki o ruchu jedno- i dwukierunkowym

wodować problemy z terminową obsługą połączeń promowych;

- kolejka jednostek stabilizuje się w czasie i prawdopodobieństwo jej zaistnienia wynosi mniej niż 44% dla statków klasy 1 ($T \leq 7$ m) i 7% dla klasy 2 ($7 < T < 9$ m); dla innych klas nie powstają kolejki; prawdopodobieństwo kolejki nie zależy znacznie od przyjętego wariantu; średnie długości kolejki nie przekraczają 2 statków dla obu wariantów.
- zapewnienie inteligentnego sterowania ruchem statków pozwoli zoptymalizować parametry strumienia ruchu tak, żeby minimalizować czas oczekiwania (szczególnie opóźnienia promów morskich).

PORÓWNANIE I WYBÓR WARIANTÓW LOKALIZACJI

1. Dwa analizowane warianty budowy terminalu kontenerowego w Świnoujściu:
 - Wariant 1. – wewnątrz Portu Zewnętrznego Świnoujście (rys. 2);

- Wariant 2. – na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście (rys. 3);

charakteryzują się następującymi parametrami:

- „maksymalny” kontenerowiec, który może wejść do terminalu:
 - Wariant 1.: $L_c = 320$ m; $B = 50$ m; $T = 13,0$ m (~6000 TEU);
 - Wariant 2.: $L_c = 400$ m; $B = 60$ m; $T = 13,0$ m (~20 000 TEU);
- długość linii cumowniczej pozwalająca na jednoczesny postój:
 - Wariant 1.: $2 \times$ feeder ($L_c = 300$ m), $1 \times$ feeder ($L_c = 200$ m);
 - Wariant 2. (Etap 3): $2 \times$ oceaniczny ($L_c = 400$ m), $1 \times$ feeder ($L_c = 300$ m).
- 2. Wariant 1. lokalizacji terminalu kontenerowego koliduje z rozbudową Terminalu LNG w Porcie Zewnętrznym Świnoujście, uniemożliwiając budowę stanowiska załadunkowego w planowanej lokalizacji (rys. 1).

3. Szczegółowe wnioski do rozwiązań technologicznych można przedstawić następująco:

Wariant 1.:

- Do terminalu będą mogły zawijać statki o dopuszczalnej pojemności około 6 tys. TEU, co determinuje jego rolę jako terminalu feederowego i żegluga morskiej bliskiego zasięgu.
- Powierzchnia dostępnego terenu warunkuje jego zdolność przeładunkowo-składową. Zdolność terminalu wynosi około 450 tys. TEU (z możliwością zwiększenia jej do około 600 tys. TEU).
- Ukształtowanie poziome dostępnego terenu determinuje konieczność:
 - lokalizacji części placów składowych w 1. linii nabrzeża, co może spowodować utrudnienia w obsłudze przez pojazdy drogowe; wskazana jest zatem segregacja kontenerów ze względu na rodzaj obsługującego transportu zaplecza;
 - zmiany przebiegu lub likwidacji drogi publicznej Ku Morzu;
 - wjazdu na terminal pod estakadą gazociągu, co może stanowić potencjalny konflikt i ograniczenie przepustowości;
 - przeprowadzenia linii kolejowej prowadzącej do terminalu kolejowego w kolizji z drogą Ku Morzu;
 - ograniczenia związane z dostępną powierzchnią i kształtem terenu sprawiają, że nie ma możliwości zaprojektowania terminalu kolejowego, w którym można byłoby obsługiwać całe składy pociągów kontenerowych; dopuszczalna długość linii kolejowej wynosi około 550 m.

Wariant 2.:

- Obszar o powierzchni 100 ha pozwala na osiągnięcie przepustowości 1,5 mln TEU rocznie (z możliwością zwiększenia do około 2 mln TEU).
- Parametry basenu portowego umożliwiają obsługę statków o pojemności do 20 tys. TEU, co pozwala na

budowę terminalu pełniącego funkcję dyspozycyjno-rozdzielczą (tzw. hubu kontenerowego).

- Place składowe kontenerów są zlokalizowane optymalnie – na zapleczu placu manipulacyjnego nabrzeża.
 - W terminalu kolejowym mogą być jednocześnie obsługiwane cztery pełne składy pociągów kontenerowych.
 - Nie ma kolizji z estakadą gazociągu.
 - Nie ma konieczności zmiany przebiegu drogi Ku Morzu.
 - Nie ma kolizji dróg dojazdowych z planowaną linią kolejową.
 - Możliwość etapowania inwestycji. Poszczególne etapy dotyczące wyposażenia i uzbrojenia terminalu opracowano dla przeładunków na poziomie 0,5 mln TEU, 1,0 mln TEU i 1,5 mln TEU.
 - Projekt terminalu zaproponowany w wariantie 2. stwarza możliwość jego rozbudowy, w wyniku której przepustowość terminalu może wzrosnąć o kolejne 1,5 mln TEU.
4. Analiza nawigacyjna toru podejściowego do Portu Zewnętrznego Świnoujście wykazała możliwość i celowość wytyczenia odcinka toru, na którym będzie odbywał się ruch dwukierunkowy „maksymalnych” statków:
- Głębokość podejściowego toru wodnego $h = 14,5$ m.
 - Odcinek ruchu dwukierunkowego będzie przebiegać od 13,6 do 42,8 km toru.
 - Bezpieczne szerokości toru dwukierunkowego to:
 - Wariant 1.: (kontenerowiec $L_c = 320$ m) $d \approx 450$ m,
 - Wariant 2.: (kontenerowiec $L_c = 400$ m) $d \approx 500$ m.
5. Analizując wyniki eksperymentów symulacyjnych można wyciągnąć następujące wnioski:

Tabl. 1. Porównanie wariantów lokalizacji terminalu kontenerowego w Świnoujściu

Lp.	Kryteria	Wariant 1. – wewnątrz Portu Zewnętrznego Świnoujście	Wariant 2. – na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście
1.	Wielkość obsługiwanych statków	feeder	hab. + feeder
2.	Ilość jednocześnie obsługiwanych statków	$2 \times \text{feeder}$	$2 \times \text{hab.} + 1 \times \text{feeder}$
3.	Ograniczenia związane z rozbudową Terminalu LNG	ogranicza rozbudowę Terminalu LNG	nie ogranicza rozbudowy Terminalu LNG
4.	Ograniczenia manewrowe podczas postoju gazowca LNG	istniejące – wewnątrz Portu Zewnętrznego	nie istniejące – poza Portem Zewnętrznym
5.	Ograniczenia technologiczne – odległość między statkiem a placem składowym	duże ograniczenie $l > 1000$ m	bez ograniczenia $l < 500$ m
6.	Ograniczenia dowozowe z terminalu kolejowego	brak możliwości budowy terminalu kolejowego dla całego składu	bez ograniczenia
7.	Wejście w ląd	wejście w ląd	poza lądem
8.	Możliwość rozbudowy	nie istnieje	istnieje

- Oczekiwania na wejście w grupie największych statków są mało znaczące.
- Największe opóźnienia średnie występują dla grupy statków o najmniejszym zanurzeniu do 7 m, w tym promów morskich (średnio 0,6 h na statek).
- Kolejka jednostek stabilizuje się w czasie i prawdopodobieństwo zaistnienia wynosi mniej niż 44% dla statków klasy 1 ($T < 7$ m) i 7% dla klasy 2 ($7 \text{ m} \leq T < 9$ m). Dla innych klas nie powstają kolejki. Prawdopodobieństwo kolejki nie zależy od przyjętego wariantu. Średnie długości kolejki nie przekraczają 2 statków dla obu wariantów.
- Zapewnienie inteligentnego sterowania ruchem statków pozwoli zoptymalizować parametry strumienia ruchu tak, żeby minimalizować czas oczekiwania (szczególnie opóźnienia promów morskich).

Porównanie obu wariantów lokalizacji terminalu kontenerowego w Świnoujściu przedstawiono w tabl. 1. Wszystkie przyjęte kryteria porównawcze jednoznacznie wskazują, że z dwóch opracowanych realnych wariantów budowy terminalu kontenerowego wariant 2. (terminal na wschód od Portu Zewnętrznego Świnoujście) jest możliwy do realizacji i znacznie korzystniejszy od wariantu 1. Wariant ten nie koliduje z terminalem LNG i jego planowaną rozbudową.

LITERATURA

1. Brinkmann B.: Operations systems of container terminals: a compendious overview. Handbook of terminal planning. Springer New York, 2011, 25-39.

2. Docelowa zabudowa portu zewnętrznego w Świnoujściu – analiza nawigacyjna. Praca naukowo-badawcza pod kierunkiem S. Gucmy, zlecona przez Zarząd Morskich Portów Szczecin i Świnoujście. Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2011.

3. Gucma S. i inni: Morskie drogi wodne. Projektowanie i eksploatacja w ujęciu inżynierii ruchu. Wydawnictwo: Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej, Gdańsk 2015, stron 551, ISBN 978-83-60584-51-4.

4. Gucma S., Ślęczka W., Zalewski P.: Parametry torów wodnych i systemów nawigacyjnych wyznaczane przy wykorzystaniu kryteriów bezpieczeństwa nawigacji. Wydawnictwo Naukowe Akademii Morskiej w Szczecinie, Szczecin 2013, ISBN 978-83-89901-82-8.

5. Koncepcja obsługi kontenerowców w Porcie Szczecin i Świnoujście w aspekcie realizacji celów strategii rozwoju portów morskich w Szczecinie i Świnoujściu do roku 2027: (Część I: Analiza nawigacyjna Terminalu Kontenerowego w Porcie Zewnętrznym Świnoujście i wybór optymalnej lokalizacji. – wykonawca AMSz). (Część II: Analiza techniczno-eksploatacyjna Terminalu Kontenerowego w Porcie Zewnętrznym Świnoujście. – wykonawca BIMOR). Praca naukowo-badawcza pod kierunkiem S. Gucmy, zlecona przez Ernst & Young. Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2015.

6. Projekt systemów zapewniających bezpieczną nawigację i obsługę statków LNG na podejściu i w porcie zewnętrznym w Świnoujściu. Praca naukowo-badawcza pod kierunkiem S. Gucmy, zlecona przez Urząd Morski w Szczecinie. Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2012.

7. SANDIA: Guidance on Risk Analysis and Safety Implications of a Large Liquefied Natural Gas (LNG) Spill Over Water, 2004.

8. Wstępne oszacowanie parametrów technicznych północnego toru podejściowego do portu w Świnoujściu wraz z szacunkową kalkulacją kosztów. Praca naukowo-badawcza pod kierunkiem W. Ślęczki zlecona przez ZPSS. Akademia Morska w Szczecinie, Szczecin 2015.