

ZASTOSOWANIE BADAŃ SYMULACYJNYCH DO OCENY WYTRZYMAŁOŚCI URZĄDZEŃ CUMOWNICZYCH W TERMINALU PROMOWYM

Streszczenie

Artykuł prezentuje możliwość zastosowania badań symulacyjnych do weryfikacji kalkulacji i do oceny założeń projektowych dla terminalu promowego, wyposażonego w urządzenia cumownicze. Zastosowanie symulatora Navi-Trainer 5000 Professional do badań wytrzymałości urządzeń cumowniczych nabrzeża i lin cumowniczych statków w różnych warunkach hydrometeorologicznych pozwala ocenić dobór parametrów tych urządzeń będących na wyposażeniu terminala promowego.

WPROWADZENIE

Analiza systemu cumowania promów pasażerskich została wykonana przy założeniach:

- ustalenie wartości sił wzdłużnej i poprzecznej działających na statek powodowanych oddziaływaniem wiatru,
- wyznaczenie wartości sił w linach cumowniczych dla istniejącego układu punktów cumowniczych i rampy na nabrzeżu Polskim w porcie Gdynia dla wybranego modelu statku,
- ustalenie granicznych warunków pogodowych, przy których możliwy jest bezpieczny postój przy nabrzeżu wybranego statku.

1. ODDZIAŁYWANIE WIATRU NA STATEK

Wielkość siły oddziaływania wiatru na zacumowany do nabrzeża statek określa się w oparciu o jego prędkość i kierunek oraz powierzchnie bocznią i czołową statku. Wartości ciśnienia wywołanego przez wiatr wiejący z kierunku prostopadłego do powierzchni nawiewu określa poniższy wzór. [2]

$$P = 0,15 \times V_w^2, \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (1)$$

gdzie :

V_w – prędkość wiatru (w),

Tab. 1. Zestawienie prędkości wiatru i odpowiadającego im ciśnienia

Lp.	Prędkość wiatru V_w	Ciśnienie wiatru P
	węzły	N/m^2
1	10	15
2	20	60
3	30	135
4	40	240
5	50	375
6	60	540

Wartości ciśnienia wywołanego przez wiatr z kierunku innego niż prostopadły do powierzchni nawiewu można określać z poniższego wzoru, ich wartości będą odpowiednio mniejsze.

$$P = \sin \alpha \times 0,15 \times V_w^2, \left[\frac{N}{m^2} \right] \quad (2)$$

gdzie :

V_w – prędkość wiatru (w),

Wartości sił zewnętrznych spowodowanych wiatrem i działających na statek określono na podstawie [2] z poniższego wzoru:

$$F = P \times S, [kN] \quad (3)$$

gdzie :

P – ciśnienie wiatru,

S – powierzchnia nawiewu,

Do obliczeń sił zewnętrznych i symulacji wybrano przyjęto następujące warianty oddziaływania wiatru na statek:

- Wariant 1 – wiatr ze zmienną prędkością oddziałuje prostopadle na powierzchnię czołową statku (wiatr od dziobu powodujący przesuwanie statku wzdłuż nabrzeża w kierunku rampy przeładunkowej),
- Wariant 2 – wiatr ze zmienną prędkością oddziałuje prostopadle na powierzchnię boczną statku – wiatr od strony nabrzeża, powodujący odchodzenie statku od nabrzeża.

Ze względu na niewielkie zmiany w zanurzeniu tego typu statków do obliczeń przyjęto statek zanurzony do letniej linii ładunkowej, na równej ścieżce. Wartość bocznej powierzchni nawiewu równą $A_L = 6500m^2$ z powodu braku danych oszacowano na podstawie danych kilku promów podobnej wielkości. Wartość czołowej powierzchni $A_T = 1300m^2$ z powodu braku danych przyjęto, jako 20% wartości powierzchni bocznej statku. Dla tak przyjętych wielkości powierzchni nawiewu obliczono na podstawie wzoru [3] wartości sił zewnętrznych działających na statek spowodowanych wiatrem. Wyniki zaprezentowano w poniższej tabeli 2.

Tab. 2. Maksymalna siła wzdłużna i poprzeczna oddziaływania wiatru

Prędkość wiatru	Ciśnienie wiatru	Siła wzdłużna maksymalna	Siła poprzeczna maksymalna
w	N/m^2	kN	kN
20	60	78	390
25	94	122	609
30	135	176	878
35	184	239	1194
40	240	312	1560
45	304	395	1974
50	375	488	2438
55	454	590	2949
60	540	702	3510

Ze względu na wysokość usytuowania Nabrzeża Polskiego względem powierzchni wody w basenie portowym można dodatkowo założyć, że wartość siły poprzecznej, powodującej odpychanie

statku zmniejszy się o wartość ciśnienia wiatru oddziaływającego na powierzchnię równą długości statku pomnożoną przez wysokość nabrzeża nad poziomem wody w basenie. Tak przyjęte założenie spowoduje zmniejszenie wartości sił zewnętrznych działających na statek od strony nabrzeża, z kierunku prostopadłego do burty. Wartość tych sił spowodowanych wiatrem zaprezentowano w poniższej tabeli.

Tab. 3. Maksymalna siła wzdłużna i poprzeczna oddziaływania wiatru pomniejszona o wpływ wysokości nabrzeża na poziom wody.

Prędkość wiatru	Ciśnienie wiatru	Siła wzdłużna maksymalna	Siła poprzeczna maksymalna
w	N/m ²	kN	kN
20	60	78	362
25	94	122	566
30	135	176	815
35	184	239	1110
40	240	312	1450
45	304	395	1835
50	375	488	2265
55	454	590	2741
60	540	702	3262

Dla wybranych prędkości wiatru przeprowadzono symulację. Scenariusze symulacji przeprowadzono dla tego samego modelu statku dla dwóch wariantów, zwiększono prędkość wiatru i towarzyszące mu oddziaływanie falowania.

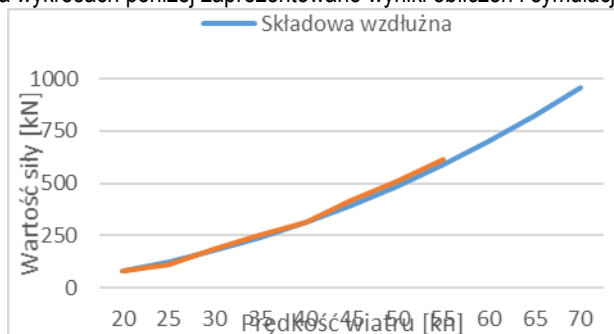
Tab. 4. Maksymalna siła poprzeczna oddziaływania wiatru z symulacji.

Prędkość wiatru	Ciśnienie wiatru	Siła poprzeczna
w	N/m ²	kN
20	60	372
25	94	581
30	135	824
35	184	1005
40	240	1525
45	304	11902
50	375	2293
55	454	2804
60	540	-

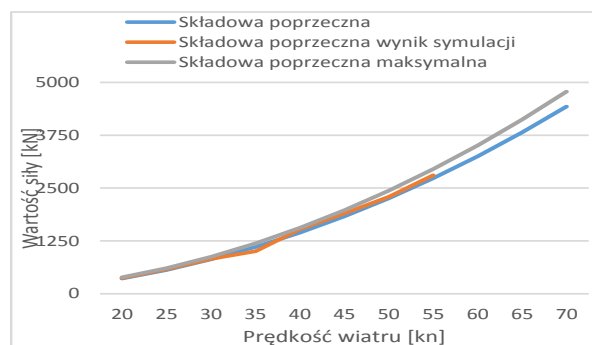
Tab. 5. Maksymalna siła wzdłużna oddziaływania wiatru z symulacji.

Prędkość wiatru	Ciśnienie wiatru	Siła wzdłużna
w	N/m ²	kN
20	60	82
25	94	112
30	135	184
35	184	252
40	240	314
45	304	417
50	375	507
55	454	612
60	540	-

Rezultaty symulacji potwierdzają wyniki uzyskane z obliczeń. Na wykresach poniżej zaprezentowano wyniki obliczeń i symulacji.



Wyk. 1. Porównanie wyników obliczeń i symulacji dla składowych wzdłużnych przy wietrze z kierunku dziobowego [038°]



Wyk. 2. Porównanie wyników obliczeń i symulacji dla składowych poprzecznych przy wietrze z kierunku prostopadłego do burty [148°]

Przeprowadzone symulacje wskazują na zwiększone obciążenia lin podanych z dziobowej części statku, powodem tego, po części jest profil powierzchni bocznej statku, który w części dziobowej jest znacznie większy niż w rufowej, a także dodatkowo budynek magazynu na Nabrzeżu Polskim, który częściowo osłania rufową część statku. Wytworzony w ten sposób moment obrotowy statku powoduje, że liny w części dziobowej statku są bardziej obciążone niż te podane z rufy. Przy wietrze z kierunku prostopadłego od strony nabrzeża o prędkości powyżej 50 węzłów, powoduje w pierwszej kolejności zerwanie brestów dziobowych, gdyż te liny są najbardziej obciążone. Część rufowa statku jest dodatkowo zabezpieczona przed odpychającym działaniem wiatru, siłą tarcia występującą pomiędzy podjazdem a rampą statku. Po rozbiórce budynku rozłożenie sił zewnętrznych powodujących odpychanie zostanie rozłożone równomiernie.

Bresty dziobowe, mogłyby przenieść większe obciążenia, gdyby zwiększyć ich długość – można to uzyskać poprzez przeniesienie ich na drugą linię polerów lub odsunąć polery te z pierwszej linii. Zerwanie w pierwszej kolejności tych lin powoduje zwiększenie obciążenia na pozostałych linach dziobowych i w konsekwencji również ich zerwanie.

2. POLERY CUMOWNICZE

Obciążenia robocze polerów cumowniczych do mocowania lin cumowniczych na Nabrzeżu Polskim przedstawia poniższa tabela.

Tab. 5. Obciążenia robocze polerów cumowniczych.

Poler nr	Obciążenie (t)	Obciążenie (kN)
1	100	981
2	100	981
3	250	2453
4	250	2453
5	100	981
6	100	981
7	250	2453
8	250	2453
9	250	2453
10	250	2453
11	100	981
12	100	981
13	100	981
14	100	981

Z przeprowadzonych symulacji wynika, że układ i wytrzymałość polerów na nabrzeżu przy założonych wartościach MBL lin cumowniczych pozwala na utrzymanie statku przy nabrzeżu przy działaniu odpychającego wiatru z prędkością 52 węzłów.

Zastosowanie lin cumowniczych o wartości MBL 555kN wymaga zastosowania urządzeń cumowniczych o wartości MBL większej

o 25% niż MBL lin zgodnie z [2]. Dla rozpatrywanego przypadku wartość MBL dla polerów powinna wynosić 695kN (71t).

W tej sytuacji możliwe jest zakładanie każdej z lin na osobny poler o wartości MBL 100t, w przypadku zakładania dwóch lin na pojedynczy poler, wytrzymałość polerów należy zwiększyć o wartość 25% (zgodnie z [2]) w stosunku do maksymalnego MBL dwóch lin cumowniczych, czyli należy wytrzymałość każdego z polerów podnieść do 1390kN (142t).

Pozostawienie takiej konfiguracji lin cumowniczych jak zaproponowano w symulacji powoduje, że polery są nadmiernie obciążane poprzez liny dziobowe i rufowe, te zakładane podwójnie.

Założona wytrzymałość polerów 100t dla brestów dziobowych i rufowych jest wystarczająca, jednak odsunięcie ich od linii nabrzeża o kilka metrów spowoduje, że wytrzymałość składowej poziomej każdej z lin na tym kierunku wzrośnie, poprzez zmniejszenie składowej pionowej. Taka sytuacja sprawi, że możliwe będzie zwiększenie sił przenoszonych przez bresty, a także zwiększona długość lin lepiej będzie odpowiadać na dynamiczne podmuchy odpychającego wiatru, a także pojawiające się przy tej sytuacji falowanie powodujące ruchu statku (kołysanie). Zwiększenie wartości składowej poziomej w brestach spowoduje, że taka konfiguracja lin jest w stanie utrzymać statek przy nabrzeżu przy większej prędkości odpychającego wiatru.

Ze względu na znaczne obciążenia w brestach dziobowych i rufowych konieczne jest podanie dodatkowych brestów i zamocowanie ich w drugiej linii polerów przy wietrze wiejącym z prędkością powyżej 55 węzłów.

W przypadku zwiększenia odległości polerów od linii nabrzeża i zwiększenie MBL do 150t pozwoli na utrzymanie statku przy nabrzeżu przy odpychającym wietrze o prędkości powyżej 60 węzłów. W takim przypadku należałoby dostarczyć dodatkowe dane dotyczące typu i wytrzymałości lin cumowniczych a następnie wykonać kolejne symulacje mające na celu potwierdzenie powyższych rozważań.

3. LINY CUMOWNICZE

Obecnie w użyciu jest wiele rodzajów lin cumowniczych, a ich parametry różnią się znacznie od siebie. Zastosowanie lin stalowych poprawia znacznie żywotność i wytrzymałość lin cumowniczych, ale stalówki charakteryzuje niski moduł sprężystości, dlatego stosowane są zawsze z 11 metrowymi odcinkami lin miękkich. Stosowanie lin wykonanych z tworzyw sztucznych lub tylko odcinków znacznie poprawia sprężystość lin cumowniczych, ale zmniejsza ich wytrzymałość i żywotność. Podczas cumowania nie dopuszcza się stosowania przez statek lin cumowniczych o różnych parametrach wytrzymałościowych i znacznej elastyczności, gdyż powodować to może nierównomierne rozmieszczenie naprężenia w linach podczas przeciwdziałania siłom zewnętrznym.

Rodzaj oraz wszystkie parametry wytrzymałościowe lin cumowniczych z powodu braku danych przyjęto zgodnie z MSC/Circ.1175 GUIDANCE ON SHIPBOARD TOWING AND MOORING EQUIPMENT. Parametry wytrzymałościowe takie jak MBL (Minimum Breaking Load) lin cumowniczych dla statku przyjęto w oparciu o parametr EQUIPMENT NUMBER (EN), wyliczony w oparciu o dane przyjętego do badań symulacyjnych statku.

$$EN = \sqrt[3]{D^2 + 2Bh} + 0,1A = 3305 \quad (4)$$

gdzie:

D - wyporność do letniej linii ładunkowej,

B - szerokość całkowita,

h - wysokość od letniej linii ładunkowej do topu najwyższej nadbudówki,

A - boczna powierzchnia nawiewu statku powyżej letniej linii ładunkowej,

Dla wartości EN = 3305, zalecana wartość MBL lin cumowniczych odczytana z tabeli w załączniku do [1] wynosi MBL = 554 [kN].

We wszystkich obliczeniach zgodnie z zaleceniami przyjęto, że maksymalna siła statyczna przenoszona w każdej z lin cumowniczych statku nie przekracza 50% wartości MBL. [3].

Przy tak określonej wartości MBL, siła statyczna w linach cumowniczych nie powinna przekraczać 278kN. Zastosowanie takiego współczynnika bezpieczeństwa pozwala na uwzględnienie w linach cumowniczych nierównomiernego ich obciążania wskutek dynamicznego działania wiatru i falowania. Przyjęta wartość współczynnika bezpieczeństwa, zapewnia wciąż możliwość przenoszenia sił zewnętrznych przez inne, pozostałe liny w chwili poluzowania się lub zerwania jednej z nich.

Podstawową konfigurację cumowania statku do nabrzeża przyjęto zgodnie z załączoną dokumentacją i w oparciu o nią obliczono wszystkie składowe siły w linach cumowniczych, na badanych kierunkach działania sił - wzdłużnym i poprzecznym.

Dodatkowo w przypadku znacznej składowej pionowej i pojawienia się kołysania statku na krótkiej fali najbardziej obciążonymi linami cumowniczymi będą stosunkowo krótkie bresty dziobowe i rufowe, których elastyczność może być niewystarczająca, aby kompensować ruchy statku.

W tym celu, w warunkach występowania silnego wiatru powyżej 50 węzłów należy zamocować dłuższe bresty na polerach o wzmocnionej wytrzymałości (250t, tych znacznie oddalonych od linii nabrzeża).

Wysokość podania lin ze statku przyjęto na poziomie 8 m do poziomu nabrzeża. Przy tak podanych linach i konfiguracji polerów cumowniczych uzyskano następujące wyniki

Tab. 6. Obciążenia robocze polerów cumowniczych w kN

Oznaczenie liny	Poler	MSL polera	Siła w linie	Składowa poprzeczna	Składowa wzdłużna rufa	Składowa wzdłużna dziób	
Cumy dziobowe	1	14	981	277,5	206,1	N/A	177
	2		981	277,5	206,1	N/A	177
	3	13	981	277,5	199,4	N/A	185
	4		981	277,5	170,7	N/A	211,4
Bresty dziobowe	1	12	981	277,5	245,3	N/A	101,2
	2	11	981	277,5	245,3	N/A	101,2
Bresty rufowe	1	5	981	277,5	228,4	94,5	N/A
	2	6	981	277,5	228,4	94,5	N/A
Cumy rufowe	1	1	981	277,5	231,7	146,5	N/A
	2		981	277,5	192,4	191,7	N/A
	3	2	981	277,5	138	228,4	N/A
	4		981	277,5	138	228,4	N/A

Suma sił poprzecznych w linach cumowniczych na kierunku odpychającym od nabrzeża:

$$\sum F_{y'} = 2430kN \quad (6)$$

Suma wszystkich sił składowych poprzecznych w linach cumowniczych F_y o wartości MBL 555kN pozwoli utrzymać statek przy nabrzeżu, przy oddziaływaniu wiatru o prędkości 52 węzłów.

Suma sił wzdłużnych w linach cumowniczych, w kierunku rufy:

$$\sum F_{x'} = 984kN \quad (7)$$

Suma sił wzdłużnych w linach cumowniczych, w kierunku dziobu:

$$\sum F_{x''} = 953kN \quad (8)$$

Suma wszystkich sił składowych wzdłużnych w linach cumowniczych F_x w kierunku rufy jak i dziobu, o wartości MBL 555kN pozwolą utrzymać statek przy nabrzeżu przy oddziaływaniu wiatru o prędkości dochodzącej nawet do 70 węzłów.

Kolorem czerwonym w tabeli 6 zaznaczono polery, których wytrzymałość MBL jest niewystarczająca w porównaniu do dwóch lin cumowniczych. Wartość MBL tych pólery należy podnieść dla wartości MBL lin równej 555kN do MBL równej 1390kN (142t).

PODSUMOWANIE

Dla zaproponowanej konfiguracji urządzeń cumowniczych, przy zwiększeniu wytrzymałości pólery Nr 1, 2, 13, 14 do 142 ton (bez pólery sztormowych – druga linia cumownicza), dla statku o wyporności 25000 ton suma sił poprzecznych w linach cumowniczych na kierunku odpychającym od nabrzeża jest równa 2430kN.

Suma wszystkich sił składowych poprzecznych w linach cumowniczych F_y o wartości MBL 555kN pozwoli utrzymać statek przy nabrzeżu, przy oddziaływaniu wiatru o prędkości 52 węzłów.

Utrzymanie statku przy nabrzeżu przy większej prędkości wiatru wymaga zastosowania pólery sztormowych Nr 3, 4, 9, 10 (drugiej linii cumowniczej) o wytrzymałości minimalnej 71 ton dla wariantu jedna lina na jeden poler lub wytrzymałości 142 ton dla wariantu dwóch lin na jeden poler. (dla wartości MBL lin cumowniczych 555kN).

Przesunięcie o kilka metrów pólery Nr 5 i 6 dla brestów (używanych do cumowania planowanego statku) z pierwszej linii cumowniczej pozwoli na utrzymanie statku przy nabrzeżu przy prędkości wiatru powyżej 52 węzłów. Wyeliminowałyby to potrzebę zastosowania pólery sztormowych.

BIBLIOGRAFIA

1. IMO, MSC/Circ.1175 GUIDANCE ON SHIPBOARD TOWING AND MOORING EQUIPMENT, London: INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION, 24 May 2005.
2. I. B. Clark, Mooring and anchoring ships, London: The Nautical Institute, 2009.
3. OCIMF, Mooring Equipment Guide 3rd Edition, Edinburgh: OCIMF, 2008.

THE ASSESSMENT OF THE STRENGTH OF THE MOORING EQUIPMENT IN THE PASSENGER TERMINAL ON THE BASE SIMULATION STUDY

Abstract

Paper presents the possibilities of using simulation process for assessment of the project the new passenger's terminal, equipped with special mooring arrangements. Navi-Trainer 5000 Professional is using as tool for simulation ship's approaching and mooring operations and also as a tools for the assessment of the special mooring equipment parameters.

Autorzy:

dr inż. kpt. ż.w. **Henryk Śniegocki**, prof. nadzw. AM – Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Nawigacji
dr inż. kpt. ż.w. **Przemysław Wilczyński** – Akademia Morska w Gdyni, Wydział Nawigacyjny, Katedra Eksploatacji Statku