

Symulacyjne badanie wpływu systemu PNDS na bezpieczeństwo i efektywność manewrów

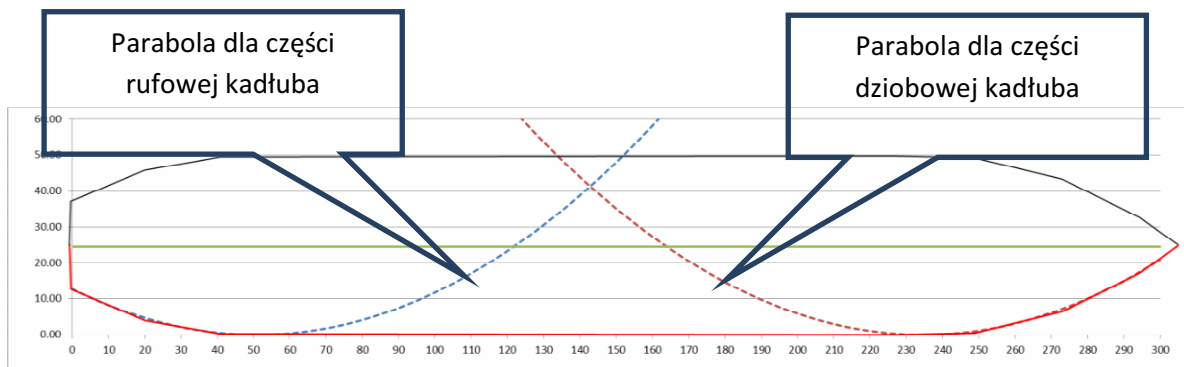
słowa kluczowe: systemy pilotowe, systemy dokingowe, dokładność pozycjonowania, prezentacja wodnicy, identyfikacja wodnicy, efektywność manewru, bezpieczeństwo manewru

W systemach nawigacyjnych, których jednym z głównych celów jest prowadzenie statków na akwenach ograniczonych oraz podejście do nabrzeża i efektywne ich przycumowanie, istotną rolę pełni właściwe zobrazowanie pozycji statku w stosunku do otoczenia, w jakim się znajdują. W systemach nawigacyjnych wykorzystywanych na morzach otwartych bądź w dużej odległości od niebezpieczeństw nawigacyjnych wystarcza punkt określający pozycję anteny. Natomiast dla systemów wykorzystywanych na wodach ograniczonych, jak systemy pilotowe i dokingowe niezbędne jest również odpowiednie zobrazowanie wodnicy (obwiedni) statku.

Zobrazowanie wodnicy statku

W miarę zbliżania się do stanowiska cumowniczego dokładność wskazywanej pozycji powinna być coraz większa. Dokładność systemu GPS nawet w wersji różnicowej wynosi 5 m. Ponadto błąd pozycji GPS ma rozkład normalny z wartością oczekiwaną równą zero tylko dla długookresowych obserwacji. W przypadku krótkookresowych obserwacji trwających kilkanaście minut może wystąpić stałe przesunięcie pozycji o kilka metrów z niewielkimi fluktuacjami. Dlatego w celu zapewnienia odpowiedniej dokładności pozycji statku w trakcie podchodzenia do nabrzeża oraz wykonywania manewru cumowania w systemie PNDS wykorzystano dalmierze laserowe.

Do identyfikacji położenia wodnicy statku wykorzystany został algorytm dopasowujący do niej dwie parabole, których wierzchołki ograniczają wstawkę cylindryczną kadłuba [Rys. 1].



Rys. 1. Analityczna reprezentacja wodnicy statku.

Współczynniki równań kwadratowych dla obu krzywych opisujących kształt kadłuba wyznaczone zostały przy pomocy poniższego układu równań. Założono, iż współczynnik a , który wpływa na szerokość paraboli w dużej mierze zależy od szerokości statku oraz od typu statku. Ponadto wierzchołki krzywych leżą na osi odciętej, a więc mają po jednym rozwiązaniu (pierwiastku) i dlatego ich wyróżniki są równe zero.

$$\begin{cases} y = ax^2 + bx + c \\ (\Delta = b^2 - 4ac = 0) \end{cases} \implies \begin{cases} a = f(B) \\ b = \frac{y_p - ax^2 - c}{x_p} \\ c = \frac{b^2}{4a} \end{cases} \quad (1)$$

gdzie:

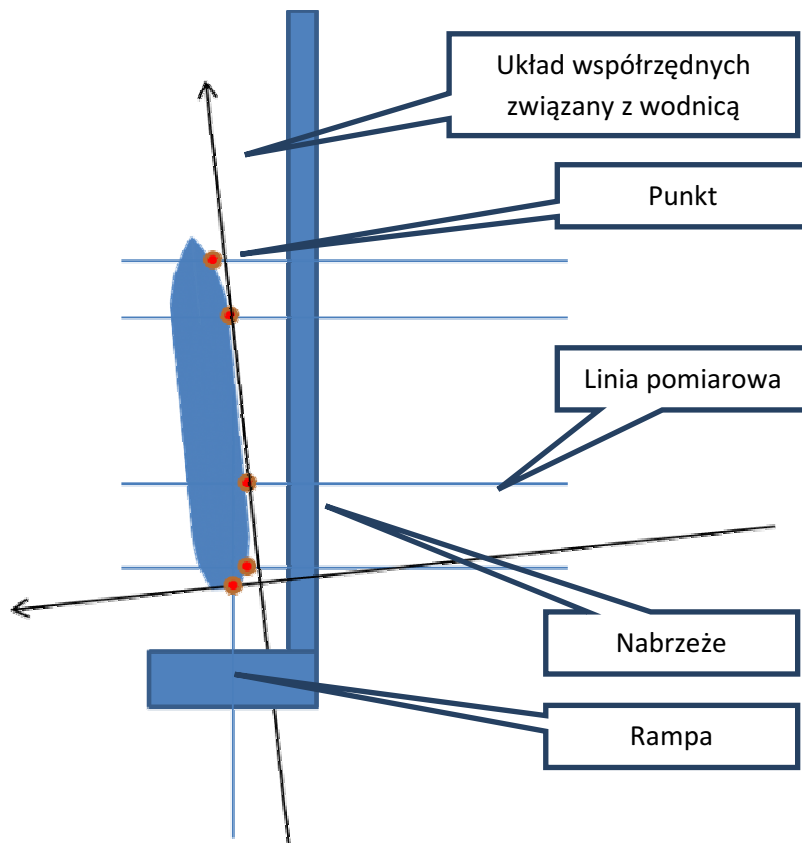
B – szerokość statku [m].

a, b, c – współczynniki równania kwadratowego

Δ – Wyróżnik równania kwadratowego

X_p, Y_p – Pierwiastek równania kwadratowego ($\Delta=0$).

Wodnica generowana przy pomocy algorytmu najbardziej przystaje do wodnicy rzeczywistej, gdy wykorzystanych zostanie pięć punktów pomiarowych, w taki sposób, aby dwa z nich leżały na linii wstawki cylindrycznej, po jednym na krzywiznach rufy i dziobu oraz jeden wyznaczający położenie rufy [Rys. 2].



Rys. 2. Zasada wyznaczania punktów pomiarowych na podstawie pomiarów dalmierzami laserowymi.

Dokładne pozycjonowanie wodnicy statku (rzędu centymetrów) niezbędne jest w najbardziej krytycznym, ostatnim etapie cumowania. Dlatego system PNDS wykorzystuje pięć dalmierzy laserowych, z których cztery są rozmieszczone wzdłuż nabrzeża i mierzą odległości w kierunku prostopadłym do niego, a jeden umieszczony na końcu nabrzeża i mierzy odległości na kierunku równoległym do nabrzeża. Odległości między dalmierzami powinny być funkcją wielkości statków cumujących do danego nabrzeża i tak dobrane, aby algorytm mógł wyznaczyć wodnice statku w odległości co najmniej 20 metrów od końca nabrzeża oraz co najmniej w połowie szerokości statku do nabrzeża.

Na podstawie współrzędnych dalmierzy oraz kierunków, w których wyznaczają odległości do kadłuba statku wyznaczane są współrzędne punktów pomiarowych (Rys. 2). Współrzędne te są następnie transponowane do układu współrzędnych związanych z wodnicą statku i na ich podstawie dopasowuje się położenie krzywych parabolicznych. Za pomocą uzyskanych w ten sposób równań kwadratowych oblicza się dowolną liczbę punktów wyznaczających położenie wodnicy, które następnie transponuje się z powrotem do układu współrzędnych, w którym pracuje system PNDS.

Badania symulacyjne

W celu sprawdzenia wpływu systemu PNDS na bezpieczeństwo oraz efektywność manewru przeprowadzone zostały badania symulacyjne, które polegały na wykonaniu przez grupę ekspertów, pilotów, kapitanów oraz starszych oficerów mających doświadczenie w manewrowaniu tego typu statkami, serii cumowań o wystarczającej liczebności dla każdego z założonych wariantów.

Badania zostały zaplanowane w oparciu o wiedzę ekspercką uczestników. Zdefiniowano dwa warianty hydrometeorologiczne:

1. w warunkach zerowych, wiatr 0 m/s, prąd 0 m/s,
2. z wiatrem dopychającym NW 10 m/s, prąd 0 m/s.

oraz określono następujące wstępne zasady manewrowania promem:

1. Pozycja startowa promu znajdowała się w osi toru wodnego na wysokości nabrzeża nr 2 Terminalu Promów Morskich w Świnoujściu
2. Prom leżał na kursie $222^{\circ} \pm 3^{\circ}$, a jego prędkość wzdłużna wynosiła $0w \pm 1w$, natomiast prędkość poprzeczna $0w \pm 0,5w$.
3. Próby cumowania kończono w momencie kontaktu rufy promu z urządzeniami odbojowymi stanowiska postojowego.
4. Pierwszy kontakt kadłuba z nabrzeżem powinien mieć miejsce możliwie najbliżej rampy.

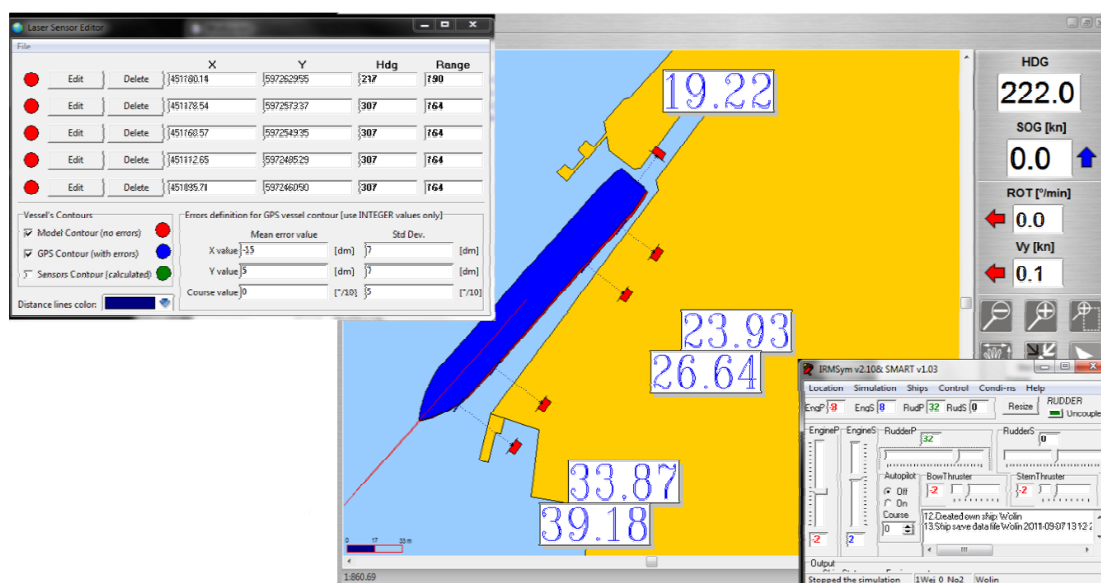
Badania prowadzone były z wykorzystaniem modelu komputerowego promu m/f Wolin [Rys. 3], którego podstawowe parametry są następujące:

Rok budowy	1986/2002
Długość całkowita	188,88m
Długość między pionami	186,02m
Szerokość	23,7m
Zanurzenie (pod balastem/letnia linia ładunkowa)	5,64m/5,9m
DWT	5143t
Silnik	4 x MAN-B&W 6L 40/45
Śruba	2 x nastawna - 150obr/min
Prędkość	15,5w/18w



Rys. 3. m/f Wolin, którego model komputerowy był wykorzystywany podczas badań symulacyjnych.

Poniższe rysunki przedstawiają ekran monitora komputerowego w trakcie przeprowadzanej próby symulacyjnej z odwzorowaną wodnicą statku przy pomocy urządzeń statkowych: DGPS i żyrokompasu [Rys. 4] oraz dalmierzy laserowych [Rys. 5]. Dodatkowo dla porównania na rysunkach tych pokazano również zaznaczoną na czerwono wodnicę wzorcową (nieдоступną podczas prób wykonywanych przez ekspertów).



Rys. 4. Ekran monitora komputerowego w czasie symulacji z pozycjonowaniem przy pomocy GPS oraz żyrokompasu (wzorcowa wodnica oznaczona kolorem czerwonym).



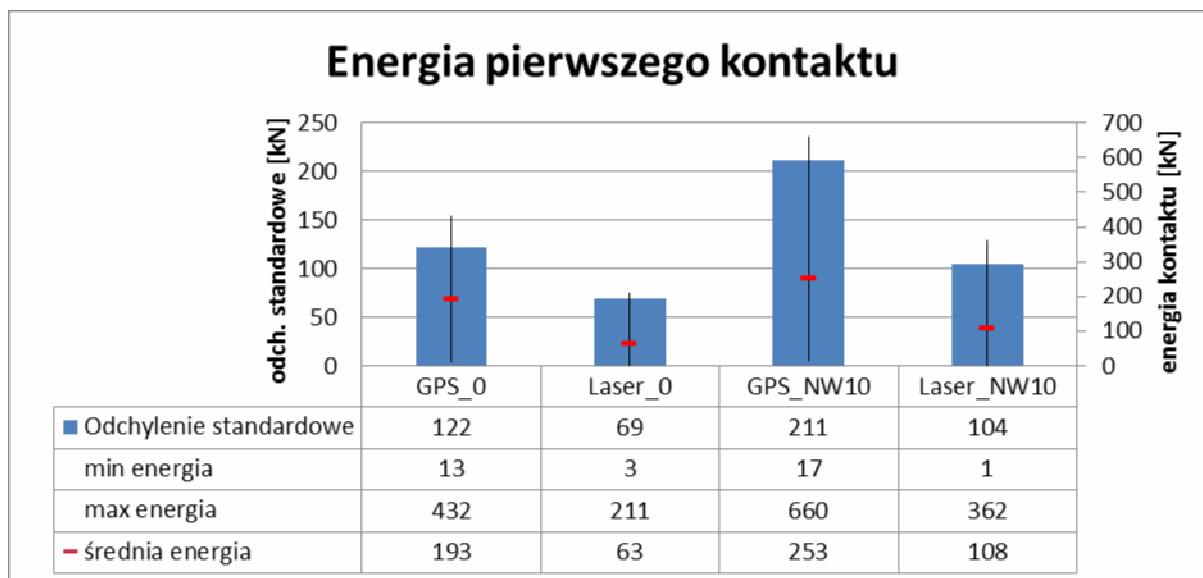
Rys. 5. Ekran monitora komputerowego w czasie symulacji z pozycjonowaniem za pomocą pomiarów laserowych (wzorcowa wodnica oznaczona kolorem czerwonym).

Wyniki badań

Zarejestrowane podczas prób symulacyjnych parametry ruchu promu poddane zostały analizie pod kątem kryteriów weryfikujących wpływ systemu PNDS na bezpieczeństwo oraz efektywność manewru cumowania. Przyjęto trzy kryteria, pierwsze kryterium dotyczy bezpieczeństwa natomiast pozostałe efektywności manewru:

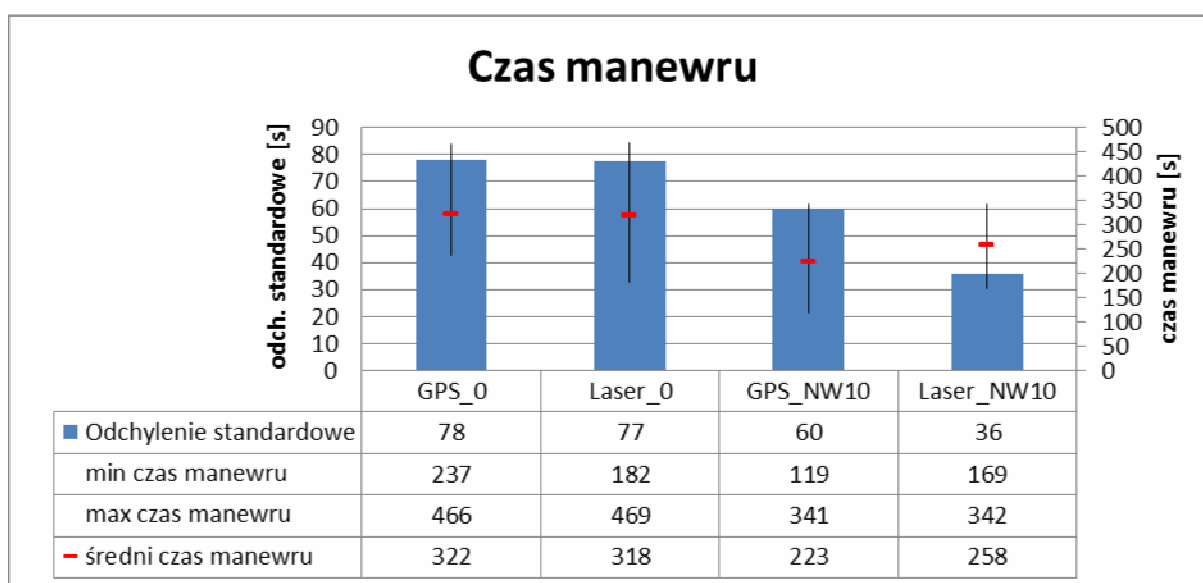
1. energia pierwszego kontaktu,
2. czas manewru,
3. dokładność manewru (odległość od końca nabrzeża).

W przypadku kryterium bezpieczeństwa widać znaczące spadki wartości średnich wartości energii pierwszego kontaktu, odchyień standardowych oraz wartości maksymalnych dla manewrów wykonywanych z użyciem dalmierzy laserowych [Rys. 6]. Średnie energie są 3 razy większe w warunkach zerowych i 2.5 razy większe przy wietrze dopychającym, natomiast odchylenia standardowe energii są 2 razy większe w przypadku wodnicy opartej na DGPS i żyrokompasie.



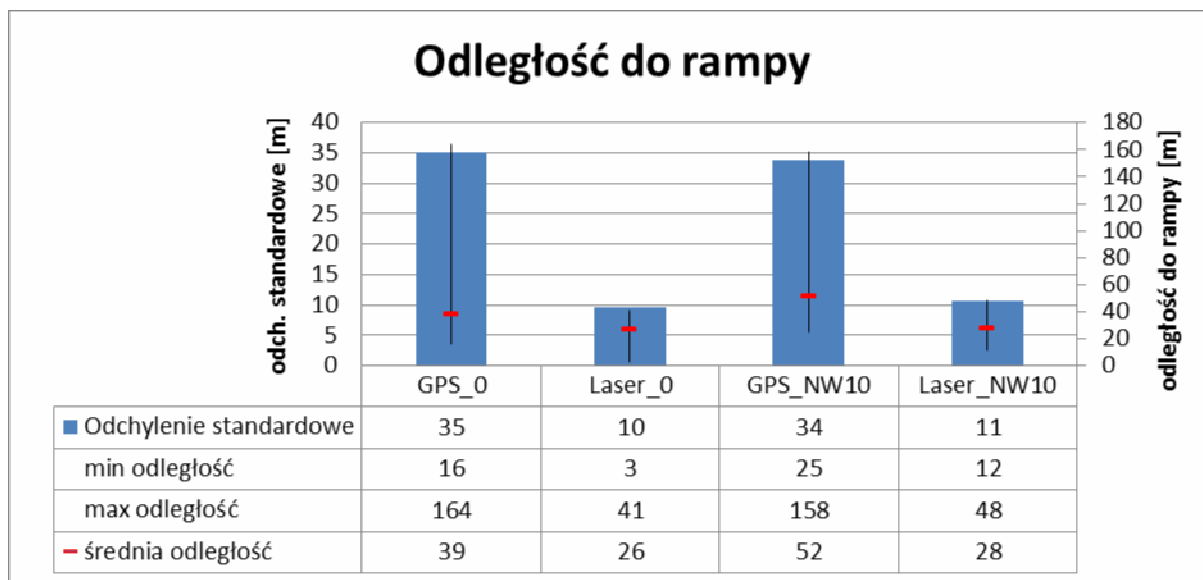
Rys. 6. Energia wytworzona w czasie pierwszego kontaktu statku z nabrzeżem

Czas manewru liczony był od momentu startu próby symulacyjnej do momentu pierwszego zetknięcia się kadłuba z nabrzeżem. W przypadku tego kryterium istotną różnicę na korzyść wodnicy opartej na pomiarach dalmierzami widać w wariancie z wiatrem dopychającym. W warunkach zerowych natomiast nie widać istotnej różnicy. Najprawdopodobniej spowodowane jest to faktem, iż w warunkach zerowych nie ma żadnego czynnika wymuszającego konkretne zastosowanie pędników. W warunkach zerowych manewr cumowania można wykonać bezpiecznie z minimalnymi nastawami maszyn głównych i sterów strumieniowych, natomiast przy wietrze dopychającym taka taktyka spowoduje wpełnienie promu na nabrzeże. Dlatego należy stosować manewry silne a tym samym sam manewr jest dużo krótszy.



Rys. 7. Czas manewru cumowania liczony do pierwszego kontaktu z nabrzeżem.

Średnia odległość od rampy we wszystkich wariantach oraz z wykorzystaniem zarówno wodnicy opartej o urządzenia statkowe i dalmierze oscyluje wokół wartości 10 metrów. Świadczy to, że eksperci dążyli do tego aby faktycznie punkt pierwszego kontaktu był jak najbliżej rampy. Na korzyść wodnicy opartej na systemie dalmierzy przemawia odchylenie standardowe, które jest trzykrotnie mniejsze w przypadku wodnicy PNDS z dalmierzami.



Rys. 8. Odległość punktu kontaktu kadłuba z nabrzeżem do rampy.

Wnioski

Przedstawione wyniki analizy wskazują na istotny wpływ systemu PNDS wykorzystującego dalmierze laserowe do pozycjonowania wodnicy statku, na bezpieczeństwo i efektywność manewru cumowania. .

W większości przypadków, poza czasem manewru w warunkach zerowych, wskaźniki kryteriów są co najmniej dwukrotnie niższe, na korzyść systemu PNDS.

