ZESZYTY NAUKOWE AKADEMII MARYNARKI WOJENNEJ
ROK LI NR 4 (183) 2010

Adam Pawlędzio
Akademia Marynarki Wojennej

OCENA STATECZNOŚCI DYNAMICZNEJ OKRĘTU NA PODSTAWIE WYMAGAŃ PRZEPISÓW POLSKIEGO REJESTRU STATKÓW

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono wyniki obliczeń wybranych kryteriów stateczności dynamicznej okrętu projektu 888 zgodnie z wymogami Polskiego Rejestru Statków opracowanymi dla statków handlowych oraz niezależnie dla okrętów marynarki wojennej. Proponowane w obu przypadkach kryteria różnią się znacząco, między innymi zakładanym charakterem momentu przechylającego. Porównanie otrzymanych wyników obliczeń przeprowadzonych dla okrętu projektu 888 umożliwia wskazanie, które z kryteriów jest bardziej rygorystyczne.

Słowa kluczowe:
kryteria stateczności dynamicznej, moment przechylający.

WSTĘP

Statki i okręty wojenne konstruuje się z uwzględnieniem różnorodnych czynników wpływających na ich bezpieczeństwo. Jednym z nich jest odporność na działanie momentów przechylających pochodzących od wiatru i fali. Czynniki te uwzględnia się w opracowywanych przez instytucje klasyfikacyjne kryteriach stateczności, które bezwzględnie muszą spełniać budowane jednostki pływające. W zależności od typu statku oraz zakładanego rejonu pływania kryteria stateczności są bardziej lub mniej rygorystyczne. Obecnie instytucje klasyfikacyjne opracowują kryteria na podstawie zaleceń Międzynarodowej Organizacji Morskiej (IMO). Zalecenia te opublikowano w postaci kodeksów stateczności [1, 2]. Pierwszy tego typu kodeks ukazał się w 1993 roku i odnosił się do wszystkich rodzajów statków

nieuszkodzonych. Dynamiczny rozwój nowych jednostek pływających wymusił dokonanie stosownych zmian w kolejnym wydaniu tych przepisów. I tak w 2008 roku ukazał się nowy kodeks stateczności [2], który zaczął obowiązywać od początku 2010 roku.

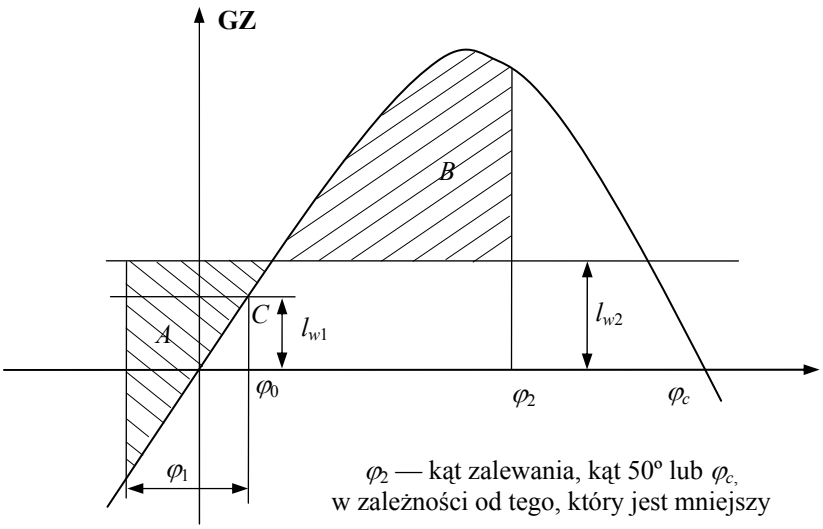
W przypadku okrętów Marynarki Wojennej RP do 2008 roku obowiązywały wymagania statecznościowe zamieszczone w *Przepisach projektowania i budowy okrętów* [5]. Treść przedstawionych tam kryteriów stateczności była spójna z dotyczącymi statków kryteriami PRS z lat dziewięćdziesiątych. Obecne przepisy PRS dotyczące stateczności okrętów wojennych wprowadziły wiele zmian. Różnice dotyczą między innymi charakteru oraz sposobu obliczania momentu przechylającego pochodzącego od wiatru. Różna interpretacja oraz inne założenia dotyczące oddziaływań wiatru w stosunku do kryteriów opracowanych dla statków mogą prowadzić do rozbieżnych rezultatów. W związku z tym celowe wydaje się porównanie wyników obliczeń obydwu rodzajów kryteriów dla okrętu wojennego uzupełnionych dodatkowo o porównanie kątów przechyłu dynamicznego. Kąt przechyłu dynamicznego umożliwia między innymi określenie, który z założonych momentów przechylających jest bardziej niebezpieczny dla okrętu. Ze względu na fakt, iż kryteria stateczności statycznej dla statków i okrętów wojennych zostały zdefiniowane w zupełnie różny sposób, ich porównanie zostanie pominięte.

KRYTERIA STATECZNOŚCI DYNAMICZNEJ PRS DLA STATKÓW MORSKICH I OKRĘTÓW

Kryterium pogody według PRS

Kryterium dotyczące stateczności dynamicznej statku w przepisach PRS zostało określone jako kryterium pogody. Zgodnie z nim statek, który ma być przeznaczony do eksploatacji w nieograniczonym rejonie żeglugi, musi być zdolny do jednoczesnego przeciwstawienia się wiatrowi i falowaniu w następujących warunkach [4]:

— statek jest poddawany statycznemu działaniu wiatru o kierunku prostopadłym do płaszczyzny symetrii, któremu odpowiada ramię momentu przechylającego l_{w1};
— od początkowego kąta przechyłu φ_0 wywołanego statycznie działającym wiatrem statek na skutek falowania przechyla się na burtę nawietrzną o kąt φ_1 równy amplitudzie kołysań;
— na przechylony statek działa poryw wiatru, któremu odpowiada ramię przechylające l_{w2}.



Rys. 1. Kryterium pogody według przepisów PRS dla statków morskich

Uważa się, że statek spełnia kryterium pogody, jeżeli powierzchnia „B" jest równa lub większa od powierzchni „A". Powierzchnia „A" to powierzchnia pomiędzy krzywą *GZ* i prostą l_{w2} mierzona w przedziale od kąta równego amplitudzie kołysania φ_1, pomniejszonego o kąt przechyłu od statycznego działania wiatru φ_0 (kąt przecięcia się krzywej *GZ* z prostą l_{w1}), do kąta pierwszego przecięcia się krzywej *GZ* z prostą l_{w2}. Wartość kąta φ_1 otrzymuje się z iloczynu czterech parametrów zależnych od rodzaju obła, wysokości metacentrycznej oraz współczynników pełnotliwości. Powierzchnia „B" to powierzchnia pomiędzy krzywą *GZ* i prostą l_{w2} mierzona w przedziale od kąta pierwszego przecięcia się krzywej *GZ* z prostą l_{w2} do kąta 50 stopni, kąta zalewania lub kąta φ_C drugiego przecięcia się krzywej *GZ* z prostą l_{w2}, w zależności od tego, który z nich jest najmniejszy.

Zgodnie z przepisami PRS wartości ramion momentów przechylających od wiatru l_{w1} i l_{w2}, które przyjmuje się jako stałe przy wszystkich kątach przechyłu, należy obliczać następująco [4]:

$$l_{w1} = \frac{q_v F_w Z_v}{1000\, g\, D} [m], \tag{1}$$

gdzie:

q_v = 504 Pa — ciśnienie wiatru;

F_w — powierzchnia nawiewu wiatru [m^2];

Z_v — mierzona w pionie odległość środka powierzchni nawiewu do środka rzutu podwodnej części kadłuba na płaszczyznę symetrii lub w przybliżeniu do połowy zanurzenia statku, [m];
D — wyporność statku, [t];
g — 9,81 m/s2.

Ramię przechylające l_{w2} należy obliczać następującą zależnością [4]:

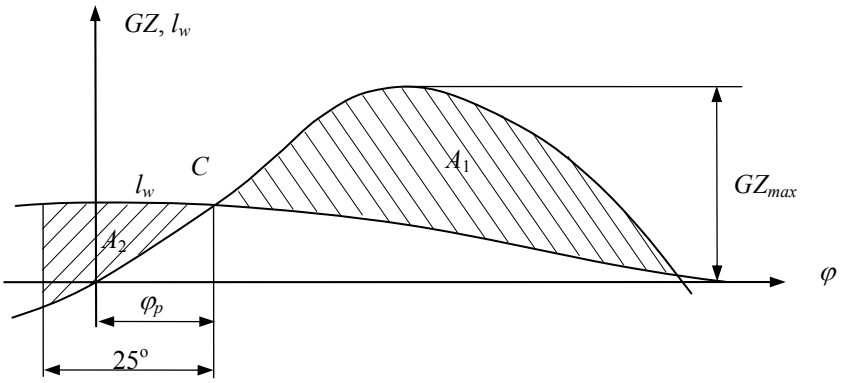
$$l_{w2} = 1.5\ l_{w1} \quad [\mathrm{m}]. \tag{2}$$

Ponadto PRS wymaga, aby punkt C (rys. 1.), przy którym następuje przecięcie się prostej l_{w1} z krzywą GZ, znajdował się przy kącie nie większym niż 16 stopni lub 80% kąta zalewania.

Kryterium stateczności dynamicznej wynikające z naporu wiatru określone przez PRS dla okrętów wojennych

W przypadku okrętów wojennych stateczność okrętu związaną z naporem wiatru uznaje się za wystarczającą, jeżeli spełnione są następujące warunki [3]:

— ramię przechylające GZ_p w punkcie przecięcia się ramienia przechylającego l_w z ramieniem prostującym GZ (punkt C na rys. 2.) nie powinno być większe niż 60% wartości maksymalnego ramienia przechylającego GZ_{max};
— kąt φ_p przecięcia się krzywej ramion przechylających l_w z krzywą ramion prostujących GZ nie powinien być większy niż 15 stopni;
— powierzchnia A_1 powinna być nie mniejsza niż 140% powierzchni A_2.



Rys. 2. Kryterium stateczności dynamicznej według PRS dla okrętów MW

Sposób określania powierzchni A_1 i A_2 wynika z rysunku 2. Powierzchnia A_2 to powierzchnia pomiędzy krzywą GZ a krzywą l_w mierzona w przedziale od kąta φ_p do kąta przechyłu równego 25 stopni, mierząc na burtę przeciwną.

Wartość ramienia momentu przechylającego od działania wiatru l_w oblicza się następującą zależnością [3]:

$$l_w = \frac{M_w}{D}, \tag{3}$$

gdzie:

M_w — moment przechylający od naporu wiatru [tm];

D — wyporność okrętu [t];

Występujący we wzorze (3) moment przechylający od naporu wiatru wyznacza się następująco [3]:

$$M_w = 2 \cdot 10^{-5} \cdot F_w \cdot z_w \cdot v_w^2 \cdot \cos^2\varphi, \tag{4}$$

gdzie:

F_w — powierzchnia boczna nawiewu wiatru [m^2];

z_w — odległość środka powierzchni nawiewu od wodnicy położonej na wysokości T/2 nad płaszczyzną podstawową w danym stanie załadowania [m];

φ — kąt przechyłu;

v_w — prędkość wiatru na wysokości środka geometrycznego powierzchni nawiewu bocznego określona według wzoru [3]:

$$v_w = v_{10}\left(\frac{z_w}{10}\right) \quad \text{[węzły]}, \tag{5}$$

gdzie:

v_{10} — prędkość wiatru na wysokości 10 metrów powyżej linii wodnej, dla okrętów nieograniczonego rejonu żeglugi przyjmuje się $v_{10} = 80$ węzłów:

W przedstawionych kryteriach stateczności dynamicznej określonych przez PRS dla statków i okrętów MW różnice są wyraźne. Biorąc pod uwagę fakt, iż okrętom wojennym stawia się większe wymagania, opracowane dla nich kryteria powinny być bardziej rygorystyczne. Odpowiednie porównanie na przykładzie jednego z okrętów MW RP umożliwi wyciągnięcie stosownych wniosków.

OCENA STATECZNOŚCI DYNAMICZNEJ OKRĘTU PROJEKTU 888 PODDANEGO ODDZIAŁYWANIU WIATRU

Obliczenia zgodnie z wymaganiami PRS dotyczącymi statków i okrętów wykonano dla okrętu szkolnego projektu 888, którego długość wynosi L = 64,2 m. Do obliczeń przyjęto następujące dane:

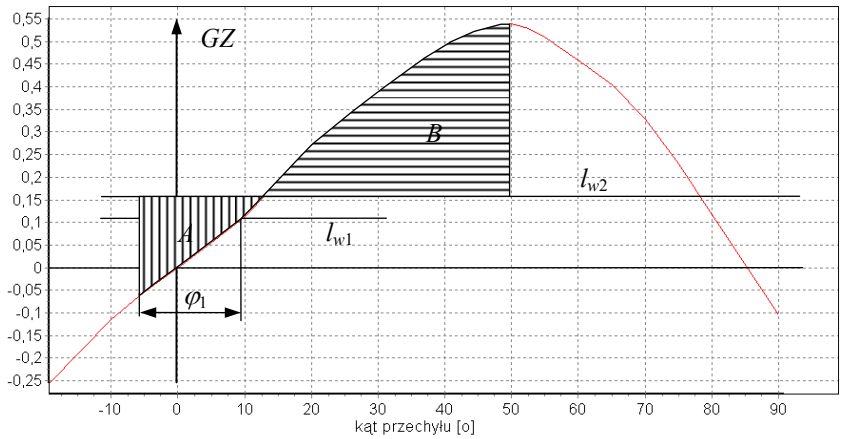
— wyporność okrętu D = 1643,75 t;
— zanurzenie średnie okrętu T = 3,91 m;
— wysokość środka ciężkości okrętu Z_G = 4,805 m.

Kryterium pogody dla statków morskich

W przypadku kryteriów stateczności dynamicznej dla statków należałoby uwzględniać kąt zalewania. Ze względu na brak informacji o tym kącie w dokumentacji okrętowej przyjęto założenie, iż jest on większy od 50 stopni.

Dla przedstawionych danych okrętu uzyskano następujące wartości poszukiwanych wielkości:

l_{w1} = 0,11 m
l_{w2} = 0,16 m
φ_1 = 15,5°



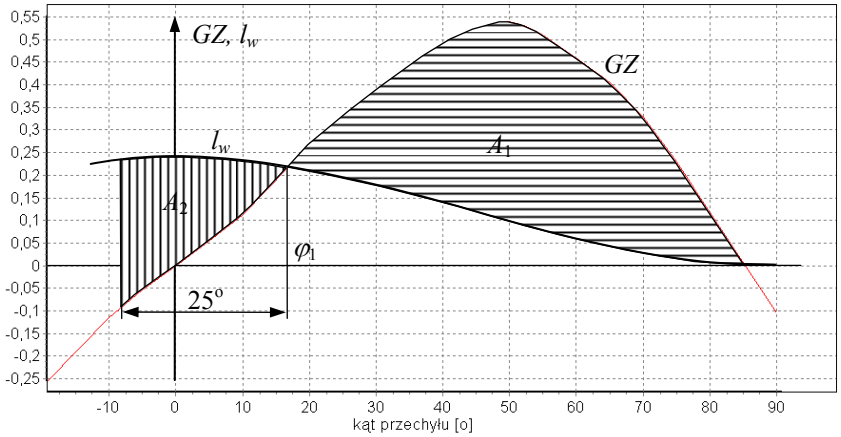
Rys. 3. Sprawdzenie kryterium pogody dla okrętu projektu 888

Po naniesieniu na wykres obliczonych ramion l_{w1} i l_{w2} obliczono pola A i B. Pole A wynosi 0,0391 m rad, natomiast pole B wynosi 0,1406 m rad. Na podstawie uzyskanych rezultatów można stwierdzić, że okręt ma znaczny zapas stateczności,

gdyż pole *B* jest niemal czterokrotnie większe od pola *A*. Wymóg dotyczący kąta, przy którym przecina się krzywa *GZ* oraz l_{w1}, jest również spełniony. Wynosi on 10 stopni.

Kryterium stateczności dynamicznej od działania wiatru dla okrętów wojennych

W rozpatrywanym przykładzie ramię momentu przechylającego od działania wiatru jest funkcją nieliniową zależną od kąta przechyłu. Jego maksymalna wartość przy zerowym kącie wynosi l_w = 0,2354 m, a więc jest większa o około 50% od ramienia wyznaczonego w poprzednim przypadku dotyczącym statków.



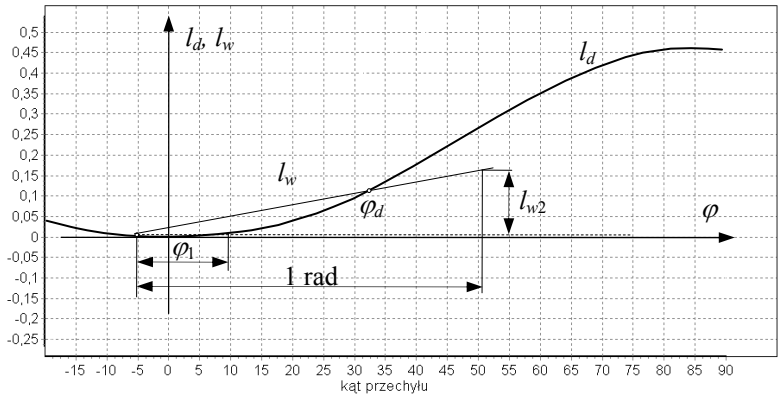
Rys. 4. Kryterium stateczności dynamicznej od oddziaływania wiatru dla okrętu projektu 888

W świetle nowych przepisów wprowadzonych dla okrętów wojennych w 2008 roku okręt projektu 888 nie spełniłby wszystkich wymagań, gdyż kąt przy którym następuje przecięcie się krzywej *GZ* z l_w, wynosi 17 stopni, a więc jest większy od 15 stopni. Natomiast jest spełnione wymaganie dotyczące relacji pomiędzy polami A_1 i A_2. Pole A_1 wynosi niemal 400% pola A_2, podczas gdy PRS wymaga, by wartość ta wynosiła 140%. Tak więc okręt spełnia ten wymóg z ponad dwukrotnym zapasem.

OKREŚLENIE KĄTA PRZECHYŁU DYNAMICZNEGO DLA OKRĘTU PROJEKTU 888 NA PODSTAWIE WYMAGAŃ OKREŚLONYCH PRZEZ PRS

Kąt przechyłu dynamicznego może stanowić kolejny wskaźnik określający stopień trudności spełnienia kryterium. Jego wartość zależy od przyjętego przez instytucję klasyfikacyjną momentu przechylającego oraz od krzywej ramion prostujących.

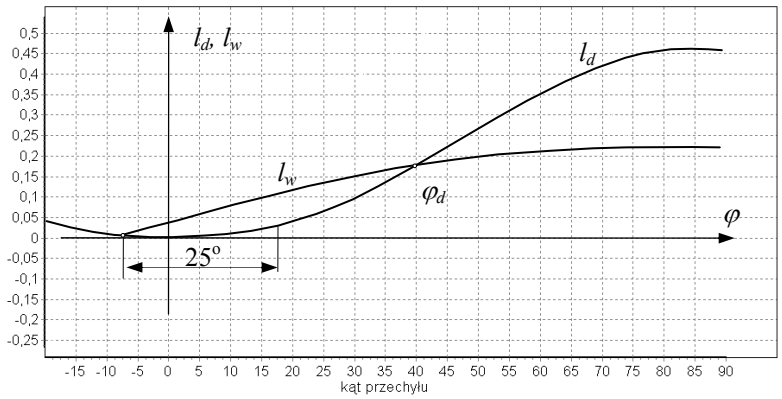
W przypadku kryteriów określonych przez PRS dla statków moment przechylający od działania wiatru ma stałą wartość w całym zakresie kątów przechyłu. W związku z tym odpowiadająca mu krzywa ramienia stateczności dynamicznej jest linią prostą. Przecina ona krzywą ramion stateczności dynamicznej przy kącie 33 stopni (rys. 5.).



Rys. 5. Wyznaczenie kąta przechyłu dynamicznego okrętu projektu 888 zgodnie z wymaganiami PRS dla statków morskich

Zgodnie z zależnością (4) moment przechylający od działania wiatru przyjęty w przepisach PRS dla okrętów wojennych ma charakter cosinusoidy. W zależności (4) tylko funkcja cosinus zależy od kąta przechyłu. W wyniku operacji całkowania krzywa reprezentująca pracę momentu przechylającego będzie więc miała kształt sinusoidy opisanej następującym równaniem:

$$f(\varphi) = \int cos^2 \varphi d\varphi = \frac{1}{2}\varphi + \frac{sin 2\varphi}{4} + C \,. \tag{6}$$



Rys. 6. Wyznaczenie kąta przechyłu dynamicznego okrętu projektu 888 zgodnie z wymaganiami PRS dla okrętów wojennych

W rozpatrywanym przykładzie przecięcie obu krzywych l_d i l_w ma miejsce przy kącie 40 stopni. Ten kąt przechyłu dynamicznego jest większy o 7 stopni od kąta wyznaczonego dla statków. Warto zwrócić uwagę, iż poszukiwanie kąta przechyłu dynamicznego za pomocą odcinka 1 radiana przy nieliniowej funkcji momentu przechylającego byłoby niepoprawne.

PODSUMOWANIE

Przedstawione wyniki obliczeń odnoszących się do dynamicznego oddziaływania wiatru wskazują, że okręt projektu 888 nie spełniłby obecnie jednego z kryteriów stateczności określonych przez PRS dla okrętów wojennych. Ponadto kąt przechyłu dynamicznego wyznaczony zgodnie z zaleceniami dla okrętów jest większy od kąta wyznaczonego dla statków. Na tej podstawie można stwierdzić, iż kryteria dla okrętów wojennych są bardziej rygorystyczne od kryteriów dla statków morskich. Fakt, że okręt projektu 888 nie spełnił kryteriów stateczności wprowadzonych przez PRS w 2008 roku wynika z przyjętych przez instytucję klasyfikacyjną założeń innych niż proponuje IMO dla statków. Podstawowe założenie dotyczy charakteru działającego momentu przechylającego od działania wiatru i sposobu jego obliczania. Moment ten, pomimo iż jest funkcją malejącą, ma ponad 50% większą wartość przy zerowym kącie przechyłu. Ponadto moment ten działa od kąta przechyłu na burtę nawietrzną wynoszącego około 8 stopni. Kąt ten jest tym samym o 2 stopnie większy w przypadku kryteriów dotyczących statków morskich. W rezultacie ilość energii przekazanej okrętowi w początkowej chwili działania momentu przechylającego jest większa.

W ogólnym podsumowaniu można stwierdzić, że okrętom wojennym postawiono większe wymagania statecznościowe niż statkom handlowym. Podobne relacje obserwuje się również w innych obszarach związanych z zapewnieniem okrętowi większego bezpieczeństwa, a tym samym prawdopodobieństwa przetrwania na morzu w czasie działań bojowych.

BIBLIOGRAFIA

[1] *Code on Intact Stability of All Types of Ships Covered by IMO Instruments*, IMO, London 1993.

[2] *International Code on Intact Stability*, IMO, London 2008.

[3] *Przepisy klasyfikacji i budowy okrętów wojennych*, cz. IV, PRS, Gdańsk 2008.

[4] *Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich*, cz. IV, PRS, Gdańsk 2007.

[5] *Przepisy projektowania i budowy okrętów*, Dowództwo Marynarki Wojennej, Gdynia 1991.

ASSESSMENT OF DYNAMIC STABILITY CRITERIA BASED ON REGULATIONS BY POLISH REGISTRY OF SHIPPING

ABSTRACT

The paper presents the results of calculations of some dynamic stability criteria of type 888 ship made according to requirements by Polish Register of Shipping set up for merchant ships and independently for the navy. The criteria proposed in both cases differ significantly, among others in assumed heeling moment. Comparison of the results obtained for type 888 ship makes it possible to indicate which of the criteria is stricter.

Keywords:
dynamic tability criteria, heeling moment.

Recenzent dr hab. inż. Jan Michalski, prof. AMW