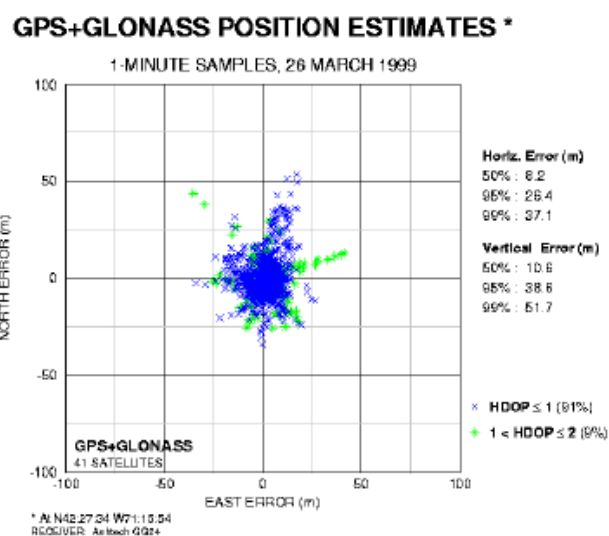


Jerzy Herdzik<sup>1</sup>

## Wymagania stawiane systemom dynamicznego pozycjonowania statków oraz możliwości ich weryfikacji

### Uwagi wstępne

Koncepcja systemów dynamicznego pozycjonowania statków sięga 1960 roku, kiedy zaszła potrzeba zapewnienia pozycji statku względem dna dla jednostek wiertniczych przemysłu paliwowego na akwenach o dużej głębokości, na których pozycjonowanie przy pomocy rozmieszczonych kotwic okazało się niewykonalne. Ówczesne możliwości techniczne były ograniczone, szczególnie w określaniu dokładnej pozycji statku. W rezultacie na wodach przybrzeżnych, korzystając z lądowych punktów odniesienia oraz z wykorzystaniem radiolatarni określano pozycję statku, a następnie poprawiano pozycję statku z użyciem napędu. Dokładność pozycjonowania położenia statku była zła i przekraczała 100m od wyznaczonego miejsca. Dopiero systemy globalnego określania pozycji z użyciem satelitów (amerykański GPS, rosyjski Glonass, europejski Galileo) poprawiły dokładność do poniżej 50m [3] (rys.1), natomiast wraz z systemami referencyjnymi pozwalają obecnie określić położenie statku z dokładnością lepszą od 10m [1,2]. W systemach DGPS wraz z systemem wielu stacji referencyjnych uzyskuje się dokładność rzędu 1-1,5m (co oczywiście przenosi się na cenę systemu). Dokładność pozycjonowania statku zależy od wielu czynników, jednym z nich, niezależnym od zastosowanego systemu DP, jest stan morza [3]. W skrajnie rozbudowanych przypadkach, systemy zapewniają możliwość pozycjonowania statku, aż po stan morza lub huragan zdarzający się na danym akwencie raz na sto lat.



Rys.1. Błąd określenia pozycji z wykorzystaniem systemów GPS i Glonass [11]

### Klasy systemów dynamicznego pozycjonowania statków wg IMO

Międzynarodowa Organizacja Morska (IMO) wyróżnia 3 klasy dynamicznego pozycjonowania statków [9]:

- Klasa 1 – nie ma dublowania systemów, pojedyncza niesprawność może doprowadzić do utraty pozycji;
- Klasa 2 – ma dublowane systemy, pojedyncza niesprawność (generatora, pędnika, tablicy rozdzielczej, systemu zdalnego sterowania zaworami) nie może spowodować utraty pozycji, natomiast może np. uszkodzenie rurociągu, kabli zasilających;
- Klasa 3 – ma dublowanie systemów, nie może dojść do utraty pozycji nawet w przypadku pożaru lub zalania jednego przedziału.

W tabeli 1 podano podział na klasy systemów dynamicznego pozycjonowania statków wg IMO i przez wybrane towarzystwa klasyfikacyjne statków.

<sup>1</sup> Dr inż. Jerzy Herdzik, Akademia Morska w Gdyni, Wydział Mechaniczny.

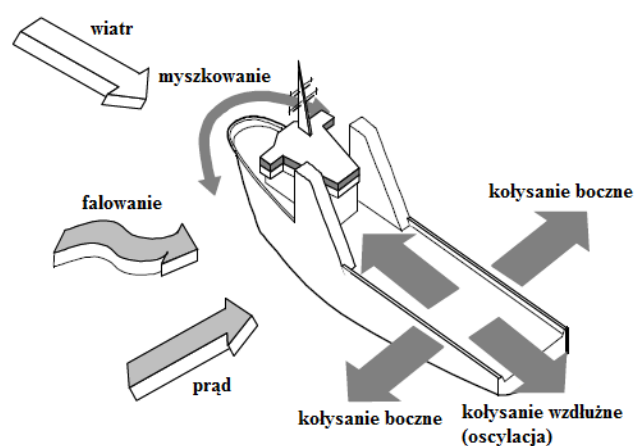
Tabela 1. Podział na klasy systemów dynamicznego pozycjonowania statków

Opis	IMO klasa DP	ABS	LRS	DNV
Ręczna kontrola pozycji oraz automatyczna kontrola kursu do maksymalnego określonego stanu warunków zewnętrznych	-	DPS-0	DP(CM)	DNV-T
Automatyczne i ręczne określenie pozycji oraz automatyczna kontrola kursu do maksymalnego określonego stanu warunków zewnętrznych	Klasa 1	DPS-1	DP(AM)	DNV-AUT DNV-AUTS
Automatyczne i ręczne określenie pozycji oraz automatyczna kontrola kursu do maksymalnego określonego stanu warunków zewnętrznych, możliwa dowolna pojedyncza awaria, z wyjątkiem utraty przedziału (dwa niezależne systemy komputerowe)	Klasa 2	DPS-2	DP(AA)	DNV-AUTR
Automatyczne i ręczne określenie pozycji oraz automatyczna kontrola kursu do maksymalnego określonego stanu warunków zewnętrznych, możliwa dowolna awaria z utratą przedziału (dwa niezależne systemy komputerowe z niezależnymi systemami back-up, oddzielone grodzią A60)	Klasa 3	DPS-3	DP(AAA)	DNV-AUTRO

Mimo stosowania różnych oznaczeń klas dynamicznego pozycjonowania, można uznać, że wyróżnia się 4 klasy. Wymagania im stawiane przedstawione w tab.1 są na dużym poziomie ogólności, co pozwala na stosowanie rozwiązań technicznych na istotnie różniących się poziomach niezawodności i dublowania systemów. Przy ograniczonych nakładach finansowych na inwestycje związane z systemami DP, dąży się często do uzyskania wyższej klasy DP, przy spełnieniu minimalnych warunków, umożliwiających jej uzyskanie. Przynosi to korzyści finansowe dla armatora, pozwalając na obsługę jednostek wymagających odpowiedniej klasy DP przez statki zaliczane do grupy offshore.

### Wymagania stawiane systemom dynamicznego pozycjonowania statków

Za system dynamicznego pozycjonowania uznaje się taki system statku, który automatycznie określa pozycję zajmowaną przez statek (utrzymywanie określonego położenia lub ruch określonym kursem), przy użyciu sił naporu wytworzonych przez układ napędowy statku [4,6,7]. Na rys. 1 przedstawiono oddziaływanie morza na statek oraz jego ruchy w trzech płaszczyznach. Układ dynamicznego pozycjonowania ma za zadanie przeciwdziałać tym siłom, które zmieniają zamierzony kurs statku lub jego pozycję.



Rys. 1. Oddziaływanie morza i ruchy statku w trzech płaszczyznach

System dynamicznego pozycjonowania statku obejmuje następujące podsystemy:

- System wytwarzania energii (mocy);
- System napędowy;
- System pomiarowy i kontroli DP.

W ramach certyfikacji uznania klasy DP należy do towarzystwa klasyfikacyjnego dostarczyć następujące dokumenty [4]:

- ❖ Techniczną specyfikację systemu DP zawierającą:
  - Wyniki pomiarów systemu pomiarowego i rządzeń sterujących, typ pędników, sposoby sterowania pędnikami i ich posadowienie w kadłubie;
  - Charakterystyki naporu pędników i mocy wejściowej, siłę naporu i czas odpowiedzi

- po zmianie (obróceniu) pędnika, współczynniki zmniejszenia naporu w wyniku kontrakcji ze strony pozostałych pędników;
- Maksymalne (najgorsze) warunki zewnętrzne (prędkość wiatru, pływy, falowanie), do których możliwa jest praca systemu dynamicznego pozycjonowania;
- Rysunki owrężenia statku z czujnikami położenia statku i schemat systemu referencyjnego położenia;
- Schemat funkcjonalny systemu regulacji położenia;
- Rozmieszczenie i zobrazowanie położenia kabli łączących poszczególne systemy (dynamicznego pozycjonowania, kontroli i zobrazowania);
- Obliczenia zapotrzebowania na moc wymagana przez system DP;
- Tryb pracy z uszkodzeniami i raport analizy skutków (FMEA failure mode and effect analysis) wraz z procedurą testu dublowania urządzeń;
- Rozmieszczenie centrali kontrolnej;
- Spis pozycji – lista alarmów i wskaźników od urządzeń sterujących;
- Program testowy cumowania i nawigacji statku.
- ❖ Dokumentację obsługi systemu pozycjonowania zawierającą:
  - Zobrazowanie podczas pracy;
  - Zobrazowanie w czasie napraw systemu lub uszkodzeń;
  - Zobrazowanie w sytuacjach awaryjnych.

Następnie określa się bardziej szczegółowo, jaką dokumentację należy przedstawić do kontroli podczas inspekcji.

W ramach przeprowadzanej inspekcji należy [4,6,7]:

- ❖ Sprawdzić certyfikaty towarzystw klasyfikacyjnych urządzeń podlegających kontroli;
- ❖ Upewnić się, że wyposażenie i rozmieszczenie urządzeń systemu DP jest zgodne z przedstawioną dokumentacją;
- ❖ Zweryfikować testy dublowania urządzeń i ich niezależność wg FMEA zgodnie z odpowiednią procedurą;
- ❖ Dokonać testu systemu DP, w tym systemu referencyjnego, wyposażenia peryferyjnego, wszystkich czujników (skalibrowanych wg czujników analogowych) przed testem całego systemu DP;
- ❖ Sprawdzić system alarmowy każdego z pędników pod względem funkcjonalnym, wymiany sygnałów pomiędzy pędnikami i komputerem systemu DP oraz różne sposoby kontroli pędnika;
- ❖ Sprawdzić przyrządy (aparaturę) kontroli mocy;

- ❖ Sprawdzić cały system DP poprzez:
  - Testy systemu przekazywania mocy, systemu rezerwowego i systemu alarmowego podczas pracy oraz po wywołaniu stanów alarmowych;
  - Przejście na ręczne sterowanie podczas normalnej pracy i po wywołaniu stanów uszkodzeń;
  - Test 6-8 godzinny pracy całego systemu DP z rejestracją automatyczną alarmów i uszkodzeń wraz z ich analizą;
  - W specyficznych (bliskich najgorszych dopuszczalnych) warunkach zewnętrznych sprawdzić system DP przez minimum 2 godziny, przy obciążeniach pędników minimum 50%. Jeśli jest to w danych warunkach niemożliwe, należy sprawdzić to przy najbliższej okazji.

### **Sposoby weryfikacji systemów pozycjonowania statku w celu uzyskania klasy DP**

Towarzystwo klasyfikacyjne uznać klasę DP danego statku, jeśli przeprowadzona inspekcja potwierdzi wymagania zawarte w tabeli 2. Przedstawiona tabela podaje wymagania na pewnym poziomie uproszczenia. Dla inspektorów przeprowadzających inspekcję na statku podaje się bardziej uszczegółowione wymagania, które należy w czasie inspekcji zweryfikować. Mimo to, niektóre wymagania są niedoprecyzowane, co pozwala na różną interpretację. Przykładowo, wymaga się, aby dla klas DP2 i DP3 systemy paliwowe, oleju smarowego, oleju hydraulicznego, wody chłodzącej, sprężonego powietrza i okablowanie były tak poprowadzone, aby były zabezpieczone przed uszkodzeniem mechanicznym i zagrożeniem pożarowym. Dla klasy DP3 wymaga się, aby dublowane systemy (paliwowe, oleju smarowego, oleju hydraulicznego, wody chłodzącej, sprężonego powietrza), nie były poprowadzone w tych samych przedziałach. Kiedy jest to niemożliwe, należy je poprowadzić w kanałach posiadających klasę odporności pożarowej A60. Dublowane wyposażenie i systemy siłowni nie mogą być poprowadzone w tych samych przedziałach. I ponownie alternatywa - kiedy jest to niemożliwe, należy je poprowadzić w kanałach posiadających klasę odporności pożarowej A60 [4,6,7,8]. Nie dopuszcza się łączenia kabli wewnątrz takich kanałów!

Podana alternatywa jest znacznie tańsza podczas budowy statku, natomiast może powodować ograniczenie zdolności statku do przetrwania podczas np. pożaru. Ugaszenie pożaru na statku jest zawsze utrudnione i rodzi szereg dodatkowych

problemów. Pożar, który rozwinie się w kanałach A60, jest zasadniczo nie do ugaszenia. Może się palić wiele dni, aż się wypali, stwarzając ciągłe zagrożenie dla bezpieczeństwa statku i ogranicza możliwości jego eksploatacji. Zasadniczo podczas pożaru dochodzi do trwałych uszkodzeń, które w warunkach okrętowych, są nie do naprawienia przez załogę. Po wykryciu pożaru załoga jest zmuszona do odłączenia zasilania systemów zasilanych przez kable położone w tym kanale. Automatycznie utracona jest klasa DP3, bowiem nie spełnia już wymagań przedstawionych w tabeli 2.

Nie określa się bezpośrednio liczby pędników, które musi posiadać dana jednostka, aby ubiegać się o klasę DP. Określa się to w sposób pośredni. Dla klas DP2 i DP3, do określonych (najgorszych) warunków zewnętrznych pędniki mają zapewnić wymagany kierunek i siłę naporu, aby mogły być spełnione warunki do dynamicznego pozycjonowania.

Dla elektrowni okrętowej (od klasy DP2), należy wzrost obciążenia spowodowany wyłączeniem jednej lub więcej prądnic z pracy równoległej, nie może być przyczyną zaniku napięcia w sieci. Może dojść do krótkotrwałego zmniejszenia mocy podawanej na pędniki, aby system zarządzania energią miał czas na reakcję – poprzez włączenie kolejnych silników do ruchu, a następnie załączenie prądnic do sieci okrętowej [5,7,8].

Ważnym zabezpieczeniem jest wymagana bateria akumulatorów, która ma zapewnić bezpieczeństwo statku w sytuacjach awaryjnych m.in. zaniku napięcia w sieci okrętowej. Dla klas DP1 i DP2 wymaga się baterii akumulatorów, które zapewnią zasilanie w energię elektryczną dla określonych odbiorników, w ciągu minimum 30 minut, dla klasy DP3 wymagane są 2 zestawy akumulatorów o podanej pojemności.

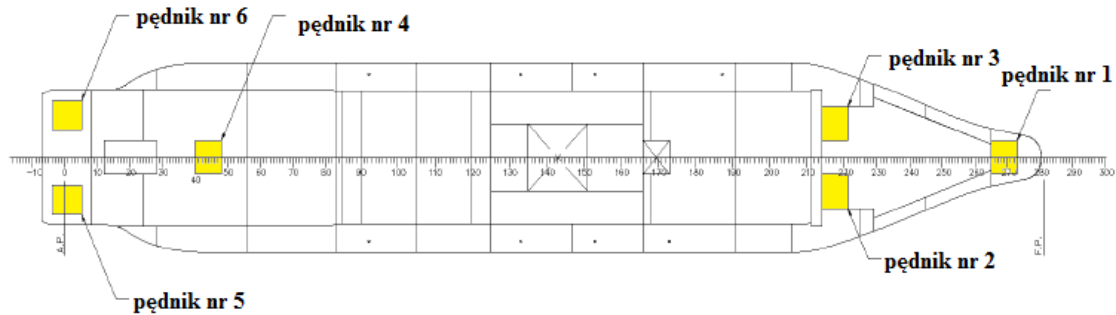
Tabela 2. Rozmieszczenie i wymagania systemów DP zależnie od klasy [4,7]				
Wyposażenie / klasa DP		DP1	DP2	DP3
System wytwarzania energii	Prądnice i silniki główne	Bez dublowania	Dublowanie	Dublowanie w oddzielnych przedziałach
	System zarządzania energią	Nie wymagany	Wymagany	Wymagany
	Główna tablica rozdzielcza	1	1	2 (w oddzielnych przedziałach)
Pędniki	Rozmieszczenie pędników	Bez dublowania	Dublowanie	Dublowanie w oddzielnych przedziałach
System sterowania	Automatyczne sterowanie, liczba systemów komputerowych	1	2	3 (jeden z nich podłączony do zapasowego systemu sterowania)
	Sterowanie ręczne, kurs automatyczny z autopilota	Tak	Tak	Tak
	Pędnik sterowany oddzielnym dźwojstikiem	Tak	Tak	Tak
Czujniki	System referencyjny położenia	2	2	3*
	System referencyjny położenia w pozycji pionowej	1	2	2*
	Żyrokompas	1	2	3*
	Siły i kierunku wiatru	1	2	2*
Źródło zasilania rezerwowego (UPS)		1	1	2 (w oddzielnych przedziałach)
Zapasowa centrala manewrowo-kontrolna		Nie	Nie	Tak
* jeden z nich podłączony do rezerwowego systemu sterowania				

Ponadto wyłączenie jednego (dowolnie wybranego) pędnika musi zapewniać w dalszym ciągu spełnienie warunków DP tj. oraz wytworzenie ukiepunkowanej wypadkowej siły i momentu w kierunku wzdłużnym i poprzecznym statku, aby możliwe było utrzymanie właściwego kursu statku lub zachowanie pozycji.

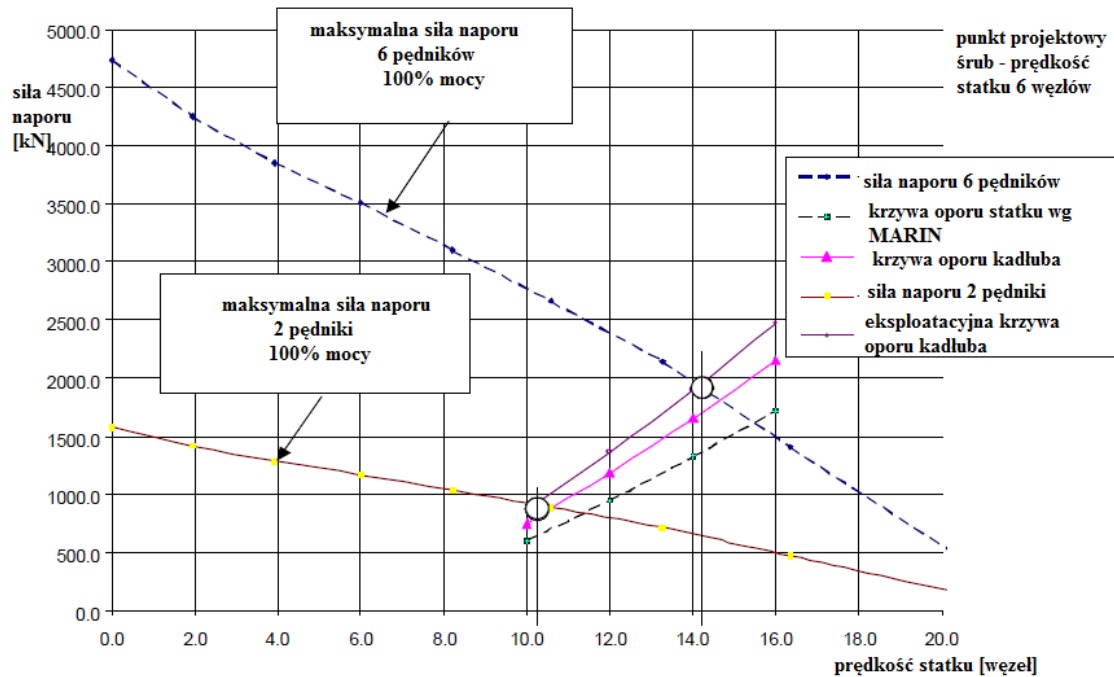
Zasadniczo dla klasy DP3 minimalna liczba pędników, która spełni postawione wymagania wynosi 4. W układach tej klasy spotyka się jednak bardziej rozbudowane układy napędowe - od 6 do 8 pędników.

### Przykład rozwiązania - statek wiertniczy Glomar C.R. Luigs klasy DP3

Na rys. 2 przedstawiono rozmieszczenie pędników statku wiertniczego Glomar C.R. Luigs wyposażonego w 6 pędników. Na rys. 3 pokazano charakterystykę naporu w funkcji prędkości statku. Punkt projektowy śrub dobrano kompromisowo, na prędkość 6 węzłów.



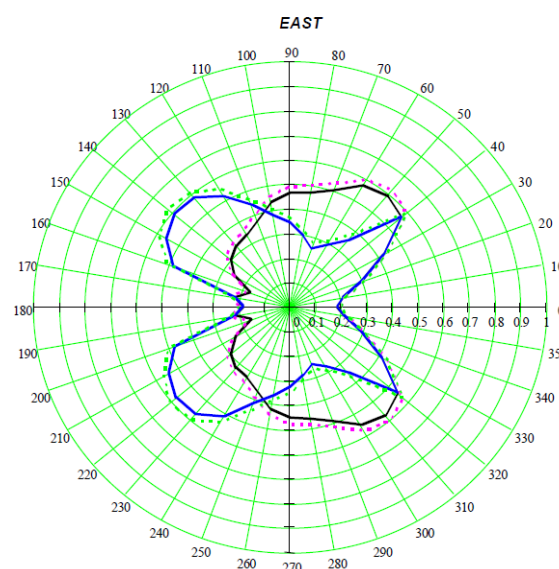
Rys. 2. Rozmieszczenie pędników na statku Glomar C.R. Luigs [10]



Rys.3. Charakterystyka naporu w funkcji prędkości statku Glomar C.R. Luigs [10]

W rezultacie uzyskuje się stosunkowo wysoką siłę naporu na uciąg (około 4700 kN), jak również wysoką prędkość statku – 14,1 węzła. Przy pracy tylko 2 pędników możliwe jest uzyskanie 10,1 węzła prędkości lub 1600 kN siły uciągu. Na rys. 4 ukazano wymaganą minimalną siłę naporu przy określonych warunkach zewnętrznych, uzyskanie której zapewni możliwość ruchu statku zamierzonym kursem lub jej pozycjonowania. Z rysunku wynika maksymalne zapotrzebowanie na poziomie 60%, które winno zapewnić użycie 4 pędników.

Oznacza to, że w przyjętych warunkach zewnętrznych możliwe jest wyłączenie z obciążenia dwóch pędników, a warunki DP3 zostaną jeszcze spełnione [12].



Rys.4. Wymagana siła naporu przy pracy 6 pędników dla określonych warunków zewnętrznych (zanurzenie maksymalne statku 11m, prędkość wiatru 41 węzłów, wysokość fali 4,9m) [10]

## Uwagi końcowe

Rozwój technik komputerowych, w tym układów sterowania i automatyki, prowadzi do istotnych zmian w możliwościach eksploatacji statków. Umożliwił też rozwój systemów dynamicznego pozycjonowania statków. Konieczny okazał się podział na klasy DP. W ramach danej klasy dopuszcza się pewne rozwiązania, wspomniane m.in. w tym referacie, które są rozwiązaniami oszczędnościowymi. Dla statków, które podlegają konwersji (przebudowie), uproszczone rozwiązania wg autora, mogłyby być tolerowane (z zaznaczeniem uproszczeń), natomiast dla nowo budowanych jednostek, uważam takie działania za niedopuszczalne. Morze nie zna litości. Szczególnie ważne powinno to być dla statków, od dzielności których, zależy bezpieczeństwo pracy innych jednostek. Weryfikacja klasy DP *post factum* jest spóźniona. Wg autora głównym zagrożeniem dla bezpieczeństwa jednostek z systemami DP nie są najcięższe warunki zewnętrzne, ale zapewnienie i spełnienie zasad właściwej technicznej eksploatacji tych jednostek. I tu leży punkt ciężkości.

## Streszczenie

Systemy dynamicznego pozycjonowania statków osiągnęły wysoki poziom techniczny, co spowodowało podział tych systemów na klasy. Konieczne okazało się określenie wymagań minimalnych stawianych systemom w poszczególnych klasach, a następnie określenie zasad ich weryfikacji. Towarzystwa klasyfikacyjne statków utworzyły własne wymagania i sposoby weryfikacji systemów zainstalowanych na statkach. Są one w dużej mierze zbieżne. W referacie przedstawiono koncepcje IMO, a następnie innych towarzystw klasyfikacyjnych, zwracając uwagę na problemy, które można dostrzec analizując zbudowane jednostki, pod kątem ich przeznaczenia i próbom osiągnięcia wysokiej klasy dynamicznego pozycjonowania przy ograniczonych nakładach inwestycyjnych.

## Abstract

Dynamic positioning systems makes progress and reaches high technical level. It results in a section of DP systems on classes. It should be a necessary to determine the minimum requirements in each class of DP systems and to define principles of theirs verification. Classification societies created own requirements and principles of system verification installed on ships. These guidelines are very similar. In this paper it was presented IMO idea, next other classification societies taking account on

problems, which it may be seen during analysis of built ships from the point of view of their types and the probes of reaching the highest possible class of DP at limited investment expenses.

## Literatura

1. Bray D., *Dynamic positioning*, Oilfield Publications, 2003.
2. Holvik J., *Basics odd dynamic positioning*, Proceedings of the Dynamic Positioning Conference, Houston, USA, 1998.
3. Saelid S., Jenssen N. A., Balchen J. G., *Design and analysis of a dynamic positioning system based on kalman filtering and optimal control*, IEEE Transactions on Automatic Control, 331-339, 1983.
4. *Guidelines on surveys for dynamic positioning system*, China Classification Society, 2002.
5. *Wymagania techniczne dla okrętowych układów energoelektronicznych*, Przepisy PRS, Gdańsk 2006.
6. ABS Steel Vessel Rules, 2002.
7. *Rules for Classification of Ships DNV part 6 chapter 7*, Dynamic Positioning Systems, 2011
8. *ABS Guide for Thrusters and Dynamic Positioning Systems*, 1994.
9. *IMO Code of Safe Practice for the Carriage of Cargoes and Persons by Offshore Vessels*, IMO, London 2006 (MSC237.(82)).
10. Virk G. S., et al, *Design of the Dynamic Positioning System for the Drillship Glomar C. R. Luigs*, Offshore Technology Conference, Houston, USA, 2000.
11. Mathewson M. O., *Offshore Supply Vessel Positioning*, Dynamic Positioning Conference, 1999.
12. Herdzik J., „Metoda szacowania wymagań stawianym układom napędowym statków”, *Logistyka* nr 3/2011. ISSN 1230-7823 pos.94 str.891-898.