

## DOMENA STATKU W NAWIGACJI MORSKIEJ

*W artykule opisano różnego rodzaju domeny statku. Omówiono domeny o zróżnicowanych kształtach i wymiarach (2D–3D), stosowanych w różnych fazach żeglugi morskiej. Przedstawiono domeny jako narzędzia w nawigacji morskiej do oceny ryzyka w nawigacji. Omówiono również wykorzystanie domen w celu zwiększenia poziomu bezpieczeństwa nawigacyjnego w rejonach nawigacyjnie trudnych do żeglugi w pobliżu niebezpieczeństw nawigacyjnych.*

**Słowa kluczowe:** nawigacja morska, domena statku.

### WSTĘP

Koncepcja wprowadzenia domen do żeglugi morskiej powstała w okresie badań statystycznych parametrów ruchu statków w rejonach ciasnych i nawigacyjnie trudnych. Chodziło o zwiększenie bezpieczeństwa ruchu poprzez zmniejszenie ryzyka zderzeń statków oraz zachowania bezpiecznych odległości między statkami w ciasnych przejściach [5, 7]. Wprowadzono dwuwymiarowe domeny o różnych kształtach. Badania statystyczne ruchu statków wykazały konieczność różnych kształtów domen. W dalszych badaniach uwzględniono również bezpieczeństwo ruchu statku z uwagi na głębokości ograniczające ruch z powodu granicznego zapasu wody pod stępką. Zaproponowano także utworzenie trójwymiarowych domen statków.

Dalsze badania dotyczyły tworzenia modelu bezpieczeństwa zarządzaniem ruchem w portach i możliwości zwiększenia zdolności podejmowania decyzji nawigacyjnych przez oficerów na mostku [12, 15]. Następował dalszy rozwój algorytmów do określenia wskaźnika ryzyka w sytuacjach nawigacyjnych.

Istnieje możliwość wykorzystania domeny do innych celów niż do unikania zderzeń statków. Domena odgrywa znaczną rolę w rozwoju modelu zintegrowanej nawigacji wzbogaconej systemami bezpiecznych decyzji nawigacyjnych na mostku.

Obowiązkiem kapitana statku handlowego w żegludze międzynarodowej, zgodnie z założeniami Konwencji SOLAS, jest zaplanowanie i realizacja nawigacji w podróży statku – od nabrzeża portu A do nabrzeża portu B. Tylko kapitan jest odpowiedzialny za wybór i realizację nawigacji na zaplanowanej trasie. Plan musi być opracowany i gotowy do kontroli władz administracyjnych w porcie, przed wypisem statku w morze.

Każda podróż statku przebiega w różnych fazach żeglugi jak:

- w żegludze w rejonach ograniczonych, trudnych nawigacyjnie;
- w żegludze przybrzeżnej z dala od lądu/na podejściach do lądu;
- w żegludze oceanicznej.

W każdej fazie żeglugi istnieją inne warunki nawigacji, w szczególności warunki zakłóceń w procesie ruchu statku oraz poziomu ryzyka. Statek porusza się innymi prędkościami, a liczba i jakość decyzji nawigacyjnych jest różna. Decyzje nawigacyjne dotyczą wyboru wektora ruchu, tj. kierunku ruchu statku nad dnem, oraz prędkości statku nad dnem. Wektory ruchu muszą być bezpieczne.

W każdej fazie istnieje inny poziom ryzyka w nawigacji. Domena statku musi być narzędziem do pomocy nawigatorowi w ocenie ryzyka lub jego zmniejszenia przy podejmowaniu decyzji nawigacyjnych.

Celem opracowania jest zapoznanie nawigatorów z możliwościami wykorzystania domen w procesach nawigacyjnych w czasie planowania i realizacji nawigacji morskiej.

## 1. DEFINICJA DOMENY STATKU MORSKIEGO

Od kilku dekad zmieniały się definicje domeny.

Domena statku jest to obszar wokół statku zapewniający nawigatorowi utrzymanie się w bezpiecznej odległości od innych statków lub stałych obiektów [7]. Definicja ta dotyczyła wyłącznie bezpiecznych odległości od statku. Domena obiektywna stanowi przestrzeń wokół statku lub dowolnego obiektu nieruchomego, której inny statek nie powinien naruszać.

W różnych warunkach dla tego samego statku kształty i parametry domeny mogą być różne [5]. Definicja domeny ma postać:

„Bezpieczna strefa wokół kadłuba statku na powierzchni i pod powierzchnią wody, w których nie może wtargnąć inny statek” [13].

Istnieje również pojęcie domeny subiektywnej. Domena subiektywna jest obszarem wodnym, którego potrzebuje nawigator do utrzymania bezpieczeństwa statku i zwykle stosuje się ją do oceny ryzyka, gdy istnieje obiektywna domena, którą nawigator akceptuje [6].

Reasumując, ostatnia definicja opisuje rodzaje domen: dwu- i trzywymiarowe. Wszystkie zdefiniowane powyżej domeny określały jej funkcje jako narzędzie unikania ryzyka kolizji statków. W zasadzie margines bezpieczeństwa ruchu statku można określić za pomocą domeny statku morskiego.

## 2. MODELE DOMEN

Koncepcja stworzenia domeny wokół statku powstała w celu określenia bezpieczeństwa ruchu statków w rejonach ograniczonych. Było to potrzebne, aby w obszarze badanego statku nie znajdował się inny statek (obiekt) kolizyjny, a jeżeli był, to w bezpiecznej odległości i żeby bezpiecznie się minęły. Metodę określania bezpiecznej odległości mijania się statku metodą statystyczną opracowała E. Goodwin [7].

Kształty i wielkości parametrów domen wprowadzono tak, aby łatwo obliczyć bezpieczne odległości statków. Zaproponowano różne formy. Pierwsze domeny dotyczyły tylko powierzchni wody, czyli były dwuwymiarowe.

Kształty domen opisano w funkcji  $(x, y)$ , następnie wprowadzono trójwymiarowe kształty domen.

Podział domen w zależności od statku przedstawiono poniżej:

- 1) Wymiary:
  - modele dwuwymiarowe – 2D  $(x, y)$ ,
  - modele trójwymiarowe – 3D  $(x, y, z)$ .
- 2) Kształty domen płaskich:
  - kołowe  $(x, y)$ ,
  - eliptyczne  $(x, y)$ ,
  - wielokątne  $(x, y)$ ,
  - mieszane  $(x, y)$ .
- 3) Modele przestrzenne (trójwymiarowe).
  - elipsoidalne,
  - dowolne bryły (nieregularne).

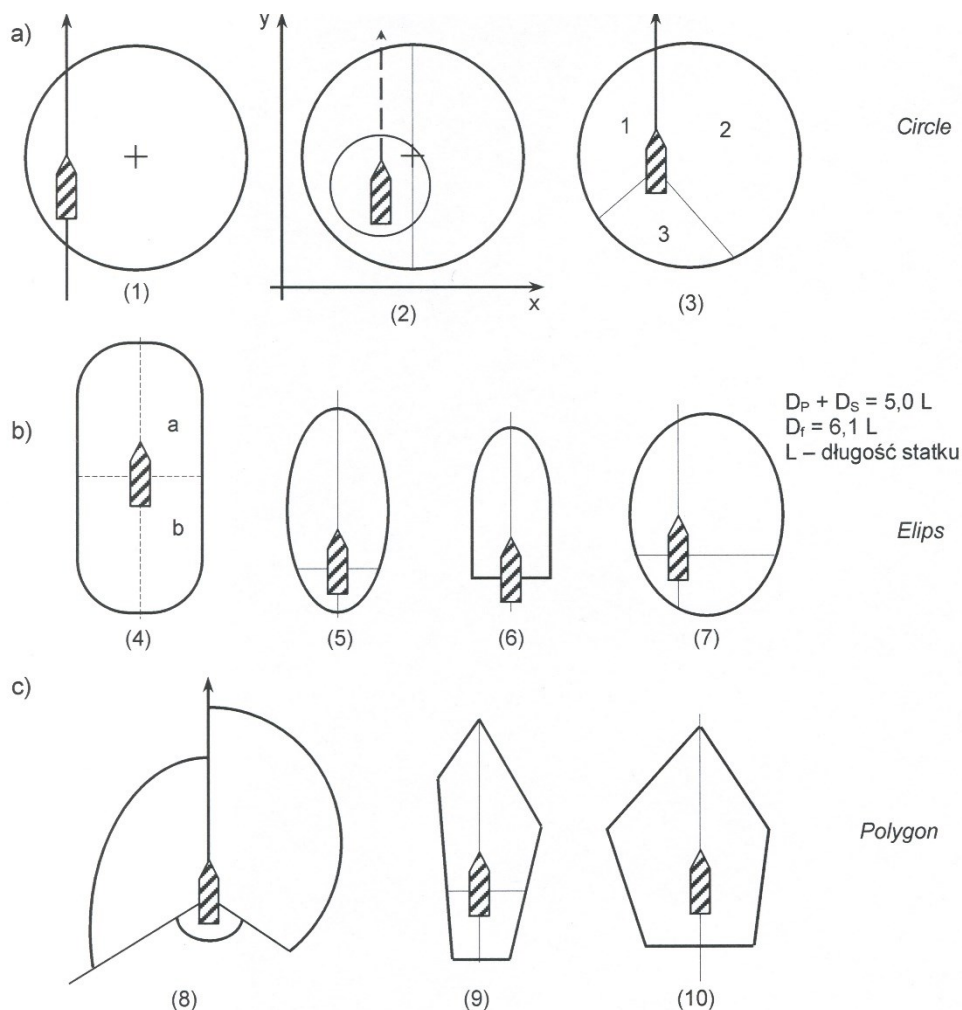
Pozycje statków w powyższych domenach są różne (rys. 1).

## 2.1. Rodzaje dwuwymiarowych domen statku morskiego

W ostatnich dekadach w literaturze przedmiotu przedstawiono wiele wyników badań z zastosowaniem domen różnych kształtów, stosowanych do wspomaganie decyzji nawigacyjnych na mostku.

Domeny różnią się sposobem modelowania oraz tworzenia stref bezpieczeństwa [7]. Są one dopasowane do określonych warunków nawigacyjnych, które podano poniżej [14]:

- duże statki posiadają większe powierzchnie i kształty domen;
- gęstość ruchu wpływa na parametry domen;
- warunki nawigacyjne zewnętrzne, jak wiatry, prądy, wymagają zwiększenia parametrów domen;
- czynnik ludzki, jak zdolności i doświadczenia nawigatorów – mniej doświadczeni oficerowie mogą stwarzać ryzyko popełniania błędów decyzyjnych, dlatego muszą mieć zwiększone domeny;
- inne czynniki, takie jak: przeznaczenie statku, rejony pływania, parametry statku, powierzchnia, zanurzenie, rodzaj ładunku, decydują o parametrach domen.

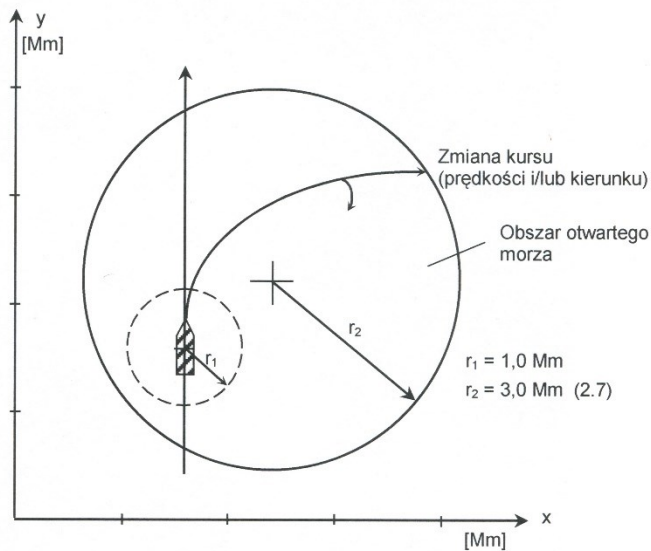


**Rys. 1.** Kształty domen dwuwymiarowych;  
 a) kołowe, b) eliptyczne, c) wielokątne (nieregularne)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [3, 7, 8, 10, 15, 16].

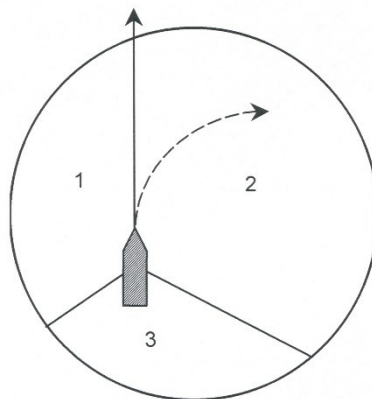
## 2.2. Wykorzystanie domeny dwuwymiarowej w rejonach głębokowodnych w żegludze otwartej oceanicznej

W przypadku dużych głębokości morza oraz obszarów otwartych dogodnymi kształtami domen są powierzchnie kołowe. Parametry dwóch domen zależą od warunków pływania, wielkości statków oraz rodzaju napędu. W ogólnym ujęciu forma domeny kołowej w żegludze oceanicznej lub na otwartym morzu ma postać, jak na rysunkach 2 i 3.



**Rys. 2.** Domena statku według Davisa i Drive'a

Źródło: opracowanie własne na podstawie [16].



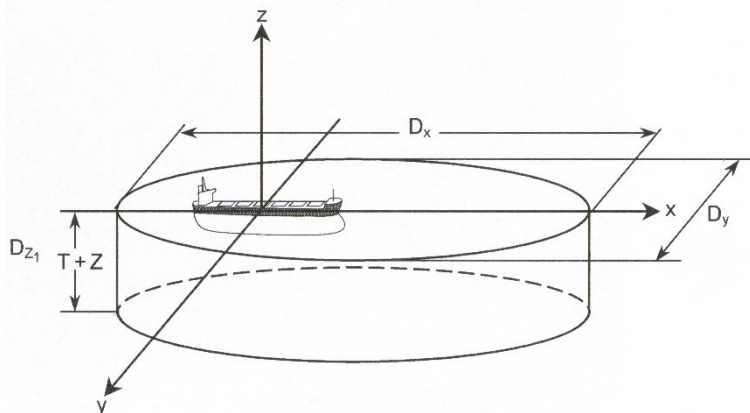
**Rys. 3.** Domeny w rejonach głębokich i otwartych: 1, 2, 3 – obszary ważności w procesie unikania zderzeń statków

Źródło: opracowanie własne na podstawie [14].

### 2.3. Trójwymiarowe domeny statku w procesie nawigacji

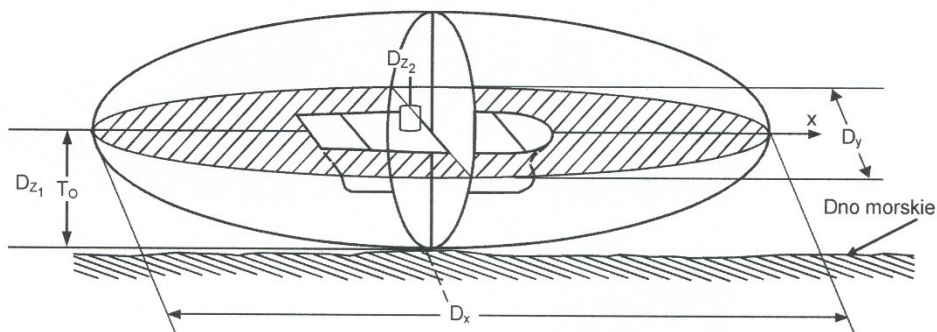
Trójwymiarowe domeny statku mają zastosowanie w przypadku ruchu statku na płytkowodziu, gdzie głębokość wody jest ograniczona. Chodzi o przypadki ruchu na torach wodnych pogłębionych lub gdy statek nawiguje na obszarach pod mostami. Proces określania parametrów domeny jest trudniejszy, gdy ograniczenia występują pod i nad kadłubem statku.

Na rysunku 4 pokazano przypadki uproszczonej domeny trójwymiarowej [10].



**Rys. 4.** Uproszczona domena statku w przestrzeni trójwymiarowej:  
T – zanurzenie statku, Z – zapas wody pod stępką [2]

Na rysunku 5 przedstawiono domenę trójwymiarową w żegludze pod mostami, na obszarach płytkich, w rzekach i kanałach.



**Rys. 5.** Dynamiczne parametry domeny trójwymiarowej

Źródło: opracowanie własne.

Inną domenę trójwymiarową można opisać zależnością, uwzględniającą wymiary statku, jak długość  $L$ , zanurzenie  $T$  oraz prędkość statku  $V_s$  [9].

Dynamiczne parametry domeny mają postać [9]:

$$\begin{aligned} D_x &= LV_s^a + \kappa L \\ D_y &= LV_s^b + mL \\ D_z &= V_s^c + IT \end{aligned} \quad (1)$$

gdzie:

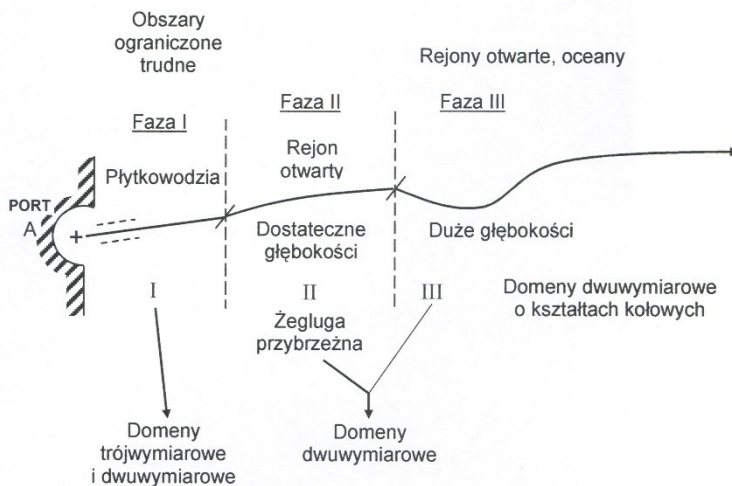
- $L$  – długość statku [m],
- $T$  – zanurzenie statku [m],

- $V_s$  – prędkość statku [węzły],  
 $a, b, c$  – wykładniki potęgowe (określanie eksperymentalne),  
 $\kappa, l, m$  – współczynniki (określanie eksperymentalne).

Istnieje możliwość badań statystycznych parametrów ruchu statku w ograniczonych płytkich rejonach nawigacyjnych.

### 3. ZASTOSOWANIE DOMEN W RÓŻNYCH FAZACH ŻEGLUGI

Dwuwymiarowa domena, w początkowej fazie jej utworzenia, była wykorzystywana do redukcji ryzyka kolizji w ruchu statków w rejonach ciasnych ograniczonych [5, 7]. Obecnie domeny mają szerszy zakres zastosowania w procesie bezpiecznej nawigacji morskiej [8]. Dwuwymiarowe domeny mogą być wykorzystane w żegludze głębokowodnej, czyli takiej, gdzie problem nie dotyczy ograniczeń w zakresie zapasu wody pod stępką. Wartość stosunku H/T powyżej 1,5 w pełni zabezpiecza pływanie według domen płaskich dwuwymiarowych. Pływanie takie ma miejsce w fazach żeglugi przybrzeżnej, jak również w głębokich fiordach, itp.



**Rys. 6.** Zastosowanie domen w różnych fazach żeglugi

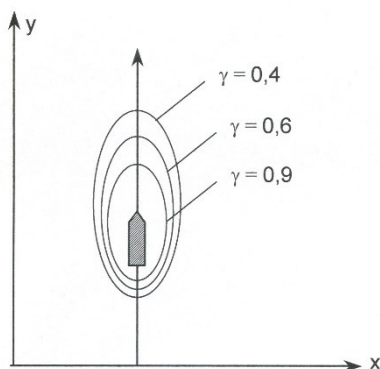
*Źródło: opracowanie własne.*

W pływaniu w rejonach ograniczonych, gdzie istnieją ograniczenia głębokości, powinny być stosowane bezpieczne trójwymiarowe domeny. Dotyczy to również żeglugi w pogłębionych torach wodnych, kanałach i rzekach, w szczególności zaś, gdy statki muszą przechodzić pod mostami.

W żegludze oceanicznej lub na wodach otwartych głębokowodnych na statkach można bezpiecznie wykorzystywać modele domen o powierzchni kołowej przy założonych promieniach bezpieczeństwa.

Rola domen statków morskich zwiększyła się przez wzbogacenie narzędzi do ich tworzenia. Domeny mogą pomagać w szerokim zakresie – ostrzegania w procesach przeciwkolizyjnych, ale również w wielu stanach w całej nawigacji morskiej. W ujęciu funkcji rozmytych domeny statku mogą być stosowane w kryterium sytuacji bezpiecznej lub niebezpiecznej nawigacyjnej [11].

Na rysunku 7 pokazano przykłady domen o różnych parametrach bezpieczeństwa sytuacji nawigacyjnej na mostku.

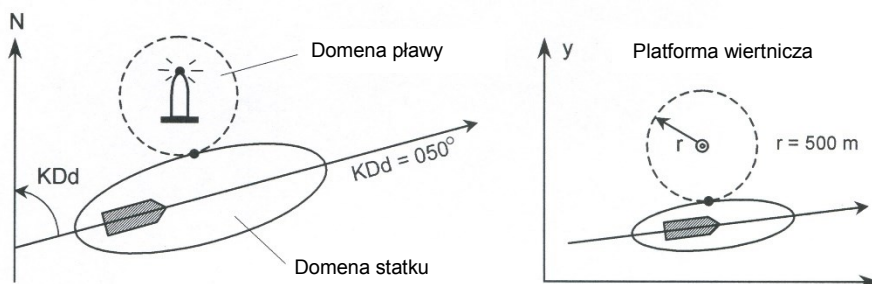


**Rys. 7.** Domeny rozmyte z granicami oceny poziomu bezpieczeństwa nawigacji;  $\gamma = 0$  – bardzo bezpieczne,  $\gamma = 1$  – bardzo niebezpieczne [11]

### 3.1. Bezpieczne odległości mijania niebezpieczeństw nawigacyjnych

Ogólna zasada wykreślenia (wektora ruchu) drogi nad dnem, w rejonach planowanej trasy musi obejmować również uwzględnianie wykorzystywania domen do spełniania warunków bezpiecznego pływania z dala od niebezpieczeństw nawigacyjnych. Każdy statek i stały obiekt posiada własną domenę.

Na rysunkach 8 i 9 przedstawiono bezpieczne kąty drogi w czasie mijania pławy i platformy wiertniczej.



**Rys. 8.** Bezpieczne odległości mijania pławy i platformy wiertniczej

Źródło: opracowanie własne.



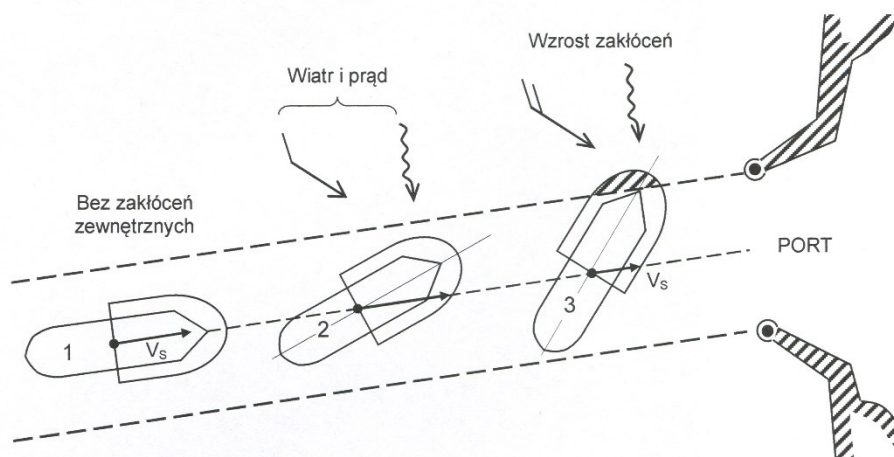
Parametry obu domen mogą się zmieniać, dlatego też odległości mijania niebezpieczeństw nawigacyjnych mogą ulegać zmianie w zależności od warunków zakłóceń zewnętrznych. Zmiany te zależą od:

- warunków pogodowych, wiatru, prądu i falowania;
- zapasu wody pod stępką;
- geometrycznych parametrów statku LBT i jego stanu technicznego;
- natężenia ruchu statków;
- dokładności mapy (parametrów batymetrycznych);
- możliwości współpracy z operatorem VTS, itp.

Każdy zatem kształt domeny służy do oceny bezpiecznej odległości do statku lub obiektu stałego nieruchomego. W planowaniu podróży bezpiecznej odległości ruchu statku określa się dla najtrudniejszych warunków panujących na planowanej trasie w czasie rejsu.

### 3.2. Wykorzystanie domeny statku na pogłębionym torze wodnym

Pływanie statku na pogłębionym torze wodnym powinno odbywać się z dużą precyzją oceny ruchu statku w osi kierunku toru przy określonej prędkości bezpiecznej. W przypadku zewnętrznych zakłóceń na zwolnionej prędkości na statek działają siły spychające kadłub z osi toru wodnego. Istnieje zatem konieczność zastosowania poprawek na dryf statku. Taka sytuacja wywołuje powiększenie pasa ruchu statku, co w efekcie obniża zapas boczny statku. Zwiększenie prędkości na dużym statku bez holownika, w ruchu do portu jest niemożliwe, ze względu na brak miejsca na zwolnienie ruchu w porcie. Statek bez zakłóceń w ruchu na torze ma postać jak na rysunku 9 (poz. 1). Wzrost zakłóceń uniemożliwia wejście statku do portu (poz. 3).

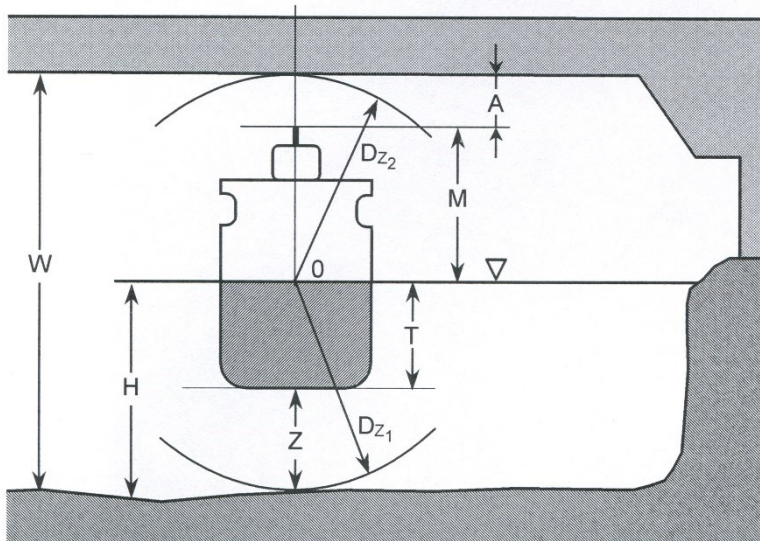


**Rys. 9.** Wykorzystanie domeny na torze podejściowym do portu

Źródło: opracowanie własne.

### 3.3. Zastosowanie domeny trójwymiarowej do pływania statku pod mostem na płytkowodziu

Bezpieczne przejście statku na płytkowodziu pod mostem można zrealizować, wykorzystując do tego celu domenę statku trójwymiarową. Przekrój takiej domeny przedstawiono na rysunku 10.



Rys. 10. Elementy domeny trójwymiarowej do nawigacji pod mostem

Bezpieczny przepływ statku pod mostem zależy od dokładności określenia parametrów pionowych domeny trójwymiarowej. Górny parametr pionowy  $D_{Z_2}$  różni się od wartości parametrów dolnej  $D_{Z_1}$ .

Parametr dolny składa się z dwóch części, zanurzenia  $T$  oraz zapasu wody pod stępką  $Z$ . Parametr górny domeny składa się z wartości  $M$ , tj. największej wysokości statku od powierzchni wody, oraz poprawki  $A$  – różnicy odległości między dolną krawędzią mostu a najwyższą częścią statku (anteny, maszt, komin).

Poprawka  $A$  (ang. *Air Draft*) może być określona następującą zależnością:

$$A = W - (H + M) \quad [\text{m}] \quad (2)$$

gdzie:

$H$  – aktualna głębokość wody równa  $T + Z$  [m],

$M$  – odległość między powierzchnią wody a najwyższą częścią konstrukcji statku [m],

$W$  – odległość między dnem morza a dolną częścią przęsła mostu [m].

### 3.4. Wykorzystanie domen w procesach przeciwzderzeniowych statku

W analizie ruchu statków w rejonach ograniczonych, w czasie pływania mogą pojawić się różne sytuacje wzajemnego układu statków związanych przepisami MPDM, jak:

- statków doganiających i wyprzedzających inny statek;
- statków idących na spotkanie, wprost lub prawie wprost;
- statków, których kursy się przecinają;
- statku zbliżającego się do statku nieruchomego (na kotwicy lub w dryfie).

W każdym przypadku wykorzystanie domeny będzie inne. Parametry będą inne w zależności od rejonu pływania, warunków pogody, wielkości statku, jego przeznaczenia itp. Parametry domen wyrażone w długości statku różnią się od 23 L do 1,5 L. Również obiekty stałe, jak: platformy, wieże stalowe, dalby, pławy, latarnie będą się różniły wielkością domen, dotyczy to też odległości statków związanych prawidłami MPDM.

## WNIOSKI

Wykorzystanie domeny jako środka wspierającego decyzje nawigacyjne jest bardzo szerokie, stanowi ona również narzędzie do oceny ryzyka nawigacyjnego w procesie kierowania statkiem. Domena może być wykorzystana w takich procesach nawigacyjnych, jak:

- wybór bezpiecznego wektora ruchu ( $KD$ ,  $V_S$ );
- określanie ryzyka zderzenia w rejonach ograniczonych;
- unikanie zderzenia ze statkiem i obiektem stałym;
- unikanie wejścia na mielizny i kontaktu z mostem;
- unikanie uszkodzeń sztormowych (dobór bezpiecznych prędkości);
- regulowanie ruchem statków w rejonach ograniczonych w całości jako systemu VTS;
- bezpieczne planowanie prędkości na płytkowodziu;
- kontrola bezpiecznej odległości spotkań, w różnych sytuacjach nawigacyjnych.

Reasumując, wykorzystanie domeny w nawigacji morskiej stanowi znaczące narzędzie nawigatora przy podejmowaniu bezpiecznych decyzji w procesie prowadzenia nawigacji.

## LITERATURA

1. Banyś P., Engler E., Heymann F., *Interdependencies between Evaluation of Collision Risks and Performance of Shipborne PNT Data Provision*, Problemy Transportu, vol. 11, 2016, no. 4.
2. Buller A., Jurdziński M., Pastusiak T., *Trójwymiarowa domena statku*, Konferencja „Inżynieria ruchu morskiego”, 10 marca 1986, WSM w Szczecinie, Szczecin 1986, s. 5–16.
3. Coldwell T.G., *Marine Traffic Behaviour in Restricted Waters*, The Journal of Navigation, vol. 36, 1983, s. 431–444.

4. Davis P.V., Dove M.J., Stockel C.T., *A Computer Simulation of Marine Traffic Using Domains and Arenas*, The Journal of Navigation, vol. 2, 1980, s. 216–220.
5. Fujii Y., Tanaka K., *Traffic Capacity*, The Journal of Navigation, vol. 24, 1971, s. 543–552.
6. Gia Huy Dinh, Nam-Kyun Im, *The Combination of Analytical and Statistical Method to Define Polygonal Ship Domain and Reflect Human Experiences in Estimating Dangerous Area*, International Journal of Navigation and Maritime Economy, vol. 5, June 2015, s. 97–108.
7. Goodwin E., *A Statistical Study of Ships Domains*, The Journal of Navigation, vol. 28, 1975, s. 328–344.
8. Hwang Soo Jin, *Development of Safety Evaluation Model for Management of Navigation Safety in an Entire Ship Route Area*, Kobe University, July 2015.
9. Jurdziński M., *Planowanie nawigacji w obszarach ograniczonych*, WSM w Gdyni, Gdynia 2003.
10. Jurdziński M., *Planowanie nawigacji w żegludze przybrzeżnej*, WSM w Gdyni, Gdynia 2002.
11. Pietrzykowski Z., Chomski J., *A Navigator Decision Support System in Planning a Safe Trajectory*, [www.iamu.edu.org/WB-content/upload/2014/06/Pietrzykowski-Chomski.pdf](http://www.iamu.edu.org/WB-content/upload/2014/06/Pietrzykowski-Chomski.pdf).
12. Pietrzykowski Z., Uriasz J., *The Ship Domain – A Criterion Navigation Safety Assessment in an Open Sea Area*, The Journal of Navigation, vol. 62, 2009, s. 93–108.
13. *Ship Domain – International Dictionary of Marine*, [www.VTS Manual \(2008\) \(VTS 33/output/8 refers\)](http://www.VTSManual(2008)(VTS33/output/8refers)).
14. Tu E., Zhang Y., Zhu L., Yang J., Kasabov N., *Exploiting AIS Data for Intelligent Maritime Navigation: A Comprehensive Survey*, Nanyang Technological University, Singapore 2016.
15. Wang Yue Ying, *An Empirical Model of Ship Domain for Navigation in Restricted Waters*, National University of Singapore, Singapore 2012.
16. Zhu X., Xu H., Lin J., *Domain and It's Based on Neural Networks*, Journal of Navigation, vol. 54, 2001, s. 77–103.

## SHIP DOMAIN IN MARINE NAVIGATION

### Summary

*In this paper different kind of ship domain has been defined and described. Different dimensions and shapes of ship domain (2D – 3D) used in all phases of navigation has been discussed. The ship domain as a tool in navigation for assessing the risk in navigation has been given. How to use the ship domain to increase safety of navigation in restricted waters has been discussed.*

**Keywords:** marine navigation, ship's domain.