

**Grzegorz Rutkowski**  
Akademia Morska w Gdyni

## **ANALIZA INFRASTRUKTURY NAWIGACYJNEJ W KONTEKŚCIE OCENY BEZPIECZEŃSTWA NAWIGACYJNEGO W DELCIE WISŁY I NA ZALEWIE WIŚLANYM**

### **STRESZCZENIE**

Niniejszy artykuł obejmuje analizę infrastruktury nawigacyjnej w kontekście oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego oraz możliwości uprawiania żeglugi w delcie Wisły i na Zalewie Wiślanym. W artykule zaproponowano sposób oceny bezpieczeństwa żeglugi (ryzyka nawigacyjnego) w akwenie ograniczonym z wykorzystaniem przestrzennego modelu domeny statku.

#### Słowa kluczowe:

infrastruktura nawigacyjna, bezpieczeństwo nawigacyjne, ryzyko nawigacyjne, delta Wisły, Zalew Wiślany.

### **WYKORZYSTANIE TRANSPORTU ŚRÓDLĄDOWEGO W EUROPIE**

Z danych statystycznych dotyczących obrotu towarowego obserwowanego w Europie Zachodniej w relacji kupno (*Purchases*) oraz sprzedaż (*Sales*) [13] za rok 2007 wynika, że 40% towarów w Europie Zachodniej przewożonych jest drogą wodną w transporcie przybrzeżnym i śródlądowym. Ponadto z analizy danych statystycznych [2, 9] zawartych w tabeli 1. wynika, iż w Europie żegluga morsko-rzeczna najbardziej rozwinięta jest w takich państwach, jak Holandia, Francja i Austria. W Polsce przewozy morsko-rzeczne występują sporadycznie. Głównym towarem przewożonym śródlądową drogą wodną w Polsce są kruszywa i minerały, a popularne na całym świecie przewozy kontenerowe nie są realizowane.

Statystyki te przedstawiają więc Polskę w dość nietypowej sytuacji. Tylko 0,4% polskich rzek spełnia unijne standardy dróg wodnych [2, 9], a zaledwie 0,7%

masy towarowej w obrotach całego polskiego transportu wozi się barkami po rzekach, w tym ponad 80% Odrą [12]. Oczywiście nikogo nie trzeba przy tym przekonywać, iż żegluga śródlądowa jest jednym z najtańszych środków transportu i przy tym najbardziej ekonomicznym. Ekonomicznie rzecz ujmując, nawet najmniejsze barki o wyporności do 180 ton, wykorzystywane na Wiśle w kanałach o klasie Ib, są w stanie przewieźć masę towaru odpowiadającą 7 TIR-om, będąc jednocześnie jednym z najtańszych środków transportu<sup>1</sup>. Z danych statystycznych [8] wynika również, że na przewóz tej samej masy ładunkowej przy wykorzystaniu transportu wodnego potrzeba 2,2 razy mniej energii, niż wykorzystując transport kolejowy oraz 9,7 razy mniej energii niż w transporcie drogowym. A zatem transport wodny wydaje się również najbardziej proekologiczny. Emisja spalin do atmosfery obserwowana przy przewozie tej samej masy ładunkowej drogą wodną jest 1,4 razy mniejsza niż emisja spalin obserwowana w transporcie kolejowym i 7,6 razy mniejsza niż emisja spalin obserwowana w transporcie drogowym.

Tabela 1. Wykorzystanie transportu śródlądowego w Europie

Państwo	Stopień wykorzystania transportu śródlądowego [%]	Państwo	Stopień wykorzystania transportu śródlądowego [%]
Holandia	43,4%	Belgia	13,5%
Francja	17,6%	Niemcy	12,8%
Austria	15,3%	Polska	0,7%

Źródło: R. Siekanowicz, L. Stroński, *Perspektywy żeglugi bliskiego zasięgu — „Short Sea Shipping” w połączeniu ze środkami śródlądowego transportu wodnego i turystyki w obszarze Dolnej Wisły w aspekcie międzynarodowej drogi wodnej E70, Intrasea II, Gdynia 2007; Intersea I, Intrasea II, materiały Urzędu Morskiego w Gdyni, Gdynia 2007.*

## DROGI WODNE BĘDĄCE W ADMINISTRACJI RZGW GDAŃSK

Długość dróg wodnych Polski obejmująca rzeki uznane za śródlądowe drogi wodne i kanały wynosi 3638 km, w tym 2400 km rzek żeglownych uregulowanych. Długość dróg wodnych o znaczeniu międzynarodowym (kl. IV–Vb) wynosi 200 km, o znaczeniu regionalnym (kl. Ib–III) 2361 km i o znaczeniu wyłącznie turystycznym (kl. Ia) 1077 km. Drogi wodne eksploatowane przez żeglugę mają długość 2700 km [9, 12, 13].

<sup>1</sup> Analizy ekonomiczne [1, 9] wykazały, że jeden litr paliwa pozwala na przewiezienie na drodze jednego kilometra aż 127 ton przy wykorzystaniu transportu rzecznej barkami, 90 ton przy wykorzystaniu kolei oraz 50 ton przy wykorzystaniu transportu drogowego.

W administracji regionalnych zarządów gospodarki wodnej (RZGW) zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów [5] z dnia 7 maja 2002 roku w sprawie klasyfikacji dróg wodnych znajduje się kilkaset obiektów, w tym 27 dużych zbiorników retencyjnych, 12 suchych zbiorników przeciwpowodziowych, 137 jazów i 111 śluz żeglugowych. W większości są to obiekty aktualnie będące w administracji wojewódzkich zarządów melioracji i urządzeń wodnych, służące produkcji rolnej, a część z nich jest wpisana do rejestru zabytków. Zalicza się do nich między innymi: 3 tysiące przepustów i śluz wałowych, ponad 6 tysięcy stacji pomp i 138 zbiorników wodnych. Niektóre rzeki są odcinkowo skaskadyzowane, tzn. zabudowane budowlami piętrzącymi: Górna Wisła, Środkowa Odra, Bóbr, Nysa Łużycka, Nysa Kłodzka, Soła, Radunia, Gwda i inne. Na Wiśle zbudowano 7 stopni piętrzących, z czego 6 na Wiśle Górnej na odcinku od Oświęcimia do Krakowa i stopień Włocławek na Dolnej Wiśle. Ponadto na rzece Wisła wybudowano 7 śluz oraz 55 mostów kolejowych i drogowych, o najmniejszej szerokości przęsła 14 m i najmniejszym świetle 3,70 m. Trudność w żegludze na odcinku dolnym stanowi most drogowy w Toruniu o prześwicie pionowym 5,17 m. Do dróg wodnych żeglownych będących w administracji RZGW Gdańsk zgodnie z rozporządzeniem Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 roku należą następujące rzeki i obiekty hydrotechniczne: Wisła (km od 684 do 718 — długość 34 km, klasa Ib; km od 718 do 910 — długość 192 km, klasa II; km od 910 do 941,3 — długość 31,30, klasa III); Brda (14,4 km, klasa II); Kanał Jagielloński (5,83 km, klasa II); Nogat (62 km, klasa II); Szarpawa (25,4 km, klasa II); Martwa Wisła (11,5 km, klasa Vb); system Kanału Elbląskiego (151,7 km, kl. Ia, II).

Stan techniczny budowli hydrotechnicznych będących w administracji RZGW Gdańsk jest zróżnicowany. Część obiektów nowych lub w ostatnim czasie zmodernizowanych znajduje się w bardzo dobrym stanie, część wymaga mniejszych lub większych remontów, część jest w złym stanie technicznym (ponad 50% budowli przekroczyło 50 lat). Według oceny dokonanej w 2004 roku przez Główny Urząd Nadzoru Budowlanego [12] obiekty hydrotechniczne stale piętrzące wodę (zapory ziemne i betonowe, jazy stałe i ruchome, przelewy, śluzy żeglowne, stopnie wodne, wrota przeciwpowodziowe, elektrownie wodne itd.) zagrażające lub mogące zagrażać bezpieczeństwu stanowiły 3,7% ogólnej liczby 1776 badanych obiektów (w 2003 roku było to 3,3%). W grupie obiektów stale piętrzących wodę (administrowanych przez RZGW) zagrażających bezpieczeństwu znalazły się: stopień wodny Włocławek (I klasa budowli), śluza Brdyujście (II klasa budowli).

Według oceny GUNB 44 obiekty mogą stwarzać zagrożenie bezpieczeństwa, w tym: 1 obiekt zaliczany do I klasy, 8 obiektów II klasy, 7 III oraz 23 IV klasy. Z ogólnej ilości 2300 km odcinków wałów badanych w 2004 roku (obiektów

hydrotechnicznych okresowo piętrzących wodę), 27% znajduje się w niedostatecznym stanie i zagraża lub może zagrażać bezpieczeństwu (26,2% w 2003 roku). Ponadto w ocenie organów nadzoru budowlanego niedostatecznym stanem technicznym odznacza się ponad 2 tysiące kilometrów obwałowań.

Nad brzegami dolnego odcinka rzeki Wisły oraz na Zalewie Wiślanym znajduje się stosunkowo duża liczba portów rzecznych, schronisk i nabrzeży przeładunkowych w dość dobrym stanie eksploatacyjnym. Na pozostałych odcinkach istniejące porty i nabrzeża są przeważnie w złym stanie technicznym i bez specjalnego wyposażenia przeładunkowego.

Z uwagi na istnienie niekorzystnych warunków żeglugowych na górnym i środkowym odcinku Wisły oraz na dolnym do miejscowości Płock, a także występujących zaniedbań w zakresie utrzymania portów i przystani w odpowiedniej sprawności technicznej, wykorzystanie tej drogi wodnej na całej długości jest raczej wątpliwe. Na odcinku ponad 500 km ma ona klasę zaledwie Ib, a tam, gdzie dorównuje klasom międzynarodowym, odcinki są tak krótkie, że transport staje się nieekonomiczny.

Stan toru wodnego Elbląg-Cieśnina Piławska nie pozwala na żeglugę statków powyżej 1 tys. DWT, gdzie według standardów europejskich konieczne byłoby posiadanie toru dla obsługi statków do 3–4 tys. DWT, czyli o kontrolowanej głębokości do 5 m.

Z ekonomicznego i politycznego punktu widzenia może to zapewnić tylko kanał „Z-Z” (Zalew-Zatoka) przez Mierzę Wiślaną. W tym kontekście otwarcie dostępu do Bałtyku przez wody rosyjskie, nawet przy założeniu, że bariera natury politycznej zostałyby raz na zawsze złamana i w rejonie tym ustalono by prawo swobodnego przepływu, oznaczałoby konieczność modernizacji i utrzymywania przez stronę polską<sup>2</sup> toru wodnego o długości około 30 Mm (55,5 km). W przypadku kanału „Z-Z” będzie to około 5 Mm (9,3 km).

Projekt budowy kanału [2] rozpatrywany jest na terenie osady Skowronki w gminie Sztutowo. Przewiduje on budowę kanału jako elementu międzynarodowej drogi morskiej, umożliwiającego swobodną żeglugę między portami nadzalewowymi i elbląskim portem morskim a Morzem Bałtyckim. Przyjęto, że przechodzący tam kanał żeglugowy przez Mierzę Wiślaną będzie miał następujące parametry:

- średnia głębokość nawigacyjna 5 m;
- długość 110–1400 m (w zależności od wariantu lokalizacji);
- szerokość 50 m;

---

<sup>2</sup> Rosja, obiektywnie, nie ma interesu w modernizacji i utrzymywaniu niezbędnych parametrów toru wodnego w swojej części Zalewu Wiślanego [1].

- śluza o wymiarach 180 m x 21 m x 5 m, z wrotami sztormowymi;
- most drogowy (zwozony, obrotowy lub most na estakadzie z prześwitem minimum 15 m).

Uwzględniając parametry nowych terminali w porcie elbląskim, założono, że przez kanał będą przechodziły:

- statki towarowe o długości do 90 m, szerokości 12 m i zanurzeniu 3,2 m;
- statki pasażerskie o długości 60 m, szerokości 12 m i zanurzeniu 2,5 m;
- jednostki turystyczne, jachty żaglowe i łodzie motorowe o zanurzeniu do 3,5 m, charakteryzujące się większą wysokością nadwodną;
- jednostki morsko-rzeczne o długości 85 m, szerokości 9,5 m oraz zanurzeniu od 2,5 do 4,5 m.

W tym ujęciu alternatywna droga wodna II klasy z Zalewu Wiślanego przez Szkarpawę i Martwą Wisłę z głębokością toru nieprzekraczającą 2–2,5 m oraz długością około 30 Mm (55,5 km) może okazać się nieprzygotowana do obsługi takich jednostek. Przygotowanie jej do obsługi większych statków wymagałoby nie tylko przeprowadzenia kosztownych prac pogłębiarskich, ale również znacznej modernizacji i przebudowy dwóch śluz (w Gdańskiej Głowie i Przegalinie). Ponadto most wantowy na Martwej Wisle ma wysokość 8,5 m. Statki wyższe, aby dotrzeć do portów Trójmiasta, musiałyby zatem wychodzić przez Górki na Zatokę Gdańską.

Kolejnym ważnym aspektem w strukturach transportu śródlądowego jest modernizacja międzynarodowej drogi wodnej E-70 (z Antwerpii do Kaliningradu). Polski odcinek trasy E70 Wisła-Odra ma być do 2020 roku zmodernizowany, aby osiągnąć klasę III, co pozwoli pływać na tej trasie barkom o nośności 700 ton. Pozwoli to przede wszystkim uruchomić transport kontenerowy na trasie o opłacalnej długości, a także transport kombinowany rzeczno-morski. Dzięki temu wzrosną możliwości oraz ranga portów w Gdańsku, Gdyni i Elblągu. Obecnie wykorzystuje się tylko żeglugę na odcinkach lokalnie, a ogranicza się ona głównie do przewozu piasku i żwiru, choć sporadycznie coraz częściej instalowane są również lokalne linie pasażerskie.

## **OGÓLNA CHARAKTERYSTYKA NAWIGACYJNA DELTY WISŁY I ZALEWU WIŚLANEGO**

Delta wiślana bierze swój początek przez oddzielenie się pod wsią Piekło, poniżej Gniewa, rzeki Nogat, najbardziej wschodniej odnogi Wisły. W miejscowości Biała Góra koło Sztumu (około 50 km od ujścia) Wisła rozdzielając się na dwa ramiona Leniwka (lewe) i Nogat (prawe), tworzy szeroką deltę zwaną Żuławami. W miejscowości

Gdańska Głowa od Leniwki oddziela się w kierunku wschodnim kolejne ramię zwane Szkarpawa (w celu ochrony przeciwpowodziowej zamknięte śluzą). Kolejne ramię Martwa Wisła oddziela się w Przegalinie i uchodzi do Zatoki Gdańskiej.

Szlaki rzeczne w obrębie delty Wisły są fragmentem międzynarodowej drogi wodnej śródlądowej oznaczonej symbolem E-70, obejmującej odcinek między innymi od Berlina do Kaliningradu. W Polsce: Odrę, Wartę, Noteć, dolną Wisłę i Zalew Wiślan. Z polskiej części Zalewu Wiślanego na Bałtyk można dotrzeć przez Cieśninę Piławską oraz rosyjską część zalewu. Rosja, której wodami wewnętrznymi są obie części tego szlaku morskiego, traktuje je w sposób zróżnicowany.

Żegluga przez Cieśninę Piławską możliwa jest bez ograniczeń politycznych w myśl zasady wolności mórz oraz prawa nieszkodliwego przepływu. Inaczej potraktowano szlak przez rosyjską część zalewu [3, 13], gdzie formalnie pozostawiono zasady traktatu z 1945 roku między Polską a ZSRR, na mocy którego żegluga możliwa była tylko dla statków polskich i tylko wchodzących lub wychodzących z Morza Bałtyckiego. Żegluga statków bander obcych, jachtów, także polskich, oraz rejsy pomiędzy polskimi i rosyjskimi portami nad Zalewem Wiślanym były zakazane. Od początku lat dziewięćdziesiątych rygory te rozluźniono, dopuszczając swobodną żeglugę wszystkich jednostek pod polską banderą, a więc także jachtów na całym szlaku oraz dopuszczając połączenie żeglugowe między polskimi i rosyjskimi portami zalewu. W mocy pozostał zakaz żeglugi przez rosyjską część zalewu dla statków bander innych niż rosyjska i polska. Dla Cieśniny Piławskiej oraz toru wodnego prowadzącego do portów Bałtyjsk i Kaliningrad pozostawiono status międzynarodowych szlaków morskich (wolność mórz oraz prawo nieszkodliwego przepływu).

Osiągnięcia te umożliwiły rozwój turystyki i handlu w obrębie śródlądowych portów polskich wraz z budową morskiego przejścia granicznego w Elblągu według kryteriów z Schengen. Niestety strona rosyjska czasem powraca (ostatnio w 2006 r.) do rygorystycznego przestrzegania traktatu z 1945 roku i wówczas żegluga na zalewie między portami obu stron praktycznie zamiera.

Tabela 2. Warunki nawigacyjne dróg wodnych rejonu Dolnej Wisły

Droga wodna	Głębokość tranzytowa [m]	Minimalny prześwit pod mostami [m]	Szerokość toru [m]
Kanał Bydgoski i Brda	1,20–1,40	3,25	25–30
Rzeka Wisła:			
odc. Włocławek-Ciechocinek	1,00	7,16	20
Ciechocinek-Tczew	1,40		30
Tczew do granicy z wodami morskimi	1,60		40

Źródło: R. Siekanowicz, L. Stroński, wyd. cyt.; *Intersea I, Intrasea II*, wyd. cyt.

Rzeka Wisła od miejscowości Silno do ujścia do morza jest uregulowana. Orientacyjny czas trwania nawigacji (uprawiania żeglugi śródlądowej) jest zróżnicowany i średnio wynosi 265–350 dni.

Tabela 3. Warunki nawigacyjne dróg wodnych rejonu Dolnej Wisły

<b>Nogat:</b> Zgodnie z RRM z d. 7.05.2002 r., DzU, nr 77, poz. 695 rzeka Nogat zalicza się do II klasy drogi wodnej. Odcinek od km 0+000 do 38+650 jest skanalizowany (4 śluzy: Biała Góra, Szonowo, Rakowiec, Michałowo); $T = 1,80$ m. Odcinek od km 38+650 do 62+000 — to odcinek żeglowny rzeki wolno płynącej z ograniczeniem $T_{max} = 1,60$ m	Wielkość parametrów
	Klasa II
Szerokość szlaku żeglownego	30 m
Głębokość tranzytowa (1,60–1,80 m)	1,8 m
Promień łuku osi szlaku żeglownego	300 m
Szerokość śluzy	9,6 m
Długość śluzy	65 m
Głębokość na progu dolnym śluzy	2,2 m
Odległość pionowa przewodów linii elektroenergetycznych przy zwisie normalnym ponad poziom WWŻ: niezziemionych o napięciu do 1 kV oraz uziemionych i przewodów telekomunikacyjnych	8 m
<b>Szkarpawa:</b> Zgodnie z RRM z d. 7.05.2002 r., DzU, nr 77, poz. 695 rzeka Szkarpawa zalicza się do II klasy drogi wodnej z ograniczeniem $T$ do 1,60 i $R$ szlaku do 150 m	Wielkość parametrów
	Klasa II
Szerokość szlaku żeglownego	30 m
Głębokość tranzytowa	1,8 m
Promień łuku osi szlaku żeglownego	300 m
Szerokość śluzy	9,6 m
Długość śluzy	65 m
Głębokość na progu dolnym śluzy	2,2 m
Odległość pionowa przewodów linii elektroenergetycznych przy zwisie normalnym ponad poziom WWŻ: niezziemionych o napięciu do 1 kV oraz uziemionych i przewodów telekomunikacyjnych	8 m
<b>Martwa Wisła:</b> Zgodnie z RRM z d. 7.05.2002 r., DzU, nr 77, poz. 695 rzeka Martwa Wisła zalicza się do Vb klasy drogi wodnej z ograniczeniem $B$ śluzy do 11,90 m. Minimalny prześwit pod mostami 5,40 m	Wielkość parametrów
	Klasa Vb
Szerokość szlaku żeglownego	50 m
Głębokość tranzytowa	2,8 m
Promień łuku osi szlaku żeglownego	800 m
Szerokość śluzy	12,0 m
Długość śluzy	187 m
Głębokość na progu dolnym	4,0 m
Odległość pionowa przewodów linii elektroenergetycznej przy zwisie normalnym ponad poziom WWŻ: niezziemionych o napięciu do 1 kV oraz uziemionych i przewodów telekomunikacyjnych	15 m

Źródło: R. Siekanowicz, L. Stroński, wyd. cyt.; Intersea I, Intrasea II, wyd. cyt.

Od ujścia rzeki Tążyny do miejscowości Tczew Wisła zaliczana jest do klasy II (dł. 190,5 km z ograniczeniem  $T$  do 1,4 m). Od miejscowości Tczew do granic z morskimi wodami wewnętrznymi zaliczana jest do klasy III (dł. 32,7 km z ograniczeniem  $T$  do 1,6 m charakterystycznym dla klasy Ib). Z uwagi na występujące zróżnicowane głębokości szlaku wodnego nie wszystkie odcinki rzeki można zaliczyć do wymienionych klas drogi wodnej. Głębokości rzeki ulegają ciągłej zmianie, zależnie od ruchu rumowiska i stabilizują się po przejściu wielkich wód zimowych i wielkich wód letnich.

Szybkość prądu zależna jest od wielkości przepływu w korycie i waha się w granicach 0,9–1,0 m/sek. Głębokości tranzytowe w delcie Wisły i na Zalewie Wiślanym przy SNW wynoszą średnio od 1,00–1,80 m i odpowiednio przy SW 1,10–1,90 m.

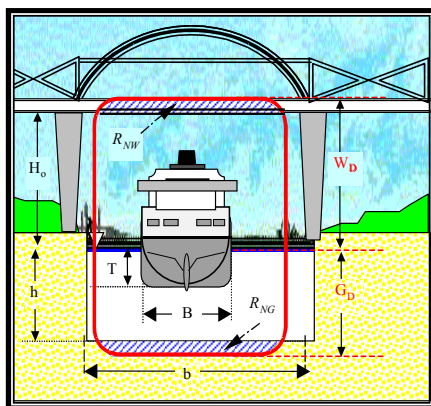
Szerokość pasa żeglownego jest różna, w dolnym odcinku wynosi 60 m. Szlak żeglowny w okresie sezonu nawigacyjnego jest oznakowany znakami żeglownymi dla żeglugi dziennej. Nurt na rzece Wiśle przy przejściach z jednego brzegu na drugi łamie się przeciętnie pod kątem  $120^\circ$ .

Drogi wodne w rejonie Dolnej Wisły zamarzają przeważnie w drugiej połowie grudnia, a nieraz dopiero w styczniu. Grubość pokrywy lodowej na nurcie wynosi przeciętnie 30–50 cm (przy temp.  $-15^\circ\text{C}$  do  $-20^\circ\text{C}$ ), a przy brzegach i w płytkich miejscach do 65 cm. Aby uniknąć zatorów lodowych, prowadzi się akcje kruszenia pokrywy lodowej od ujścia w górę rzeki lub wokół ważniejszych obiektów hydrotechnicznych.

## **ANALIZA RYZYKA NAWIGACYJNEGO W DELCIE WISŁY I NA ZALEWIE WIŚLANYM OPRACOWANA NA PODSTAWIE MODELU PRZESTRZENNEGO DOMENY STATKU**

W Delcie Wisły i na Zalewie Wiślanym główną przeszkodą nawigacyjną jest ograniczenie głębokości akwenu oraz prześwit wody żeglownej pod przeszkodami nadwodnymi (mosty, linie energetyczne). W dalszej części niniejszego opracowania skupimy więc się głównie na analizie ryzyka nawigacyjnego  $R_N$  w płaszczyźnie pionowej w akwenu ograniczonym głębokością  $h$  oraz prześwitem wody pod mostem  $H_o$ . W tym celu posłużymy się definicją domeny statku [6], definicją ryzyka nawigacyjnego [7] oraz wzorami uproszczonymi na głębokość  $G_D$  i wysokość  $W_D$  domeny statku.





Rys. 1. Zobrazowanie ryzyka nawigacyjnego statku przechodzącego płytkim kanałem pod mostem

Źródło: G. Rutkowski, *Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach*, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Prace Naukowe „T”, Warszawa 2001; tenże, *Zastosowanie modelu domeny do oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego statków poruszających się w akwenach ograniczonych*, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Prace Naukowe „T”, Warszawa 2001.

Z definicji domeny (z jej cechy wyłączności) wynika, że statek będzie bezpieczny, dopóki w obrębie swojej domeny będzie on jedynym obiektem ruchomym lub stałym, stanowiącym (z nawigacyjnego punktu widzenia) jedyne źródło mogące generować tam zagrożenie (w naszych rozważaniach pomija się możliwość zaistnienia innych wypadków morskich niż te, które związane są bezpośrednio z ruchem statku i jego nawigacją).

$$G_D = n \cdot T_{max} + 0,66 \cdot m \cdot h_f + k \cdot \left( \frac{1}{30} \cdot C_B \cdot \left( \frac{BT}{bh - BT} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot v_d^{2,08} \right) \text{ [m];} \quad (1)$$

$$W_D = H_C + (n - 2) \cdot T_{max} + |t| + 0,66 \cdot m \cdot h_f + k \cdot \left( \frac{1}{30} \cdot C_B \cdot \left( \frac{BT}{bh - BT} \right)^{\frac{2}{3}} \cdot v_d^{2,08} \right) \text{ [m],} \quad (2)$$

gdzie:

- $G_D$  — głębokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w dół [m];
- $W_D$  — wysokość domeny liczona od linii zanurzenia statku w górę [m];
- $B, L, T, t, H_C, C_B, v_d$  — parametry statku: szerokość  $B$  [m], długość  $L$  [m], zanurzenie  $T$  [m] ( $T_{max}$  — maksymalne zanurzenie uwzględniające zmianę zanurzenia  $T$  przy oscylacjach wzdłużnych oraz poprzecznych  $\alpha$ ), trym (przegłębienie)  $t = 0$  [m], wysokość całkowita statku od stępki do masztu  $H_C$  [m], wysokość nadwodna  $H_N = H_C - T_{max}$  [m],

- współczynnik pełnotliwości kadłuba  $C_B$ , prędkość statku nad dnem  $v_d$  [w] jako składowa wektora prędkości statku po wodzie  $v_w$  oraz wektora prędkości prądu  $v_p$ ;
- $b, h, h_f$  — parametry akwenu: głębokość  $h$  [m], szerokość  $b$  [m], wysokość fali [m];
- $n, m, k$  — współczynniki liczbowe opracowane przez G. Rutkowskiego [6, 7] zależne między innymi od parametrów prądu i fali, typu akwenu, rodzaju dna oraz parametrów statku ( $L, B, T, C_B, v$ ).
- W artykule przyjęto:  $n = 1,1$ ;  $m = 0,5$ ;  $k = 1$ .

Tabela 4. Parametry domen  $G_D$  i  $W_D$  obliczone wzorami (1) i (2) dla przykładowych statków morsko-rzecznych

<b>STATEK A — BARKA TOWAROWA DUŻA</b> $L = 90$ m; $B = 12$ m; $T = 3,80$ m; $t = 0$ ; $T_{max} = 3,90$ m przy $\alpha \cong \pm 1^\circ$ i $4,11$ m przy $\alpha \cong \pm 3^\circ$ ; $H_C = 9,10$ m; $C_B = 0,98$ ; $b = 50$ m; $h_1 = 5$ m, $h_{f1} = 0,30$ m; $V_{p1} = 1,5$ w (dogodne); $h_2 = 4,5$ m, $h_{f2} = 0,60$ m; $V_{p1} = 2,5$ w (niedogodne)					<b>STATEK B — BARKA TOWAROWA MAŁA</b> $L = 75$ m; $B = 9,5$ m; $T = 1,80$ m; $t = 0$ ; $T_{max} = 1,88$ m przy $\alpha \cong \pm 1^\circ$ i $2,05$ m przy $\alpha \cong \pm 3^\circ$ ; $H_C = 6,20$ m; $C_B = 0,98$ ; $b = 50$ m; $h_1 = 5$ m, $h_{f1} = 0,30$ m; $V_{p1} = 1,5$ w (dogodne); $h_2 = 4,5$ m, $h_{f2} = 0,60$ m; $V_{p1} = 2,5$ w (niedogodne)				
$V_d$ [w]	Warunki dogodne $T_{max1} = 3,90$ m; $H_{N1} = 5,20$ m		Warunki niedogodne $T_{max2} = 4,11$ m; $H_{N2} = 4,99$ m		$V_d$ [w]	Warunki dogodne $T_{max1} = 1,88$ m; $H_{N1} = 4,32$ m		Warunki niedogodne $T_{max2} = 2,05$ m; $H_{N2} = 4,15$ m	
	$G_{D1}$ [m]	$W_{D1}$ [m]	$G_{D2}$ [m]	$W_{D2}$ [m]		$G_{D1}$ [m]	$W_{D1}$ [m]	$G_{D2}$ [m]	$W_{D2}$ [m]
0	4,39	5,59	4,72	5,40	0	2,17	4,51	2,45	4,36
3	4,51	5,71	4,86	5,54	3	2,23	4,56	2,52	4,43
6	4,90	6,10	5,30	8,98	6	2,42	4,75	2,73	4,64
9	5,58	6,77	6,07	6,75	9	2,74	5,08	3,10	5,01
12	6,55	7,74	7,18	7,86	12	3,21	5,54	3,64	5,55
<b>STATEK C — PROM PASAŻERSKI</b> $L = 60$ m; $B = 12$ m; $T = 2,20$ m; $t = 0$ ; $T_{max} = 2,30$ m przy $\alpha \cong \pm 1^\circ$ i $2,51$ m przy $\alpha \cong \pm 3^\circ$ ; $H_C = 7,0$ m; $C_B = 0,80$ ; $b = 50$ m; $h_1 = 5$ m, $h_{f1} = 0,30$ m; $V_{p1} = 1,5$ w (dogodne); $h_2 = 4,5$ m, $h_{f2} = 0,60$ m; $V_{p1} = 2,5$ w (niedogodne)					<b>STATEK D — JACHT ŻAGLOWO-MOTOROWODNY</b> $L = 25$ m; $B = 4,2$ m; $T = 2,80$ m; $t = 0$ ; $T_{max} = 2,84$ m przy $\alpha \cong \pm 1^\circ$ i $2,85$ m przy $\alpha \cong \pm 3^\circ$ ; $H_C = 10,80$ m; $C_B = 0,62$ ; $b = 50$ m; $h_1 = 5$ m, $h_{f1} = 0,30$ m; $V_{p1} = 1,5$ w (dogodne); $h_2 = 4,5$ m, $h_{f2} = 0,60$ m; $V_{p1} = 2,5$ w (niedogodne)				
$V_d$ [w]	Warunki dogodne $T_{max1} = 2,30$ m; $H_{N1} = 4,70$ m		Warunki niedogodne $T_{max2} = 2,51$ m; $H_{N2} = 4,49$ m		$V_d$ [w]	Warunki dogodne $T_{max1} = 2,84$ m; $H_{N1} = 7,96$ m		Warunki niedogodne $T_{max2} = 2,91$ m; $H_{N2} = 7,89$ m	
	$G_{D1}$ [m]	$W_{D1}$ [m]	$G_{D2}$ [m]	$W_{D2}$ [m]		$G_{D1}$ [m]	$W_{D1}$ [m]	$G_{D2}$ [m]	$W_{D2}$ [m]
0	2,63	4,93	2,96	4,74	0	3,22	8,25	3,39	8,18
3	2,70	4,99	3,04	4,82	3	3,25	8,27	3,42	8,21
6	2,91	5,20	3,28	5,06	6	3,34	8,36	3,52	8,31
9	3,28	5,57	3,70	5,48	9	3,49	8,52	3,69	8,48
12	3,80	6,09	4,31	6,09	12	3,71	8,74	3,93	8,72

Źródło: G. Rutkowski, Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach, wyd. cyt.; tenże, Zastosowanie modelu domeny do oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego statków poruszających się w akwenach ograniczonych, wyd. cyt.

Parametry domen  $G_D$  i  $W_D$  obliczone wzorami (1) i (2) dla przykładowych statków morsko-rzecznych przedstawiono w tabeli 4. W obliczeniach przyjęto parametry akwenów przedstawione w tabelach 2–3 dla warunków nawigacyjnych dogodnych (widzialność dobra, woda spokojna  $h_f \leq 0,3$  m, wiatr umiarkowany 3–4° B, prąd o prędkości  $v_p \leq 1,5$  w i kierunku zgodnym z kierunkiem toru wodnego, pionowe oscylacje lustra wody określone względem zera mapy (MSL) nieprzekraczające  $\pm 0,10$  m; gęstość wody  $\gamma = 1,000$  g/cm<sup>3</sup>, przechył boczny  $\alpha$  do  $\pm 1^\circ$ ) oraz niedogodnych (widzialność umiarkowana, miejscami ograniczona, wody nieco wzburzone ( $h_f \approx 0,6$  m), wiatr do 6–7° B, prąd o prędkości  $v_p \approx 2,5$  w z zawirowaniami prostopadłymi do osi toru, pionowe oscylacje lustra wody określone względem zera mapy (MSL) do  $\pm 0,50$  m, gęstość wody  $\gamma = 1,00$  g/cm<sup>3</sup>, przechył boczny  $\alpha$  do  $\pm 3^\circ$ ).

$$R_{NG} = \begin{cases} 0 & \text{gdy } h > G_D \\ \frac{G_D - h}{G_D - T_{\max}} & \text{gdy } T_{\max} < h \leq G_D \\ 1 & \text{gdy } h \leq T_{\max} \end{cases} ; \quad (3)$$

$$R_{NW} = \begin{cases} 0 & \text{gdy } H_o > W_D \\ \frac{W_D - H_o}{W_D - H_N} & \text{gdy } H_N < H_o \leq W_D \\ 1 & \text{gdy } H_o \leq H_N \end{cases} , \quad (4)$$

gdzie:

- $R_{NG}$  — składowa pionowa ryzyka nawigacyjnego od zachowania rezerwy głębokości lub krócej ryzyko od zachowania głębokości [-];
- $R_{NW}$  — składowa pionowa ryzyka nawigacyjnego od zachowania rezerwy wysokości lub krócej ryzyko od zachowania wysokości [-];
- $H_o$  — wysokość zawieszenia obiektu nad wodą (prześwit wody pod mostem) [m];
- $H_N$  — wysokość nadwodnej części kadłuba [m];
- $G_D$  — głębokość domeny statku liczona od linii zanurzenia w dół [m];
- $W_D$  — wysokość domeny statku liczona od linii zanurzenia w górę [m];
- $h$  — najmniejsza głębokość wody w kanale [m];
- $T_{\max}$  — maksymalne zanurzenie statku [m].

Zgodnie z [6, 7] do analizy ryzyka nawigacyjnego  $R_{NG}$  względem obiektów podwodnych wykorzystano zależność (3), a do analizy ryzyka nawigacyjnego  $R_{NW}$  względem obiektów nadwodnych wykorzystano zależność (4). Obliczeń dokonano dla przykładowych statków A, B, C, D dla przeciętnych (dogodnych) warunków nawigacyjnych.

Z analizy ryzyka nawigacyjnego głębokości  $R_{NG}$  wynika, że barka towarowa średniej wielkości według standardów europejskich (statek A) mogłaby nawigować jedynie w obrębie Martwej Wisły z głębokościami akwenu 4,00 m. Żegluga w tym akwenu byłaby jednak dla niej wielce ryzykowna, gdyż ryzyko nawigacyjne głębokości  $R_{NG}$  przyjmowałoby wartości od 0,80 dla prędkości  $v = 0$  (uwzględniając rezerwę statyczną oraz oscylacje wzdłużne i poprzeczne statku na prądzie i fali) do 0,96 dla prędkości  $v = 12$  węzłów. Ryzyko  $R_{NG}$  można interpretować jako prawdopodobieństwo uderzenia kadłubem statku o dno, które w tym wypadku wynosiłoby od 80% przy prędkości statku 0 do 96% dla 12 węzłów.

Tabela 5. Ryzyko nawigacyjne głębokości  $R_{NG}$  i wysokości nadwodnej  $R_{NW}$  obliczone według zależności (3) i (4) dla śródlądowych dróg wodnych z rejonu delty Wisły i Zalewu Wiślanego dla warunków nawigacyjnych dogodnych opisanych w tabeli 4.

Typ Statku	$Vd$ [w]	Zalew Wiślany $h = 2,5$ m; $Ho = \infty$ ; Klasa III ( $h_{tranz} = 1,8$ m)		Martwa Wisła $h = 4,0$ m; $Ho = 5,40$ m; Klasa Vb ( $h_{tranz} = 2,8$ m)		Szarpawa $h = 2,2$ m; $Ho = \infty$ ; Klasa II ( $h_{tranz} = 1,8$ m)		Ujście Wisły $h = 2,4$ m; $Ho = 7,16$ m; Klasa III ( $h_{tranz} = 1,6$ m)		Nogat $h = 2,2$ m; $Ho = 3,30$ m; Klasa II ( $h_{tranz} = 1,7$ m)	
		$R_{NG}$	$R_{NW}$	$R_{NG}$	$R_{NW}$	$R_{NG}$	$R_{NW}$	$R_{NG}$	$R_{NW}$	$R_{NG}$	$R_{NW}$
Statek A $T_{max} = 3,90$ m $H_N = 5,20$ m	0	1	0	0,80	0,49	1	0	1	0	1	1
	3	1	0	0,84	0,61	1	0	1	0	1	1
	6	1	0	0,90	0,78	1	0	1	0	1	1
	9	1	0	0,94	0,87	1	0	1	0	1	1
	12	1	0	0,96	0,92	1	0	1	0,23	1	1
Statek B $T_{max} = 1,88$ m $H_N = 4,32$ m	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	3	0	0	0	0	0,09	0	0	0	0,09	1
	6	0	0	0	0	0,41	0	0,04	0	0,41	1
	9	0,28	0	0	0	0,63	0	0,40	0	0,63	1
	12	0,53	0	0	0,11	0,76	0	0,61	0	0,76	1
Statek C $T_{max} = 2,30$ m $H_N = 4,70$ m	0	0,39	0	0	0	1	0	0,70	0	1	1
	3	0,50	0	0	0	1	0	0,75	0	1	1
	6	0,67	0	0	0	1	0	0,84	0	1	1
	9	0,80	0	0	0,20	1	0	0,90	0	1	1
	12	0,87	0	0	0,50	1	0	0,93	0	1	1
Statek D $T_{max} = 2,84$ m $H_N = 7,96$ m	0	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
	3	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
	6	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
	9	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1
	12	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1

Źródło: G. Rutkowski, *Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach*, wyd. cyt.; *tenże, Zastosowanie modelu domeny do oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego statków poruszających się w akwenach ograniczonych*, wyd. cyt.

Statki B, C i D (mała barka, prom pasażerski i jacht żaglowo-motorowodny) ze względu na zanurzenie  $T$  i dostępne głębokości akwenu  $h$  mogłyby uprawiać żeglugę w obrębie całej Martwej Wisły. Należy jednak pamiętać, iż Regionalny Zarząd Gospodarki Wodnej Gdańsk uznał Martwą Wisłę ZA akwen klasy Vb, lecz zapewnia w nim kontrolowaną głębokość tranzytową jedynie na poziomie 2,80 m, a to oznacza, że zgodnie z przepisami przejście statków A i D w tym akwencie nie byłoby możliwe.

Żegluga na Zalewie Wiślanym możliwa byłaby natomiast jedynie dla statków B i C, generując zależnie od przyjętej prędkości statku ryzyko nawigacyjne głębokości od 0 do 0,53 dla statku B oraz od 0,39 do 0,87 dla statku C. RZGW Gdańsk traktuje jednak Zalew Wiślany jako akwen klasy III z kontrolowaną głębokością tranzytową na poziomie 1,80 m, a to oznacza, że zgodnie z przepisami akwen ten jest niedostępny dla każdej z wyżej wymienionych jednostek.

Żegluga na rzece Szkarpała możliwa jest jedynie dla statku B, czyli małej barki generującej ryzyko nawigacyjne głębokości, zależnie od przyjętej prędkości statku od wartości 0 dla  $v = 0$  w do 0,76 dla prędkości 12 węzłów.

Żegluga w Ujściu Wisły podobnie jak na Zalewie Wiślanym możliwa jest jedynie dla statków B i C. Ryzyko nawigacyjne głębokości przybiera tu odpowiednio wartości od 0 do 0,61 dla statku B oraz od 0,70 do 0,93 dla statku C. Głębokości tranzytowe w akwencie tym zapewnione są jednak jedynie do wartości 1,60 m, a to oznacza, iż akwen ten staje się również niedostępny dla każdej z wyżej wymienionych jednostek.

Analizując ryzyko nawigacyjne  $R_{NW}$ , można stwierdzić, że jedynie Zalew Wiślany i rzeka Szkarpała nie mają mostów i innych przeszkód nadwodnych generujących ryzyko nawigacyjne wysokości. Rzeka Nogat zaś, ze względu na zbyt mały prześwit wody pod mostem, staje się niedostępna dla każdej z wyżej wymienionych jednostek.

Analizując  $R_{NW}$  dla Martwej Wisły, można stwierdzić, iż przejście barki A zależnie od przyjętej prędkości statku generowałoby ryzyko nawigacyjne wysokości  $R_{NW}$  na poziomie od 0,49 dla  $v = 0$  w do 0,92 dla prędkości  $v = 12$  w. Przejście barki B byłoby w pełni bezpieczne dla prędkości statku mniejszych od 9 węzłów. Prom pasażerski C mógłby natomiast bezpiecznie nawigować na Martwej Wiśle jedynie z prędkościami  $v$  poniżej 6 węzłów. Dla jachtu motorowodnego D przejście Martwą Wisłą byłoby natomiast niemożliwe ze względu na zbyt wysoki maszt jednostki względem dostępnego prześwitu wody pod mostem.

**STAN OBECNY I PERSPEKTYWA ROZWOJU — PODSUMOWANIE**

Pogłębienie i udrożnienie kanałów wodnych w delcie Wisły i na Zalewie Wiślanym w znacznym stopniu umożliwiłoby zwiększenie aktywności gospodarczej gmin, a w szczególności rozwój handlu i turystyki.

Analizując rynek turystyczny w Europie, trzeba zdawać sobie sprawę, iż jej część zachodnia dysponuje przynajmniej siedmioma milionami jachtów żaglowych i motorowych, z czego większość przypada na Francję, Niemcy i Benelux. Modernizacja dróg śródlądowych E-70 oraz E-40 umożliwiłaby zatem rozwój handlu i turystyki od rejonu Wrocławia poprzez Wielkopolskę, Mazury, Pojezierze Ostródzko-Iławskie po Zalew Wiślany.

Jednostki o zanurzeniu powyżej 0,5 m mogą obecnie dotrzeć do Warszawy. Będą jednak miały trudności z dotarciem do Krakowa czy na Mazury. Według ekspertów [1, 2, 9] należy zatem udrożnić drogi wodne oraz rozwiązać kwestię zbyt niskich mostów. Na Dolnej Wiśle mają one prześwity pozwalające na modernizację drogi wodnej do klasy IV, ich wartości wahają się od 5,17 — Toruń, 6,48 — Włocławek, 6,79 — Kieźmark. Most w Toruniu stanowi jedyny problem, gdyż wymagany dla klasy IV prześwit wynosi 5,25 m.

Według standardów europejskich szlaki turystyczne (motorowodne) winny posiadać klasę przynajmniej Ib lub II.

Rzeki Nogat i Szarpawa (klasa II) sporadycznie wykorzystywane są przez barki o nośności 500 ton. Utrudnieniem dla żeglugi jest most dla pieszych do zamku w Malborku (Nogat) oraz brak obrotnicy przy moście w Drewnicy (Szarpawa).

Wisła od stopnia wodnego Przewóz do Płocka sklasyfikowana jest jako klasa Ib, co pozwala na nawigację barkami do ładowności 180 ton. Odcinek Płock-Włocławek sklasyfikowany jest jako Vb (barki 1500–3000 ton), jednak ze względu na długość odcinka przewóz towarowy nie istnieje (jest nieopłacalny). Droga Włocławek-Ciechocinek pozwala na transport barkami do 180 ton, jednak odcinek ten jest niebezpieczny dla nawigacji ze względu na liczne przemiały. Drogę Ciechocinek-Tczew obsługują barki do 500 ton. Utrudnieniem są tam jednak niskie stany wody powstałe w wyniku susz. Odcinek Tczew-Gdańsk jest natomiast zbyt krótki, aby był opłacalny. Ponadto barki o nośności 1000–1200 ton mają utrudnione wejście na Bałtyk ze względu na nieuregulowane ujście Wisły — niestabilny szlak żeglowny na Przekopie Wisły.

Nowy przekop na Zatokę Gdańską przez Mierzeję Wiślaną wydaje się zatem bardzo istotny. Mógłby on nie tylko skrócić trasę wodną do portów śródlądowych, takich jak Elbląg, Tolkmick, Frombork, ale przede wszystkim otworzyć nasz

rejon na Europę w myśl zasady *from road to sea*. Ukończenie tej inwestycji wzmogłoby również rozwój handlu i turystyki w rejonie, uniezależniając aspekty ekonomiczne od aspektów natury politycznej. Ponadto trasa wodna na Wiśle mogłaby w znacznym stopniu odciążyć transport drogowy, a w szczególności drogę Warszawa-Gdańsk i stać się jednocześnie alternatywą do budowanej obecnie autostrady A1 (Północ-Południe).

Rozwój turystyki na drogach śródlądowych rejonu Dolnej Wisły nie potrzebuje takich nakładów jak transport towarowy. Wymaga jednak rozbudowanej infrastruktury typowej dla turystyki — hoteli, kampingów, marin, przystani itp.

Elementy przyciągające turystę w rejonie Dolnej Wisły to wartości przyrodnicze, infrastruktura miejska, obiekty zabytkowe, średniowieczne zamki oraz elementy behawioralne, jak rekonstrukcje historyczne, festyny itp.

Reasumując, do głównych zadań związanych z zagospodarowaniem turystycznym szlaków wodnych (*Polish Waterways*) należy zaliczyć:

- pogłębienie szlaków wodnych;
- usuwanie naturalnych i sztucznych przeszkód;
- uporządkowanie, liberalizację i dostosowanie przepisów do realiów europejskich;
- rozbudowę sieci marin, przystani i kampingów;
- rozwój kartografii szlaków wodnych, wprowadzenie map elektronicznych;
- promocję regionów.

## BIBLIOGRAFIA

- [1] Czerny M., *Zarząd Główny PTTK, Komisja Turystyki Żeglarskiej*, opracowanie na potrzeby Polskiego Towarzystwa Turystyczno-Krajoznawczego.
- [2] *Intersea I, Intrasea II*, materiały Urzędu Morskiego w Gdyni, 2007.
- [3] Luks K., *Otworzyć Zalew na Europę*, „Namiary na Morze i Handel”, 2006, 23.
- [4] Nikolayev V. K., *The Purposes, Objectives and Principles of Development of Inland Water Transportation In Russia In The Future*, Head of The Volga-Baltic State Basin Board of Waterways and Navigation, *Inland Waterway Vision 2020*, 2004, Helsinki, Finland.
- [5] *Rozporządzenie Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 roku w sprawie dróg wodnych*, DzU, nr 77, poz. 695.
- [6] Rutkowski G., *Modelowanie domeny statku w procesie manewrowania w ograniczonych akwenach*, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Prace Naukowe „T”, Warszawa 2001.

- [7] Rutkowski G., *Zastosowanie modelu domeny do oceny bezpieczeństwa nawigacyjnego statków poruszających się w akwenach ograniczonych*, Politechnika Warszawska Wydział Transportu, Prace Naukowe „T”, Warszawa 2001.
- [8] *Shipowners' Association Consultation Meeting — Marpol Annex VI*, Washington, DC, February, 2006.
- [9] Siekanowicz R., Stromski L., *Perspektywy żeglugi bliskiego zasięgu — „Short Sea Shipping” w połączeniu ze środkami śródlądowego transportu wodnego i turystyki w obszarze Dolnej Wisły w aspekcie międzynarodowej drogi wodnej E70*, Intrasea II, Gdynia 2007.
- [10] *Strategia Gospodarki Wodnej*, Ministerstwo Środowiska, Warszawa 2006.
- [11] Załącznik nr 1 i 3 do rozporządzenia nr 77 Rady Ministrów z dnia 18.06. 2002 r.
- [12] *Żegluga śródlądowa w Polsce w latach 2001–2005*, Główny Urząd Statystyczny, Wrocław 2006.
- [13] <http://inlandwaterways.lrh.usace.army.mil/>
- [14] <http://www.inlandnavigation.org>
- [15] <http://www.intrasea.org>

## **ANALYSIS OF NAVIGATIONAL INFRASTRUCTURE WITH RESPECT TO SAFETY OF NAVIGATION IN MOUTH OF VISTULA RIVER AND VISTULA LAGOON**

### **ABSTRACT**

The paper deals with the navigational infrastructure analysis with respect to safety of navigation in the mouth of the Vistula River. In this paper the author also presents methods that can be used for estimating safety of navigation (navigational risk) in the restricted sea areas by means of the model of the ship's domain. The essence of the method suggested in the thesis is the systematic approach to sea vessel operation in the aspect of estimating its safety when navigating in restricted sea areas.

**Keywords:**

navigational infrastructure, safety of navigation, navigational risk, the mouth of Vistula River, the Vistula Lagoon.

Recenzent dr inż. Wacław Morgaś, prof. AMW