



Lech Tolkacz

SZANSE ROZWOJU ŻEGLUGI ŚRÓDLĄDOWEJ

Lech Tolkacz

Szanse rozwoju żeglugi śródlądowej

Wydawnictwo

Wydział Techniki Morskiej
Politechniki Szczecińskiej

Opiniodawcy:

W zakresie merytorycznym: prof. dr hab. inż. T . Szelangiewicz

ISBN

Okładka: Ilustracja warunków żeglugi towarowo – pasażerskiej na rzece Enns w Austrii.
Wiek XVIII. [11].

Nie rezygnuj nigdy z celu tylko dlatego,
że osiągnięcie go wymaga czasu

Czas i tak upłynie

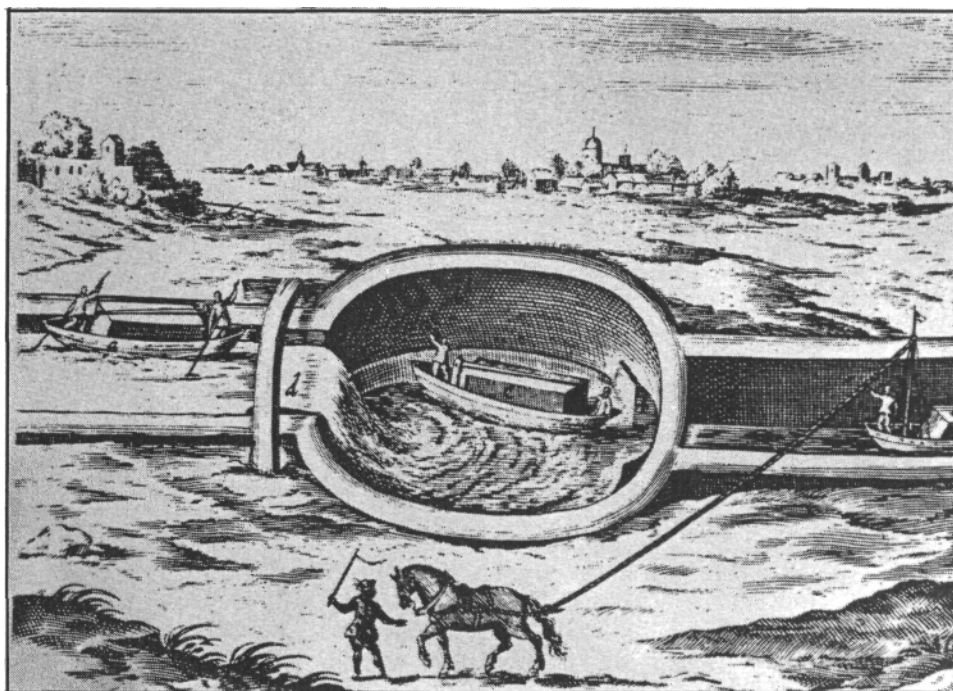
SPIS TREŚCI	str.
WPROWADZENIE	7
1. Przesłanki zmian w polskiej żegludze śródlądowej	9
1.1. Bariery i szanse rozwoju żeglugi śródlądowej.....	9
1.2. Aspekty prędkości ruchu statków śródlądowych.....	18
2. Energooszczędne statki prędkości podkrytycznych	22
2.1. Uwarunkowania energooszczędności.....	22
2.2. Energooszczędne statki pasażerskie.....	26
2.3. Alternatywne źródła energii w systemach napędowych statków pasażerskich.....	34
2.4. Częstkowe kryteria optymalizacyjne.....	38
2.5. Zasoby energii promieniowania słonecznego.....	47
2.6. Czas ruchu statków pasażerskich.....	51
3. Szybkie statki śródlądowe	54
3.1. Definiowanie pojęć statków szybkich.....	54
3.2. Opór ruchu szybkich statków śródlądowych.....	58
3.3. Technika wyznaczania oporu ruchu statków szybkich na bazie metody Apuchtina.....	64
3.4. Dynamika ruchu statków szybkich.....	68
4. Szybkie towarowe statki śródlądowe	73
4.1. Wybór konfiguracji statku szybkiego.....	73
4.2. Ograniczenia wymiarów szybkich statków towarowych.....	76
4.3. Opory ruchu szybkich statków towarowych.....	81
5. Uwarunkowania eksploatacyjne szybkich statków towarowych	92
5.1. Dobór efektywnej mocy napędowej.....	92
5.2. Efektywność eksploatacji szybkich statków towarowych.....	98
5.3. Przestrzeń ładunkowa i ładowność statków szybkich.....	104
5.4. Analiza układu i kształtu kadłubów katamaranów.....	111
5.5. Niektóre uwarunkowania eksploatacyjne szybkich statków pasażerskich. - reminiscencje.....	115
6. Łądowo – wodne łańcuchy transportowe szansą dla statków wolnych	118
6.1. Barki pchane jako jednostki ładunkowe w transporcie intermodalnym.....	118
6.2. Technika wodnych subłańcuchów transportowych.....	121
6.3. Zasięg łądowo – morskich transbałtyckich łańcuchów transportowych.....	125

7. Klasyfikacja wodnych dróg śródlądowych.....	149
7.1. Historia współczesna i stan istniejący klasyfikacji.....	149
7.2. Propozycje zmian kryteriów klasyfikacji dróg wodnych.....	160
7.3. Przesłani stosowania cyfrowej klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych	165
LITERATURA.....	169

WPROWADZENIE

„O tytuł kolebki światowej żeglugi ubiegają się: Nil, Tygrys i Eufrat, Induks, oraz Huang – ho (Żółta Rzeka), nad którymi rozwinęły się pierwsze starożytne cywilizacje” [16]. Wody rzek niosły muł co w dobrych warunkach klimatycznych umożliwiało intensywny rozwój rolnictwa. Obok rolnictwa nad tymi rzekami rozwijają się miasta którym woda zapewniała m.in. schronienie. W miastach ma miejsce rozwój rzemiosła osiągający istotne znaczenia wraz z nastaniem epoki brązu. Brąz był metalem, który w dziejach cywilizacji zrewolucjonizował nie tylko broń ale także narzędzia, zwiększające możliwości produkcji także rolniczej. Rolnicy poszukiwali narzędzi, broni i naczyń a rzemieślnicy żywności. Rosnący popyt i rosnąca podaż spowodowały wzrost wymiany towarowej, wymagającej obsługi transportowej.

Na początku epoki brązu – pomimo znajomości koła – pojazdy kołowe nie były rozpowszechnione a konie nie stanowiły jeszcze ich siły pociągowej. Pozostawały do wykorzystania zwierzęta juczne i tragarze na łądzie oraz woda śródlądowa jako potencjalna droga transportowa. Tworzyła ona przestrzeń transportową a poprzez siłę wyporu umożliwiała przemieszczanie mas towarowych umieszczanych na pływających jednostkach transportowych. Narodziny żeglugi są więc dziełem rzecznych cywilizacji starożytności a rozwój żeglugi poprzez rozwój środków transportu był ściśle powiązany z osiągnięciami nauki i techniki. Podstawowe zagadnienia rozwoju środków transportu śródlądowego z tamtego okresu pozostały praktycznie aktualne do dzisiaj. Dotyczą one konfiguracji i ładowności jednostek transportowych a także mobilności determinowanej sposobem ich napędu.



Śluza komorowa – rok 1625

[11]

W przypadku Europy można mówić o ścieżce rozwoju środków transportu zaczynając od jednodrzewców (dłubanek) będących protoplastą jednostek jednokadłubowych, przemieszczanych kolejno poprzez wykorzystanie energii wody płynącej, energii mięśni ludzkich – zamienianej na ruch przy pomocy wiosła niepodpartego (pagaja) i wiosła podpartego lub pychu oraz żagli wykorzystujących energię wiatrów pełnych i półwiatrów. Mała ładowność tych jednostek i początkowe wykorzystanie energii spadku wody do ich napędu ograniczała zakres zastosowań jednodrzewców. Wprowadzenie przetwornika energii jakim było wiosło czy żagiel zwiększa mobilność jednodrzewców dając możliwości ich ruchu w obu kierunkach koryta rzek. Następstwem doskonalenia napędu są zmiany konstrukcyjne i technologiczne w budowie jednokadłubowców, w których podstawowym materiałem budowlanym jest drewniana deska i które zaczynają osiągać znaczące rozmiary i ładowności. Energia mięśni ludzkich jest niekiedy zastępowana siłą pociągową zwierząt, które poruszając się wzdłuż brzegów głównie sztucznych dróg wodnych „ścieżkami końskimi” (patrz Kanał Augustowski) wspomagały ruch coraz cięższych statków.

Kolejny istotny przełom w żegludze nastąpił w wyniku stosowania do napędu statków maszyn parowych a w następnej kolejności – silników spalinowych.

Maszyna parowa - jako podstawowy element systemu napędowego statków morskich i rzecznych, znalazła zastosowanie również w nowym pojeździe lądowym jakim był pociąg. Jego zaistnienie nie zagrażało rozwojowi żeglugi morskiej i statków morskich; natomiast stał się on konkurencyjny dla żeglugi śródlądowej i statków śródlądowych. Pociąg w relatywnie krótkim czasie całkowicie wyeliminował żeglugę śródlądową uprawianą na drogach wodnych niższych klas i znakomicie ograniczył żeglugę uprawianą na drogach wodnych klas wyższych.

Praktycznie od połowy XX wieku nową konkurencję zarówno w stosunku do żeglugi śródlądowej a także do transportu szynowego zaczął tworzyć transport kołowy. Stale rosnące wykorzystanie transportu kołowego było i jest wynikiem jego operatywności transportowej (transport drzew – drzew) i szybkości realizacji usług transportowych szczególnie przy przewozach towarowych w zakresie ładunków drobnicowych oraz przewozach pasażerskich. Argumenty „ekologiczne” nie są istotne dla biorców tych usług, którzy wymagają określonej efektywności spełniania ich wymagań. A wymagania te są najczęściej związane z czasem oraz jakością realizacji usługi.

Chcąc sprostać tym wymaganiom, żegluga śródlądowa musi podjąć inicjatywę przede wszystkim w zakresie nowych generacji środków transportu wodnego.

Prezentowana publikacja ma na celu umożliwienie przeglądu alternatyw modernizacji floty śródlądowej oraz dokonania wyboru kierunku zmian.

1.PRZESŁANKI ZMIAN W POLSKIEJ ŻEGLUDZE ŚRÓDLĄDOWEJ

1.1.Bariery i szanse rozwoju żeglugi śródlądowej

Konkurencyjność w transporcie determinowana jest trzema podstawowymi czynnikami: ceną usługi transportowej, czasem trwania tej usługi oraz jej jakością. O znaczeniu tych czynników w znakomity sposób decydują: gęstość i jakość infrastruktury transportowej a także dostępność i dobór środków transportu.

Poszczególne elementy infrastruktury z zasady są użytkowane wspólnie przez usługodawców różnych gałęzi transportu. Mają oni ograniczony bezpośredni wpływ na utrzymanie i rozwój infrastruktury adekwatnej do obszaru ich działalności.

Stąd atutem użytkowników gałęzi transportowej w grze rynkowej stają się przede wszystkim oferowane środki transportu. Intensywność rozwoju tych środków oraz ich stosowanie wynika przede wszystkim z istoty konkurencyjności wewnątrzgałęziowej by w konsekwencji stanowić o konkurencji międzygałęziowej. Istniejący stan usług transportowych w Polsce (tabela 1.1) świadczy o rosnącej – poprzez wzrost pracy transportowej - dominacji transportu kołowego i malejącej, lecz wciąż istotnej roli transportu szynowego.

Tabela 1.1

Przewozy towarowe w Polsce

Rok	Gałęzie transportu					
	Kołowy		Szynowy		Śródlądowy	
	tys. ton	mln tkm	tys. ton	mln tkm	tys. ton	mln tkm
1980	2 167 946	44 546	482 062	134 735	22 247	2 325
1990	1 292 358	40 293	281 656	83 500	9 795	1 034
1994	1 060 709	45 365	214 745	65 788	10 115	793
1995	1 086 762	51 200	225 348	69 116	9 306	876
1996	1 091 880	56 513	223 542	68 332	9 000	851
1997	1 110 759	63 688	226 963	68 651	9340	930
1998	1 077 295	69 542	206 391	61 760	9 376	1 100
1999	1 068 677	70446	186 784	55 460	8 382	1 028
2000	1 083 071	72 842	187 247	54 448	10 433	1 173

Źródło: Miłkowski M. : Odra i Żegluga. Część II Gospodarka Wodna Nr 3/2000

Trzeci udziałowiec na tym rynku usług – transport śródlądowy, jest praktycznie marginalny. Z pewnością wynika to z gęstości i jakości infrastruktury transportowej (tabela 1.2), której porównanie wypada na niekorzyść tego transportu, ale także w znacznej mierze z użytkowanych środków transportu wpływających na czynniki konkurencyjności usług w tym przede wszystkim przede wszystkim na ich czas trwania i cenę.

Tabela 1.2

Parametry polskiej infrastruktury transportowej

Parametr	Drogi transportowe								
	Kołowe			Szynowe			Śródlądowe		
	zamiejskie	krajowe	wojewódzkie	ogółem	magistralne	pierwszorzędne	Ogółem	IV klasy i wyższej	III klasy
Długość [km]	199 877	18 080	28 233	21 119	3 650	9 436	3813	201	402
Gęstość [km/100km ²]	64	5,8	9,03	6,7	1,16	3,02	1,16	0,06	0,12

Źródło: Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad, Główny Urząd Statystyczny, Dz. U. Z 2002 r., nr 77 poz.695 , internet www.kolej.pl

Czas trwania usługi wynika praktycznie wprost z prędkości ruchu gałęziowych środków transportu lub ich scalonego użytkowania w transporcie zintegrowanym. Jednocześnie cena tej usługi jest m.in. pochodną wielkości masy ładunkowej oraz energochłonności procesu transportowego.

Rozpatrując problem transportu z tych punktów widzenia można przyjąć, że w europejskich warunkach prędkości, ładowności i energochłonności środków transportu są znacząco zróżnicowane co wykazuje tabela 1.3.

Tabela 1.3

Prędkości ruchu , ładowność i energochłonność środków transportu w warunkach europejskich

Środek transportu	Przeciętna prędkość przemieszczania ładunku [km/h]	Ładowność				Energochłonność litrów oleju napędowego/ 100tkm
		Bardzo duża >1500 t	Duża 500 -1500 t	Średnia < 500 t	Mała <50 t	
Pociąg towarowy	20 – 40 (120)*		X			1,7
Samochód ciężarowy	40 – 60 (90)*				X	4,1
Statek morski żeglugi bliskiego zasięgu	20 – 40 (70)*	X	X			< 1,3
Statek śródlądowy	8 – 12 (14)*	(X)**	(X)***	(X)****		1,3

Źródło: opracowanie własne.

()* - prędkość maksymalna

()** - drogi wodne V klasy i wyższej

()*** - drogi wodne klas IV - II

()****- przypadki sporadyczne

Jak wynika z powyższej tabeli preferowanymi - do „ziemskich” przewozów ładunków o dużej masie, mogą być pociągi towarowe i statki śródlądowe. Jednakże pociągi towarowe – przy porównywalnej energochłonności - mają kilkakrotnie wyższą prędkość przemieszczania ładunku niż statki śródlądowe, co w dążeniu do skracania czasu trwania przewozu stawia je w uprzywilejowanej pozycji zarówno w przewozach masowych jak i drobnicowych. Ponadto doskonalenie infrastruktury transportu szynowego może spowodować dalszy wzrost przeciętnej prędkości przemieszczania ładunku tym środkiem transportu i ograniczanie udziału żeglugi śródlądowej w usługach transportowych szczególnie w transporcie kombinowanym.

Takiej sytuacji skutecznie przeciwstawia się żegluga śródlądowa w wielu krajach Europy, zachowując znaczącą pozycję na rynku usług transportowych (tabela 1.4).

Tabela 1.4

Procentowy udział w pracy przewozowej gałęzi transportu wybranych krajów Europy
w latach 1980,1998

Kraje	Gałąź transportu								
	Transport kołowy			Transport szynowy			Transport śródlądowy		
	1980	1998		1980	1998		1980	1998	
	udział	udział	względny wzrost spadek udziału	Udział	Udział	względny wzrost spadek udziału	udział	udział	względny wzrost spadek udziału
Niemcy	48,9	67,4	+39	25,8	15,7	-10,1	20,2	13,7	-37
Holandia	37,4	47,9	+25	5,2	3,9	-1,3	49,9	42,0	-16
Belgia	54,8	69,3	+37	24,6	15,1	-9,5	17,6	12,5	-29
Francja	46,9	75,0	+48	32,0	16,5	-15,5	6,5	1,9	-70
Polska	22,4	48,2	+115	67,8	38,2	-29,6	1,2	0,8	-33

Źródło: Transport in figures. European Commission, Luksemburg 2000.

Generalnie w rozpatrywanym okresie - wzrostowi udziału transportu kołowego towarzyszy spadek udziału transportu śródlądowego, który - poza Francją - jest mniejszy niż spadek udziału transportu szynowego. Trend tego procesu dotyczy również Polski. Jednakże wartości udziału w pracy przewozowej polskiego transportu śródlądowego świadczą o malejącym znaczeniu tej gałęzi transportu nie tylko na polskim rynku usług transportowych ale także w kontekście europejskim.

Kraje w których transport śródlądowy jest istotny dysponują zarówno lepszą niż Polska czy Francja infrastrukturą transportową a wynikowo również środkami transportu o przeciętnie większej ładowności (tabela 1.5).

Tabela 1.5

Przeciętna ładowność statków śródlądowych [t]

Rok	Kraj			
	Niemcy	Holandia	Belgia	Francja
1970	714	525	493	417
1980	963	770	613	485
1989	1068	957	760	498
1992	1148	1028	893	546
1996	987	1000	940	693
2000	1044	1087	1047	468
2002	1146	1132	1114	466

Źródło: Rydzkowski W., Wojewódzka – Król K. Transport, PWN, Warszawa 2005 s. 121.

W strukturze flot tych krajów dominują statki motorowe, które stanowią 80% wszystkich jednostek pływających. Obecnie standardem w Holandii, Niemczech czy Belgii stają się jednostki o ładowności 1500 t ; natomiast największe jednostki mogą przewozić ładunek o masie 2100 t.

Polscy armatorzy dysponują flotą statków, których wiek nierzadko przekracza 30 lat a struktura tej floty (tabela 1.6) obejmuje przede wszystkim dwuczłonowe zestawy pchane i statki motorowe.

Tabela 1.6

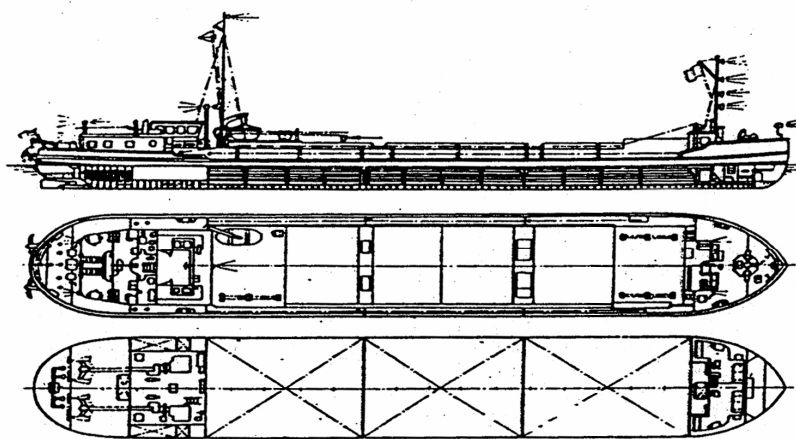
Struktura polskiej towarowej floty śródlądowej

Środek transportu	Rok										
	1980	1990	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002
Pchacze	386	386	349	327	327	318	293	251	236	251	239
Barki pchane	1239	1018	672	565	589	574	512	443	387	500	490
Statki motorowe	331	319	195	172	167	160	155	113	105	98	92

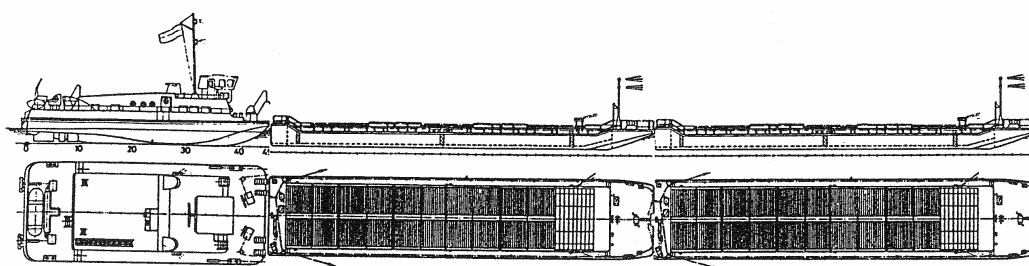
Źródło: Rydzkowski W., Wojewódzka – Król K. Transport. PWN Warszawa 2005

Reprezentatywnymi statkami śródlądowymi będącymi w gestii polskich armatorów są:

- statek motorowy BM – 500 (rys. 1.1)
- zestaw pchany , składający się z pchacza Bizon III oraz dwóch barek pchanych BP-500 lub BPP-500 (rys. 1.2)



Rys. 1.1. Statek motorowy BM – 500 [34]
Źródło: [34]



Rys. 1.2. Zestaw pchany: Bizon III, 2x BP –500 [34]
Źródło: opracowanie własne na podstawie [34]

Ich podstawową charakterystykę techniczno – eksploatacyjną prezentuje tabela 1.7.

Tabela 1.7

Podstawowa charakterystyka techniczno – eksploatacyjna reprezentatywnych statków
polskiej floty śródlądowej

Typ statku	Długość [m]	Szerokość [m]	Zanurzenie [m]	Współczynnik pełnotliwości	Ładowność [t]	Moc napędu [kW]	Prędkość ruchu [km/h]
Statek motorowy	56,30	7,53	1,70	0,85	485	220	11
Zestaw pchany	110,40	8,98	1,60	0,9	1000	294	10,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie [34].

Na podstawie tej charakterystyki można stwierdzić, że zestaw pchany dorównuje wielkością przeciętnym statkom niemieckim, holenderskim czy belgijskim. Jednakże możliwości pełnego wykorzystania jego ładowności na trasach przebiegających Odrzańską Droga Wodną są znakomicie ograniczone w czasie trwania okresu nawigacyjnego.

Porównawczych pomiarów efektów eksploatacji tych statków można dokonać za pomocą bezwymiarowego wskaźnika efektywności transportu (WET) [34] o postaci:

$$WET = P \cdot g \cdot v / N_e \quad (1.1)$$

w której:

- P – ładowność statku [t],
- g - przyspieszenie ziemskie [m/s²],
- v – prędkość ruchu [m/s],
- N_e – moc efektywna napędu [kW].

Wskaźnik ten dla reprezentatywnych statków floty polskiej osiąga kolejno wartości:

- dla statku motorowego – WET = 67,
- dla zestawu pchanego - WET = 103.

Wzrost wskaźnika efektywności może być osiągany poprzez warunki: wzrostu ładowności, zmniejszenia mocy napędowej oraz zwiększania prędkości. Jednak równoczesne spełnienie tych trzech warunków jest niemożliwe. Wzrost ładowności czy prędkości pociąga za sobą wzrost mocy zainstalowanej; stąd pojawia się konieczność analizy każdego z determinantów tego wskaźnika.

Ładowność statku wynika przede wszystkim z wartości:

- długości statku – L,
- szerokości statku –B,
- zanurzenia statku – T,
- współczynnika pełnotliwości kadłuba statku – δ.

a także z masy własnej statku.

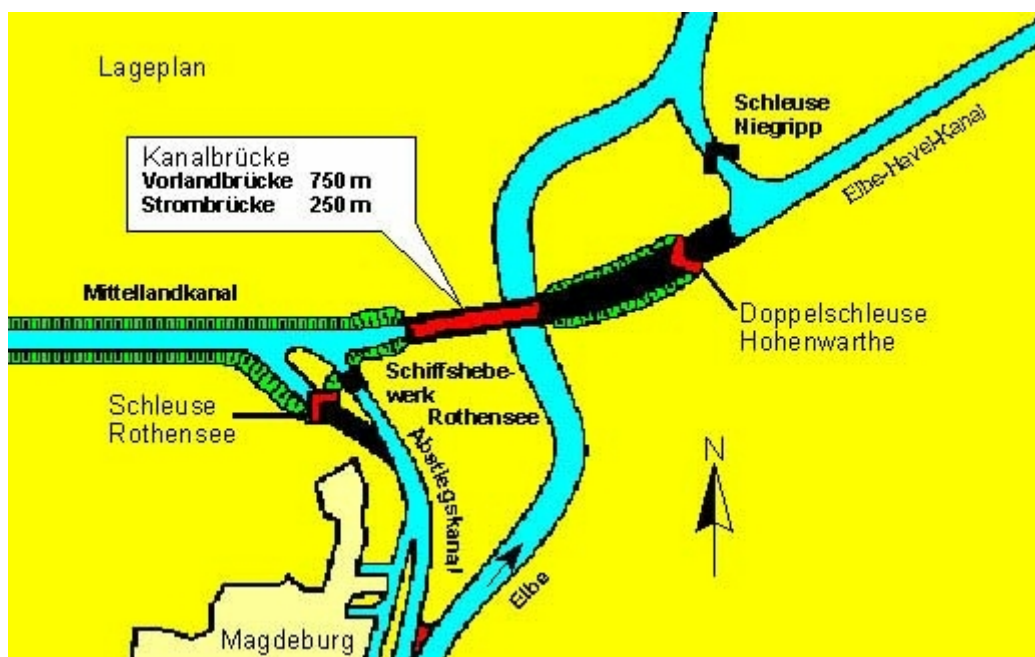
Wzrost długości statku może być rozpatrywany w aspekcie promieni łuków zakoli szlaku żeglugowego oraz szerokości tego szlaku; podobne wymogi ma wzrost szerokości statku. Zanurzenie statku zależy wprost od głębokości tranzytowej szlaku żeglugowego a także od jego szerokości w dnie drogi wodnej.

Promienie łuków zakoli, szerokość szlaków żeglugowych i ich głębokość tranzytowa wpływają na ocenę drogi wodnej pod kątem jej klasyfikacji .

Tendencje do wzrostu ładowności statków śródlądowych lub ich przestrzeni ładunkowych (wynikających także z głębokości tranzytowej i wysokości prześwitów pod mostami) mogą więc być realizowane w warunkach eksploatacji śródlądowych dróg wodnych o parametrach pozwalających na takie działanie. Jednocześnie na tych drogach

wodnych realizowane są znaczące inwestycje hydrotechniczne takie jak: niemiecki Projekt 17 (rys. 1.3.1, 1.3.2), Kanał Ren – Men – Dunaj (rys.1.4), czy kanalizacja ujścia Dunaju.

Tendencje podwyższania klas dróg wodnych dominują w strategii rozwoju żeglugi śródlądowej w Europie Zachodniej. gdzie drogi wodne (tworzone przede wszystkim przez rzeki alpejskie) mają głównie IV klasę i wyższą o znaczących głębokościach tranzytowych. Stan ten ilustruje rysunek 1.5.



Rys. 1.3.1. Obszar Projektu 17

Źródło: *Wasserstrassenkreuz Magdeburg*, Magdeburg 2003.



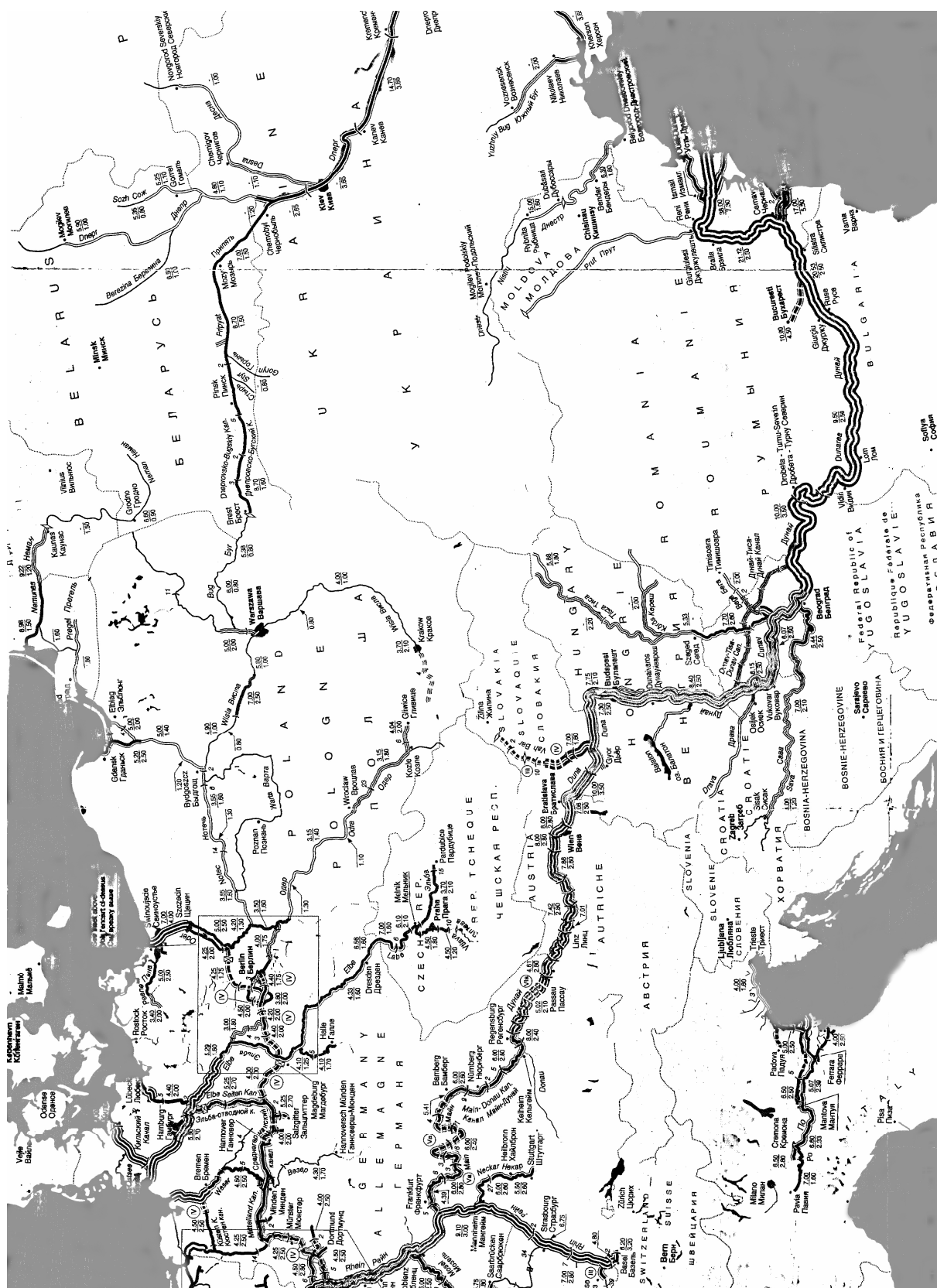
Rys. 1.3.2. Kanał mostowy na Łabie w Magdeburgu

Źródło: *Wasserstrassenkreuz Magdeburg*, Magdeburg 2003.



Rys. 1.4. Przebieg kanału Ren – Men – Dunaj

Źródło: materiały Deutsche Binnenreederrei



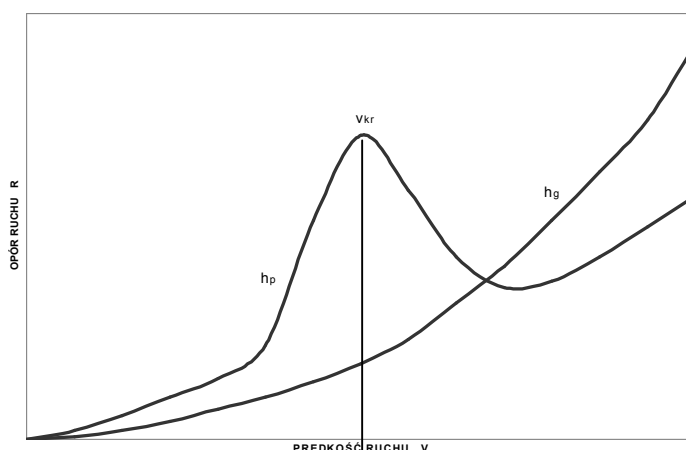
Rys. 1.5. Europejskie drogi wodne
 Źródło: Europejska Komisja Gospodarcza ONZ

Rysunek 1.5 wskazuje również na to, że polskie drogi wodne (rys. 1.3) generalnie są drogami o klasie od I do III. Ponadto odcinkowy a jednocześnie nieciągły charakter klasyfikacyjny najważniejszych z tych dróg, tworzą istotne ograniczenia dla wzrostu wymiarów statków i ich ładowności. Praktycznie zestaw pchany o ładowności 1000 t wymagający drogi III klasy (zmodyfikowany w Projekcie UE pn. INBAT), z nadmiarem wyczerpuje możliwości wzrostu ładowności statków eksploatowanych na polskich drogach wodnych. Jednocześnie ze względów środowiskowych, hydrologicznych, technicznych i finansowych nie ma możliwości istotnej zmiany ich klasyfikacji.

Czy tym samym żegluga śródlądowa w Polsce jest skazana na powolny dalszy regres czy należy poszukiwać innych efektywnych rozwiązań, w których – poza ładownością- istotną rolę odgrywa prędkość i energochłonność statków śródlądowych.

1.2 Aspekty prędkości ruchu statków śródlądowych

Statki śródlądowe pływają po akwenach o ograniczonej głębokości (h) bardzo często niewiele większej od ich zanurzenia (T). Jedną z cech ruchu nawodnych obiektów pływających po wodach płytkich jest ich charakterystyka oporowa zaprezentowana na rys.1.6.



Rys. 1.6. Charakterystyka oporowa ruchu obiektu na wodzie płytkiej (h_p) na tle oporu ruchu obiektu na wodzie głębokiej (h_g) z zaznaczeniem wartości (v_{kr}) – prędkości krytycznej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [18].

Z charakterystyki tej wynika, że w znakomitej części przedziału prędkości ruchu, opór ruchu (R) statku poruszającego się po wodzie płytkiej jest większy od oporu ruchu statku poruszającego się po wodzie głębokiej, co przekłada się na zainstalowaną moc napędową jednostek pływających. W zaprezentowanym przedziale prędkości - na wodzie płytkiej – z reguły występuje taka wartość prędkości (określana jako prędkość krytyczna), przy której opór ruchu osiąga lokalne maksimum tzn. że:

$$R_{\max} = f(v_{kr}) \quad (1.2)$$

Wobec powyższego, w charakterystyce oporów ruchu statku na wodzie płytkiej można wyróżnić zakres prędkości podkrytycznych v_p i nadkrytycznych v_n , które spełniają nierówności:

$$0 < v_p < v_{kr} \quad (1.3)$$

$$v_{kr} < v_n \quad (1.4)$$

Wartość prędkości krytycznej w pierwszym przybliżeniu wyznaczana jest poprzez wartość głębokowodnej liczby Froude'a o postaci:

$$Fr_h = v_{kr} / \sqrt{gh} \quad (1.5)$$

gdzie :

- g – przyspieszenie ziemskie
- h – głębokość akwenu

która w tym przypadku jest równa jedności.

W drugim przybliżeniu, wartość głębokowodnej liczby Froude'a determinująca prędkość krytyczną zależy od geometrii statku poruszającego się po płytkim akwenu, w tym od: współczynnika pełnotliwości części zanurzonej kadłuba (δ), stosunku jego długości do szerokości (L/B), stosunku szerokości statku do zanurzenia (B/T) oraz stosunku głębokości akwenu do zanurzenia statku (h/T). W tym przypadku liczba Fr_h przyjmuje wartości mniejsze od jedności, co powoduje zmniejszenie wartości prędkości krytycznej ruchu obiektu na akwenu o określonej głębokości.

Trendy wpływu tych czynników zmian na przyrost oporów jednostkowych w poszczególnych zakresach prędkości prezentuje tabela 1.8.

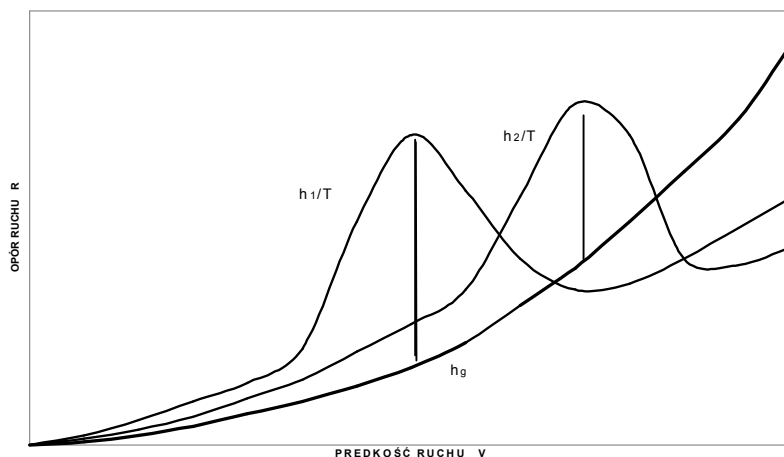
Tabela 1.8

Trendy wpływu czynników zmian na przyrost oporów jednostkowych

Czynniki zmian	Zakresy prędkości		
	Prędkość podkrytyczna	Prędkość krytyczna	Prędkość nadkrytyczna
H/T	malejący	malejący	malejący
L/B	malejący	rosnący	malejący
B/T	malejący	rosnący	malejący
δ	rosnący	rosnący	rosnący

Źródło: opracowanie własne.

Z powyższego zestawienia wynika, że czynnikami zmian o stałym trendzie w rozpatrywanych zakresach prędkości ruchu statku są: relacja głębokości akwenu do zanurzenia statku (h/T) oraz współczynnik pełnotliwości (δ). Natomiast przyrost oporu ruchu na wodzie płytkiej w stosunku do wody głębokiej maleje najbardziej istotnie wraz z rosnącą wartością h/T , co obrazuje rys. 1.7.



Rys. 1.7. Charakterystyka oporowa ruchu statku na wodzie płytkiej ze zmienną wartością h/T ; $h_1/T < h_2/T$

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na te zależności oraz intensywny przyrost oporu ruchu mający miejsce w przedziale prędkości podkrytycznych w praktyce – dla statków towarowych pływających po europejskich drogach śródlądowych – przyjmuje się, że ekonomiczna prędkość ruchu v_e na wodzie płytkiej realizowana w tym przedziale determinowana jest zbiorczą zależnością:

$$v_e = (46 - 0,65)\sqrt{gh} \quad (1.6)$$

i zależnościami szczegółowymi [12]:

- dla małych i średnich statków motorowych

$$v_e = 0,65 \sqrt{gh} \quad (1.7)$$

- dla dużych statków motorowych

$$v_e = (0,63 - 0,60) \sqrt{gh} \quad (1.8)$$

- dla jednorzędowych zestawów pchanych

$$v_e = (0,58 - 0,55) \sqrt{gh} \quad (1.9)$$

- dla dwurzędowych zestawów pchanych

$$v_e = (0,50) \sqrt{gh} \quad (1.10)$$

- dla trzyczędowych zestawów pchanych

$$v_e = (0,46) \sqrt{gh} \quad (1.11)$$

Z uwzględnieniem powyższych aspektów w tabeli 1.9. zostały określone krytyczne i eksploatacyjne prędkości ruchu statków śródlądowych pływających po akwenach o zróżnicowanej głębokości tranzytowej.

Tabela 1.9

Prędkości krytyczne i eksploatacyjne na wodach płytkich

Głębokość tranzytowa	Prędkość krytyczna $Fr_h = 1$		Prędkość eksploatacyjna
[m]	[m / s]	[km / h]	[km / h]
1,00	3,13	11,27	7,10
1,20	3,42	12,30	7,70
1,40	3,70	13,32	8,40
1,60	3,96	14,26	8,98
1,80	4,19	15,08	9,50
2,00	4,42	15,91	10,00
2,20	4,64	16,70	10,50
2,40	4,85	17,46	11,00
2,60	5,05	18,18	11,40
2,80	5,23	18,80	11,80
3,00	5,42	19,50	12,30

Zródło: opracowanie własne.

Z tabeli tej wynika, że większe głębokości tranzytowe a tym samym drogi wodne o wyższej klasie nie tylko umożliwiają stosowanie statków o większych wymiarach głównych i większych ładownościach ale także o większych prędkościach eksploatacyjnych.

Dla polskich śródlądowych dróg wodnych, z których najlepszymi parametrami charakteryzuje się Odrzańska Droga Wodna o zakładanej głębokości tranzytowej wynoszącej 1,80 m, eksploatacyjna prędkość ruchu w zakresie prędkości podkrytycznych jest ograniczona do 9-10 km/h i praktycznie stosowana w polskiej żegludze śródlądowej.

Czy w ramach istniejącej floty polskich armatorów można ten ruch przyspieszyć? Teoretycznie tak, stosując większą wartość h/T (tzn. zmniejszając zanurzenie), co zgodnie z charakterystyką oporową przesunie prędkość krytyczną w kierunku większych wartości prędkości ruchu. Tym samym można zwiększyć prędkość eksploatacyjną statków. Jednakże wzrost ten nie będzie duży, natomiast zmniejszy się istotnie ładowność statków. Znaczący wzrost prędkości można osiągnąć jedynie poprzez ruch statków w zakresie prędkości nadkrytycznych a więc poprzez stosowanie szybkich śródlądowych statków transportowych. Natomiast w zakresie prędkości podkrytycznych można szukać rozwiązań energooszczędnych

2. ENERGOOSZCZĘDNE STATKI PRĘDKOŚCI PODKRYTYCZNYCH

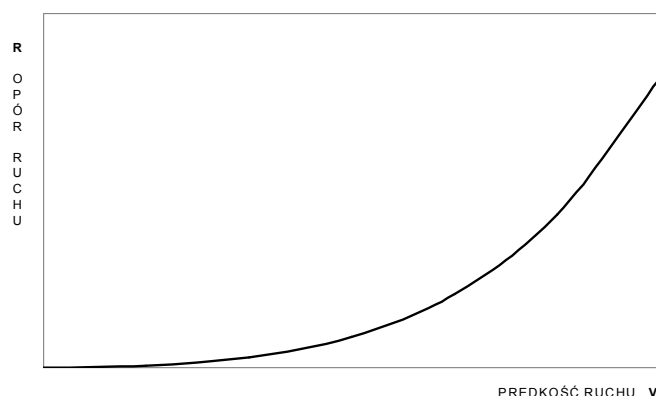
2.1. Uwarunkowania energooszczędności

Analiza ruchu statków w zakresie prędkości podkrytycznych daje możliwość innej ich oceny. Najbardziej znana i najczęściej stosowana zależność charakteryzująca energochłonność ruchu statków na wodzie głębokiej a także – w zakresie ekonomicznych prędkości podkrytycznych – na wodzie płytkiej ma znaną postać ogólną:

$$R = f(v) \quad (2.1)$$

gdzie: R – opór ruchu
 v – prędkość ruchu

Postać graficzną tej zależności prezentuje rysunek 2.1.



Rys.2.1. Charakterystyka oporu ruchu statku

Źródło: opracowanie własne.

Zależność ta – dla statków śródlądowych konwencjonalnych ma przebieg monotoniczny; nie ma w niej więc ekstremów na bazie których można by poszukiwać oszczędności energetycznych.

Ale w teorii okrętu [18] znana jest również inna zależność energetyczna. Jest to zależność o postaci:

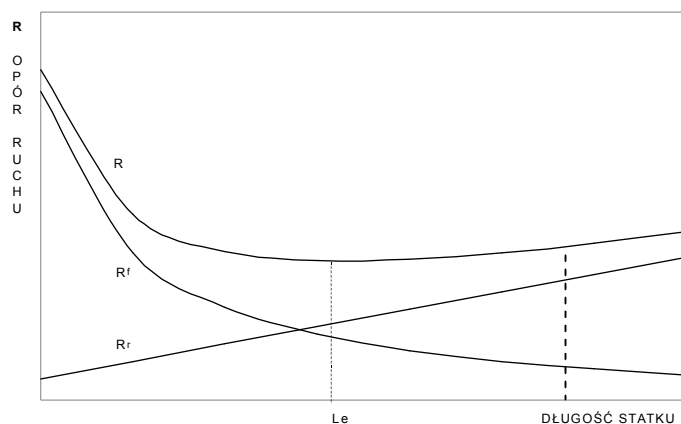
$$R = f(L) \quad (2.2)$$

gdzie: L – długość statku

tworząca przebieg niemonotoniczny z minimum dla efektywnej energetycznie wartości długości statku Le tworzącej zależność:

$$R_{min} = f(Le) \quad (2.3)$$

To minimum wynika z trendu przebiegu wartości dwóch składowych oporu ruchu statku; oporu tarcia (R_f) i oporu resztowego (R_r). Wraz ze wzrostem długości statku rośnie względny (jednostkowy) opór tarcia a maleje opór falowy co ilustruje rysunek 2.2.



Rys.2.2. Przebieg jednostkowego oporu ruchu statku w funkcji jego długości

Źródło: opracowanie własne na podstawie [18].

Tym samym obszar poszukiwań statku o minimalnej energochłonności obejmuje jego długość, ale oczywistym jest fakt, że wartość oporu ruchu zależna jest także od parametrów statku takich jak :

- szerokość statku - B ,
- zanurzenie statku - T ,
- współczynnik pełnotliwości kadłuba - δ ,
- prędkość ruchu - v ,

co wynika ze szczegółowej – oryginalnej [18] - postaci zależności:

$$R = 0,17 \Omega v^{1,825} + 1,45 (24 - L/B) \delta^{2,5} D/L^2 v^4 \quad (2.4)$$

określającej sposób wyznaczania oporu ruchu statku śródładowego,

gdzie: R – opór ruchu [kG],

Ω - powierzchnia zwilżona kadłuba statku [m^2],

D – wypór statku [T] ,

i postaci zmodyfikowanej:

$$R = [0,17 (2T+B) L v^{1,825} + 1,45 (24-L/B) \delta^{2,5} V/L^2 v^4] \gamma_w g \quad (2.5)$$

w której:

- R – opór ruchu [N]
- V -wyporność [m^3]
- γ_w - masa właściwa wody [t/m^3]
- g – przyspieszenie ziemskie [m/s^2]

Postać ta jako jedyna ze znanych zależności analitycznych obliczania oporu ruchu statku wyraźnie rozdziela dwa składniki oporu tj.:

- opór tarcia

$$R_f = 0,17 (2T+B)L v^{1,825} \gamma_w g \quad (2.6)$$

- opór resztowy (falowy)

$$R_r = 1,45(24-L/B) \delta^{2,5} V/L^2 v^4 \gamma_w g \quad (2.7)$$

umożliwiając analizę ich wartości wraz ze wzrostem długości statku a jednocześnie do oporu resztowego wprowadza relację L/B , która w istotny sposób kształtuje wartość tego oporu res. Ponadto przebieg funkcji $R = f(L)$ bazującej na zależności (2.5) wykazuje ekstremum adekwatne do trendu zaprezentowanego na rys.2.2.

Mankamentem tej metody jest brak odniesienia do warunków pływania statków śródlądowych na wodach płytkich wyrażanych :
relacją:

$$h/T \quad (2.8)$$

lub różnicą:

$$h - T \quad (2.9)$$

gdzie h – głębokość wody,

a tym samym nie uwzględniania dodatkowych oporów tarcia ruchu statku, wynikających z istnienia tzw. przepływu wstecznego.

Według J. Kulczyka i J. Wintera [12] za maksymalną wartość głębokości wody płytkiej można uważać taką, dla której spełniony jest warunek:

$$h/t = 3,0 \quad (2.10)$$

Wobec powyższego, zależność (2.5) może być stosowana tylko dla wód głębokich, dla których:

$$h/T > 3,0 \quad (2.11)$$

W towarowej żegludze śródlądowej takie warunki pływania praktycznie nie występują. Wynika to z dwóch przyczyn:

- relatywnie małych głębokości dróg śródlądowych
- maksymalizacji zanurzenia statku celem zwiększania jego ładowności

Na polskich drogach śródlądowych w znakomitej większości relacja głębokości do zanurzenia wynosi:

$$h/T = 1,1 - 1,2 \quad (2.12)$$

i tym samym drogi te zaliczane są do kategorii wód bardzo płytkich [12].

Stąd poszukiwanie rozwiązań dla statków towarowych o minimalnej energochłonności nie może być przeprowadzone stosunkowo prostą metodą analityczną opartą na zależności (2.5).

Jednakże w w/w kontekście o warunkach pływania na wodach głębokich można mówić w odniesieniu do statków pasażerskich, w których obciążenie wynikające z masy

ładunku (pasażerów) stanowi niewielką część wyporu i które tym samym mogą pływać przy relatywnie małych zanurzeniach tworzących większe wartości h/T na wodach płytkich.

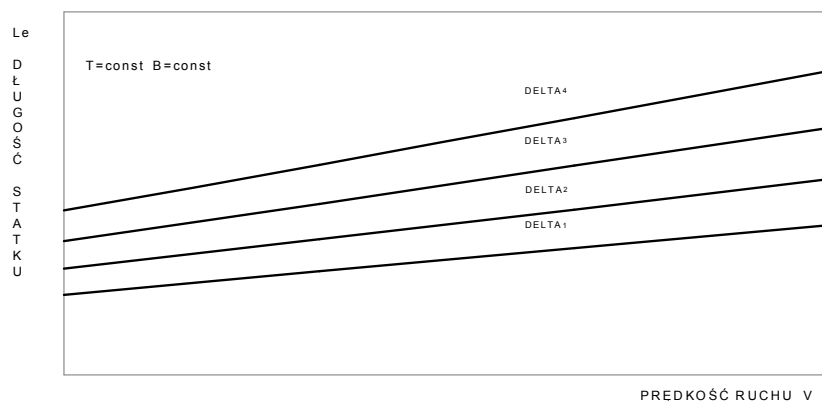
Wartość długości energooszczędnego potencjalnego statku pasażerskiego – pływającego po wodach głębokich - spełniająca kryterium minimum oporu, wyznaczana jest z warunku tworzonego przez pierwszą pochodną zależności (2.5) tj.:

$$dR/dL = 0 \quad (2.13)$$

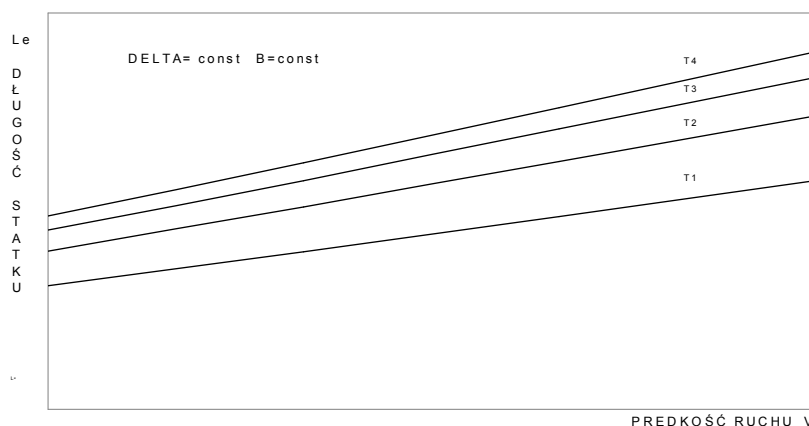
a w konsekwencji z zależności o postaci:

$$L_e = [34,8 * \delta^{3,5} * B * T * v^{2,175} / 0,17 * (2T + B)]^{0,5} \quad (2.14)$$

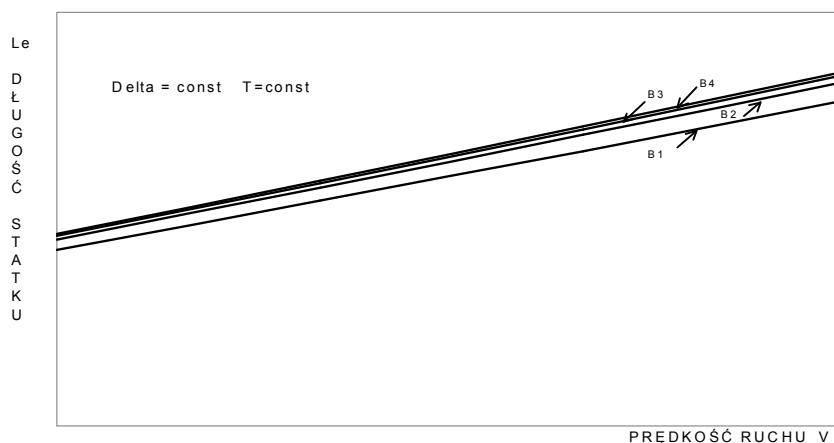
Wpływ poszczególnych parametrów kadłuba na wartości długości statku L_e przedstawiają rys.rys. 2.3, 2.4, 2.5.



Rys. 2.3. Wpływ parametru δ (DELTA) na długość statku; $\delta_1 < \delta_2 < \delta_3 < \delta_4$
Źródło: opracowanie własne.

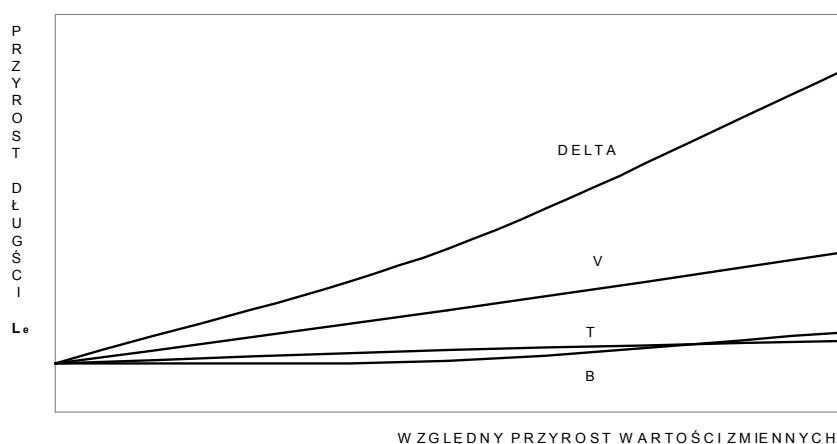


Rys. 2.4. Wpływ parametru T na długość statku; $T_1 < T_2 < T_3 < T_4$
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2.5. Wpływ parametru B na długość statku; $B_1 < B_2 < B_3 < B_4$
Źródło: opracowanie własne.

Wzrost wartości tych parametrów w zróżnicowanym stopniu skutkuje wzrostem długości L_e tym bardziej intensywnym im większa jest prędkość ruchu statku. Intensywność wpływu poszczególnych parametrów oraz prędkości ruchu na poszukiwaną długość statku obrazuje rysunek 2.6.



Rys. 2.6. Intensywność wpływu poszczególnych parametrów kadłuba statku oraz jego prędkości na poszukiwaną długość L_e .
Źródło: opracowanie własne.

Z przebiegu powyższych zależności można wnioskować, że największy wpływ na przyrost długości L_e ma współczynnik pełnotliwości kadłuba δ (DELTA), a w następnej kolejności prędkość ruchu v ; wpływ pozostałych parametrów tj. szerokości B i zanurzenia T jest znakomicie mniejszy.

2.2. Energooszczędne statki pasażerskie

Wartości długości statków spełniających kryterium minimum oporu ruchu, wyznaczone z zależności o postaci (13) wynikającej z pierwszej pochodnej zależności (2.5) tworzą zbiór statków efektywnych energetycznie o postaci $\{L_e\}$, którego elementy spełniają warunek:

$$L_e = \psi(R_{\min}) \quad (2.15)$$

Zbiór ten jednocześnie musi spełniać warunki brzegowe, wynikające z ograniczeń geometrii polskich dróg wodnych, zasad ruchu na wodzie głębokiej oraz ograniczeń wynikających z przepisów administracyjnych (Ustawa o żegludze śródlądowej).

Przykładowy zbiór $\{Le_j\}$ tworzą statki jednokadłubowe, których wybrane parametry charakteryzują się określonymi nieciągłymi wartościami.

I tak:

- szerokości statków przyjmują wartości: 5,0 m, 7,0 m, 9,0 m; są one głównie determinowane szerokościami żeglugowej zabudowy hydrotechnicznej,
- zanurzenia statków mają wartości: 0,5 m, 0,75 m, 1,0 m i są adekwatne kolejno do głębokości 1,5 m – 3,0 m; 2,25 m – 3,0 m ; 3,0 m, spełniając w każdym przypadku warunek wody głębokiej tj. $h/T=3$,
- współczynnik pełnotliwości przyjmuje wartość 0,5, która cechuje statki pasażerskie
- prędkości ruchu przyjmują wartości: 10,0 km/h, 12,0 km/h, 14,0 km/h, które wynikają z wartości prędkości granicznych (eksploatacyjnych) dla przyjętych głębokości.

Elementy podzbiorów (typoszeręgów statków tworzonych w aspekcie prędkości ruchu) zbioru efektywnych energetycznie pasażerskich jednokadłubowych statków śródlądowych prezentują tabele 2.1.1 – 2.1.3.

Tabela 2.1.1

Typoszeręg 1 - statki o prędkości 10 km/h

Typ statku	Opór ruchu - R [kN]									L [m]	L/B	B/T
	Minimalna głębokość – h [m]											
	1,50			2,25			3,00					
	Zanurzenie statku – T [m]											
	0,50			0,75			1,00					
	Szerokość statku – B [m]											
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0			
1.1	1,09									8,2	1,64	10,0
1.2		1,51								8,4	1,20	14,0
1.3			1,93							8,5	0,94	18,0
1.4				1,40						9,6	1,92	6,7
1.5					1,92					10,0	1,42	9,3
1.6						2,44				10,2	1,13	12,0
1.7							1,68			10,7	2,14	5,0
1.8								2,23		11,2	1,60	7,0
1.9									2,89	11,5	1,28	6,0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.1.2

Typoszereg 2 - statki o prędkości 12 km/h

Typ statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	L/B	B/T
	Minimalna głębokość – h [m]											
	1,50			2,25			3,00					
	Zanurzenie statku - T [m]											
	0,50			0,75			1,00					
	Szerokość statku – B [m]											
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0			
2.1	1,82									9,97	1,99	10,0
2.2		2,52								10,2	1,45	14,0
2.3			3,22							10,3	1,15	18,0
2.4				2,32						11,7	2,34	6,7
2.5					3,19					12,1	1,73	9,3
2.6						4,05				12,4	1,38	12,0
2.7							2,78			13,1	2,62	5,0
2.8								3,79		13,6	1,88	7,0
2.9									4,81	14,0	1,56	9,0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.1.3

Typoszereg 3 - statki o prędkości 14 km/h

Typ statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	L/B	B/T
	Minimalna głębokość – h [m]											
	1,50			2,25			3,00					
	Zanurzenie statku – T [m]											
	0,50			0,75			1,00					
	Szerokość statku – B [m]											
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0			
3.1	2,83									11,7	2,34	10,0
3.2		3,92								12,0	1,71	14,0
3.3			5,01							12,3	1,37	18,0
3.4				3,59						13,9	2,78	6,7
3.5					4,95					14,3	2,04	9,3
3.6						6,29				14,6	1,62	12,0
3.7							4,29			15,4	3,08	5,0
3.8								5,88		16,1	2,30	7,0
3.9									7,45	16,5	1,83	9,0

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na uwarunkowania wynikające z hydromechaniki okrętu i jego konstrukcji, zbiór rozwiązań efektywnych energetycznie podlega weryfikacji, której efektem jest zbiór rozwiązań dopuszczalnych $\{Ldj\}$ statków jednokadłubowych Ldj stanowiący podzbiór zbioru $\{Lej\}$ tzn. że:

$$Ldj \in \{Ld\} \subset \{Lej\} \quad (2.16)$$

Podstawowe kryterium tej weryfikacji zbiorów wymaga jednoczesnego spełnienia relacji wymiarów głównych statku o postaciach i wartościach przedstawionych poniżej.

$$L/B \geq 3 \quad (2.17)$$

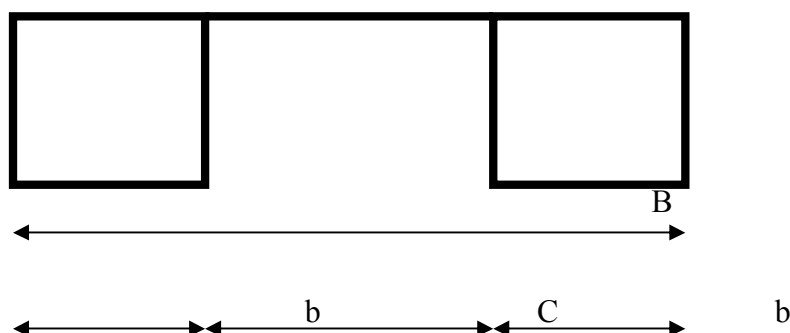
i

$$2 \leq B/T \leq 6 \quad (2.18)$$

Z przykładowego zbioru $\{Lej\}$ tylko jeden statek (typu 3.7) spełnia to kryterium. Natomiast pozostałe statki tego zbioru charakteryzują się zbyt małym stosunkiem L/B co wskazuje na duży udział oporu falowego (resztowego) w całkowitym oporze ruchu w przyjętym zakresie prędkości ruchu, oraz zbyt dużym stosunkiem B/T .

Stąd kolejnym krokiem w poszukiwaniu rozwiązań efektywnych energetycznie będzie tworzenie zbioru jednostek dwukadłubowych, które z założenia powinny charakteryzować się wyższymi wartościami relacji długości statku do szerokości pojedynczego kadłuba (przy nie zmienianej szerokości całkowitej statku) a jednocześnie niższymi relacjami szerokości pojedynczego kadłuba statku do jego zanurzenia.

Konfigurację konstrukcji jednostek dwukadłubowych prezentuje rysunek 2.7.



Rys.2.7. Konfiguracja i wymiary konstrukcji jednostki dwukadłubowej

Źródło: opracowanie własne na podstawie [1].

Cechą tej konfiguracji wyrażoną parametrem c jest zależność wymiarów o postaci [1]:

$$c = C / 2b \quad (2.19)$$

gdzie: b – szerokość pojedynczego kadłuba

Cecha ta w praktyce [1] może przyjmować wartości z przedziału:

$$0,3 \leq c \leq 0,9 \quad (2.20)$$

Przykładowy zbiór efektywnych energetycznie dwukadłubowych statków pasażerskich $\{L_{ek}\}$ będą tworzyły statki, których parametry charakteryzują się następującymi wartościami:

- szerokości całkowite statków B przyjmują wartości 5,0 m, 7,0 m, 9,0 m a odpowiadające im szerokości pojedynczych kadłubów b – wartości: 1,66 m, 2,33 m, 3,00 m wynikające z założenia, że współczynnik $c = 0,5$.
- zanurzenia statków przyjmują wartości: 0,5 m, 0,75 m, 1,0 m, a $h/T=3$ w każdym przypadku
- współczynnik pełnotliwości kadłubów przyjmuje wartość 0,7
- prędkości ruchu - 10,0 km/h, 12,0 km/h, 14,0 km/h.

Charakterystykę elementów podzbiorów tego zbioru prezentują tabele 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3.

Tabela 2.2.1

Typoszereg 1 - statki o prędkości 10 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	L/b	b/T
	Minimalna głębokość – h [m]											
	1,50			2,25			3,00					
	Zanurzenie statku – T [m]											
	0,50			0,75			1,00					
	Szerokość statku – B [m]											
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0			
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]											
	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00			
1.1	1,28									12,8	7,7	3,3
1.2		1,78								13,6	5,9	4,7
1.3			2,28							14,0	4,7	6,0
1.4				1,68						14,4	8,7	2,2
1.5					2,31					15,5	6,6	3,1
1.6						2,93				16,2	5,4	4,0
1.7							2,06			15,4	9,3	1,7
1.8								2,80		16,8	7,2	2,3
1.9									3,53	17,8	5,9	3,0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.2.2

Typoszereg 2 - statki o prędkości 12 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	L/b	b/T
	Minimalna głębokość – h [m]											
	1,50			2,25			3,00					
	Zanurzenie statku – T [m]											
	0,50			0,75			1,00					
	Szerokość statku – B [m]											
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0			
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]											
	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00			
2.1	2,07									15,5	9,3	3,3
2.2		2,91								16,4	7,0	4,7
2.3			3,75							17,0	5,7	6,0
2.4				2,69						17,5	10,5	2,2
2.5					3,75					18,8	8,1	3,1
2.6						4,79				19,7	6,6	4,0
2.7							3,28			18,7	11,3	1,7
2.8								4,55		21,0	9,0	2,3
2.9									5,76	21,6	7,2	3,0

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.2.3

Typoszereg 3 - statki o prędkości 14 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	L/b	b/T
	Minimalna głębokość – h [m]											
	1,50			2,25			3,00					
	Zanurzenie statku – T [m]											
	0,50			0,75			1,00					
	Szerokość statku – B [m]											
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0			
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]											
	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00			
3.1	3,10									18,3	11,0	3,3
3.2		4,42								19,5	8,4	4,7
3.3			5,73							20,1	6,7	6,0
3.4				4,00						20,6	12,4	2,2
3.5					5,65					22,2	9,5	3,1
3.6						7,85				23,2	7,7	4,0
3.7							4,85			22,1	13,3	1,7
3.8								6,80		24,1	10,3	2,3
3.9									8,72	25,5	8,5	3,0

Źródło: opracowanie własne.

Również ten zbiór musi podlegać weryfikacji opartej o kryteria (2.17) i (2.18) w ich zmodyfikowanej postaci tj.:

$$L/b \geq 3 \quad (2.21)$$

$$2 \leq b/T \leq 6 \quad (2.22)$$

W wyniku weryfikacji powstaje zbiór dwukadłubowych rozwiązań dopuszczalnych - zaprezentowany w tabelach 2.3.1, 2.3.2, 2.3.3, o elementach L_{dk} ; zbiór ten jest podzbiorem rozwiązań efektywnych energetycznie tzn., że:

$$L_{dk} \in \{L_{dk}\} \subset \{L_{ek}\} \quad (2.23)$$

Tabela 2.3.1

Typoszerzeg 1 - statki o prędkości 10 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	V [m ^{^3}]	Rmin /V 10 ^{^3} [kN/ m ^{^3}]	Rmin /LxB 10 ^{^3} [kN/ m ^{^2}]
	Minimalna głębokość – h [m]												
	1,50			2,25			3,00						
	Zanurzenie statku – T [m]												
	0,50			0,75			1,00						
	Szerokość statku – B [m]												
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0				
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]												
	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00				
1.1	1,28									12,8	15	86	20
1.2		1,78								13,6	22	81	18
1.3			2,28							14,0	28	81	18
1.4				1,68						14,4	24	67	23
1.5					2,31					15,5	38	61	21
1.6						2,93				16,2	50	57	20
1.8								2,80		16,8	54	52	24
1.9									3,53	17,8	74	47	22

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.3.2

Typoszereg 2- statki o prędkości 12 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	V [m ^3]	R min /V	Rmin /LxB
	Minimalna głębokość – h [m]												
	1,50			2,25			3,00						
	Zanurzenie statku – T [m]												
	0,50			0,75			1,00						
	Szerokość statku – B [m]												
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0				
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]												
	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00				
2.1	2,07									15,5	18	115	26
2.2		2,91								16,4	26	111	25
2.3			3,75							17,0	36	104	24
2.4				2,69						17,5	30	89	31
2.5					3,75					18,8	46	81	28
2.6						4,79				19,7	62	77	27
2.8								4,55		21,0	66	66	31
2.9									5,76	21,6	90	63	30

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.3.3

Typoszereg 3 - statki o prędkości 14 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	V [m ^3]	Rmin /V 10^-3 [kN/ m^3]	Rmin /LxB 10^-3 [kN/ m^2]
	Minimalna głębokość – h [m]												
	1,50			2,25			3,00						
	Zanurzenie statku – T [m]												
	0,50			0,75			1,00						
	Szerokość statku – B [m]												
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0				
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]												
	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00	1,66	2,33	3,00				
3.1	3,10									18,3	22	146	34
3.2		4,42								19,5	32	140	32
3.3			5,73							20,1	44	136	32
3.4				4,00						20,6	36	111	39
3.5					5,65					22,2	54	104	36
3.6						7,85				23,2	74	106	37
3.8								6,80		24,1	78	87	40
3.9									8,72	25,5	10 3	82	38

Źródło: opracowanie własne.

W przypadku jednostek dwukadłubowych zbiór $\{L_{dk}\}$ tworzony jest prawie przez wszystkie elementy zbioru $\{L_{ek}\}$. Ze względu na relację b/T do zbioru rozwiązań dopuszczalnych nie wchodzi tylko jednostki typu 1.7, 2.7 i 3.7, a więc statki o najmniejszej szerokości i o największym zanurzeniu.

Wyróżnionymi w zbiorze $\{L_{dk}\}$ cechami są zależności pomiędzy minimalnym oporem ruchu statków a objętością zanurzonej części kadłubów a także powierzchnią całkowitą pokładów. Wartości zależności R_{min}/V mają malejący trend dla ustalonej prędkości ruchu i rosnącej długości statku, jego szerokości i zanurzenia. Tendencje malejące wykazuje także wartość relacji R_{min}/LxB przy ustalonej prędkości i zanurzeniu oraz rosnącej długości i szerokości statku. Jednocześnie wartości obydwu relacji są stosunkowo małe co - poza możliwością zastosowania energooszczędnego klasycznego systemu napędowego - skłania do poszukiwań alternatywnych w tym odnawialnych źródeł energii służącej do napędu statków, obniżających koszty ich eksploatacji.

2.3. Alternatywne źródła energii w systemach napędowych statków pasażerskich

Tendencje do gospodarczego wykorzystanie energii odnawialnych powoli ale sukcesywnie rosną. Rozbudowywane i doskonalone są systemy elektroenergetyczne bazujące na energii wody i wiatru. Budowane są systemy wykorzystujące energię cieplną i świetlną słońca czy energię geotermalną. W każdym z wyżej wymienionych przypadków instalacje energetyczne są instalacjami stacjonarnymi.

Wykorzystanie energii wiatru i wody ma swoją długą historię. Służyły one nie tylko gospodarczym obiektom stacjonarnym ale i obiektom mobilnym tj. statkom wodnym. Ze względu na zmienność wartości tych energii w czasie i brak możliwości ich akumulacji na obiektach mobilnych, ruch tych obiektów był uzależniony od niecyklicznych zjawisk przyrodniczych.

Współczesna rzeczywistość transportowa wymaga ciągłej gotowości środków transportu do realizacji zadań transportowych. Stąd warunkiem zastosowania energii odnawialnych - celem generowania ruchu obiektów mobilnych - jest ciągłość lub cykliczność ich występowania. Praktycznie taką energią jest energia cieplna i świetlna słońca, której emisja jest powtarzalna każdej doby w zmiennym czasie jej występowania i w zmiennej wartości.

Od wielu lat pojawiają się eksperymentalne konstrukcje mobilne w postaci kołowych pojazdów drogowych, wykorzystujące energię świetlną słońca w czasie rzeczywistym. Jednakże gospodarcze (transportowe) ich wykorzystanie jest raczej z góry skazane na niepowodzenie. Energie odnawialne są energiami rozproszonymi. Ich koncentracja dla celów użytkowych wymaga relatywnie dużych objętości lub dużych powierzchni odbioru energii. Dla transportowych obiektów mobilnych użyteczny tj. powierzchniowy warunek koncentracji mocy energetycznej można wyrazić dwoma parametrami:

- pożądaną (na dzisiaj) wartością mocy napędu przypadającą na tonę masy całkowitej środka transportu
- pożądaną powierzchnią odbioru promieniowania świetlnego na tonę masy całkowitej przy założeniu 10% sprawności baterii fotowoltaicznych dla gęstości mocy promieniowania 1 kW/m^2 [31].

Wartości tych parametrów w odniesieniu do różnych rodzajów środków transportu towarowego prezentuje tabela 2.4.

Tab.2.4

Wartość parametrów koncentracji mocy

Rodzaj środka transportu	Parametr koncentracji mocy	
	kW/t	m ² /t
Samochód osobowy	70	700
Autobus	18	180
Szynobus	7	70
Pociąg pasażerski	5	50
Statek pasażerski śródlądowy	2	20

Źródło: opracowanie własne.

Jak widać, najmniejszy stopień koncentracji mocy ma miejsce w statkach śródlądowych. Można więc postawić tezę, że wykorzystanie energii świetlnej słońca jest najbardziej prawdopodobne w pływających pasażerskich śródlądowych środkach transportowych żeglugi śródlądowej.

Kryterium energetyczne dotyczące oceny możliwości zastosowania baterii fotowoltaicznych jako przetwornika i wtórnego źródła energii wynika z niezbędnej wartości powierzchni poziomej (porównywalnej z powierzchnią pokładu) jako potencjalnego miejsca geometrycznego usytuowania tych baterii. Determinowane jest ono zależnościami cząstkowymi o postaci:

$$N_o = R_{\min} v / 1,02 \quad (2.24)$$

gdzie: - N_o – moc holowania [kW]

- $R_{\min}$ – opór ruchu [kN]

- v – prędkość ruchu [m/s]

$$\xi_o = N_o / N_d = \xi_k \xi_r \eta_p \quad (2.25)$$

gdzie: ξ_o – sprawność napędowa, N_d – moc doprowadzona do pędnika, ξ_k – sprawność kadłuba, ξ_r – sprawność rotacyjna, η_p – sprawność pędnika

$$N_d = \eta_w \eta_r \eta_e N_w \quad (2.26)$$

gdzie: η_w – sprawność linii wału, η_r – sprawność przekładni redukcyjnej, η_e – sprawność silnika elektrycznego, N_w – moc wejściowa silnika elektrycznego

$$N_w = S \eta_s \eta_i n \quad (2.27)$$

gdzie: S – powierzchnia baterii fotowoltaicznych, η_s – sprawność baterii fotowoltaicznych, η_i – sprawność systemu przesyłu energii elektrycznej, n – gęstość mocy baterii fotowoltaicznej (kW/m²)

Częstkowe zależności umożliwiają utworzenie zależności scalonej o postaci:

$$r_{\min} = R_{\min}/S = n \eta_s \eta_i \eta_w \eta_r \eta_e \xi_k \xi_r \eta_p 1,02 / v \quad (2.28)$$

gdzie: $r_{\min}$ – opór jednostkowy przypadający na metr kwadratowy powierzchni poziomej jednostki pływającej.

Przy założeniach, że: $n = 1 \text{ kW/m}^2$; $\eta_i = 1$; $\eta_w = 0,95$; $\eta_r = 0,97$; $\eta_e = 0,9$; $\xi_k = 1,17$; $\xi_r = 1$; $\eta_p = 0,35$,

i dla zróżnicowanych wartości prędkości: $v = 10; 12; 14 \text{ km/h}$

oraz $\eta_s = 0,1; 0,2; 0,3$,

dopuszczalne wartości $r_{\min}$ - stanowiące jednocześnie warunki brzegowe tego zbioru - prezentuje tabela 2.5.

Tab.2.5

Dopuszczalne wartości oporu jednostkowego [kN/m^2]

Sprawność baterii fotowoltaicznych	Prędkość ruchu [km/h]		
	10	12	14
0,1	0,0125	0,0104	0,0089
0,2	0,0250	0,0208	0,0198
0,3	0,0375	0,0312	0,0287

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na wartości zależności $R_{\min}/V$ i $R_{\min}/LexB$ (tabele 2.3.1 – 2.3.3) w zbiorze rozwiązań dopuszczalnych $\{L_{dk}\}$ mogą znaleźć się statki, które spełniają kryterium energetyczne tworząc nowy zbiór rozwiązań alternatywnych $\{L_{ak}\}$:

$$\{L_{ak}\} \subset \{L_{dk}\} \quad (2.29)$$

Zakres zbioru rozwiązań alternatywnych prezentują tabele 2.6.1 – 2.6.3 .

Tab.2.6.1

Typoszereg 1 - statki o prędkości 10 km/h

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Opór jednostkowy [kN /m^2] / Stopień wykorzystania potencjalnej mocy elektrycznej baterii								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1											
0,2	1.1	12,8	0,02 0,8	0,018 0,72	0,018 0,72	0,023 0,92	0,021 0,084	0,020 0,80	0,024 0,96	0,022 0,88	
	1.2	13,6									
	1.3	14,0									
	1.4	14,4									
	1.5	15,5									
	1.6	16,2									
	1.8	16,8									
1.9	17,8										
0,3	1.7	15,4						0,026 0,69			

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.6.2

Typoszereg 2 - statki o prędkości 12 km/h

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Opór jednostkowy [kN /m^2] / Stopień wykorzystania potencjalnej mocy elektrycznej baterii								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1											
0,2											
0,3	2.1	15,5	0,026 0,84	0,025 0,806	0,024 0,77	0,031 1,00	0,028 0,90	0,027 0,88	0,031 1,00	0,030 0,97	
	2.2	16,4									
	2.3	17,0									
	2.4	17,5									
	2.5	18,8									
	2.6	19,7									
	2.8	21,0									
	2.9	21,6									

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.6.3

Typoszereg 3 -statki o prędkości 14 km/h

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Opór jednostkowy [kN /m^2] / Stopień wykorzystania potencjalnej mocy elektrycznej baterii								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1											
0,2											
0,3											

Źródło: opracowanie własne.

W zaprezentowanym zbiorze rozwiązań alternatywnych, statki typoszerogu pierwszego nie mogą bazować na energii elektrycznej uzyskiwanej z baterii ogniw fotowoltaicznych o sprawności 0,1. Znakomita część statków tego typoszerogu może uzyskiwać pożądaną ilość mocy elektrycznej w przypadku sprawności równej 0,2, a typ 1.7, przy sprawności ogniw równej 0,3.

W drugim z typoszerogów zbioru, większość rozwiązań może funkcjonować tylko przy sprawności baterii ogniw 0,3.

W trzecim typoszerogu żaden ze statków zbioru dopuszczalnego nie spełnia warunków brzegowych określonych w tabeli 2.5.

Jednocześnie we wszystkich przypadkach stopień wykorzystania maksymalnej mocy elektrycznej baterii tych statków (0,72 – 1,00) jest praktycznie zbyt duży, co stanowi o małym prawdopodobieństwie możliwości kumulacji energii (tj. tworzenia zapasów energii) lub dużej wrażliwości na zmienność promieniowania świetlnego Słońca. Może to skutkować zmniejszeniem prędkości ruchu statku.

Wobec powyższych uwag, uzyskany wynik nie może być uznany za zadowalający. Wynik ten można zrationalizować stosując przynajmniej częściową optymalizację parametrów zbioru rozwiązań dopuszczalnych.

2.4. Częstkowe kryteria optymalizacyjne statków pasażerskich

Zaprezentowane zbiory statków dwukadłubowych operują wielkością długości statku jako wielkością o optymalizowanej wartości wynikającą z kryterium minimalnego oporu ruchu. Zbiory te cechują również inne wielkości, które mogą podlegać optymalizacji.

Czynnikiem istotnym dla zbioru rozwiązań alternatywnych jest relacja R_{min} / V . Minimalizacja wartości tej relacji może nastąpić poprzez działania zmniejszające opór ruchu i lub zwiększające wyporność statku. O wartości oporu całkowitego (R) decydują wartości oporu tarcia (R_f) i oporu resztowego (R_r). Opór tarcia jest wprost proporcjonalny do wartości zwilżonej powierzchni kadłuba. Minimalizacja tej powierzchni – bez zmiany wyporności statku – w jednostkach dwukadłubowych wymaga analizy stosunku b/T .

Relację R_f/V można wyrazić zależnością:

$$R_f/V = f\{\bar{\Omega}(B,T) / V(B,T,\delta)\} \quad (2.30)$$

gdzie: $\bar{\Omega}$ - jednostkowa (na mb) powierzchnia zwilżona o wartości:

$$\bar{\Omega} = 2\bar{T} + B \quad (2.31)$$

$\bar{V}$ – jednostkowa wyporność, o wartości:

$$V = \bar{B} \cdot \bar{T} \cdot \delta \quad (2.32)$$

Relację R/V można również wyrazić zależnością o postaci:

$$(R/V) = 2/T(b/T) \delta + (b/T) / B \delta \quad (2.33)$$

Minimum tej wielkości – ze względu na stosunek b/T – określa warunek wyrażony pierwszą pochodną zależności (2.27):

$$d(R/V)/d(b/T) = 0 \quad (2.34)$$

z którego wynika, że stosunek $b/T = 2$ determinuje minimalną powierzchnię zwilżoną kadłuba statku.

Konsekwencją tego wyniku jest założenie, że przy ograniczonych warunkach brzegowych zanurzeniach statków, szerokości pojedynczych kadłubów katamaranów przyjmują wartości:

- dla $T = 0,50$ m ; $b = 1,0$ m
- dla $T = 0,75$ m ; $b = 1,5$ m
- dla $T = 1,00$ m ; $b = 2,0$ m

Powyższe wartości szerokości kadłubów spełniają ograniczenia określone wielkością c (wzór 2.20) dla przyjętych - w warunkach brzegowych - całkowitych szerokości statków.

Drugim czynnikiem determinującym efektywność rozwiązań alternatywnych jest minimalizacja wartości relacji $R_{min} / L_{dk} B$. Zmniejszenie wartości tej relacji może nastąpić w wyniku zwiększenia długości statku. Istotne zwiększenie długości (zgodnie z rys.2.6) następuje na skutek wzrostu wartości współczynnika pełnotliwości δ . Wartość tego współczynnika przyjęta w warunkach brzegowych wynosiła 0,7. Natomiast praktyczna maksymalna jego wartość może być równa 0,9 i w tym przypadku stanowi element optymalizacji cząstkowej.

Na bazie zaprezentowanych dwóch elementów optymalizacji cząstkowej - przy zachowaniu warunków brzegowych dotyczących zanurzenia, całkowitej szerokości statków oraz prędkości ruchu – wygenerowane zostają ponownie zbiory rozwiązań dopuszczalnych i alternatywnych, które jednocześnie traktowane są jako zbiory okołooptymalne tj. $\{L_{dok}\}$ i $\{L_{aok}\}$. Statki zbioru $\{L_{dok}\}$ mogą być wyposażone w systemy napędowe klasyczne lub hybrydowe (spalinowo – elektryczne); podstawowym systemem napędowym statków zbioru $\{L_{aok}\}$ powinien być napęd elektryczny czerpiący energię „w czasie rzeczywistym” z baterii słonecznych. Elementy tych zbiorów prezentują tabele 2.7.1 – 2.7.3 (zbiór $\{L_{dok}\}$) i 2.8.1 – 2.8.3 (zbiór $\{L_{aok}\}$).

Tabela 2.7.1

Typoszereg 1 - statki o prędkości 10 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	V [m ^3]	Rmin /V 10^-3 [kN/ m^3]	Rmin /LxB 10^-3 [kN/ m^2]
	Minimalna głębokość – h [m]												
	1,50			2,25			3,00						
	Zanurzenie statku – T [m]												
	0,50			0,75			1,00						
	Szerokość statku – B [m]												
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0				
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]												
	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	2,00	2,00	2,00				
1.1	0,99									17,8	8	123	11
1.2		0,99								17,8	8	123	8
1.3			0,99							17,8	8	123	6
1.4				2,03						21,8	22	92	19
1.5					2,03					21,8	22	92	13
1.6						2,03				21,8	22	92	10
1.7							3,32			25,1	45	73	26
1.8								3,32		25,1	45	73	19
1.9									3,32	25,1	45	73	15

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.7.2

Typoszereg 2 - statki o prędkości 12 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	V [m ^{^3}]	Rmin /V 10 ^{^-3} [kN/ m ^{^3}]	Rmin /LxB 10 ^{^-3} [kN/ m ^{^2}]
	Minimalna głębokość – h [m]												
	1,50			2,25			3,00						
	Zanurzenie statku – T [m]												
	0,50			0,75			1,00						
	Szerokość statku – B [m]												
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0				
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]												
	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	2,00	2,00	2,00				
2.1	1,46									21,6	10	149	13
2.2		1,46								21,6	10	149	10
2.3			1,46							21,6	10	149	7
2.4				3,10						26,5	27	115	23
2.5					3,10					26,5	27	115	17
2.6						3,10				26,5	27	115	13
2.7							5,16			30,5	55	94	34
2.8								5,16		30,5	55	94	24
2.9									5,16	30,5	55	94	19

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 2.7.3

Typoszereg 3 - statki o prędkości 14 km/h

Typ Statku	Opór ruchu – R [kN]									L [m]	V [m ^{^3}]	Rmin /V 10 ^{^3} [kN/ m ^{^3}]	Rmin /LxB 10 ^{^3} [kN/ m ^{^2}]
	Minimalna głębokość – h [m]												
	1,50			2,25			3,00						
	Zanurzenie statku – T [m]												
	0,50			0,75			1,00						
	Szerokość statku – B [m]												
	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0				
	Szerokość pojedynczego kadłuba – b [m]												
	1,00	1,00	1,00	1,50	1,50	1,50	2,00	2,00	2,00				
3.1	1,94									25,5	11	168	15
3.2		1,94								25,5	11	168	11
3.3			1,94							25,5	11	168	8
3.4				4,33						31,3	31	136	28
3.5					4,33					31,3	31	136	20
3.6						4,33				31,3	31	136	15
3.7							7,39			36,1	65	113	41
3.8								7,39		36,1	65	113	29
3.9									7,39	36,1	65	113	23

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.8.1

Typoszereg 1 - statki o prędkości 10 km/h

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Opór jednostkowy [kN /m^2] / Stopień wykorzystania potencjalnej mocy elektrycznej baterii								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	1.1	17,8	0,011 0,88	0,008 0,64	0,006 0,48			0,010 0,80			
	1.2	17,8									
	1.3	17,8									
	1.6	21,8									
0,2	1.4	22,0				0,019 0,76	0,013 0,52			0,019 0,76	0,015 0,60
	1.5	22,0									
	1.8	25,1									
	1.9	25,1									
0,3	1.7	25,1							0,026 0,71		

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.8.2

Typoszereg 2 - statki o prędkości 12 km/h

Sprawn ość baterii	Typ statku	Dłu- Gość statku [m]	Opór jednostkowy [kN /m^2] / Stopień wykorzystania potencjalnej mocy elektrycznej baterii								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	2.2	21,6		0,010 0,96							
	2.3	21,6			0,007 0,67						
0,2	2.1	21,6	0,013 0,62								
	2.5	26,5					0,017 0,82				
	2.6	26,5						0,013 0,63			
	2.9	30,5									0,019 0,91
0,3	2.4	26,5				0,023 0,74					
	2.8	30,5								0,024 0,77	

Źródło: opracowanie własne.

Tab. 2.8.3

Typoszereg 3 - statki o prędkości 14 km/h

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Opór jednostkowy [kN /m^2] / Stopień wykorzystania potencjalnej mocy elektrycznej baterii								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	3.3	25,5			0,008 0,9						
0,2	3.1	25,5	0,015 0,76	0,011 0,56				0,015 0,76			
	3.2	25,5									
	3.6	31,3									
0,3	3.4	31,3				0,028 0,98	0,020 0,70				0,023 0,80
	3.5	31,3									
	3.9	36,1									

Źródło: opracowanie własne.

Z tabel 2.8.1 – 2.8.3 wynika, że efektem przeprowadzonej optymalizacji cząstkowej są następujące rezultaty:

- zbiór około optymalnych rozwiązań alternatywnych zawiera znakomicie więcej elementów niż zbiór rozwiązań alternatywnych (patrz: tabele 2.6.1 – 2.6.3)
- w zbiorze tym w każdym typoszeręgu (podzbiorze) występują statki mogące użytkować baterie ogniwo fotowoltaicznych o sprawności 0,1
- stopień wykorzystania potencjalnych mocy baterii ogniwo fotowoltaicznych zawiera się w przedziale od 0,48 – 0,98 co rokuje możliwość ograniczonego zastosowania hybrydowego systemu napędowego

Podstawowe parametry techniczno – eksploatacyjne dwukadłubowych około optymalnych statków alternatywnych prezentują tabele 2.9.1 – 2.9.3. Wartość tych parametrów wynika m.in. z założenia, że każdy metr sześcienny wyporności małego statku pasażerskiego tworzy odpowiednie warunki – w zakresie transportu komunikacyjnego i turystycznego pory dziennej - dla trzech pasażerów [1], [34].

Tab.2.9.1

Parametry techniczno – eksploatacyjne statków typoszeręgu 1
o prędkości 10 km/h

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Liczba pasażerów [osób] Moc zainstalowana [kW] / Moc zainstalowana na pasażera [kW/osobę]								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	1.1	17,8	24 8/0,33	24 8/0,33	24 8/0,33			66 16/0,24			
	1.2	17,8									
	1.3	17,8									
	1.6	21,8									
0,2	1.4	22,0				66 16/0,24	66 16/0,24		135 27/0,20	135 27/0,20	
	1.5	22,0									
	1.8	25,1									
	1.9	25,1									
0,3	1.7	25,1						135 27/0,20			

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.9.2

Parametry techniczno – eksploatacyjne statków typoszeregu 2
o prędkości 12 km/h

Sprawn ość baterii	Typ statku	Dłu- Gość statku [m]	Liczba pasażerów [osób]								
			Moc zainstalowana [kW] / Moc zainstalowana na pasażera [kW/osobę]								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0			
0,1	2.2	21,6		30 14/0,47							
	2.3	21.6			30 14/0,47						
0,2	2.1	21,6	30 14/0,47								
	2.5	26,5									
	2.6	26,5				81 30/0,37					
	2.9	30,5							165 50/0,30		
0,3	2.4	26,5				81 30/0,37					
	2.8	30,5							165 50/0,30		

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.9.3

Parametry techniczno – eksploatacyjne statków typoszeregu 3
o prędkości 14 km/h

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Liczba pasażerów [osób] Moc zainstalowana [kW] / Moc zainstalowana na pasażera [kW/osobę]								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	3.3	25,5			33 20/0,61						
0,2	3.1	25,5	33 20/0,61								
	3.2	25,5		33 20/0,61							
	3.6	31,3					93 46/0,49				
0,3	3.4	31,3				93 46/0,49					
	3.5	31,3				93 46/0,49					
	3.9	36,1									195 78/0,40

Źródło: opracowanie własne.

Wynika z nich, że przy sprawności baterii ogniów fotowoltaicznych wynoszącej :

- 0,1 – liczba pasażerów może zawierać się od 24 do 33
- 0,2 – liczba pasażerów może zawierać się od 30 do 165
- 0,3 – liczba pasażerów może zawierać się od 81 do 195

Moc zainstalowana na jednego pasażera waha się w granicach:

- 0,33 – 0,20 kW/osobę – dla statków o prędkości 10 km/h
- 0,47 – 0,30 kW/osobę – dla statków o prędkości 12 km/h
- 0,61 – 0,40 kW/osobę - dla statków o prędkości 14 km/h

i jest niższa o ok. 50 % od porównywalnej mocy zainstalowanej na „klasycznych” statkach pasażerskich [34] typu PP 150, SJD, SJK, SZ 600, SP 75, co świadczy o efektywności proponowanych rozwiązań, które mogą być stosowane zarówno już dzisiaj jak również w przyszłości.

O potrzebach stosowania energii otoczenia do napędu statków można mówić w aspekcie minimalizacji kosztów ich eksploatacji a także w aspekcie zrównoważonego rozwoju procesów transportowych; o realności ich użytkowania świadczą konstrukcje już pływające na akwenach europejskich (rys.2.8) oraz ich wizje projektowe (rys. 2.9).

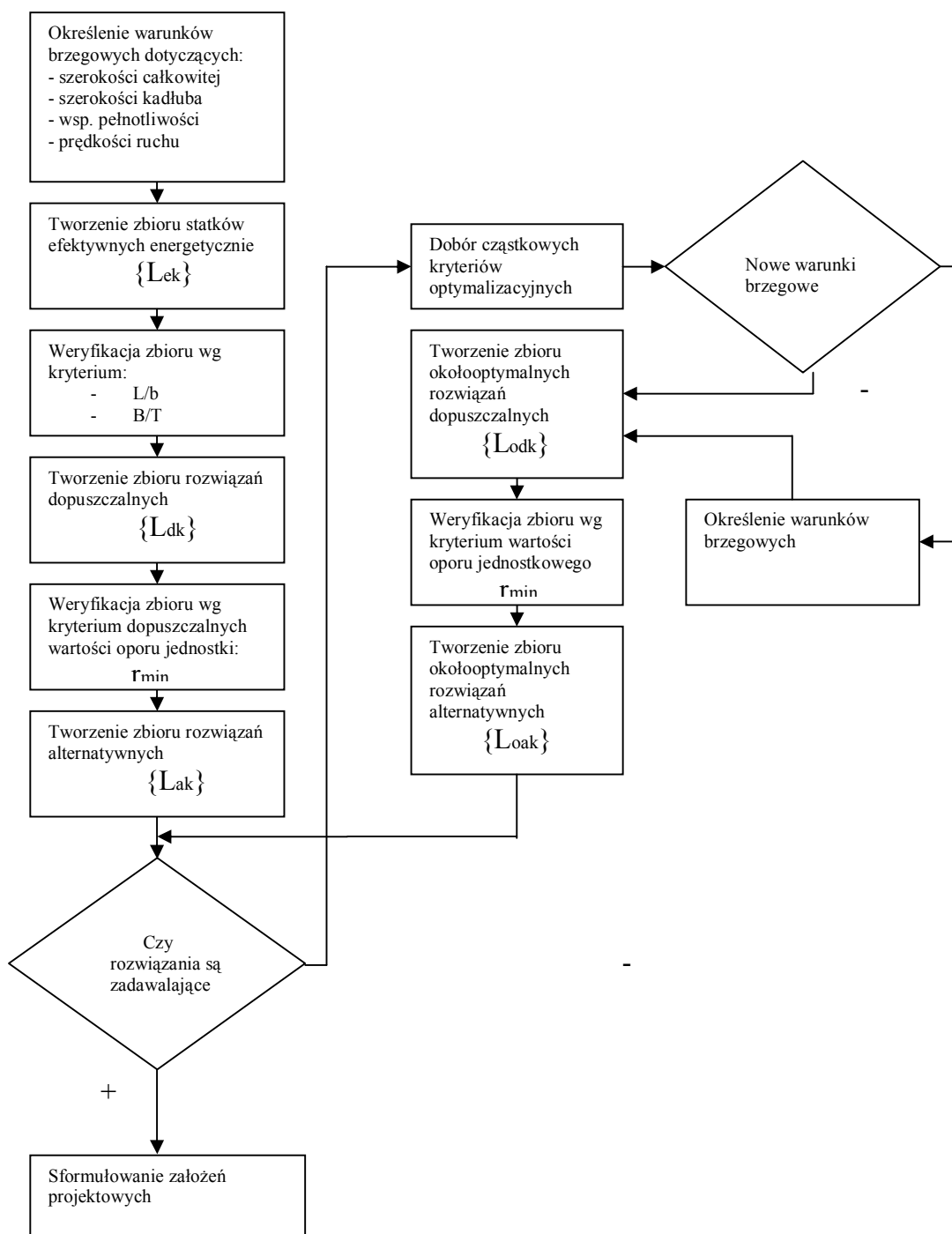


Rys.2.8. Statek pasażerski „MobiCat” zasilany ogniwami fotowoltaicznymi
www.bielersee.ch/de/mobicat/



Rys.2.9. Wizja projektowa statku pasażerskiego zasilanego ogniwami fotowoltaicznymi
www.pv.pl

Ramową procedurę postępowania przy wyborze założeń projektowych pasażerskiej jednostki dwukadłubowej dysponującej systemem napędowym wykorzystującym odnawialne źródła energii prezentuje rys.2.10.



Rys. 2.10. Schemat procedury postępowania przy wyborze założeń projektowych

Źródło: opracowanie własne.

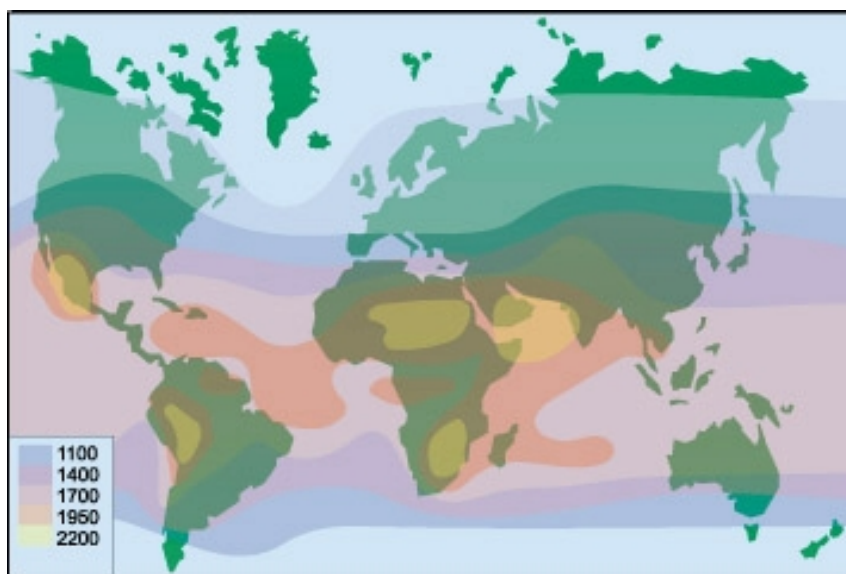
2.5. Zasoby energii promieniowania słonecznego

O efektywności proponowanych rozwiązań decydują również zasoby energetyczne promieniowania słonecznego. Promieniowanie to dociera do powierzchni Ziemi poprzez trzy postacie:

- jako promieniowanie bezpośrednie,
- rozproszone,
- odbite.

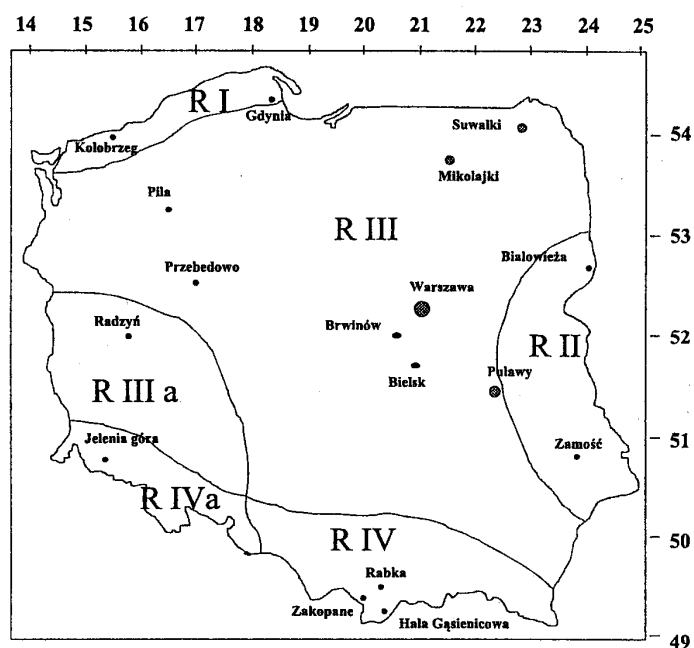
Energetyczną wartość tego promieniowania [4] określa się na $8,1 \times 10^{10}$ z czego $2,7 \times 10^{10}$ przypada na lądy.

Parametrami determinującymi praktyczne wykorzystanie promieniowania słonecznego są: natężenie (gęstość strumienia energii) wyrażone w kW/m^2 , sumy promieniowania słonecznego (energii) wyrażone w godzinach lub kWh/m^2 oraz usłonecznienie czyli czas, w którym natężenie promieniowania przekracza wartość progową tj. $200 W/m^2$. Rozkład energii promieniowania słonecznego na kuli ziemskiej prezentuje rys. 2.11 [4].



Rys. 2.11. Rozkład energii promieniowania słonecznego w kWh/m^2 [4]

Średnia roczna wartość promieniowania na kuli ziemskiej wynosi $1400 kWh/m^2$. Dla Polski, wartość tej energii w wyróżnionych rejonach (rys.2.12) i dla określonych wartości progowej [30] prezentuje tabela 2.10.



Rys. 2.12. Rejonizacja obszaru Polski pod względem możliwości wykorzystania energii słonecznej
Źródło: [30].

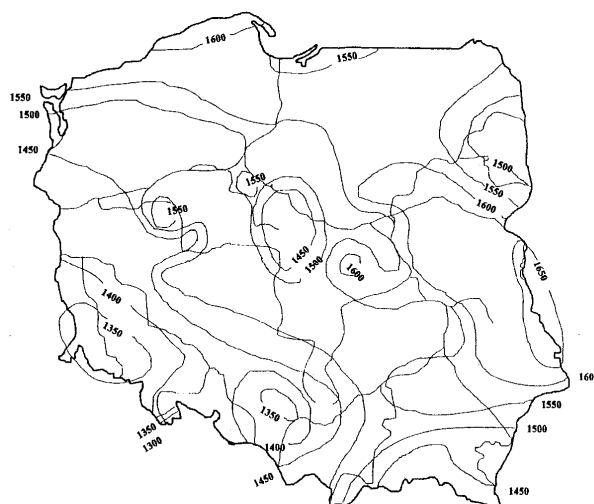
Tabela 2.10

Potencjalna energia użyteczna promieniowania w kWh/m² na rok/sezon dla progowego natężenia promieniowania 0,2 kW/m²

Rejon	Rok I-XII	Półrocze letnie IV-IX	Sezon letni VI-VIII	Półrocze zimowe X-III
R I	903	794	454	109
R II	882	728	414	144
R III	797	686	401	110
R III a	796	686	391	111
R IV	746	575	318	141
R IV a	741	606	338	135

Źródło: [30]

Generalnie w skali roku najlepsze warunki do wykorzystania energii słonecznej panują w rejonie Wschodniej Polski obejmującym m.in. Kanał Augustowski, oraz w rejonie Wybrzeża obejmującym także ujściowe odcinki Odry. Na taki terytorialny rozkład energii słońca wskazują również [30] średnie roczne sumy usłonecznienia w godzinach zaprezentowane na rysunku 2.13.



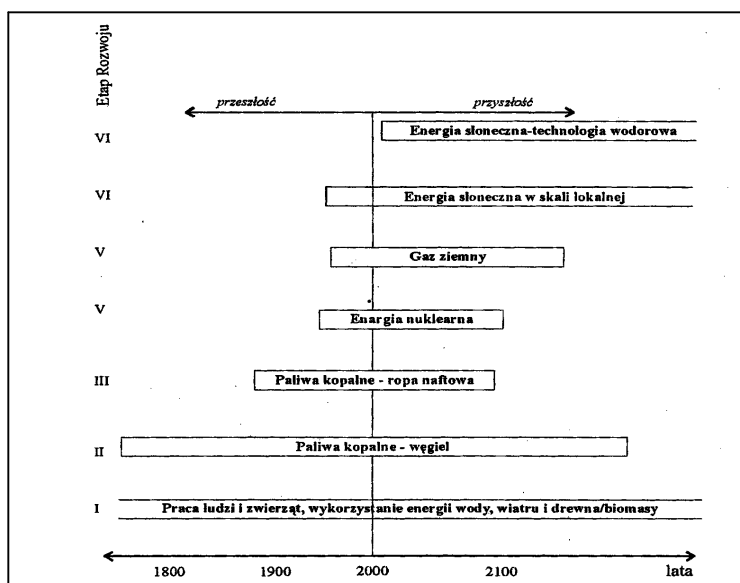
Rys. 2.13. Średnie roczne sumy usłonecznienia w godzinach (lata 1961 – 1970)

Źródło: [31]

Informacja zawarta na powyższym rysunku wskazuje również, że różnice usłonecznienia poszczególnych rejonów nie przekraczają 10 %. W okresie wiosenno – letnim (V _ VIII) dostępna dzienna „porcja” energii użytkowej może wynosić od 1,5 – 8 (średnio 5) kWh/m². Wartość tej energii dla obiektów pływających może ulegać zwiększeniu poprzez możliwość wykorzystania promieniowania odbitego od powierzchni akwenu.

W aspekcie powyższej charakterystyki zasobów energetycznych nasuwa się generalny wniosek: jedno z kryteriów wyboru około optymalnego statku alternatywnego (L_{aok}) powinno uwzględniać minimalny stopień wykorzystania potencjalnej mocy baterii ogniw fotowoltaicznych dla bieżącego ruchu statku, by stworzyć możliwość akumulacji energii elektrycznej na czas niekorzystnych warunków usłonecznienia w rejonie jego pływania.

Wg G. Wiszniewskiego [30] wykorzystanie energii słońca będzie wzrastało w sposób ewolucyjny co ilustruje rysunek 2.14.

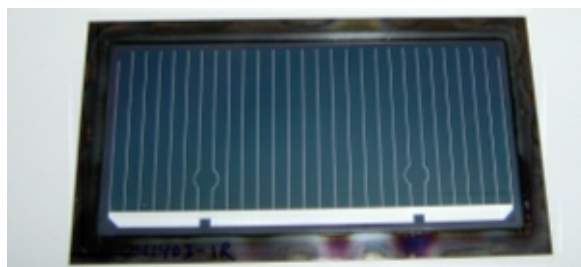


Rys 2.14. Historia i przyszłość światowej energetyki

Źródło: [30]

Stymulatorem tego wzrostu będzie m.in. zwiększająca się sprawność ogniw fotowoltaicznych, które realizują proces konwersji czyli zamiany energii świetlnej słońca na energię elektryczną, która praktycznie realizowana jest poprzez moduły fotowoltaiczne (baterie słoneczne). Największe ze spotykanych modułów o konstrukcji sztywnej o mocy 120 W mają wymiary 1447 mm x 660 mm x 35 mm a masę względną równą 10 W/kg.

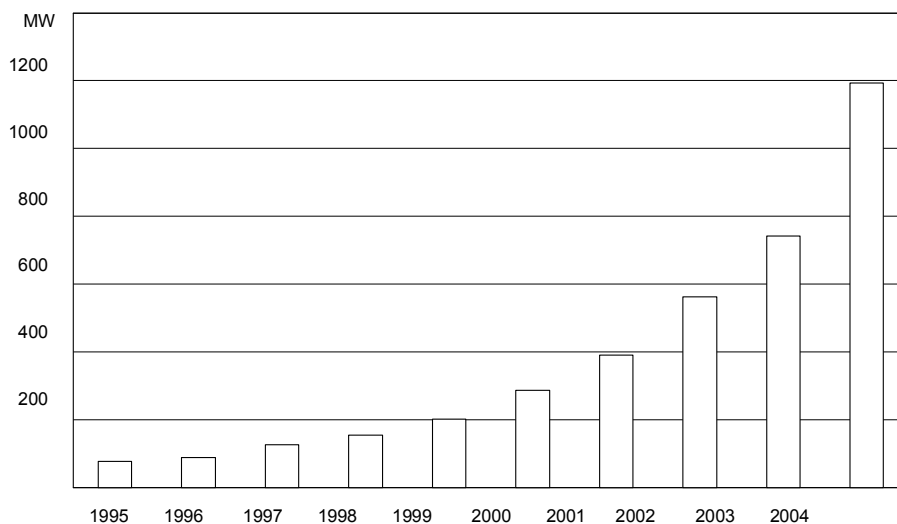
Ale na rynku pojawiają się nowe rozwiązania np. w postaci folii fotowoltaicznych [www.pv.pl] produkowane w technologii DayStar (rys.2.15) o sprawności 0,15 i masie względnej 1440 W/kg.



Rys. 2.15. Folia fotowoltaiczna

Źródło: [www.pv. pl]

Jakość modułów fotowoltaicznych powinna wzrastać wraz ze wzrostem ich produkcji. Wzrost ten następuje w sposób dynamiczny co ilustruje rysunek 2.16.



Rys. 2.16. Wzrost produkcji modułów fotowoltaicznych

Źródło: [www.pv.pl]

Na podstawie dynamiki wzrostu produkcji modułów fotowoltaicznych można również prognozować wzrost ich zastosowań oraz malejącą cenę.

2.6. Czas ruchu statków pasażerskich

Parametry potencjalnej energii użytecznego promieniowania słonecznego wykazane w tabeli 2.10 oraz charakterystyki statków pasażerskich określone w tabelach 2.8.1 – 2.8.3 stanowią podstawę do wyznaczania czasu ruchu statków pasażerskich z założoną prędkością i możliwością akumulowania energii.

Ogólną ocenę tego czasu można uzyskać poprzez zastosowanie poniższej zależności:

$$T_{ro} = E_{ro} \eta_s / e \quad (2.35)$$

w której: T_{ro} - czas ruchu statku [h]

E_{ro} – jednostkowa energia użyteczna [kWh/m²]

η_s – sprawność baterii ogniów fotowoltaicznych

e – stopień wykorzystania potencjalnej mocy baterii [kW/m²]

r – rejony obszaru Polski (pod względem możliwości wykorzystania energii słonecznej; rys. 2.12)

o – sezonowość natężenia promieniowania (rok, półrocze letnie, sezon letni, półrocze zimowe; tabela 2.10)

Przykładowe efekty zastosowania tej zależności dla Rejonu I i statków okołooptymalnych prezentują tabele 2.11.1 – 2.11.4.

Tab.2.11.1

Statki o prędkości 10 km/h – typoszereg 1
Sezonowość – rok kalendarzowy

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Czas ruchu statku [h]								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	1.1	17,8	102	141	188			113			
	1.2	17,8									
	1.3	17,8									
	1.6	21,8									
0,2	1.4	22,0				238	347			237	301
	1.5	22,0									
	1.8	25,1									
	1.9	25,1									
0,3	1.7	25,1							381		

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.11.2

Statki o prędkości 10 km/h – typoszereg 1
Sezonowość – półrocze letnie (miesiące IV – IX)

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Czas ruchu statku [h]								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	1.1	17,8	90	124	165	208	305	99	209	265	
	1.2	17,8									
	1.3	17,8									
	1.6	21,8									
0,2	1.4	22,0									
	1.5	22,0									
	1.8	25,1									
	1.9	25,1									
0,3	1.7	25,1							335		

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.11.3

Statki o prędkości 10 km/h – typoszereg 1
Sezonowość – sezon letni (miesiące VI – VII)

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Czas ruchu statku [h]								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	1.1	17,8	52								
	1.2	17,8		71							
	1.3	17,8			94						
	1.6	21,8						57			
0,2	1.4	22,0				120					
	1.5	22,0					174				
	1.8	25,1								120	
	1.9	25,1									151
0,3	1.7	25,1							192		

Źródło: opracowanie własne.

Tab.2.11.4

Statki o prędkości 10 km/h – typoszereg 1
Sezonowość – półrocze zimowe (miesiące X – III)

Sprawność baterii	Typ statku	Długość statku [m]	Czas ruchu statku [h]								
			Zanurzenie statku [m]								
			0,5			0,75			1,0		
			Szerokość całkowita statku [m]								
			5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0	5,0	7,0	9,0
0,1	1.1	17,8	12	17	23			14			
	1.2	17,8									
	1.3	17,8									
	1.6	21,8									
0,2	1.4	22,0				30	42		28	36	
	1.5	22,0									
	1.8	25,1									
	1.9	25,1									
0,3	1.7	25,1						46			

Źródło: opracowanie własne.

Czas ruchu statku (w czasie rzeczywistym) wykazany w powyższych tabelach waha się - w sezonie letnim – od 52 do 192 godzin; w półroczu zimowym – od 12 do 46 godzin. Stanowi on bazę analizy efektywności inwestycji jaką jest energooszczędny statek pasażerski.

3. SZYBKIE STATKI ŚRÓDLĄDOWE

3.1. Definiowanie pojęć statków szybkich

„Poradnik Okrętowca” z roku 1960 [18] wprowadza następującą klasyfikację statków (okrętów) w aspekcie prędkości:

- statki o małej prędkości, którym odpowiada liczba Froude’a:

$$Fr < 0,2 \quad (3.1)$$

- statki o średniej prędkości, dla których

$$0,2 < Fr < 0,35 \quad (3.2)$$

- statki o dużej prędkości, dla których

$$Fr > 0,35 \quad (3.3)$$

Klasyfikacja ta dotyczy statków wypornościowych tj. takich, w których siła ciężkości statków praktycznie równoważona jest siłą wyporu.

Tenże poradnik zawiera również pojęcia statków (jednostek) szybkich odniesione do ich typów tj.:

- statków półślizgowych, którym odpowiada liczba Froude’a o wartości:

$$Fr > 0,6 \sqrt{\varphi} \quad (3.4)$$

gdzie: φ – współczynnik pełnotliwości walcowej kadłuba

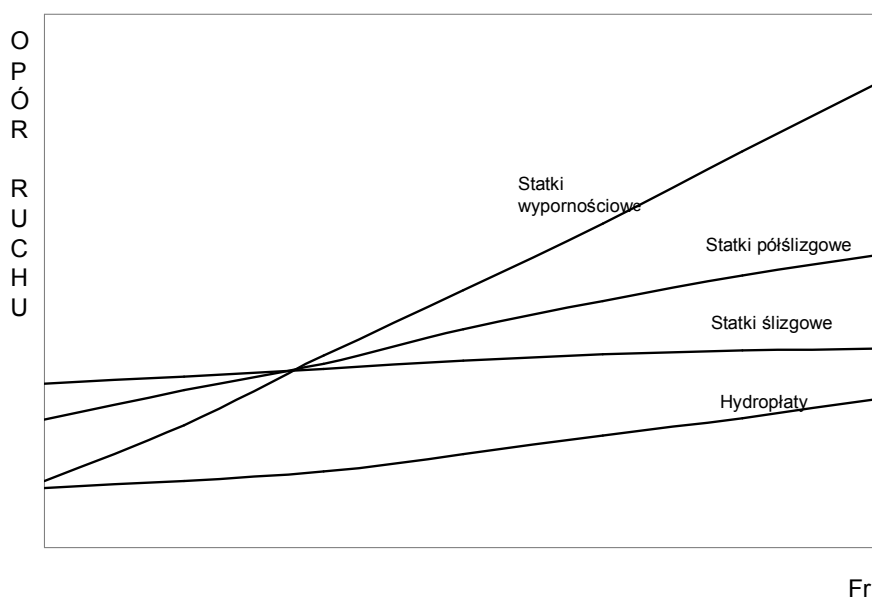
- statków ślizgowych, dla których:

$$1,0 < Fr < 1,4 \quad (3.5)$$

- statków na płatach nośnych (hydroplatach), dla których:

$$Fr > 1,4 \quad (3.6)$$

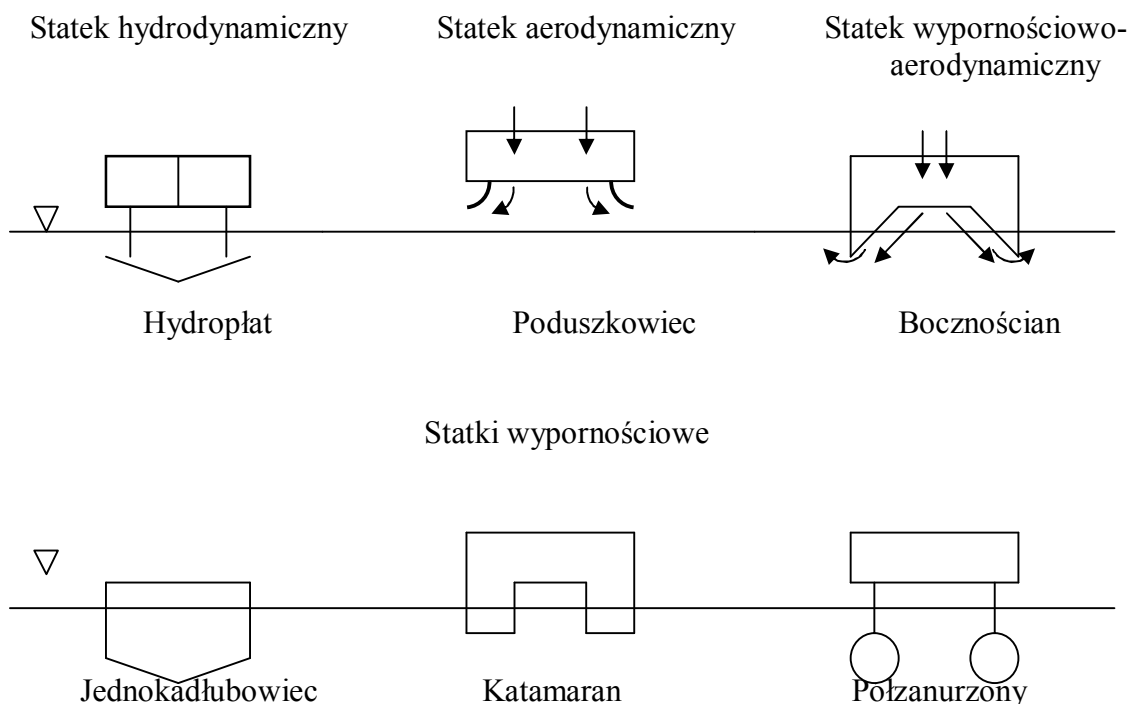
Powyższy podział dotyczył statków, których siła ciężkości w czasie ruchu była równoważona częściowo lub całkowicie siłą hydrodynamiczną. Opór ruchu tych jednostek charakteryzuje wykres przedstawiony na rys. 3.1.



Rys.3.1. Trendy oporu ruchu statków szybkich

Źródło: opracowanie własne na podstawie [18]

Pod koniec lat siedemdziesiątych XX wieku, wraz ze wzrostem prędkości statków pojawiły się rozwiązania dotyczące morskich statków szybkich nie tylko o cechach hydrodynamicznych (hydrofoils – hydroplaty), aerodynamicznych (hovercraft – poduszkowce), wypornościowo-aerodynamicznych (SES - boczościany) ale także typowych wypornościowych (monohulls - jednokadłubowce, catamarans - katamarany, SWATHs - półzanurzone). Ich schematyczne przekroje poprzeczne prezentuje rys.3.2.



Rys.3.2. Schematyczne przekroje poprzeczne morskich statków szybkich

Źródło: opracowanie własne.

Podstawowe kryterium ich klasyfikacji wyrażane było poprzez prędkość ruchu w sposób bardzo zróżnicowany, co ilustruje tabela 3.1.

Tabela 3.1

Graniczne (dolne) prędkości ruchu statków szybkich

Lp	Towarzystwo Klasyfikacyjne Inne organizacje	Postać kryterium v [kn, m/s]
1	IMO – 1977	$(Fr_{\nabla}) v / \sqrt{gL} > 0,9$
2	Bureau Veritas – 1987	$v > 4 \sqrt{L}$
3	Det Norske Veritas – 1990	$v > 20$
4	American Bureau of Shipping – 1990	$v > 25$
5	Germanischer Lloyd – 1991	$v > v_n *$
6	Lloyd's Register – 1991	$v > 20$
7	UK Department Transport – 1991	$v > 25$
8	Australia Authority – 1992	$(Fr_{\nabla}) v / \sqrt{g \nabla^{1/3}} > 1,6$
9	IMO – 1993	$(Fr_{\nabla}) v / \sqrt{g \nabla^{1/3}} > 1,18$
10	Politechnika Szczecińska – 1994 . prof. T. Jastrzębski	$(Fr_{\nabla}) v / \sqrt{g \nabla^{1/3}}$ $v > 3,7 \nabla^{0,1667}$ lub $v > 3,7 (\nabla^{1/3})^{1/2}$

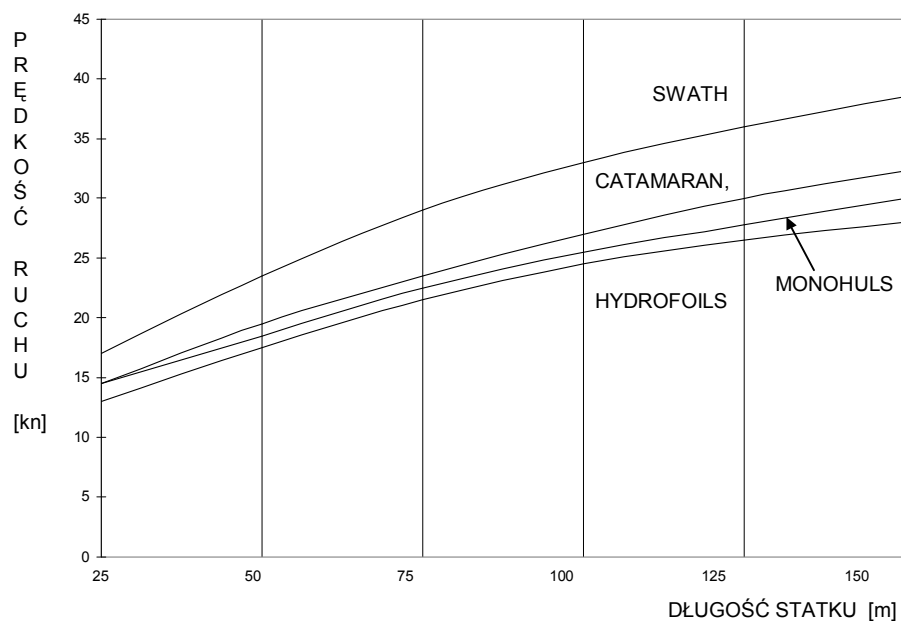
* v_n - normalna morska prędkość statku

Źródło: opracowanie własne na podstawie[8]

Z powyższej tabeli wynika, że w końcowym okresie fazy formułowania propozycji przeważały te, które operowały objętościową liczbą Froude'a tj. Fr_{∇} . Można więc przyjąć również w kontekście definicji zawartych w "Poradniku Okrętowca", że jest zasadne by liczby Froude'a stanowiły kryterium definicji statków szybkich.

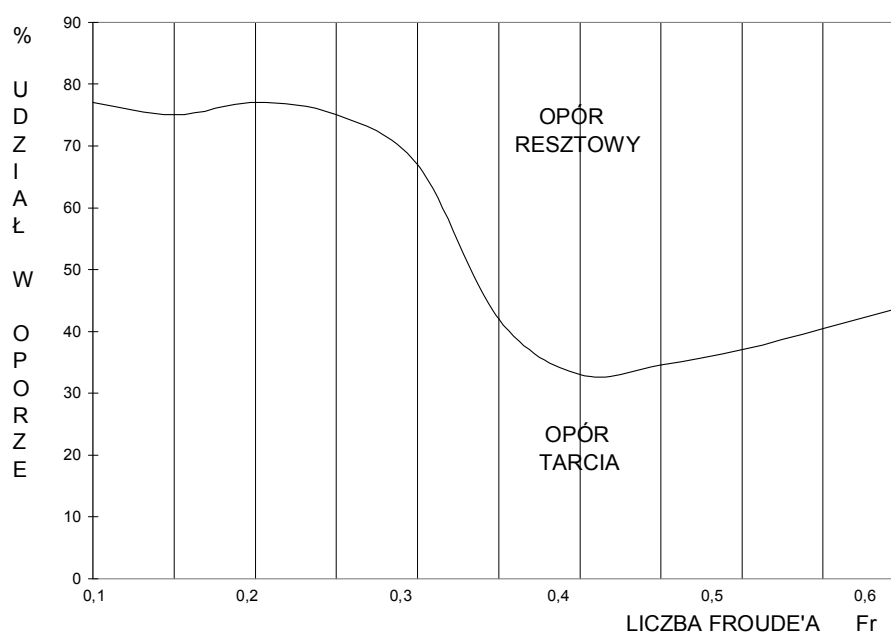
Z wykresu przedstawiającego zależność prędkości szybkich statków morskich od długości tych statków (rys.3.3) można wnioskować, że liczby Froude'a (Fr) które wynikają z wartości tych parametrów zawarte są w przedziale od 0,36 – 0,55.

Zarówno na rysunku 3.2 jak również na rys. 3.3 użyto pojęcia katamaran (catamaran). Pojęcie to w najczęstszym użytkowaniu oznacza statek dwukadłubowy tak jak trimaran – trzykadłubowy. Jednak wprowadzenie nowych dwukadłubowych rozwiązań typu SES czy SWATH zakłóca jednoznaczność tego pojęcia. W tej pracy zakłada się, że katamaran jest jednostką dwukadłubową (double-hulled ship), którą cechuje praktycznie proporcjonalny przyrost wyporności do przyrostu zanurzenia.



Rys. 3.3. Zależność prędkości ruchu statków szybkich od ich długości i konfiguracji
Źródło: opracowanie własne na podstawie [8]

O efektywności eksploatacji statku świadczy w podstawowy sposób (wzór 1.1) relacja pomiędzy prędkością jego ruchu i oporem tego ruchu a w konsekwencji zainstalowanej mocy napędowej. Przedział wartości liczb Fr statków szybkich zgodnie z zależnością zaprezentowaną na rys.3.4 charakteryzuje się zwiększonym udziałem oporu resztowego (w tym falowego) w oporze całkowitym statku.



Rys.3.4. Udział oporu tarcia oraz oporu resztowego w oporze całkowitym statku
Źródło: [18]

Opór falowy statku (R_w) w istotny sposób determinowany jest wartością jego przekroju poprzecznego (owręża) w części zwilżonej o czym świadczy ogólna postać zależności [18] :

$$R_w = f(v^2, S_o) \quad (3.7)$$

gdzie : S_o – pole zwilżonej części owręża.

Z postaci tej wynika, że dla statku o stałej wyporności i zanurzeniu, wzrost jego długości przy jednocześnie malejącej szerokości (tj. wzrost L/B) skutkuje zmniejszeniem jednostkowego oporu falowego tego statku. Konfiguracja, która operuje bardzo dużymi relacjami L/B charakteryzuje jednostki dwukadłubowe. Jest ona preferowana w rozwiązaniach jednostek o dużych prędkościach co potwierdza wykres na rys. 3.2. Wskazuje on na prędkościową dominację rozwiązań dwukadłubowych (SWATH, Catamarans, SES) w ocenach osiągnięć morskich statków szybkich a szczególnie przy wyższych prędkościach i porównywalnych długościach prezentowanych rozwiązań.

Z powyższej analizy można wnioskować, że:

- istnieją podstawy praktyczne definiowania szybkich statków śródlądowych poprzez kryterium wyrażone liczbą Froude'a w jej odmianie głębokowodnej Fr_h tj. odniesionej do głębokości wody jako specyficznego parametru wpływającego na cechy ruchu statków śródlądowych; jako dolną granicę wartości Fr_h przyjmuje się:

$$Fr_h = 1$$

która zgodnie z treściami rozdziału 2 jest utożsamiana z lewą granicą prędkości nadkrytycznych na wodach płytkich,

- zakres prędkości stosowanych dla szybkich statków śródlądowych może skutkować wzrostem liczby Froude'a o postaci Fr i wzrostem udziału oporu falowego w oporze całkowitym ruchu tych jednostek,
- preferowaną konfiguracją szybkich statków śródlądowych jest konfiguracja dwukadłubowa.

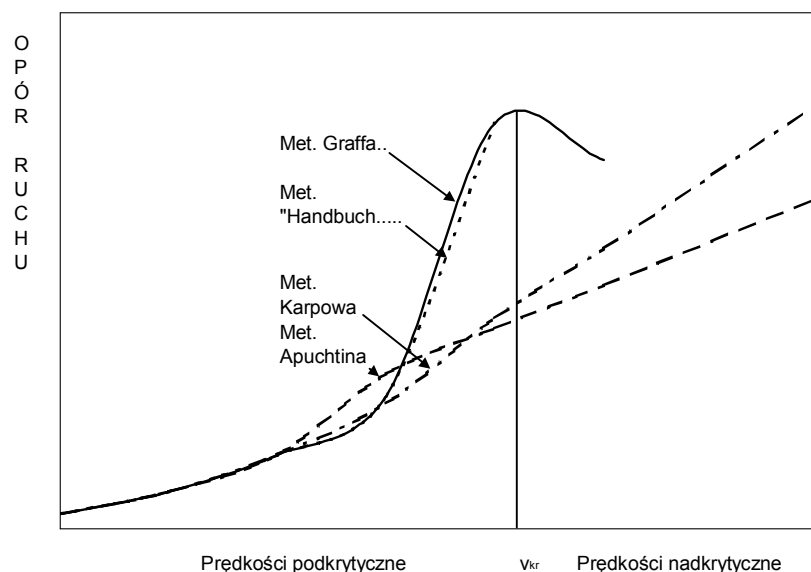
3.2. Opór ruchu szybkich statków śródlądowych

Opór ruchu statków śródlądowych - zgodnie z wnioskami rozdziału 3.1 – to opór statków pływających na wodach płytkich w przedziale prędkości nadkrytycznych.

Istnieje wiele metod przybliżonego obliczania oporu ruchu statków śródlądowych na akwenach o małej głębokości [2], [12], [18]. Jako reprezentatywne można przyjąć:

- metodę wg „Handbuch der Werfen 1952”
- metodę Graffa,- Schlichtinga – Landwebera
- metodę A.W. Karpowa
- metodę P.A. Apuchtina

Zakres stosowania tych metod w aspekcie przedziałów prędkości ruchu prezentuje rys. 3.5.



Rys. 3.5. Opór statku na wodzie płytkiej określony różnymi metodami
Źródło: opracowanie własne na podstawie [18]

Z rysunku tego wynika, że tylko dwie z w/w metod tj. A.W. Karpowa i P.A. Apuchtina mogą być stosowane do obliczania oporu ruchu statku w przedziale prędkości nadkrytycznych. Obydwie metody opierają się na oporze ruchu statków na wodzie głębokiej; obydwie też w istotny sposób posilkują się graficzną postacią zależności i wartości parametrów adekwatnych do przyrostu oporu ruchu na wodzie płytkiej w stosunku do wody głębokiej.

Wg Karpowa opór statku oblicza się na podstawie wzoru:

$$R_h = R_{fh} + R_{rh} = R_f(v') + R_r(v'') \quad (3.8)$$

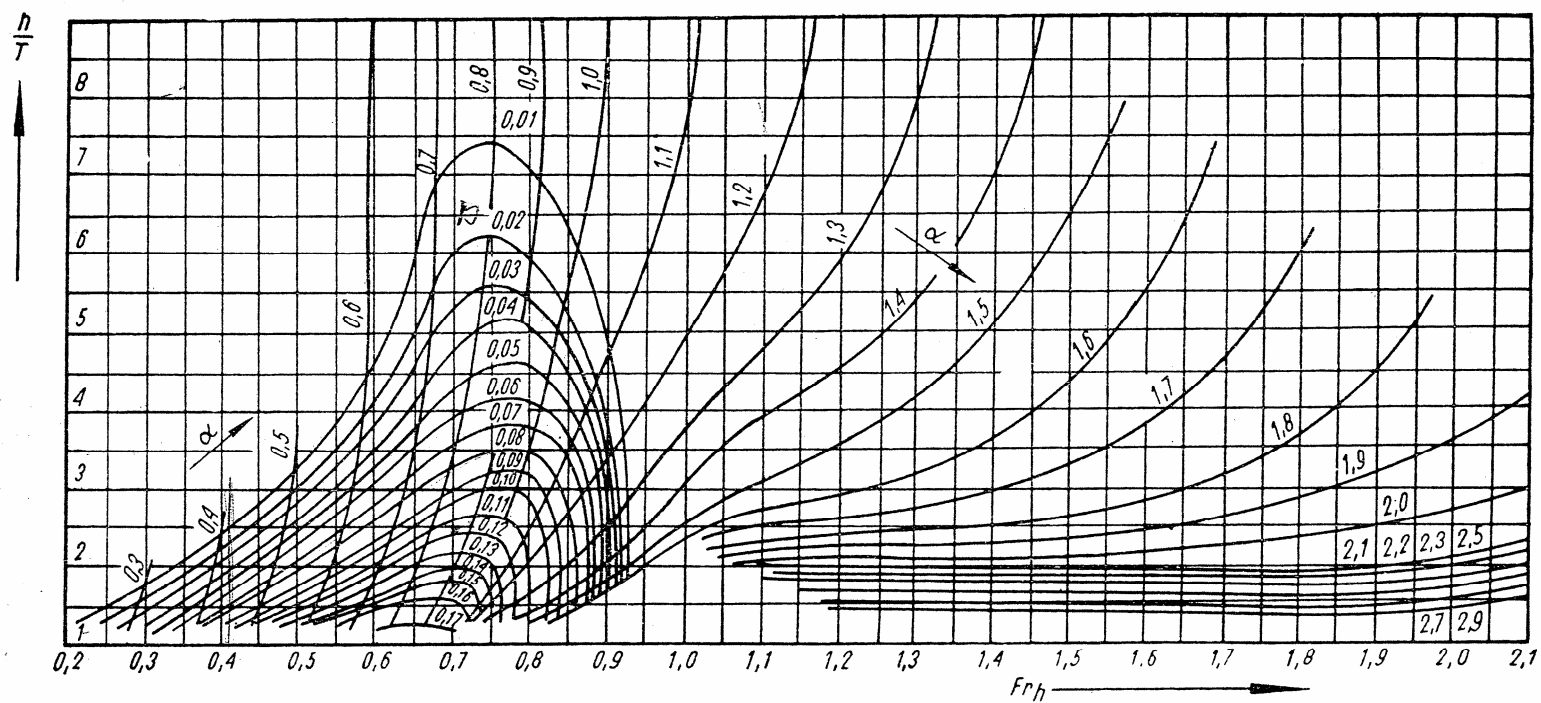
w którym sumę oporów tarcia i resztowego na wodzie płytkiej zastępuje suma tych składników na wodzie głębokiej przy prędkościach v' i v'' , wynikających z zależności:

$$v' = v (1 + \beta \alpha / Fr_h) \quad (3.9)$$

$$v'' = v \alpha / Fr_h \quad (3.10)$$

gdzie: v – prędkość ruchu statku na wodzie płytkiej
 α, β – współczynniki określane z wykresu (rys. 3.6)

Ale wg L. Kobylińskiego [18] w metodzie tej przy prędkościach większych od krytycznych parametr β przyjmuje wartość zerową. W konsekwencji, wartość oporu tarcia na wodzie płytkiej jest równa (zgodnie z wzorami 3.8, 3.9) wartości oporu tarcia na wodzie głębokiej. Ta metoda nie uwzględnia więc zjawiska przepływu wstecznego [kulczyk] charakterystycznego dla ruchu statku na wodach płytkich, które w sposób znaczący zmienia wartość oporu tarcia i tym samym oporu całkowitego. Poddaje to w wątpliwość stosowalność tej metody szczególnie w przedziale prędkości nadkrytycznych o relatywnie dużych wartościach prędkości ruchu statku.



Rys.3.6. Wykres Karpowa do wyznaczania oporu na wodzie płytce
 Źródło: [18]

W metodzie Apuchtina – sformułowanej na podstawie systematycznych badań modelowych - opór ruchu statku na wodzie płytkiej określa się poprzez działanie dwuetapowe.

Etap pierwszy obejmuje wyznaczenie zmiany prędkości ruchu statku na wodzie płytkiej w stosunku do wody głębokiej na podstawie zależności o postaci graficznej zaprezentowanej na rys. 3.9.

Odczyt z tego wykresu względnej wartości zmiany prędkości p o postaci :

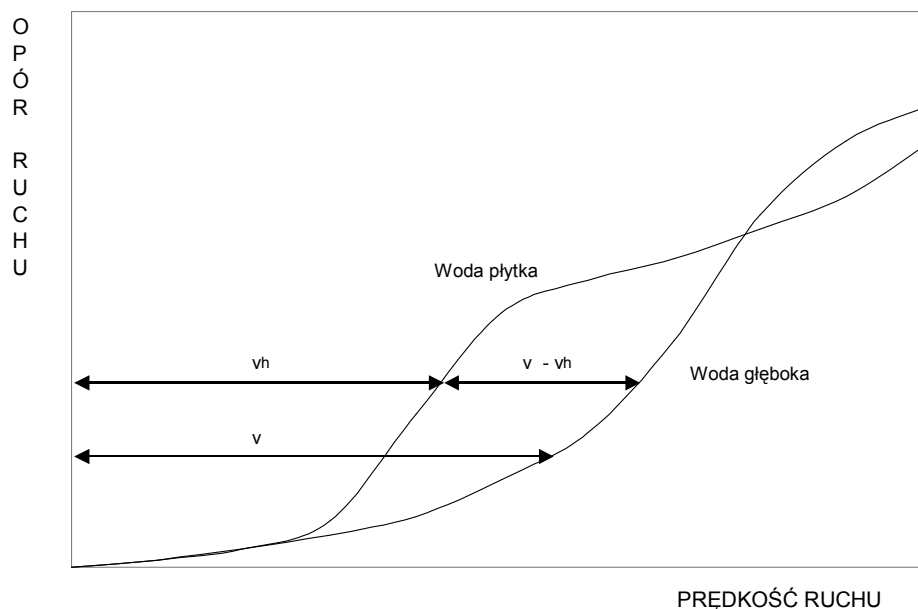
$$p = (v - v_h) / v \quad (3.11)$$

gdzie: v – prędkość na wodzie głębokiej
 v_h – prędkość na wodzie płytkiej

umożliwia obliczenie bezwzględnej wartości prędkości na wodzie płytkiej zgodnie ze wzorem:

$$v_h = (1 - p) v \quad (3.12)$$

Etap drugi obejmuje wyznaczenie krzywej zależności oporu ruchu statku na wodzie płytkiej od prędkości tego ruchu - co następuje na drodze graficznej - na bazie charakterystyki oporowej ruchu statku na wodzie głębokiej (rys. 3.7).

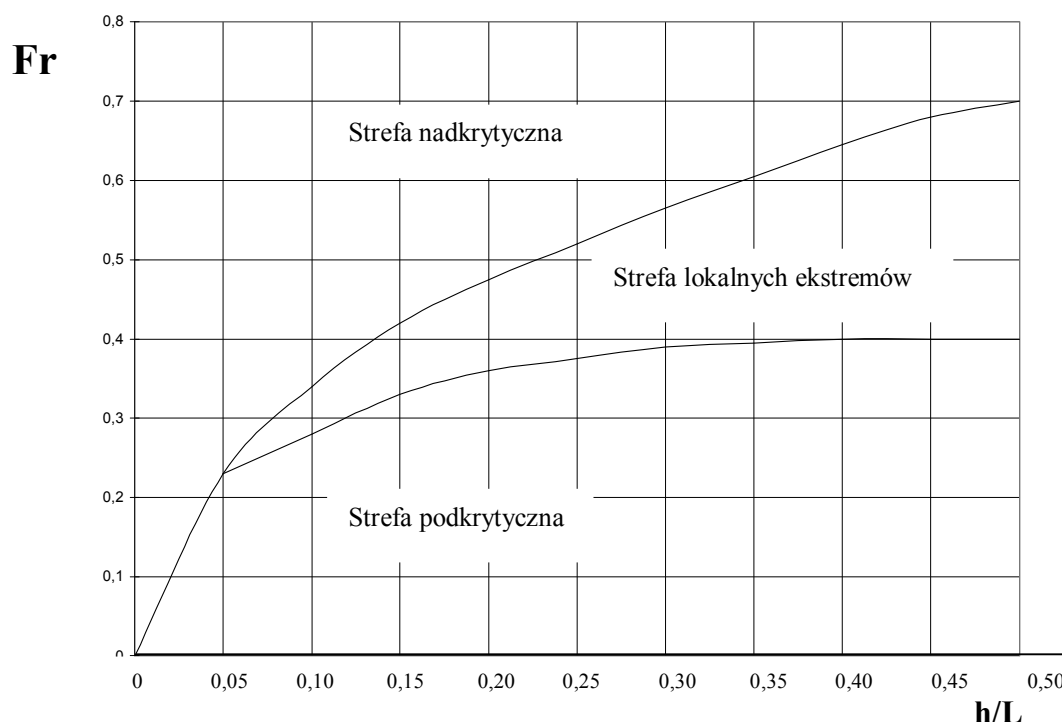


Rys.3.7. Sposób wyznaczania krzywej oporu ruchu statku na wodzie płytkiej
 Źródło: [2]

Z przeglądu metod wynika, że najbardziej adekwatną do wyznaczania oporów ruchu szybkich statków śródlądowych w przedziale prędkości nadkrytycznych, jest metoda Apuchtina.

Istota tej metody nie zakłada tworzenia charakterystyk oporowych cechujących się lokalnym ekstremum oporu ruchu dla prędkości krytycznych (patrz rys 1.7).

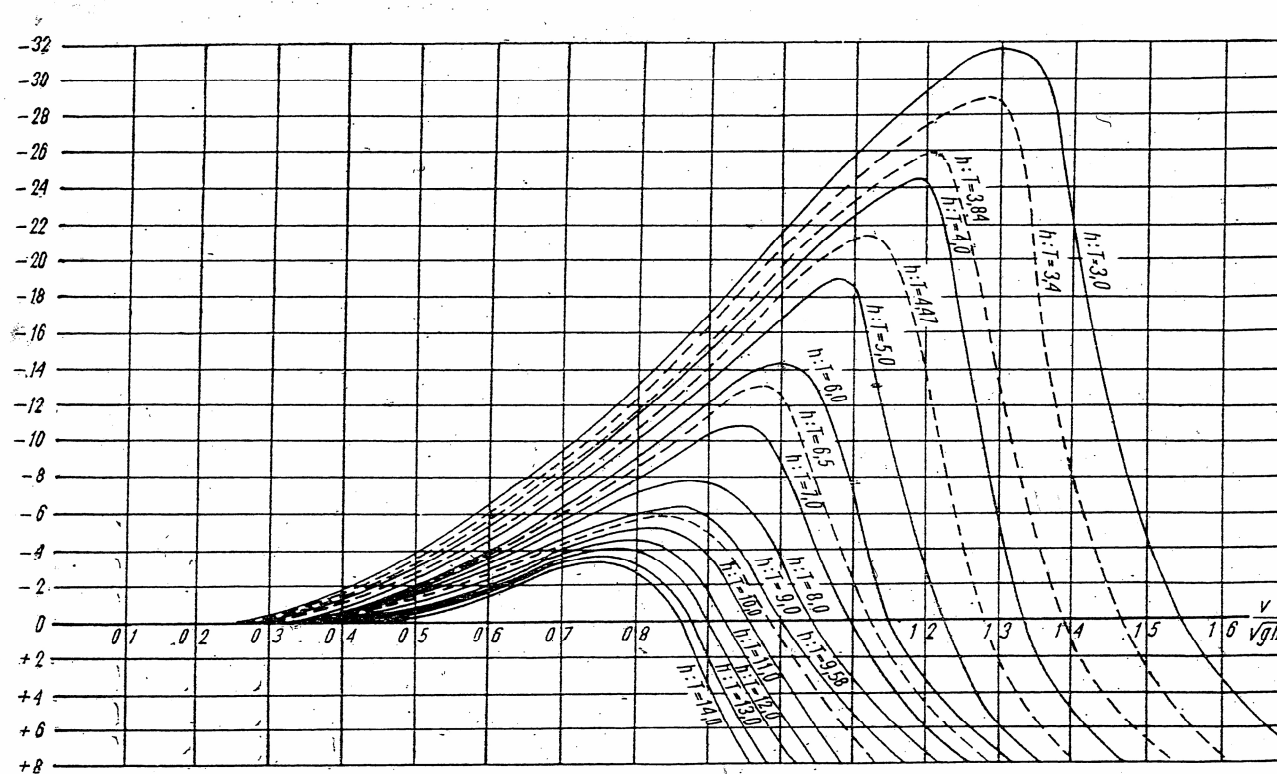
Lokalne ekstrema występują w warunkach określonych przez zależność liczby Froude'a Fr - odniesionej do ruchu jednostki pływającej – od głębokości względnej wyrażonej stosunkiem h/L . Zależność tą przedstawia rysunek 3.8.



Rys.3.8. Położenie strefy lokalnych ekstremalnych wartości oporu ruchu

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Wynika z niej, że dla wartości $h/L < 0,03$ lokalne ekstrema nie występują. Stąd wniosek (*autorski*) dotyczący preferowanego zakresu stosowalności metody Apuchtina: metoda ta powinna być stosowana do wyznaczania oporu ruchu statków o relatywnie dużej długości w stosunku do głębokości akwenu.



Rys.3.9. Wykres Apuchtina dla określania zmian prędkości ruchu statku
Źródło: [18]

3.3. Technika wyznaczania oporu statków szybkich na bazie metody Apuchtina

Zgodnie z ogólnym opisem metody Apuchtina zawartym w rozdziale 3.2, podstawą jej stosowania jest wykres zaprezentowany na rys.3.8. Określa on względną zmianę prędkości ruchu na wodzie płytkiej - w stosunku do wody głębokiej – w zależności od głębokowodnej liczby Frude’a tj. Fr_h oraz stosunku zanurzenia statku do głębokości akwenu h/T . Zakres tego ostatniego parametru objęty oryginalnym wykresem obejmuje wartości :

$$14 \geq h/T \geq 3$$

i tym samym nie uwzględnia warunków pływania na wodach relatywnie płytkich.

Z literatury przedmiotu [2], [17] wynika, że ze względu na dynamikę ruchu statków szybkich (przegłębienia) ich eksploatacja może mieć miejsce w warunkach określonych nierównością:

$$h/T \geq 1,5 \quad (3.13)$$

co tworzy możliwość stosowania tematycznych statków na polskich a także zachodnioeuropejskich drogach wodnych, które praktycznie pływają w warunkach określonych nierównością:

$$1,5 \leq h/T \leq 3 \quad (3.14)$$

Z drugiej strony, racjonalne techniki wyznaczania oporu ruchu statków wymagają stosowania postaci analitycznej lub numerycznej użytkowanych zależności. Istnieje więc zasadność , by wykres Apuchtina zmodyfikować poprzez:

- ekstrapolację , uwzględniającą pożądaną przedział wartości h/T
- aproksymację, nadającą parametrom wykresu zależność analityczną o postaci ogólnej:

$$p = f [Fr_h, a(h/T)] \quad (3.15)$$

w której: a – współczynnik równania zależny od relacji h/T

oraz postaci szczegółowej:

$$p_j = \sum_{i=0}^I [(Fr_h)^{a_i}] * a_{ij} \quad (3.16)$$

gdzie: j – lewa lub prawa strona gałęzi przebiegu zależności ustalana w oparciu o wartość Fr_{hj} , która determinuje wartość $p_{jmax}(h/T)$
 i – identyfikator współczynnika równania

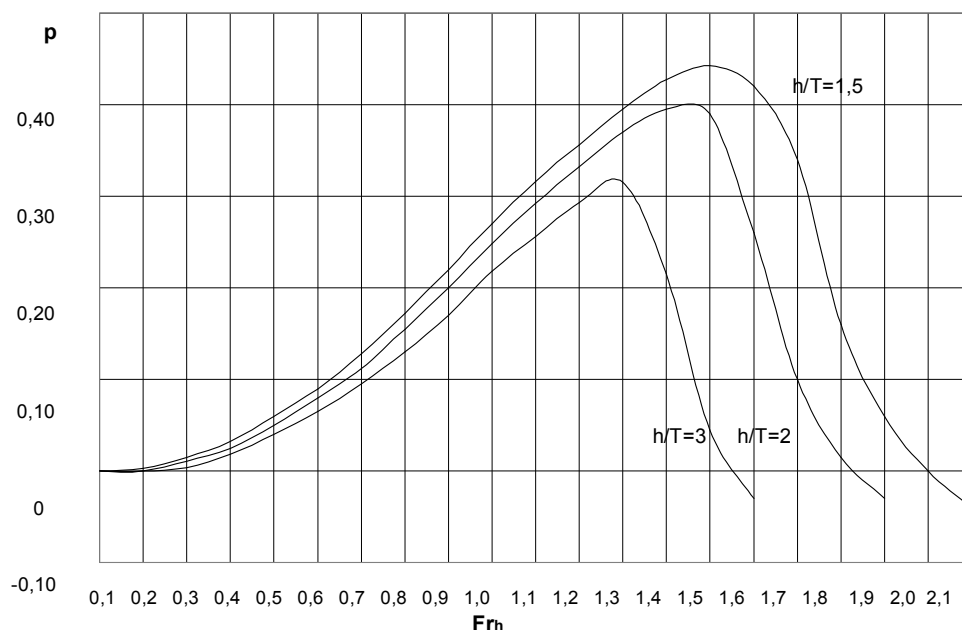
Wynik tych autorskich działań (wartości parametrów aproksymacji) – prezentuje tabela 3.2 a postać graficzną przebiegu zależności– rysunek 3.10.

Tab. 3.2

Wartości parametrów aproksymacji

h/T	Fr _h	Wartości a _{ij}																	
		Lewa gałąź (j = L)									Prawa gałąź (j = P)								
		I									I								
		8	7	6	5	4	3	2	1	0	8	7	6	5	4	3	2	1	0
1,5	1,53	⁺ 0,8772	⁻ 4,7197	⁺ 8,6003	⁻ 2,9200	⁻ 10,8529	⁺ 16,4724	⁻ 9,5874	⁺ 2,6546	⁻ 0,2563	⁺ 0,1270	⁻ 3,3618	⁺ 11,0980	⁻ 1,1196	⁻ 14,5895	⁻ 54,3028	⁺ 112,649	⁺ 0,3292	⁻ 60,0719
2	1,46	0	⁻ 1,3097	⁺ 4,1099	⁻ 0,3798	⁻ 13,3213	⁺ 21,0000	⁻ 13,42,5	⁺ 3,9812	⁻ 0,4134	0	⁺ 57,9659	⁻ 220,270	⁺ 386,427	⁻ 1140,66	⁺ 1979,19	⁺ 1009,98	⁻ 5353,29	⁺ 3437,18
3	1,31	0	0	⁻ 0,0285	⁻ 0,3374	⁺ 1,0920	⁻ 1,2083	⁺ 0,8607	⁻ 0,1669	⁺ 0,0028	0	0	⁺ 2,9699	⁻ 8,0635	⁺ 7,5428	⁺ 0,0481	⁻ 43,8931	⁺ 96,8699	⁻ 57,4913

Źródło: opracowanie własne



Rys.3.10. Zmodyfikowany wykres Apuchtina

Źródło: opracowanie własne.

Wartości parametrów aproksymacji zawarte w tabeli 3.2 umożliwiają – dla określonego stosunku h/T – bezpośrednie wyznaczenie zmiany prędkości ruchu statku szybkiego w zależności od głębokowodnej liczby Froude'a, a pośrednio od prędkości ruchu tego statku na wodzie głębokiej. Tworzenie bazy danych (zbioru) wartości parametrów p wymaga zastosowania formuły numerycznej.

Racjonalizacja kolejnego działania prowadzącego do wyznaczenia charakterystyki oporowej statku szybkiego, które ilustruje technika graficzna zaprezentowana na rys. 3.7 także wymaga zastosowania formuły numerycznej. Podstawą tych działań jest zależność oporu statku na wodzie głębokiej od prędkości tego ruchu, którą przyjęto do stosowania w rozdziale 2.1 i która ma postać określoną wzorem 2.5 skorygowaną o wartości stałe tj.:

$$R = [0,17 (2T+B) L v^{1,825} + 1,45 (24-L/B) \delta^{2,5} (V/L^2) v^4] 9,81 \quad (3.17)$$

Schemat blokowy obliczeń wartości v_h oraz $R_h(v_h)$ przedstawia rysunek 3.11.

Uwzględnienie w toku obliczeń mocy efektywnej silnika napędowego Ne zgodnie z zależnością sformułowaną w oparciu o wzory 2.24, 2.25, 2.26 wymaga uzupełnienia schematu blokowego o procedurę o postaci:

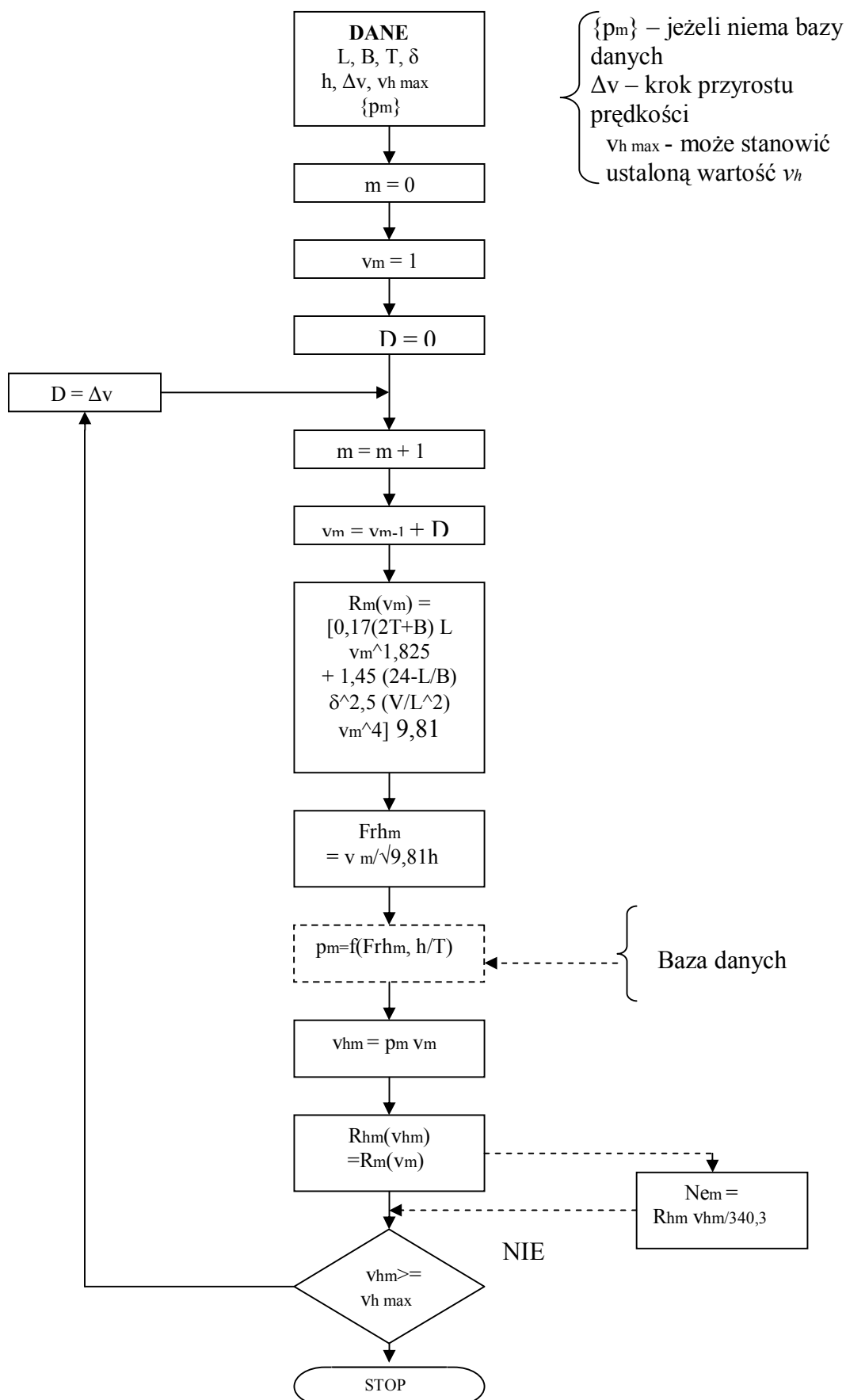
$$Ne = [R_h(v_h) v_h] / \eta_i \eta_w \eta_r \eta_e \xi_k \xi_r \eta_p 1020 \quad (3.18)$$

Przy założeniu (przyjętym w rozdziale 2.3), że:

$$\eta_i = 1; \eta_w = 0,95; \eta_r = 0,97; \eta_e = 0,9$$

$$\xi_k = 1,17; \xi_r = 1; \eta_p = 0,35$$

$$Ne = [R_h(v_h) v_h] / 340,3 \quad [\text{kW}] \quad (3.19)$$

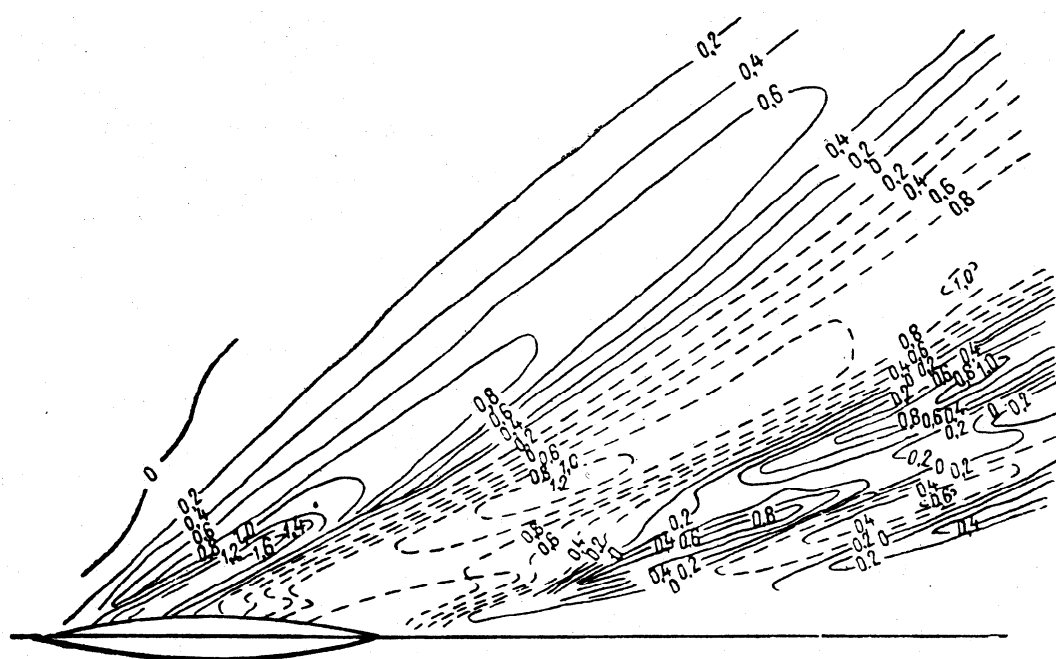


Rys.3.11. Schemat blokowy procedury obliczeniowej wartości R_h i v_h
 Źródło: opracowanie własne.

3.4. Dynamika ruchu statków szybkich

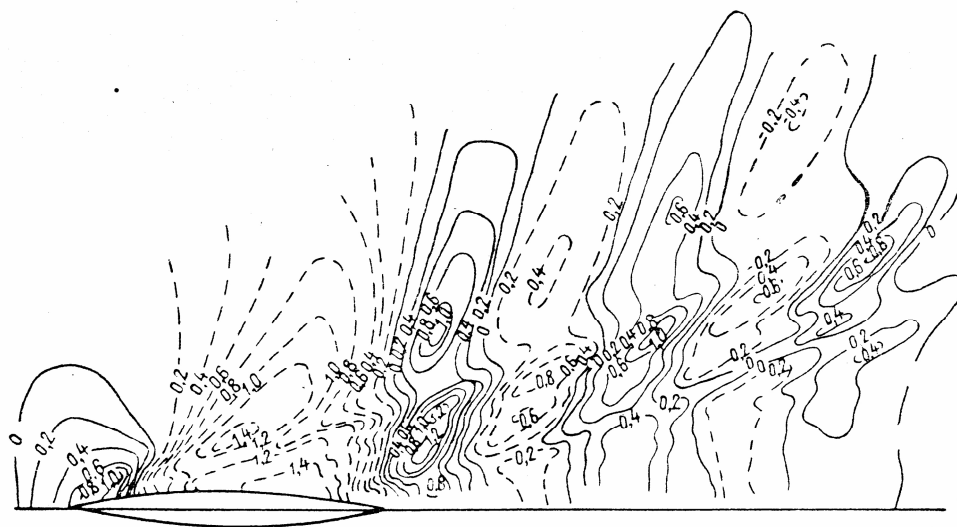
Opór ruchu powstaje na skutek opływu statku przez wodę. Na poszczególne składowe tego oporu wpływają zróżnicowane czynniki; na opór tarcia wpływa przede wszystkim lepkość wody, prędkość ruchu oraz powierzchnia zwilżona kadłuba statku; na opór falowy wpływają zjawiska związane ze zmianą rozkładu ciśnień, prędkości opływu wody wokół kadłuba oraz jego zwilżony przekrój poprzeczny.

Do minimalizacji oporu tarcia można dążyć m.in. poprzez racjonalizację kształtu kadłuba w tym optymalizację relacji L/B – co zostało wykazane w rozdziale 2.3. Ale dla statków szybkich najbardziej istotne znaczenie ma opór falowy, ponieważ jego udział w oporze całkowitym wzrasta intensywnie wraz ze wzrostem prędkości ruchu – co wykazano na rys. 3.4. Konsekwencją wzrostu oporu falowego na wodzie płytkiej jest wzrost energii fali – generowanej przez poruszający się statek – skutkujący wzrostem wysokości i długości tej fali oraz wzrostem zasięgu jej oddziaływania. Ruch statku po wodach płytkich wywołuje również falowanie o zmiennym kącie układu fal skośnych, który zależy od wartości liczby Fr_h odniesionej do prędkości ruchu statku. Geometrię fal wywołanych ruchem statku prezentują rysunki 3.12, 3.13, 3.14, 3.15.



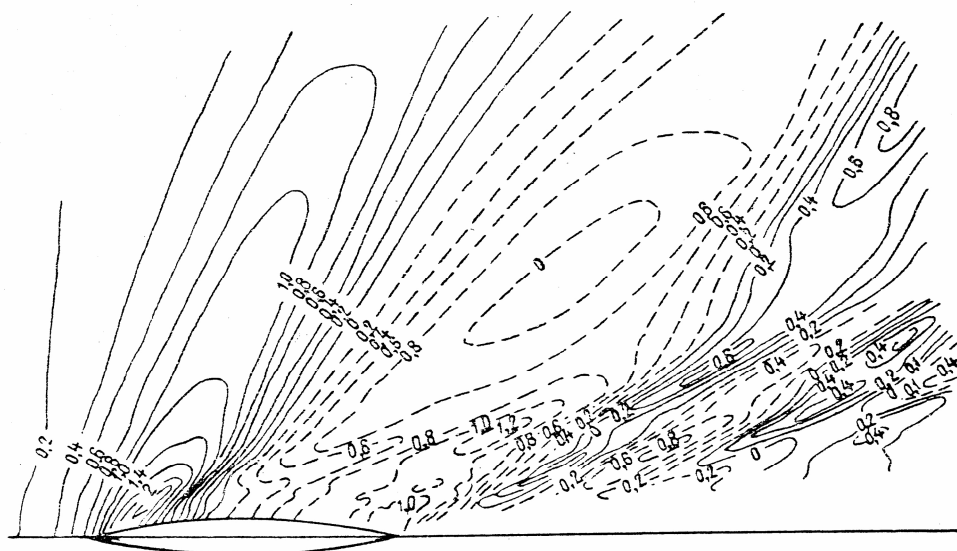
Rys. 3.1. Geometria fal w przedziale prędkości podkrytycznych ($Fr_h = 0,85$)

Źródło: [2]



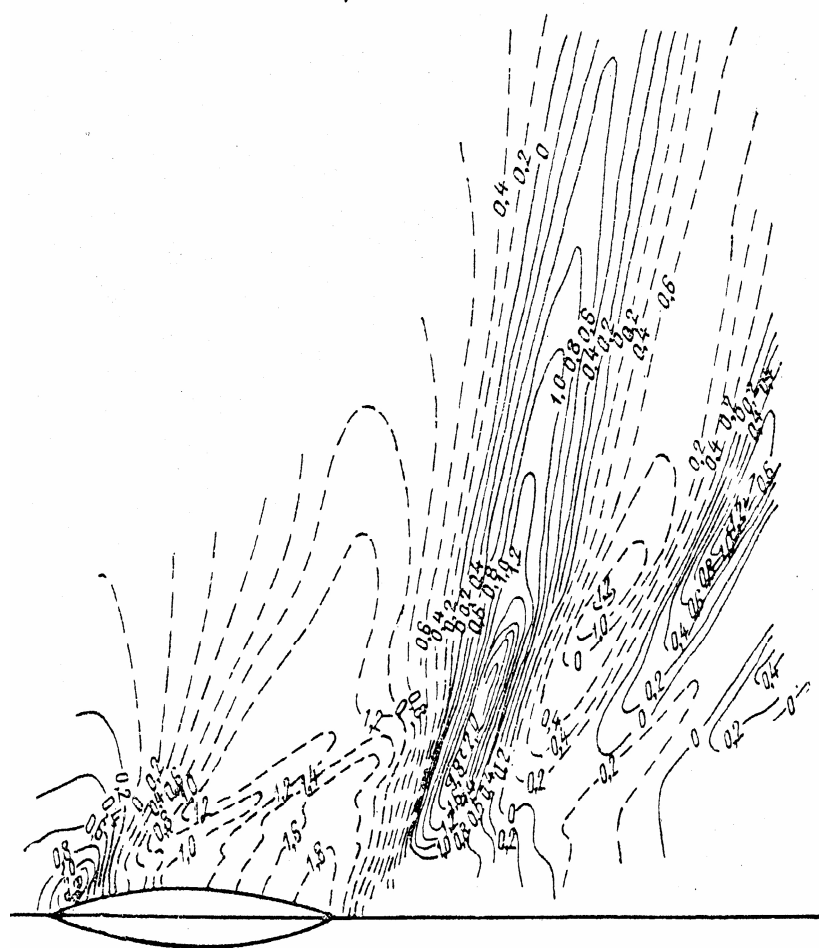
Rys. 3.13. Geometria fal w przedziale prędkości okołokrytycznych ($Fr_h = 0,91$)

Źródło: [2]



Rys. 3.14. Geometria fal w przedziale prędkości okołokrytycznych ($Fr_h = 1,09$)

Źródło: [

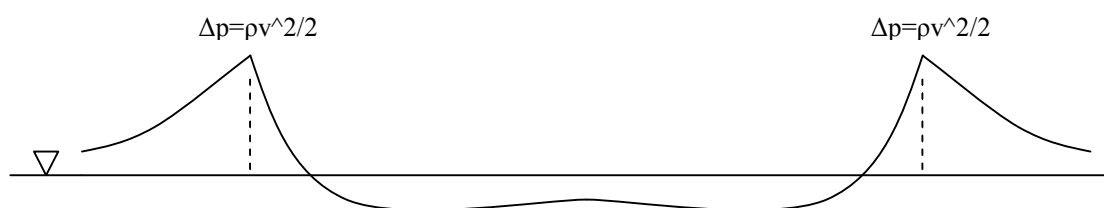


Rys. 3.15. Geometria fal w przedziale prędkości nadkrytycznych ($Fr_h = 1,58$)

Źródło: [2]

W warunkach pływania po wodach śródlądowych falowanie wody powoduje erozję brzegów a także niekorzystnie oddziałuje na budowle brzegowe i obiekty cumujące do otwartych nabrzeży. Stąd należy poszukiwać takich rozwiązań które minimalizują te niekorzystne efekty.

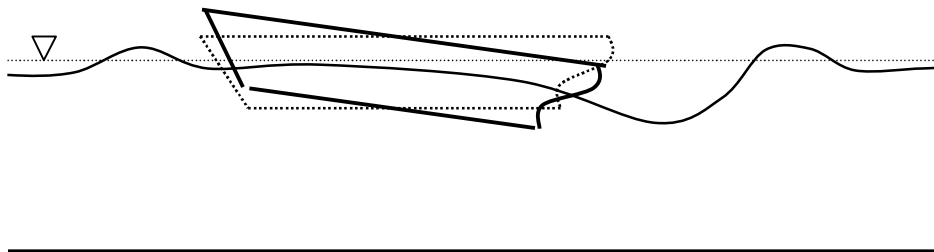
Fale wokół kadłuba powstają w wyniku istnienia dwóch ośrodków generujących impulsy ciśnień: dziobowego i rufowego (rys. 3.16).



Rys.3.16. Rozkład ciśnień wokół kadłuba statku

Źródło: [18]

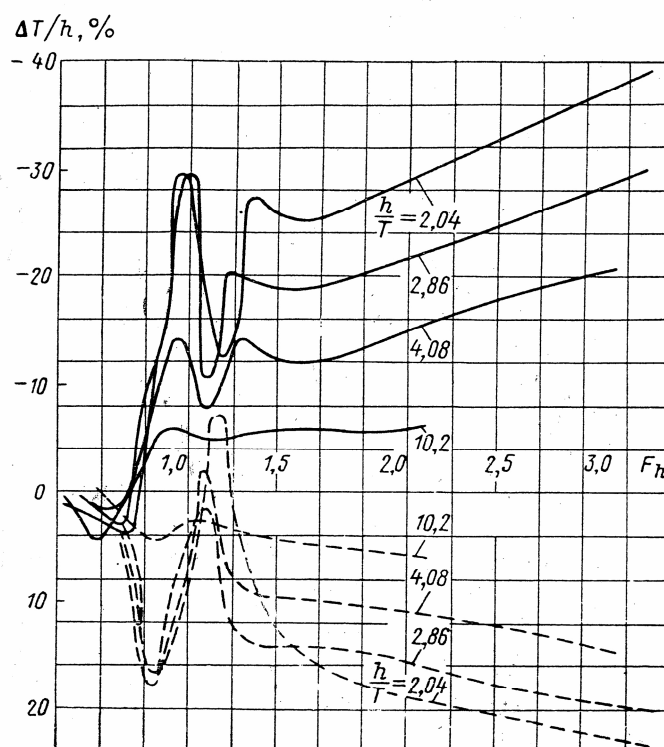
W miarę wzrostu prędkości – poza wzrostem energii fal – następuje przemieszczanie się tych ośrodków i zmiana kształtu powierzchni swobodnej wokół kadłuba (rys. 3.17.)



Rys. 3.17. Schematyczny obraz zmiany kształtu swobodnej powierzchni wody wokół statku poruszającego się w zakresie prędkości okołokrytycznych

Źródło: opracowanie własne na podstawie [2]

Wskutek tego zmienia się położenie wodnicy pływania statku względem dna akwenu. Następuje przegłębienie statku o trendach przedstawionych na rys.3.18.



Rys. 3.18. Charakterystyka zmian położenia dziobu i rufy statku w zależności od liczby Fr i relacji h/T

Źródło: [2]

Z powyższej charakterystyki można wnioskować, że wartość przegłębień rośnie wraz z malejącą wartością h/T .

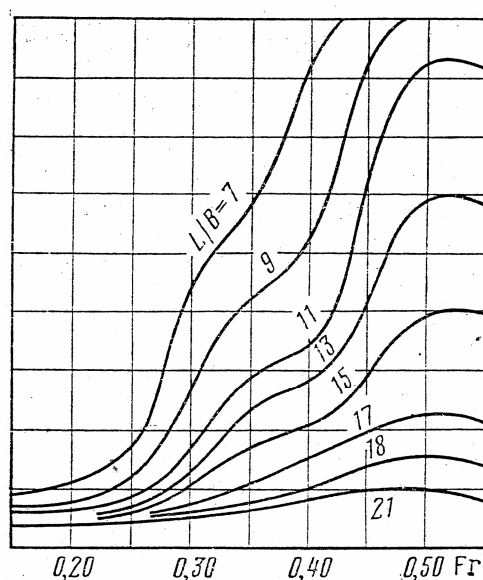
Te dwa zjawiska tj. falowania akwenu i przegłębienia statków wymagają racjonalnego podejścia do procesu ich projektowania i eksploatacji. Ze względu na bezpieczeństwo statku (możliwość kolizji z dnem akwenu) przyjmuje się, że minimalna wartość relacji h/T powinna wynosić 1,5 a konstrukcja statku powinna w sposób dynamiczny minimalizować wartość przegłębień.

Wchodzą tu w grę przynajmniej dwa rozwiązania: odpowiednie jak np. w jednostkach półślizgowych ukształtowanie dna statku w rejonie rufy, lub zastosowanie poziomych płytów z możliwością regulacji ich kąta natarcia.

Ze względu na bezpieczeństwo otoczenia szczególną uwagę należy zwrócić na:

- układ napędowy, by strumień zaśrubowy nie powodował erozji dna w przegłębionej pozycji statku
Rozwiązanie takie jest możliwe poprzez zastosowanie pędnika strugowodnego z wyrzutem wody ponad powierzchnią akwenu.
- minimalizację oporu falowego poprzez dobór konfiguracji kadłuba statku szybkiego

Zgodnie z wnioskami rozdziału 3.1. dla dużych prędkości pożądana jest konfiguracja dwukadłubowa. Zasadność tego wnioskowania można „wzmocnić” dywagacją, że jednostki dwukadłubowe - przy porównywalnych z jednostkami jednokadłubowymi wypornością i zanurzeniem – charakteryzują się: mniejszą wartością powierzchni poprzecznego przekroju zwilżonego, większą wartością relacji L/B a więc mniejszą falogennością (tzw. efekt katamaranu) bez zagrożenia utraty stateczności poprzecznej. Świadczą o tym charakterystyki oporowe (rys.3.19) które wykazują, że pomimo wzrostu powierzchni zwilżonej kadłuba a tym samym – wzrostu oporu tarcia, opór całkowity porównywalnych statków maleje wraz ze wzrostem L/B .



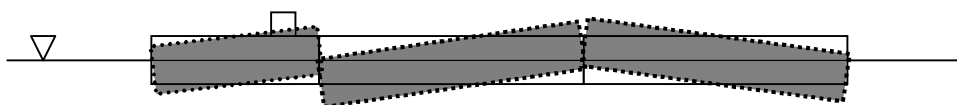
Rys. 3.19. Wpływ wartości relacji L/B na całkowity opór jednostkowy statku

Źródło: [1]

4. SZYBKIE TOWAROWE STATKI ŚRÓDLĄDOWE

4.1. Wybór konfiguracji statku szybkiego

Śródlądowe statki dwukadłubowe teoretycznie może cechować konstrukcja ciągła (statki motorowe) lub nieciągła tzn. składająca się z członów tworzących zestaw pchany. Zestaw pchany ma charakter konstrukcji przegubowej z tendencjami do odkształceń w postaci wzajemnych przemieszczeń kątowych poszczególnych członów powstających już w zakresie prędkości podkrytycznych (rys. 4.1).



Rys. 4.1. Odkształcenia liniowego zestawu pchanego

Źródło: [34]

Proces ten będzie się nasilał w zakresie prędkości okołokrytycznych i nadkrytycznych i będzie powodował deformację członów zestawu, niszczenie układów szczepiających poszczególne człony i w konsekwencji rozformowanie zestawu.

Stąd praktyczną konfiguracją statków szybkich będzie konfiguracja dwukadłubowa zachowująca ciągłość konstrukcji na całej długości jednostki.

Przyjęcie konfiguracji ograniczonej do dwukadłubowej wynika z założonych a priori ograniczeń szerokości występujących na drogach wodnych; uniemożliwiają one wprowadzenie jednostek trzykadłubowych z racjonalną szerokością kadłubów i odstępów pomiędzy tymi kadłubami.

Cechy techniczno – eksploatacyjne dwukadłubowców - w aspekcie wyboru konfiguracji zorientowanej na typ konstrukcyjny są zróżnicowane; zróżnicowanie to potęguje się przy ograniczonym zanurzeniu statków.

Katamaran (Catamaran) cechuje uproszczony - typu prostokątnego - obrys przekroju poprzecznego i przekroju wzdłużnego. Współczynnik pełnotliwości jego kadłuba może osiągnąć wartość zbliżoną do 0,9, co stanowi atut w dążeniu do maksymalizacji ładowności statku. Jego stateczność poprzeczna jest „odporna” na przemieszczanie ładunku w przestrzeni ładunkowej. Ruch katamaranu może przyjmować charakter wypornościowy lub półślizgowy. Przykład katamarana pasażerskiego prezentuje rysunek 4.2.



Rys.4.2. Katamaran pasażerski

Źródło: Fast Ferry Internationale, January 2004

Statek półzanurzony (SWATH – Small Water Plane Area Twin Hull) w podstawowej części wypornościowej z reguły budowany jest na bazie osiowosymetrycznych powłok obrotowych. Jego współczynnik pełnotliwości w tych przypadkach może więc osiągać maksymalną wartość równą około $0,66$. Jednocześnie – przy ograniczonym zanurzeniu i tym samym zmniejszanej w części podwodnej średnicy kadłubów – nastąpi zmniejszenie się jego ładowności przy stałej szerokości całkowitej statku. Będzie więc on dysponował dużą powierzchnią ładunkową przy relatywnie małej ładowności i przestrzenią ładunkową usytuowaną tylko nad powierzchnią wody.



Rys. 4.3. Pasażerski dwukadłubowiec półzanurzony (SWATH) w budowie

Źródło: Fast Ferry Internationale, January 2004

Boczościan (SES – Sufrace Effect Ship) - jest statkiem, którego obrys przekroju poprzecznego i wzdłużnego wyróżnia się kształtem umożliwiającym „podnoszenie” – przez wtłaczane do przestrzeni międzykadłubowej powietrze w celu zmniejszenia jego powierzchni zwilżonej a w efekcie zmniejszenie oporu ruchu. Ta cecha konstrukcyjno – eksploatacyjna boczościanu powoduje, że współczynnik pełnotliwości kadłubów tego statku osiąga wartość rzędu $0,5$. Ten kształt powoduje również to, że pod wpływem obciążania ładunkiem następuje szybszy przyrost zanurzenia boczościanu w porównaniu z katamaranem. Natomiast wytworzenie nadciśnienia w przestrzeni międzykadłubowej wymaga stosowania dodatkowych urządzeń i systemów energetycznych.



Rys. 4.4. Pasażerski bocznoscian

Źródło: Fast Ferry Internationale, January 2004

Porównania poszczególnych rozwiązań, które przedstawiono w tabeli 4.1 w formule skwantyfikowanej dokonano - na podstawie omówionych powyżej w zróżnicowanym zakresie cech statków dwukadłubowych. Formuła ta poprzez określenie (wymiar) „dużo” oznacza pozytywny; poprzez określenie „mało” – negatywny.

Tabela 4.1

Kwantyfikacja techniczno – eksploatacyjnych cech statków dwukadłubowych

Typ konstrukcyjny statku	Cechy techniczno – eksploatacyjne					
	1	2	3	4	5	6
	Ładowność przy ograniczonym zanurzeniu	Stateczność poprzeczna przy przemieszcz. ładunku	Pojemność ładunkowa	Obciążalność ładunkiem w aspekcie przyrostu zanurzenia	Tłumienie falowania własnego	Efektywn. wykorzyst. energii napędu głównego
	Wymiar kwantyfikacji					
Katamaran	duża	duża	Duża	duża	Małe	średnie
Półzanurzony	mała	mała	Mała	mała	Duże	duże
Bocznoscian	mała	średnia	Średnia	średnia	Średnie	małe

Źródło: opracowanie własne.

W wyniku przeprowadzonej kwantyfikacji można stwierdzić, że statkiem o największej liczbie cech pozytywnych jest katamaran. Ponadto takie jego cechy jak: duża ładowność (cecha 1), stateczność poprzeczna (cecha 2) czy obciążalność (cecha 3) predysponują tę konfigurację do stosowania w projektowaniu i eksploatacji statków towarowych, których efektywność istotnie zależy od ich ładowności.

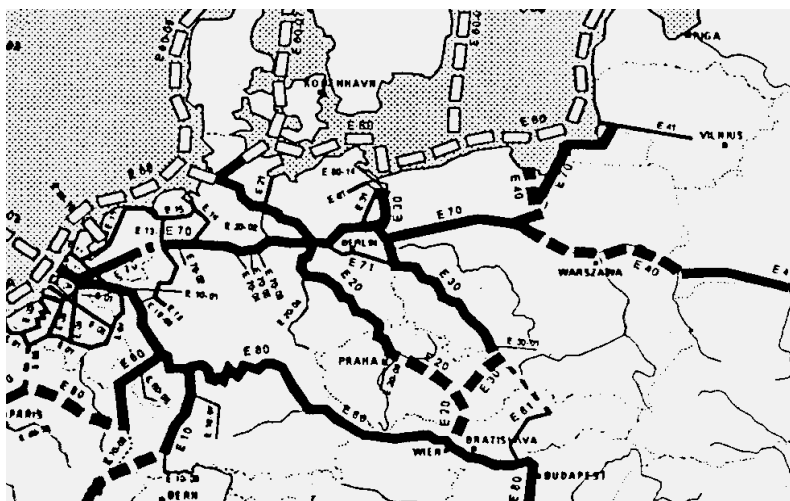
Pozostałe dwa typy konstrukcyjne statków mogą być brane pod uwagę w analizie szybkich statków pasażerskich wymagających niewielkiej ładowności. Jednak aspekty tłumienia falowania (cecha 5) czy walory energetyczne (cecha 6) wskazują w tym zastosowaniu na statek półzanurzony.

4.2. Ograniczenia wymiarów szybkich statków towarowych

Maksymalizacja ładowności statków śródlądowych wymaga osiągnięcia największych dopuszczalnych wymiarów tych statków. Wymiary dopuszczalne to takie, które spełniają kryteria ograniczenia wymiarów geometrii drogi wodnej i jednocześnie kryteria konstrukcyjne wynikające m.in. z wymiarów głównych statków.

Zakładając, że szybkie statki towarowe będą poruszały się po polskich drogach wodnych należy brać pod uwagę przede wszystkim te drogi, które mają potencjalnie duże znaczenie dla usług transportu śródlądowego. Praktyczną wskazówką tego wyboru jest stanowisko Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ (rys. 4.2), które preferuje:

- Odrzańską Drogę Wodną – E-30, obejmującą:
 - Kanał Gliwicki (E-30 – 01)
 - Odrę
 - Zalew Szczeciński
- Drogę Zachód – Północny Wschód – E-70, obejmującą:
 - Wartę
 - Noteć
 - Kanał Bydgoski
 - Brdę
 - Wisłę
 - Nogat
 - Zalew Wiślany



Rys. 4.5. Europejskie autostrady wodne
Źródło: Europejska Komisja Gospodarcza ONZ [19]

Są to drogi nie tylko o wzajemnie zróżnicowanej charakterystyce ale także zróżnicowanej charakterystyce wewnętrznej. Różnice występują pomiędzy parametrami budowli hydrotechnicznych, głębokościami tranzytowymi, wysokościami prześwitów pod mostami etc. Za podstawowe cechy analizowanych dróg mające wpływ na ograniczenia wymiarów głównych statków przyjmuje się:

- wymiary komór śluzowych (wymiar użytkowy l, b),
- głębokości tranzytowe (h),
- przepisy administracyjne (ograniczające wymiar statków L, B).

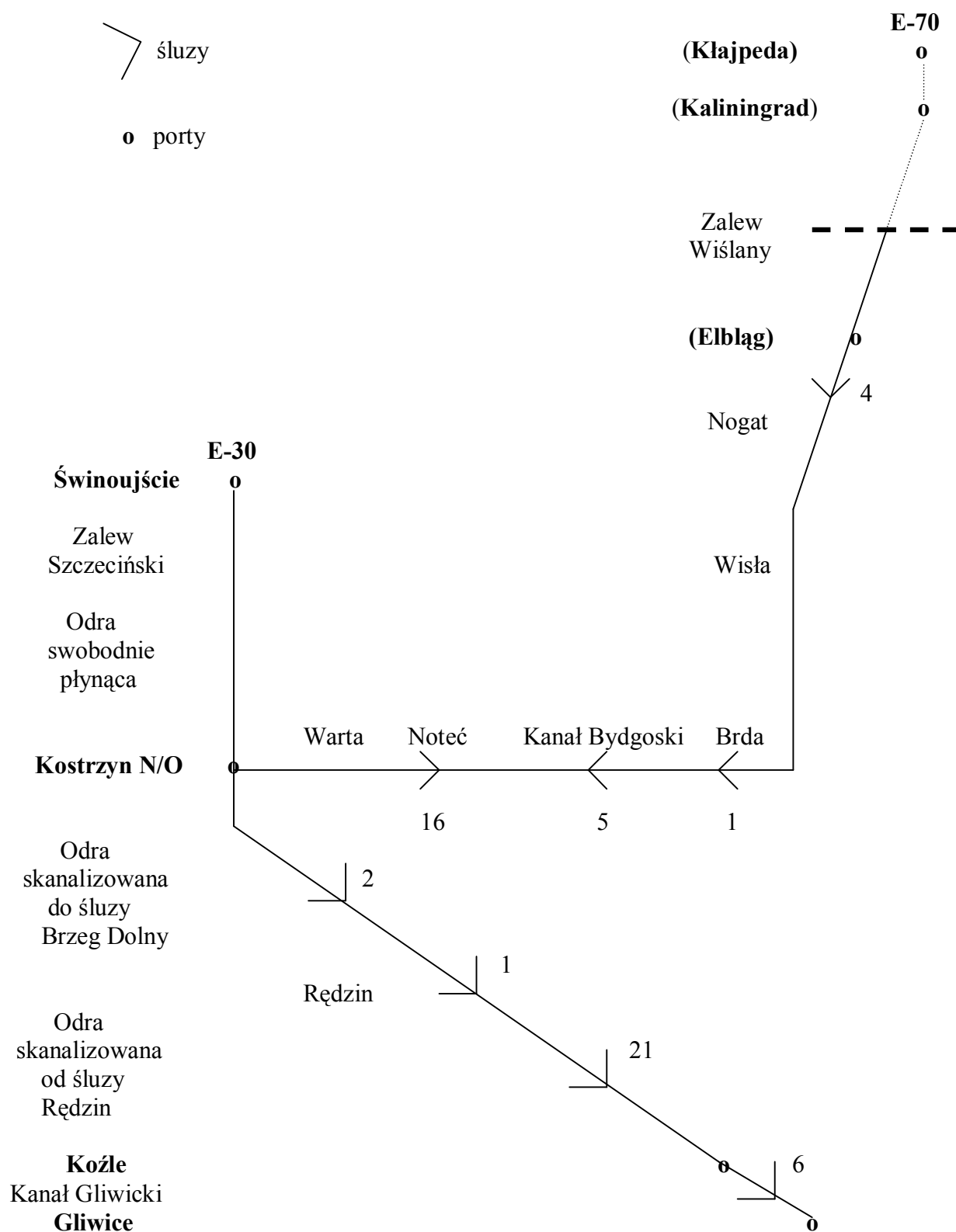
Ograniczenia wartości wymiarów statków ilustrowane schematem dróg wodnych (rys. 4.6) prezentuje tabela 4.2.

Tabela 4.2.

Ograniczenia wymiarów głównych statków śródlądowych

Droga Wodna	Odcinek	Czynniki ograniczeń				
		Śluzy		Przepisy administracyjne		Głębokość Tranzytowa
		Wartości ograniczeń [m]				
		1	B	L	B	h
E-30	Kanał Gliwicki	72	12	-	-	2,0
	Odra skanalizowana do śluzy Różanka	185	9,6	-	-	1,8
	Odra skanalizowana od śluzy Różanka	185	12,0	-	-	1,8
	Odra swobodnie płynąca	-	-	82	11,4	1,8
	Zalew Szczeciński	-	-	-	-	10,0
E-70	Warta	-	-	-	-	1,5
	Noteć	56	9,6	-	-	1,3
	Kanał Bydgoski	56	9,6	-	-	1,6
	Brda	-	-	-	-	1,6
	Wiśła	-	-	-	-	1,2
	Nogat	56	9,6	-	-	2,0
	Zalew Wiślany	-	-	-	-	3,5

Źródło: opracowanie własne na podstawie dokumentów Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ (rys. 1.3) oraz „Programu Odra 2006”.



Rys.4.6. Schemat polskich dróg wodnych klasy międzynarodowej

Źródło: opracowanie własne.

Geografia polskich dróg śródlądowych, ich ograniczenia geometryczne oraz aspekty gospodarcze narzucają przebieg potencjalnych tras transportowych o maksymalnych długościach i z uwzględnieniem wartości parametrów limitujących dla tych tras.

Na Odrzańskiej Drodze Wodnej (ODW) można wyróżnić trzy trasy:

- Różanka – Świnoujście (ODW -1)
- Koźle – Świnoujście (ODW -2)
- Gliwice – Świnoujście (ODW – 3)

Na Drodze Wodnej Zachód – Północny Wschód (DWZ-PW) praktycznie występuje tylko jedna trasa transportowa przebiegająca od Kostrzyna N/O przez Elbląg na Zalew Wiślany tworząca perspektywy żeglugi do Kaliningradu oraz Kłajpedy.

W aspekcie istniejących połączeń wodnych można również rozpatrywać trasę Gliwice – (Elbląg) Zalew Wiślany, dla której ograniczenia będą wynikały z parametrów drogi E-70.

Natomiast wszystkie polskie drogi wodne mają połączenie z drogami wodnymi Niemiec i Europy Zachodniej o takich parametrach, które umożliwią proponowanym statkom szybką obsługę procesów transportowych handlu zagranicznego z tym zastrzeżeniem, że na tych drogach te statki będą poruszały się z mniejszymi prędkościami.

W kontekście wytypowanych tras propozycja wymiarów głównych statków śródlądowych przeznaczonych do pływania po tych trasach obejmuje cztery typy statków scharakteryzowane w tabeli 4.3.

Tabela 4.3.

Charakterystyka wymiarowa typów statków

Typ statku	Wymiar główny			Głębokość tranzytowa h	Trasa transportowa
	L	B	T*		
	Wartość wymiaru [m]			[m]	
1	82	11,4	1,2	1,8	ODW – 1
2	82	9,0	1,2	1,8	ODW – 2
3	72	9,0	1,2	1,8	ODW – 3
4	56	9,0	0,8	1,2	DWZ-PW

T* p przyjęte zanurzenie wynika z zasady (wzór 3.13), że dla statków szybkich:

Źródło: opracowanie własne.

$$(h/T)_{\min} = 1,5$$

Przyjęte – na podstawie ograniczeń geometrii dróg wodnych – typy statków, są konstrukcjami dwukadłubowymi. Ścisła ich kwalifikacja - określająca typ konstrukcyjny – wynika z cech statków dwukadłubowych (tabela 4.1) i przeznaczenia tych statków.

Szybkimi statkami towarowymi będą oczywiście katamarany. Ich wymiary główne przedstawione w tabeli 4.3, tworzą podstawy do maksymalizacji wyporności (i ładowności) tych statków, natomiast nie wyczerpują wszystkich determinantów wartości tej wielkości.

Wyporność katamaranu zgodnie z rysunkiem 2.7 i wzorem 2.19 określają zależności:

$$V = L \cdot 2b \cdot (c+1) \cdot T \cdot \delta \quad (4.1)$$

$$b = B/[2(c+1)] \quad (4.2)$$

gdzie: V - wyporność statku [m^3]
 b – szerokość pojedynczego kadłuba [m]
 c -cecha konfiguracji
 δ – współczynnik pełnotliwości kadłubów

Warunek uzyskania maksymalnej wartości wyporności - przy określonych wymiarach głównych - wynika więc z maksymalizacji wartości współczynnika pełnotliwości δ oraz maksymalizacji szerokości pojedynczego kadłuba b . Praktyczna maksymalna wartość współczynnika pełnotliwości kadłuba wynosi:

$$\delta_{\max} = 0,9 \quad (4.3)$$

Natomiast maksymalna szerokość pojedynczego kadłuba jest zależna od minimalnej wartości parametry c i zgodnie ze wzorem 2.20 wynosi ona:

$$b_{\max} = B/2,6 \quad (4.4)$$

Charakterystykę wymiarową statkówuwzględniającą powyżej sformułowane uwarunkowania przedstawia tabela 4.4.

Tabela 4.4

Charakterystyka wymiarowa statków

Typ Statku	Wymiary główne [m]			Szerokość pojedynczego kadłuba [m]	Współczynnik pełnotliwości	Wyporność [m^3]	Relacje wymiarów		
	L	B	T				L/b	b/T	h/L
1	82	11,4	1,2	4,38	0,9	775	18,7	3,65	0,022
2	82	9,0	1,2	3,46	0,9	613	23,6	2,88	0,022
3	72	9,0	1,2	3,46	0,9	538	20,8	2,88	0,025
4	56	9,0	0,8	3,46	0,9	279	16,2	4,32	0,021

Źródło: opracowanie własne.

Relacje L/b i b/T pojawiające się w tej charakterystyce mają na celu weryfikację typów statków wynikającą z kryteriów konstrukcyjnych. W rozdziale 2 (wzór 2.17 , wzór 2.18) zostały przedstawione wartości tych relacji dla statków jednokadłubowych. Dla statków dwukadłubowych będą miały one postać:

$$L/b \Rightarrow 3 \quad (4.5)$$

i

$$2 \leq b/T \leq 6 \quad (4.6)$$

Na ich podstawie można stwierdzić, że wszystkie typy statków wyszczególnione w tabeli 4.4. spełniają określone kryteria konstrukcyjne.

Jednocześnie wartości relacji h/L potwierdzają zasadność stosowania metody Apuchtina w wyznaczaniu oporu ich ruchu.

4.3. Opory ruchu szybkich statków towarowych

Opory ruchu statków szybkich wyznaczane są w przedziałach prędkości podkrytycznych i nadkrytycznych. Dla przyjętych głębokości tranzytowych (tab. 4.3) tj. 1,8 m (dla ODW), i 1,2 m (dla DWZ-PW), prędkości krytyczne wynoszą kolejno:

$$v_{kr} = f(Fr_h=1, h=1,8) = 4,2 \text{ m/s}; 15 \text{ km/h} \quad (4.7)$$

$$v_{kr} = f(Fr_h=1, h=1,2) = 3,43 \text{ m/s}; 12,3 \text{ km/h} \quad (4.8)$$

Prędkości podkrytyczne obejmują więc wartości:

$$0 \leq v_p (h=1,8) < v_{kr} = 4,2 \text{ [m/s]} \quad (4.9)$$

$$0 \leq v_p (h=1,2) < v_{kr} = 3,43 \text{ [m/s]} \quad (4.10)$$

W przedziale prędkości nadkrytycznych dolną granicę tego przedziału stanowi wartość prędkości krytycznej:

$$v_{kr} = f(Fr_h' = 1, h) \quad (4.11)$$

Natomiast dla określenia wartości prędkości w górnej granicy przedziału prędkości nadkrytycznych wstępnie przyjmuje się założenie, że w obydwu przypadkach rozpatrywanych głębokości tranzytowych wartość tę tworzą charakterystyczne prędkości ruchu w których następuje zrównanie się wartości oporu ruchu statku pływającego na wodzie płytkiej i głębokiej.

Względna wartość górnej granicy tego przedziału prędkości Fr_h'' określana jest z wykresu Apuchtina (rys. 3.8) lub jego zmodyfikowanej postaci (rys. 3.9) z uwzględnieniem warunku, że:

$$Fr_h' < Fr_h'' = f(p=0, h/T) \quad (4.12)$$

tzn., że istnieje zerowy przyrost oporu ruchu statku na wodzie płytkiej w stosunku do wody głębokiej dla każdej wartości stosunku h/T .

Dla rozpatrywanych przypadków:

$$Fr_h'' = f(p=0, h/T=1,5) = 2 \quad (4.13)$$

Tym samym prędkości nadkrytyczne dla przyjętych głębokości tranzytowych i zanurzeń statków obejmują wartości z przedziałów :

$$4,2 \leq v_n(h=1,8) \leq 8,4 \text{ [m/s]} \quad \text{dla ODW} \quad (4.14)$$

$$3,43 \leq v_n(h=1,2) \leq 6,86 \text{ [m/s]} \quad \text{dla DW Z-PW} \quad (4.15)$$

Charakterystykę parametryczną w całym przedziale prędkości dla poszczególnych typów statków – prezentują tabele 4.5 – 4.8. Wyznaczoną na ich bazie charakterystykę oporową na wodzie głębokiej (R_∞) i płytkiej (R_h) przedstawiają wykresy na rysunkach 4.4 – 4.7, a charakterystykę oporowo – napędową uwzględniającą moc efektywną silnika (N_e) prezentują wykresy na rysunkach 4.8 – 4.11.

Tabela 4.5

Charakterystyka parametryczna statku – Typ 1

Para metry	$v = v_p$ [m/s]						$V = v_{kr}$	$v = v_n$ [m/s]							
	1,050	1,575	2,100	2,625	3,150	3,675	4,200	4,725	5,250	5,775	6,300	6,825	7,350	7,875	8,400
Fr _h	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,125	1,250	1,375	1,500	1,625	1,750	1,875	2,000
p	0,022	0,043	0,064	0,102	0,152	0,209	0,268	0,325	0,377	0,417	0,436	0,434	0,220	0,108	0,0
R(v)[kN]	2,1	4,4	7,4	11,3	16,0	21,5	28,8	35,5	44,0	53,8	64,8	77,3	91,4	107,2	125,0
v _h [m/s]	1,027	1,508	1,964	2,357	2,669	2,905	3,074	3,187	3,267	3,367	3,550	3,858	5,728	7,018	8,400
Fr(v _h)	0,036	0,053	0,069	0,083	0,094	0,102	0,108	0,112	0,115	0,119	0,125	0,136	0,202	0,247	0,249
R(v _h =v)	2,1	4,4	8,5	14,3	32,0	75,5	79,5	83,0	87,0	91,0	97,0	103,0	110,0	117,5	125,0
Ne(v _h) [kW]	6,3	20	40	94	300	830	1022	1215	1407	1600	1896	2192	2488	2784	3080

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4.6

Charakterystyka parametryczna statku – Typ 2

Para metry	$v = v_p$ [m/s]						$V = v_{kr}$	$v = v_n$ [m/s]							
	1,050	1,575	2,100	2,625	3,150	3,675	4,200	4,725	5,250	5,775	6,300	6,825	7,350	7,875	8,400
Fr _h	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,125	1,250	1,375	1,500	1,625	1,750	1,875	2,000
p	0,022	0,043	0,064	0,102	0,152	0,209	0,268	0,325	0,377	0,417	0,436	0,434	0,220	0,108	0,0
R(v)[kN]	1,8	3,7	6,3	9,5	13,3	17,6	22,5	27,9	33,8	40,3	47,4	54,9	63,0	71,6	80,8
v _h [m/s]	1,027	1,508	1,964	2,357	2,669	2,905	3,074	3,187	3,267	3,367	3,550	3,858	5,728	7,018	8,400
Fr(v _h)	0,036	0,053	0,069	0,083	0,094	0,102	0,108	0,112	0,115	0,119	0,125	0,136	0,202	0,247	0,249
R(v _h =v)	1,8	3,7	7,5	12,5	24,5	52,5	56,5	58,5	60,8	63,3	67,0	70,0	73,2	77,0	80,8
Ne(v _h) [kW]	5,4	14	21	104	250	560	690	820	950	1080	1262	1444	1626	1808	1990

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4.7

Charakterystyka parametryczna statku – Typ 3

Para metry	v = v _p [m/s]						V = v _{kr}	v = v _n [m/s]							
	1,050	1,575	2,100	2,625	3,150	3,675		4,200	4,725	5,250	5,775	6,300	6,825	7,350	7,875
Fr _h	0,250	0,375	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,125	1,250	1,375	1,500	1,625	1,750	1,875	2,000
p	0,022	0,043	0,064	0,102	0,152	0,209	0,268	0,325	0,377	0,417	0,436	0,434	0,220	0,108	0,0
R(v)[kN]	1,6	3,3	5,6	8,7	12,0	16,1	20,8	26,2	31,7	39,2	47,0	55,6	65,2	75,9	87,8
v _h [m/s]	1,027	1,508	1,964	2,357	2,669	2,905	3,074	3,187	3,267	3,367	3,550	3,858	5,728	7,018	8,400
Fr(v _h)	0,038	0,057	0,074	0,089	0,100	0,109	0,116	0,120	0,123	0,127	0,134	0,145	0,216	0,266	0,316
R(v _h =v)	1,6	3,3	7,0	12,0	24,0	53,0	57,8	60,1	62,5	65,2	69,0	73,2	78,0	82,8	87,8
Ne(v _h) [kW]	4,7	18	41	90	200	560	692	825	957	1090	1304	1518	1732	1946	2163

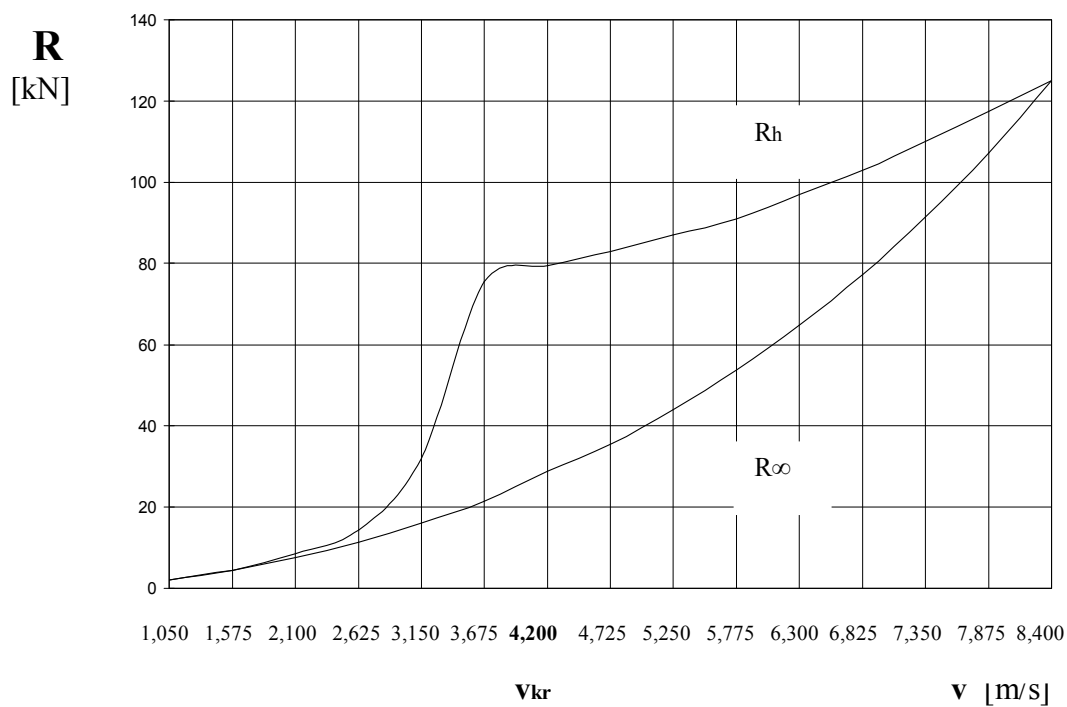
Źródło: opracowanie własne.

Tabela 4.8

Charakterystyka parametryczna statku – Typ 4

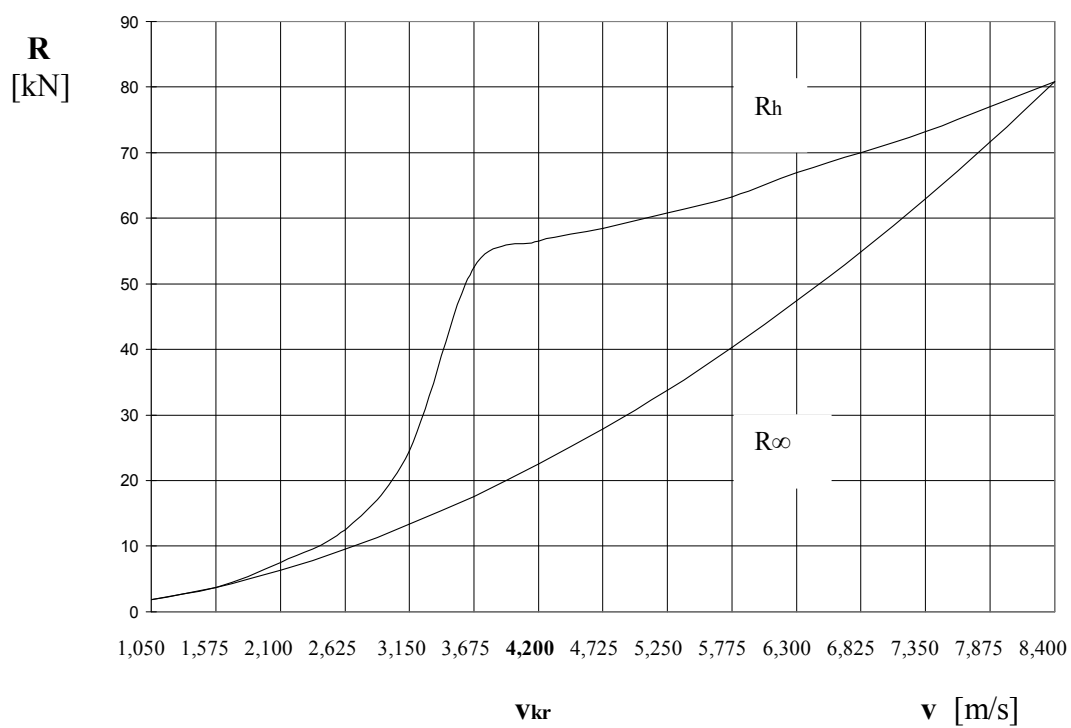
Para metry	v = v _p [m/s]						V = v _{kr}	v = v _n [m/s]							
	0,8575	1,2860	1,7150	2,1430	2,5725	3,0001		3,4300	3,8587	4,2870	4,7160	5,1450	5,5730	6,0020	6,4300
Fr _h	0,248	0,371	0,500	0,625	0,750	0,875	1,000	1,125	1,240	1,360	1,490	1,610	1,720	1,858	2,000
p	0,022	0,043	0,064	0,102	0,152	0,209	0,268	0,325	0,377	0,417	0,436	0,434	0,220	0,108	0,0
R(v)[kN]	0,7	1,5	2,6	4,0	5,7	7,8	10,2	13,0	16,3	20,1	24,5	29,5	35,2	41,8	49,2
v _h [m/s]	0,838	1,230	1,600	1,920	2,180	2,370	2,510	2,600	2,670	2,750	2,900	3,150	4,680	5,730	6,860
Fr(v _h)	0,036	0,053	0,068	0,082	0,093	0,101	0,107	0,111	0,114	0,117	0,124	0,134	0,240	0,244	0,292
R(v _h =v)	0,7	1,5	2,7	5,3	11,5	28,5	30,8	32,2	33,7	35,5	37,3	39,7	42,6	46,0	49,2
Ne(v _h) [kW]	1,8	7	13	26	80	238	308	370	430	483	585	686	788	889	992

Źródło: opracowanie własne.



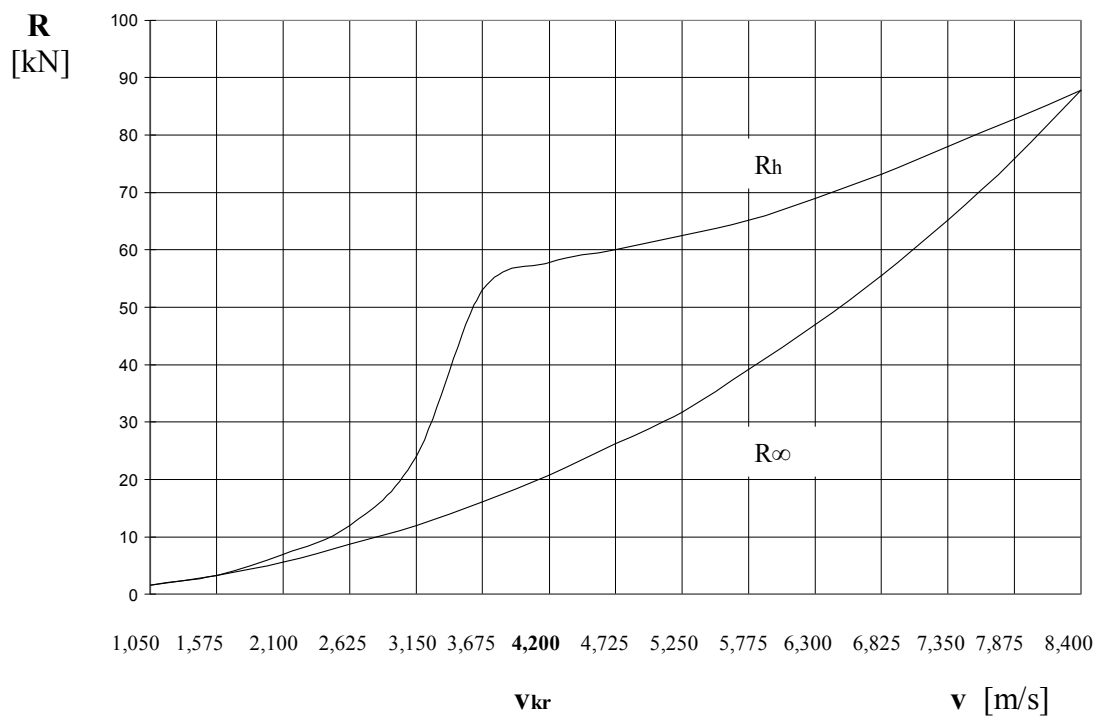
Rys.4.4. Charakterystyka oporowa statku – Typ 1

Źródło: opracowanie własne.

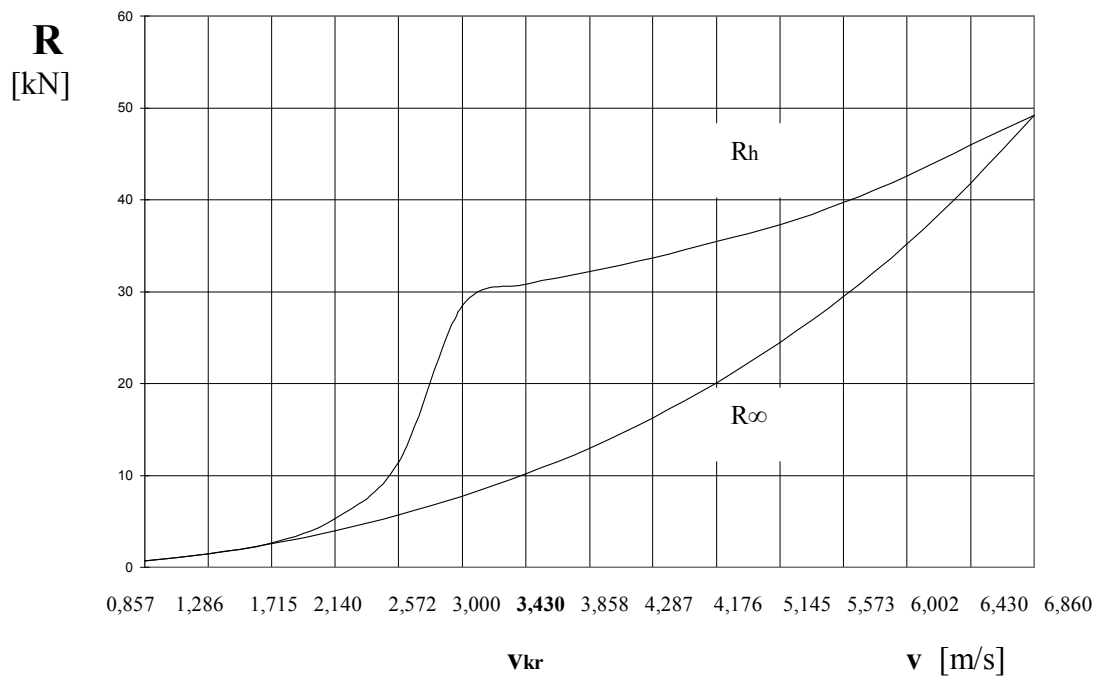


Rys. 4.5. Charakterystyka oporowa statku - Typ 2

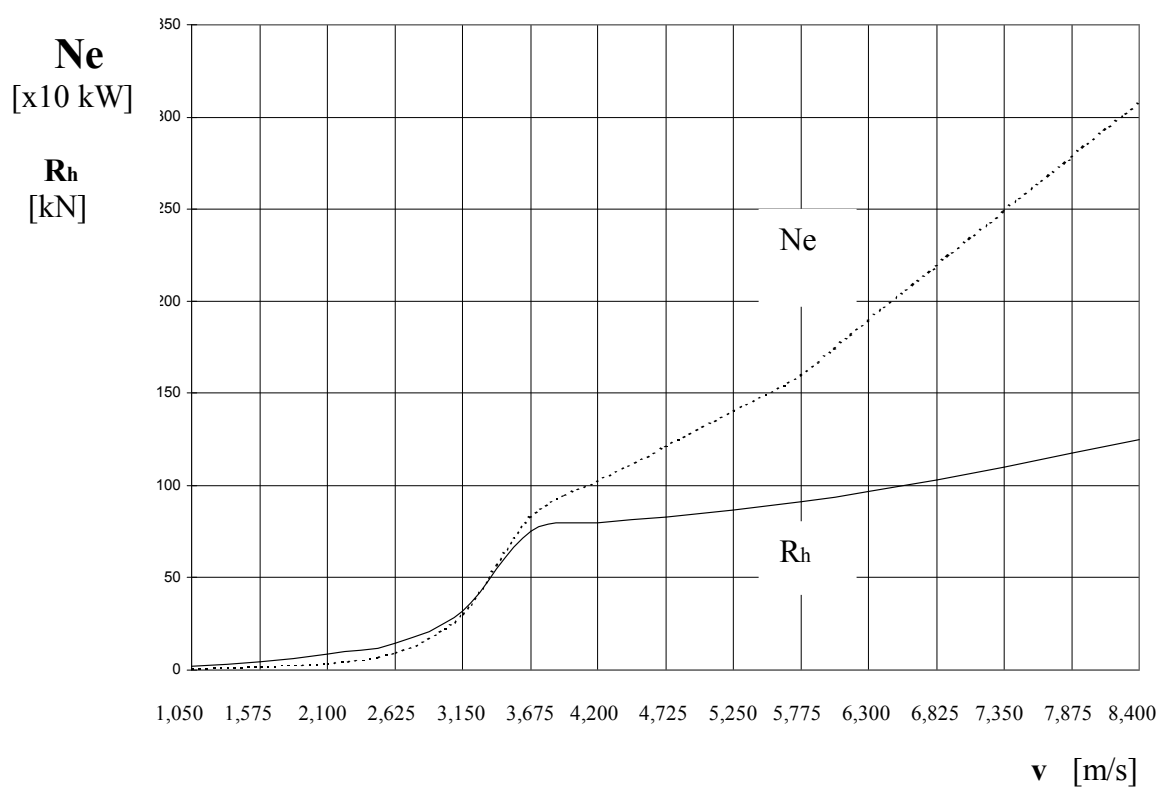
Źródło: opracowanie własne.



Rys.4.6. Charakterystyka oporowa statku – Typ 3
Źródło: opracowanie własne.

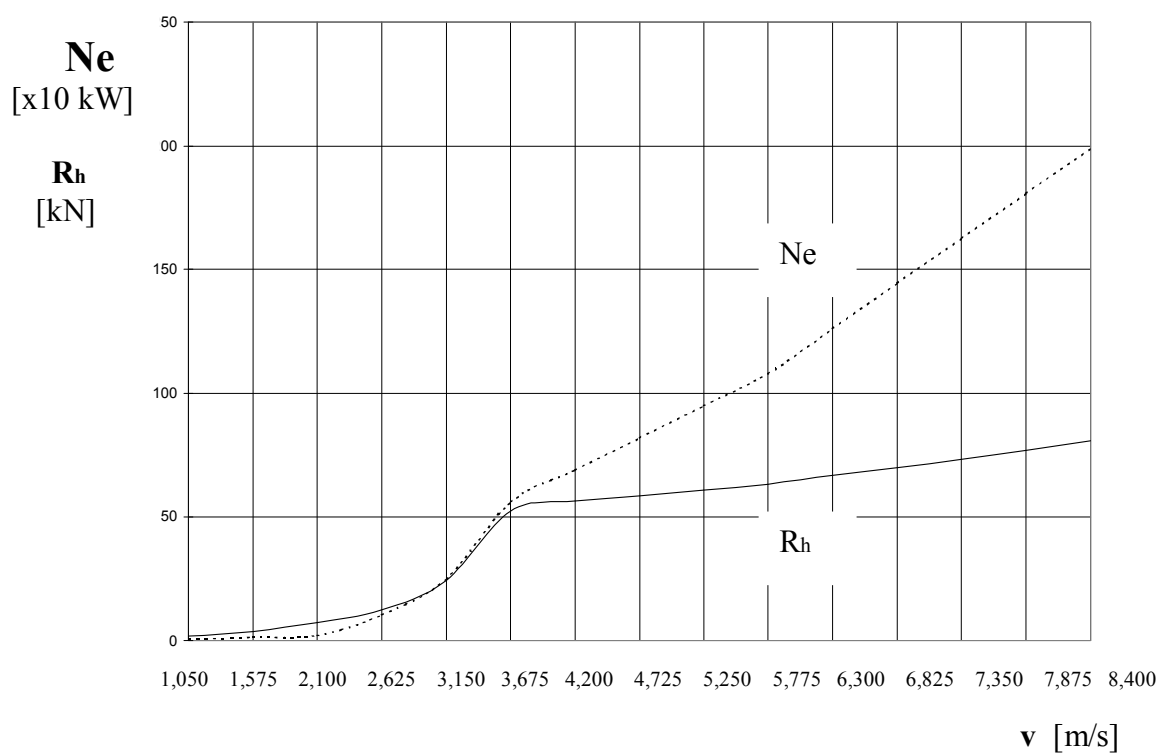


Rys. 4.7. Charakterystyka oporowa statku – Typ 4
Źródło: opracowanie własne.



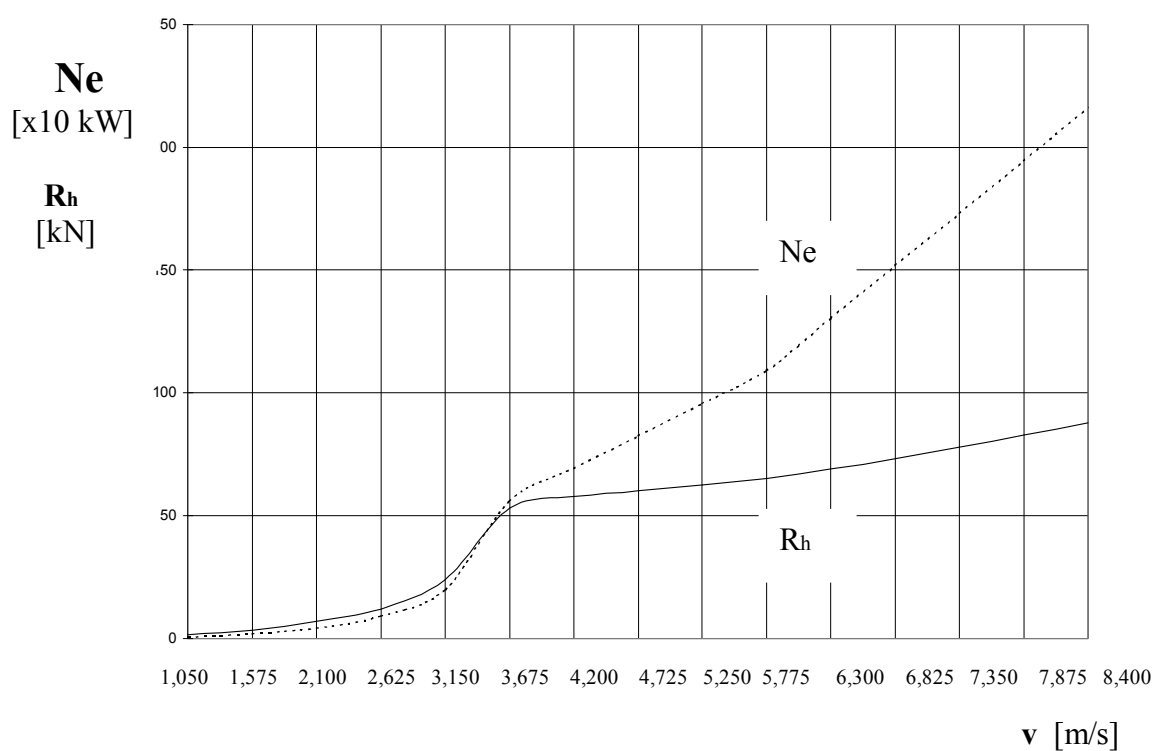
Rys. 4.8. Charakterystyka oporowo – napędowa statku – Typ 1

Źródło: opracowanie własne.



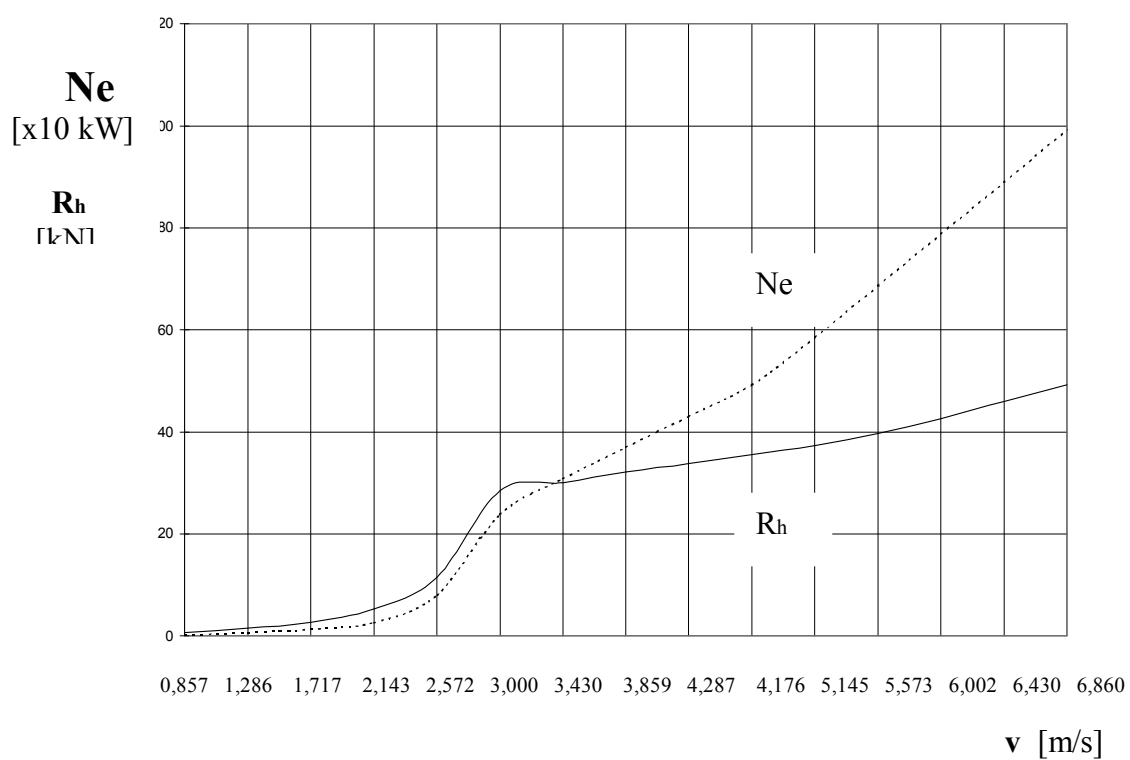
Rys. 4.9. Charakterystyka oporowo – napędowa statku – Typ 2

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.10. Charakterystyka oporowo – napędowa statku – Typ 3

Źródło: opracowanie własne.



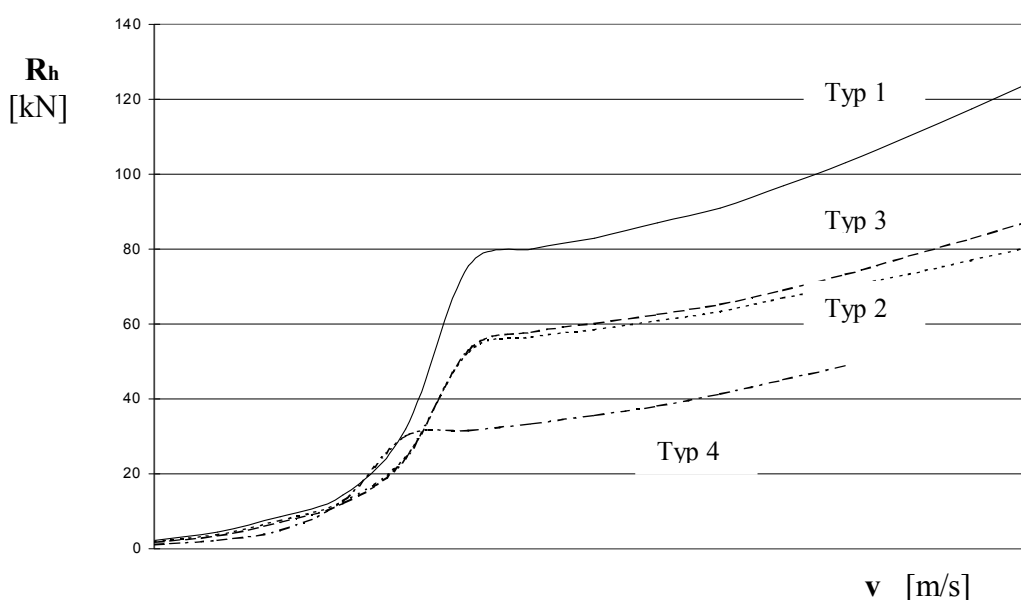
Rys. 4.11. Charakterystyka oporowo – napędowa statku – Typ 4

Źródło: opracowanie własne.

Charakterystyki oporowe wyraźnie pokazują zróżnicowanie oporu ruchu statków na wodzie płytkiej i głębokiej. Przebieg wartości oporu ruchów na wodzie płytkiej w przedziale prędkości nadkrytycznych jest monotoniczny a dynamika przyrostu tego oporu ($\Delta R_h/\Delta v$) w tym przedziale, porównywalna jest z dynamiką przyrostu opory ruchu w zakresie prędkości eksploatacyjnych statków „wolnych” tj. ok. $0,6v_{kr}$. Jednocześnie z charakterystyk oporowych można wnioskować, że w przedziale prędkości nadkrytycznych na wodzie płytkiej dynamika przyrostu oporu jest mniejsza niż na wodzie głębokiej.

Charakterystyki oporowo – napędowe praktycznie nie dają podstaw do zmian wyżej sformułowanego wnioskowania. Przebieg wartości mocy napędowej w zakresie prędkości nadkrytycznych jest również monotoniczny i tym samym nie wykazuje żadnych wartości ekstremalnych. Może to stanowić o optymalnym wykorzystaniu mocy napędowej silnika w całym przedziale prędkości nadkrytycznych.

Celem porównania poszczególnych charakterystyk statków pływających na wodzie płytkiej dokonano ich zestawienia na rysunku 4.12.



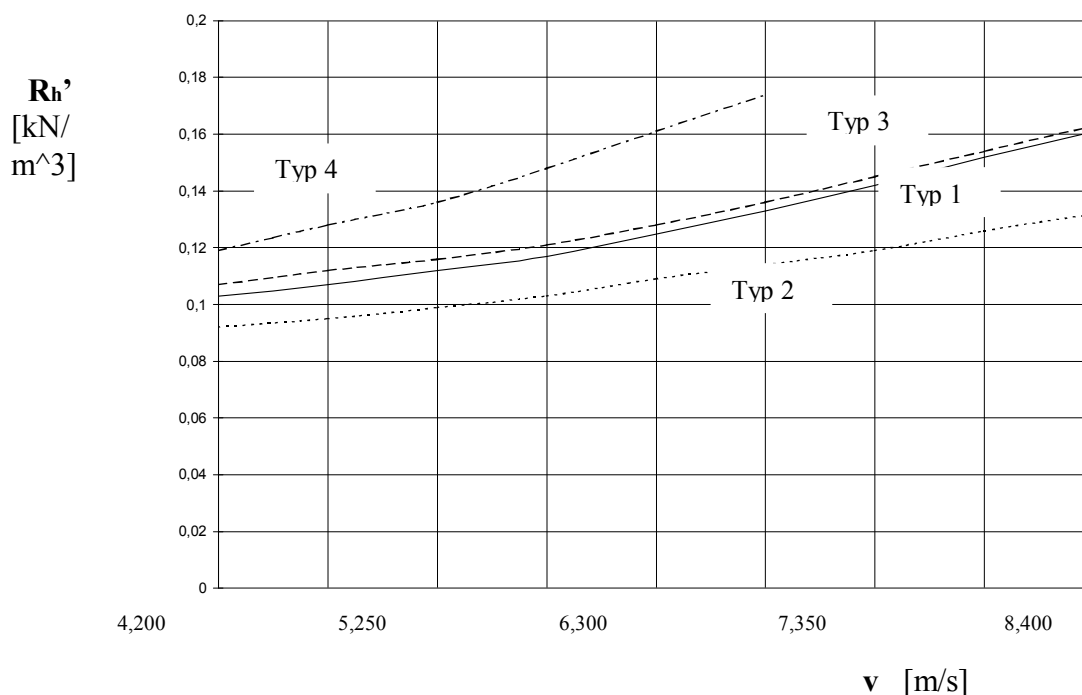
Rys. 4.12. Bezwzględny opór ruchu poszczególnych typów statku w całym przedziale prędkości

Źródło: opracowanie własne.

Zgodnie z oczekiwaniami, bezwzględny opór ruchu tych statków jest zróżnicowany i rośnie wraz ze wzrostem wyporności poszczególnych ich typów. Natomiast ich względny opór (świadczący o potencjalnej efektywności transportowej) w przedziale prędkości nadkrytycznych definiowany jako:

$$R_h' = R_h/v \quad (4.16)$$

zmienia ten obraz (rys. 4.13).



Rys. 4.13. Względny opór ruchu poszczególnych typów statków w przedziale prędkości nadkrytycznych

Źródło: opracowanie własne.

W tym przypadku najmniejszy opór względny osiąga statek Typu 2 a w dalszej-uporządkowanej pod tym względem - kolejności są statki Typu 1, Typu 3 i Typu 4. Oznacza to, że istnieją określone cechy które nie preferują w aspekcie oporu względnego statku o największej wyporności tj. statku Typu 1.

Wobec powyższego poszczególne typy statków poddawane są dalszej analizie porównawczej, umożliwiającej wyróżnienie tych cech i ich wartości, które pozytywnie wpływają na zmniejszanie oporu względnego.

Niektóre z wymiarów głównych statku zbioru typów są tożsame co do wartości i umożliwiają tym samym utworzenie podzbiorów obejmujących statki;

- Typu 1 i Typu 2 (podzbiór pierwszy), mające te same długości L , i te same zanurzenia T ; zróżnicowane są ich szerokości tzn., że;

$$b_1 > b_2$$

- Typu 2 i Typu 3 (podzbiór drugi), charakteryzujących się takimi samymi wartościami zanurzenia T i szerokością pojedynczych kadłubów b ; natomiast ich długości pozostają w relacji:

$$L_2 > L_3$$

Typ 4 posiada tylko jeden wymiar główny (szerokość) tożsamy z wymiarami statków Typu 2 i 3. Wobec tego – dla celów analizy – wprowadzono statek Typu 4.1 o tej samej długości i szerokości kadłuba co statek Typu 4. Statki te – tworząc trzeci podzbiór – różnią się zanurzeniem zgodnym z zależnością:

$$T_4 < T_{4.1}$$

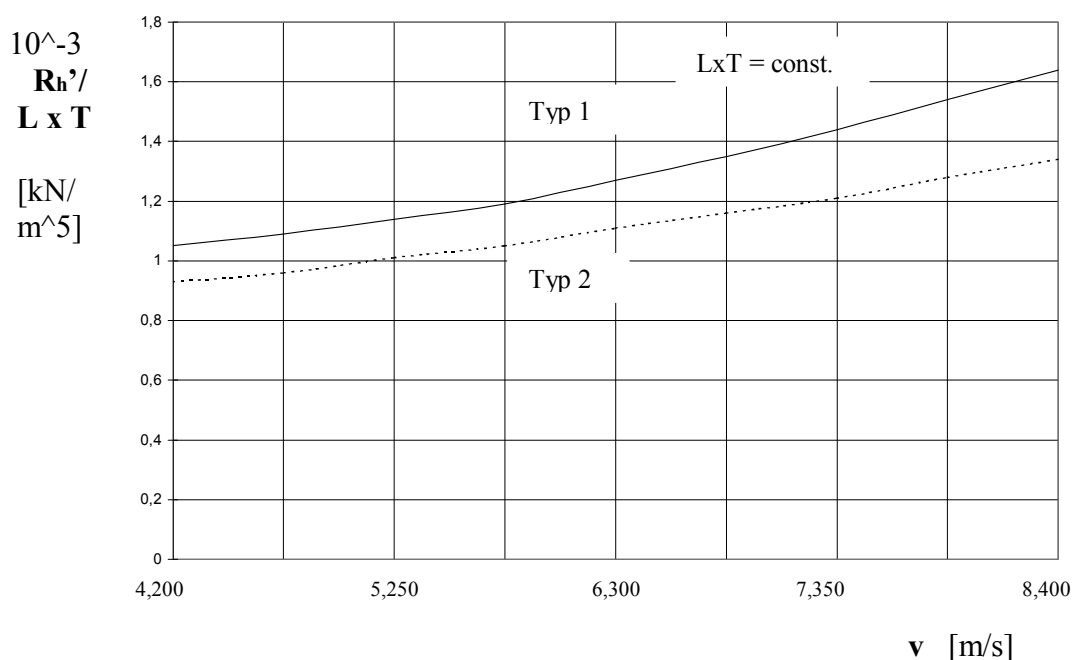
Statek Typu 4.1 może być wprowadzony do eksploatacji jako modyfikacja Typu 4 charakteryzująca się zanurzeniem konstrukcyjnym 1,20 m okresowo wykorzystywanym eksploatacyjnie na ODW; na DWZ-PW jego zanurzenie eksploatacyjne wynosiłoby 0,80 m.

Przy wynikowym założeniu, że iloczyny wymiarów tożsamy w poszczególnych podzbiórach tworzą wartości stałe, podzbiory poddano analizie zgodnie z zasadą:

$$R_h' / \text{Iloczyn wym. gł.} = f(v) \quad (4.17)$$

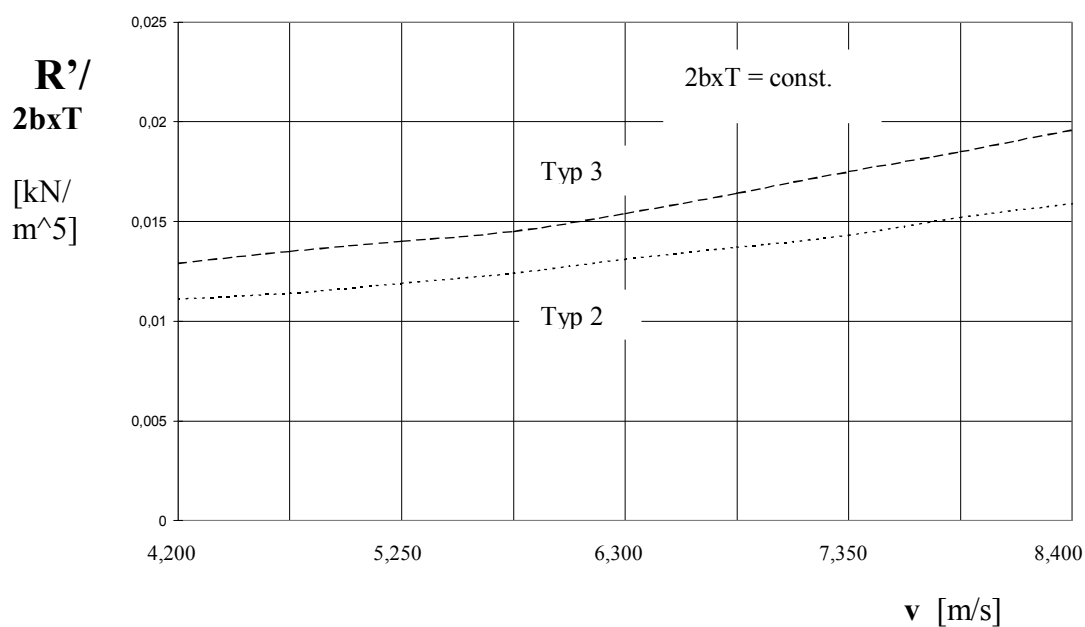
Umożliwia to ocenę wpływu poszczególnych wymiarów głównych na względną wartość oporu ruchu.

Graficzna postać wyników analizy przedstawiona jest na rysunkach 4.14 – 4.16.

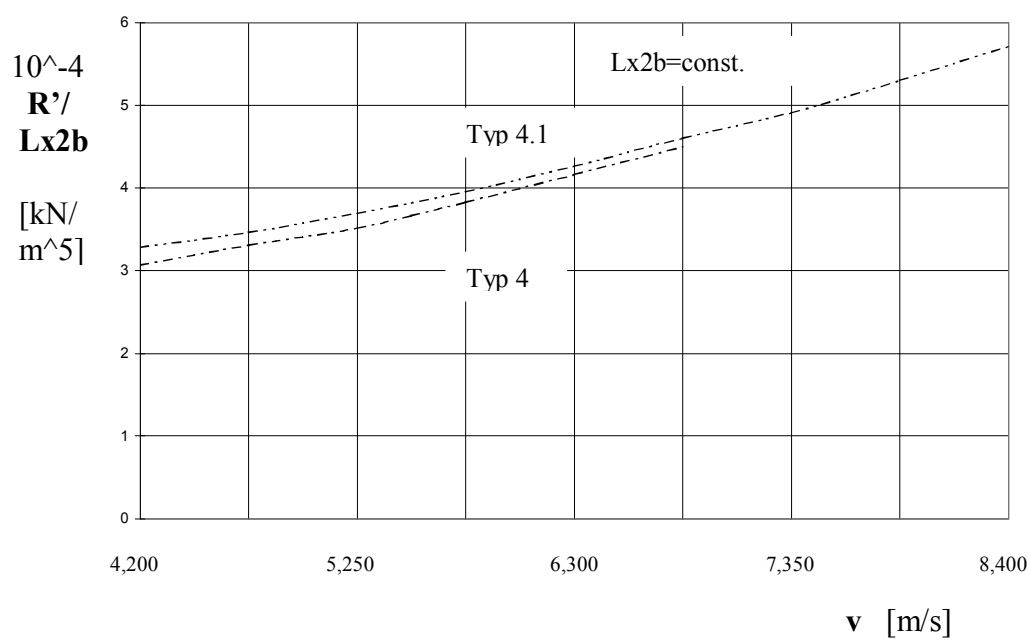


Rys. 4.14. Względny opór ruchu statków Typu 1 i 2 przy stałej wartości LxT

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.15. Względny opór ruchu statków Typu 2 i 3 przy stałej wartości $2bxT$
 Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.16. Względny opór ruchu statków Typu 4 i 4.1 przy stałej wartości $Lx2b$
 Źródło: opracowanie własne.

Z analizy podzbioru 1 (rys. 4.14) można wnioskować, że większa szerokość kadłubów statków wpływa negatywnie na względny opór ruchu.

Analiza podzbioru 2 (rys. 4.15) wskazuje na pozytywny wpływ wzrostu długości statków na obniżanie wartości oporu względnego.

Natomiast analiza podzbioru trzeciego (rys. 4.16) daje podstawy do wnioskowania o negatywnym wpływie wzrostu zanurzenia na opór względny.

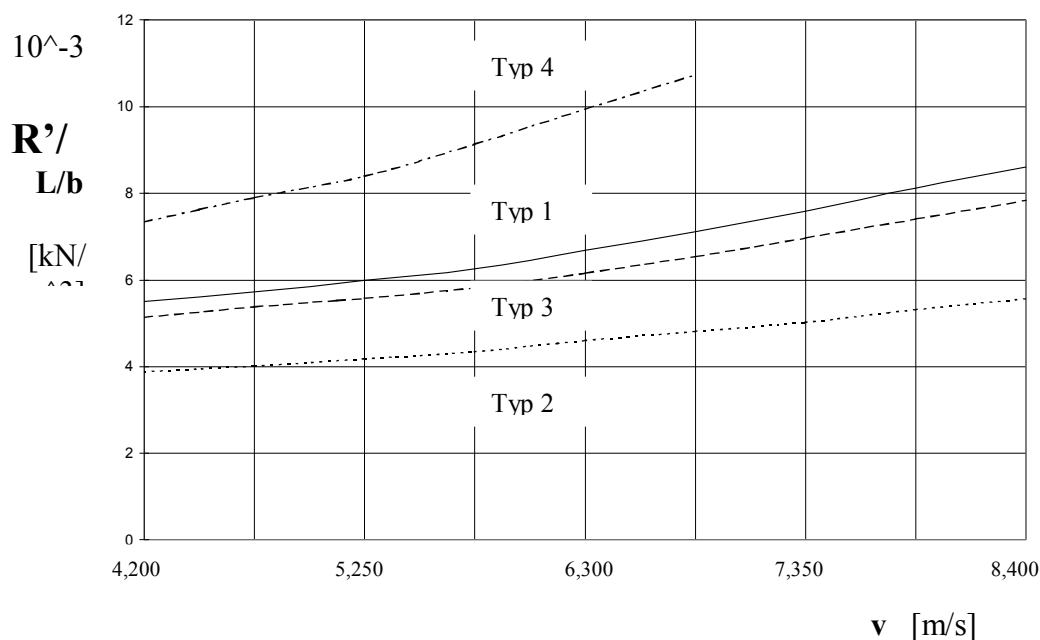
Reasumując: statki poruszające się w zakresie prędkości nadkrytycznych, powinny charakteryzować się maksymalną dopuszczalną długością i racjonalną szerokością oraz zanurzeniem. Użycie pojęcia „racjonalną” zasadne jest tym, że zmniejszanie wymienionych w tym kontekście wymiarów może negatywnie wpływać na wyporność statku co z kolei może skutkować zmniejszeniem ich efektywności transportowej.

Sposób racjonalizacji wartości szerokości i zanurzenia statków, należy określić poprzez kolejny krok analizy oporu względnego - wszystkich statków zbioru – odniesionego do relacji wymiarów:

$$i \quad R_h'' / (L/b) \quad (4.18)$$

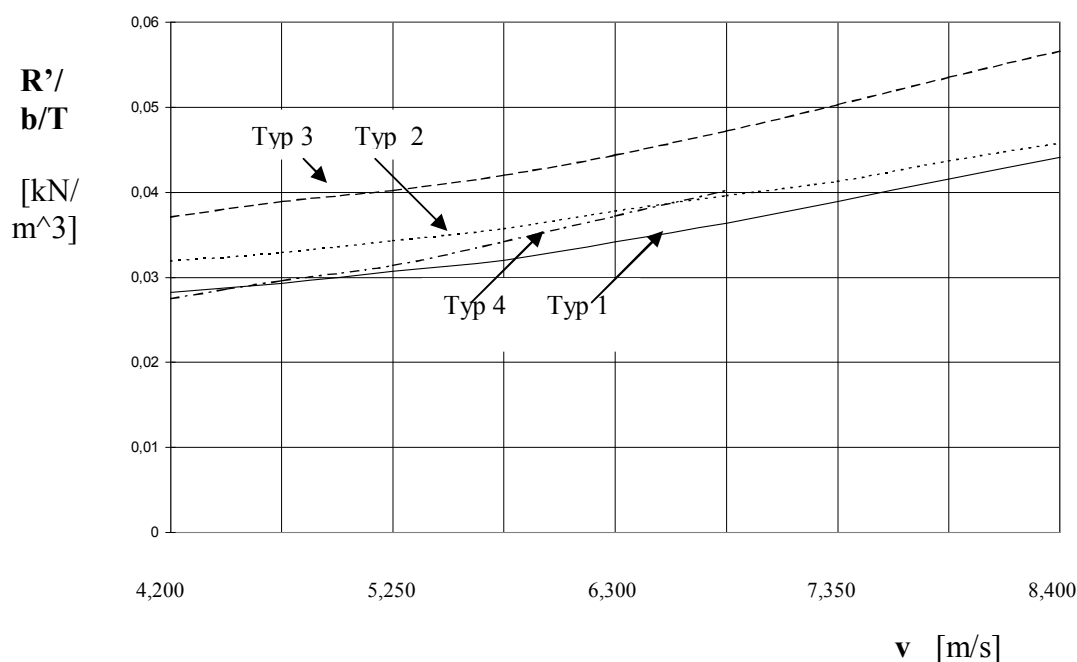
$$R_h'' / (b/T) \quad (4.19)$$

Wyniki tego postępowania prezentują zależności przedstawione na rysunkach 4.17 i 4.18.



Rys.4.17. Względny opór ruchu statków w relacji do wartości L/b

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 4.18. Względny opór ruchu statków w relacji do wartości b/T

Źródło: opracowanie własne.

Z przebiegu wartości względnego oporu ruchu w relacji do L/b wynika, że największa wartość stosunku L/b (którą charakteryzuje się statek Typu 2; $L/b = 23,6$), generuje najmniejszą wartość oporu. Przebieg wartości względnego oporu ruchu w relacji do wartości b/T nie daje tak jednoznacznej interpretacji. Generalnie jednak można przyjąć, że wartość $b/T = 3,65$ jest bliska wartości optymalnej dla założonych wymiarowych warunków eksploatacji statków szybkich. Dla tych warunków można więc poszukiwać rozwiązań okołooptymalnych, wynikających z preferowanych wartości relacji L/b i b/T .

Poszukiwania te nie powinny być realizowane „kosztem” wyporności, którą można zwiększyć poprzez inny dobór wymiarów głównych. Jednak w tym działaniu należy zwrócić uwagę na teoretycznie maksymalną wartość $L/B = 24$ (wzór 2.4) oraz wartość $L/b = 3,65$, która wynika z założonej wartości h/T oraz głębokości akwenu a także na ograniczenia administracyjne nie pozwalające na zwiększenie długości statku. Zmniejszenie zanurzenia statku bez możliwości jego poszerzenia (ze względu na wymiary budowli hydrotechnicznych i minimalną odległość pomiędzy kadłubami statku) będzie skutkowało zmniejszeniem wyporności. Tym samym dla założonych warunków pływania statek Typu 2 można uważać za statek okołooptymalny ze względu na opór ruchu.

5. UWARUNKOWANIA EKSPLOATACYJNE SZYBKICH STATKÓW TOWAROWYCH

5.1. Dobór efektywnej mocy napędowej

Charakterystyki oporowe i oporowo – napędowe poszczególnych typów szybkich statków towarowych przedstawione w rozdziale 4.3 były generowane dla jednej wartości głębokości względnej tj. :

$$h_T = h/T = 1,5 \quad (5.1)$$

Stałą lub quasistałą głębokością bezwzględną i względną (przy stałym zanurzeniu statku) może charakteryzować się sztuczna droga wodna lub droga o charakterze mieszanym. Drogi wodne, które bazują przede wszystkim na ciekach naturalnych z reguły mają głębokość zmienną. Zmiany te są proporcjonalne do spadku rzek i zgodne z zasadą „stałej koncentracji,” którą prezentuje zależność:

$$\eta = I (B_r/h) \quad (5.2)$$

gdzie: - I – spadek rzeki
 - B_r – szerokość rzeki
 - h - głębokość rzeki

Wraz z naturalnym biegiem rzeki z reguły monotonicznie maleje jej spadek a rośnie szerokość i głębokość. Wartość stałej koncentracji może być zakłócona dopływem rzeki ; zakłócenie to jednak zanika na określonej długości jej odcinka.

Stąd głębokości względne dróg wodnych determinujące opory ruchu statków mogą być w warunkach rzeczywistych stałe lub zmienne na określonych ich odcinkach.

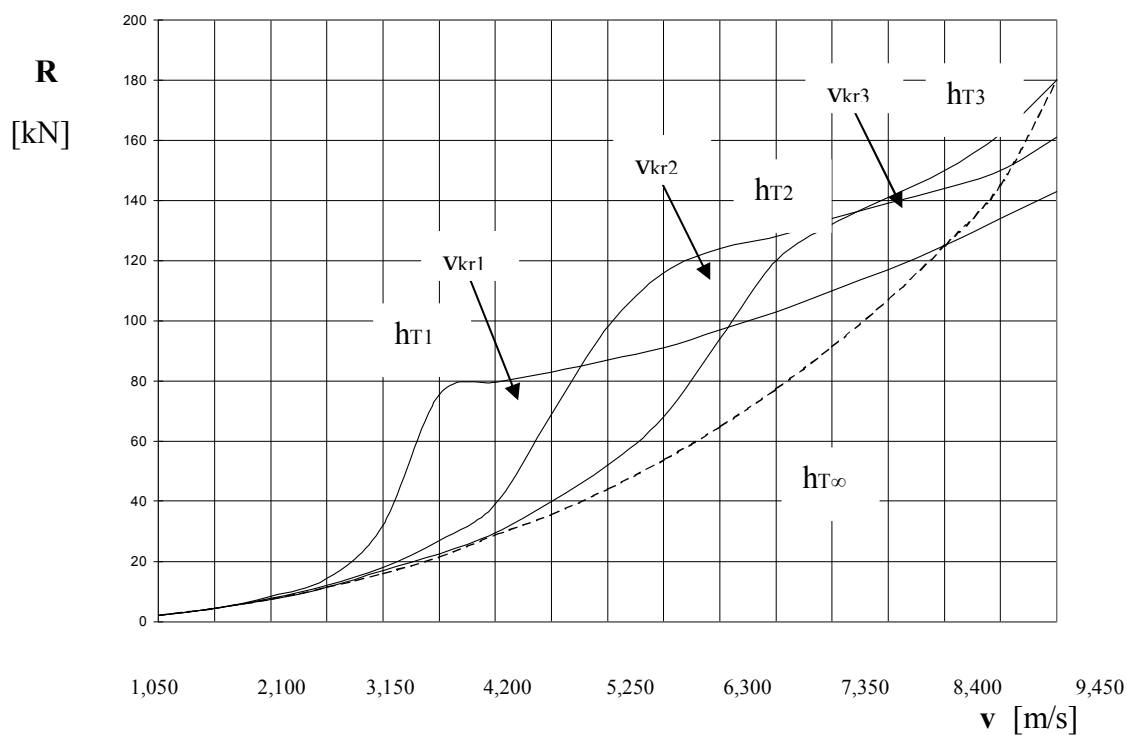
Zakres głębokości względnej dróg wodnych przedstawionych w rozdziale 4 wyrażają zależności:

$$\begin{array}{ll} h_{T1} = \text{const.} & \text{dla DWZ-PW} \\ \text{lub} & h_{T1} < h_{T2} < h_{T3} \end{array} \quad \begin{array}{l} (5.3) \\ (5.4) \end{array}$$

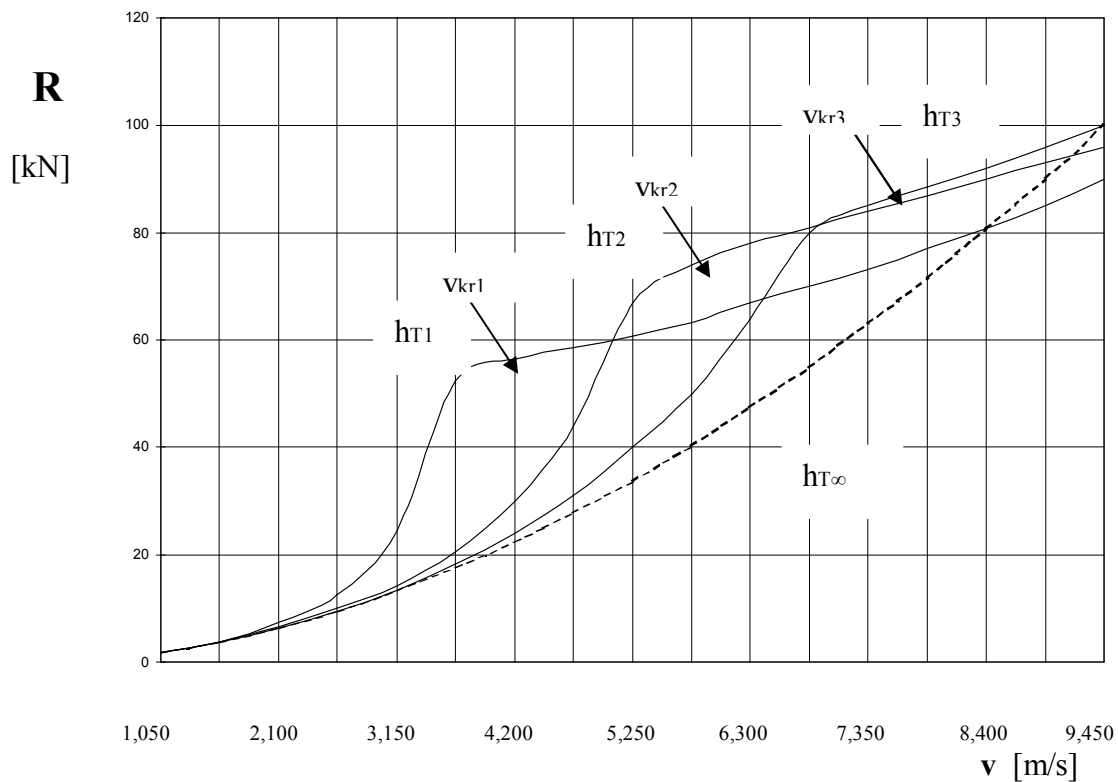
w których: - $h_{T1} = 1,5$
 - $h_{T2} = 3,0$
 - $h_{T3} = 5,0$

co – w aspekcie proponowanych wartości zanurzeń statków - wprowadza do obliczeń oporu ruchu głębokości o wartościach 1,2 m, 1,8 m, 3,6 m i 6,0m .

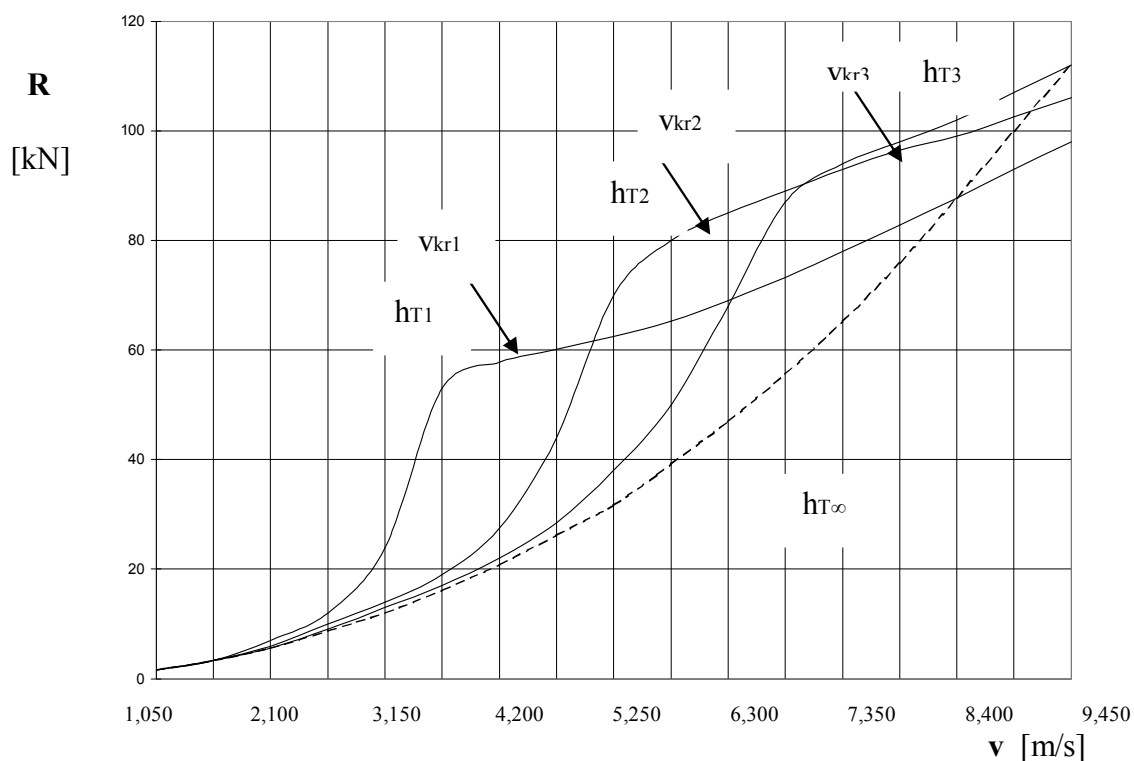
Z powyższego wynika, że w przypadku Drogi Wodnej Z-PW „obsługiwanej” przez statek Typu 4 jego charakterystyka oporowa i oporowo – napędowa pozostaje niezmienną w stosunku do postaci przedstawionej na rys. 4.7 i 4.11. Natomiast zróżnicowanie głębokości na całej długości ODW skutkuje zmianami oporu ruchu statków Typu 1, 2 i 3, co – z uwzględnieniem dyskretnej zmienności głębokości względnej – prezentują charakterystyki oporowe przedstawione na rysunkach 5.1 – 5.3.



Rys. 5.1. Charakterystyka oporowa statku Typ – 1 pływającego w zmiennych warunkach głębokości względnej
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5.2. Charakterystyka oporowa statku Typ – 2 pływającego w zmiennych warunkach głębokości względnej
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5.3. Charakterystyka oporowa statku Typ – 3 pływającego w zmiennych warunkach
Źródło: opracowanie własne.

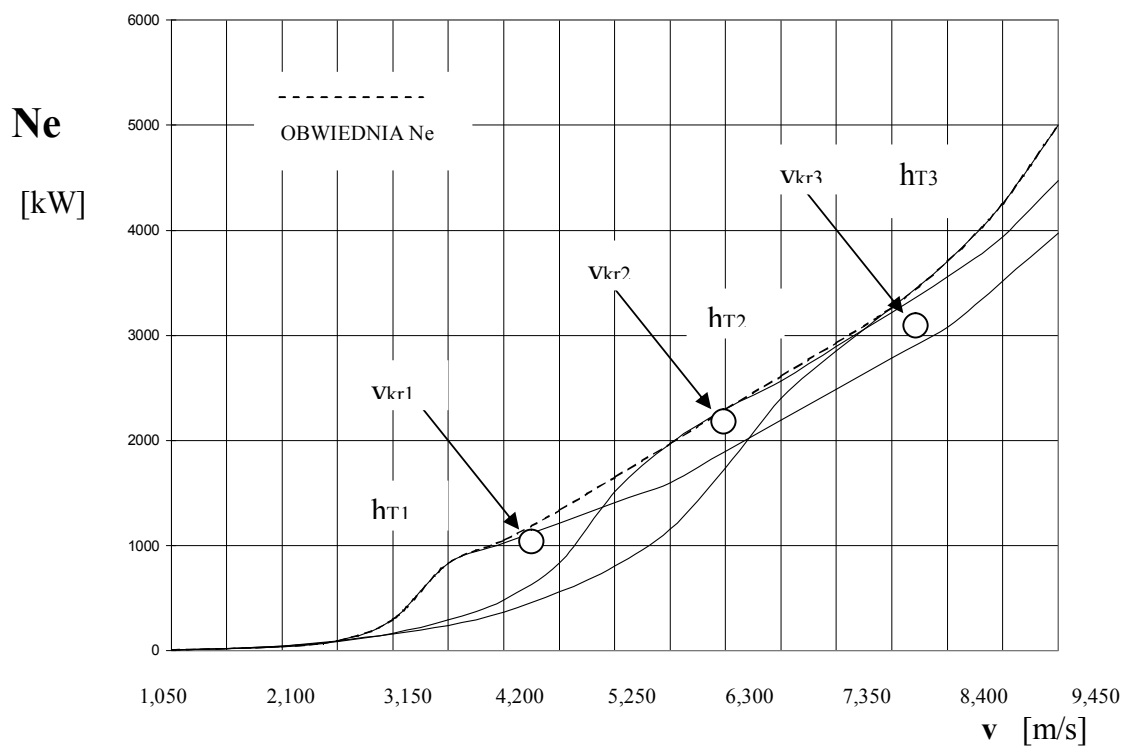
Z przebiegu tych charakterystyk oporowych wynika, że:

- dynamika wzrostu opory ruchu w zakresie prędkości nadkrytycznych jest podobna dla wszystkich wartości h/T ; natomiast dynamika ta maleje ze wzrostem h/T w zakresie prędkości podkrytycznych
- dla wszystkich typów statków - dla poszczególnych głębokości względnych (h_{T1} , h_{T2} , h_{T3}) w zakresach odpowiadającym prędkościom nadkrytycznym –opór ruchu rośnie wraz ze wzrostem wartości h/t tzn. że, jeżeli:

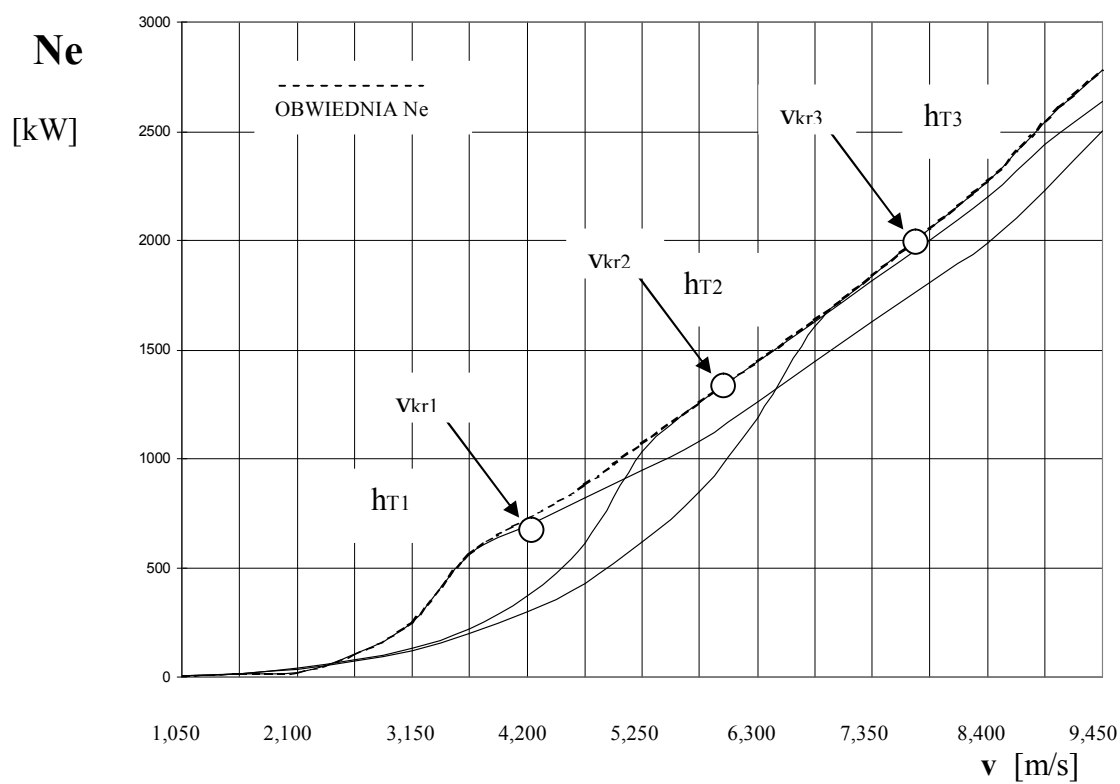
$$\begin{array}{lll}
 R_i = f(v_i > v_{kr2}) & \text{to dla } v_1 = v_2 & R_1 < R_2 \\
 \text{i jeżeli} & & \\
 R_i = f(v_i > v_{kr3}) & \text{to dla } v_1 = v_2 = v_3 & R_1 < R_2 < R_3
 \end{array}$$

Daje to podstawę do pozornie paradoksalnego stwierdzenia, że **wody płytsze tworzą korzystniejsze warunki do pływania z prędkościami nadkrytycznymi niż wody głębsze.**

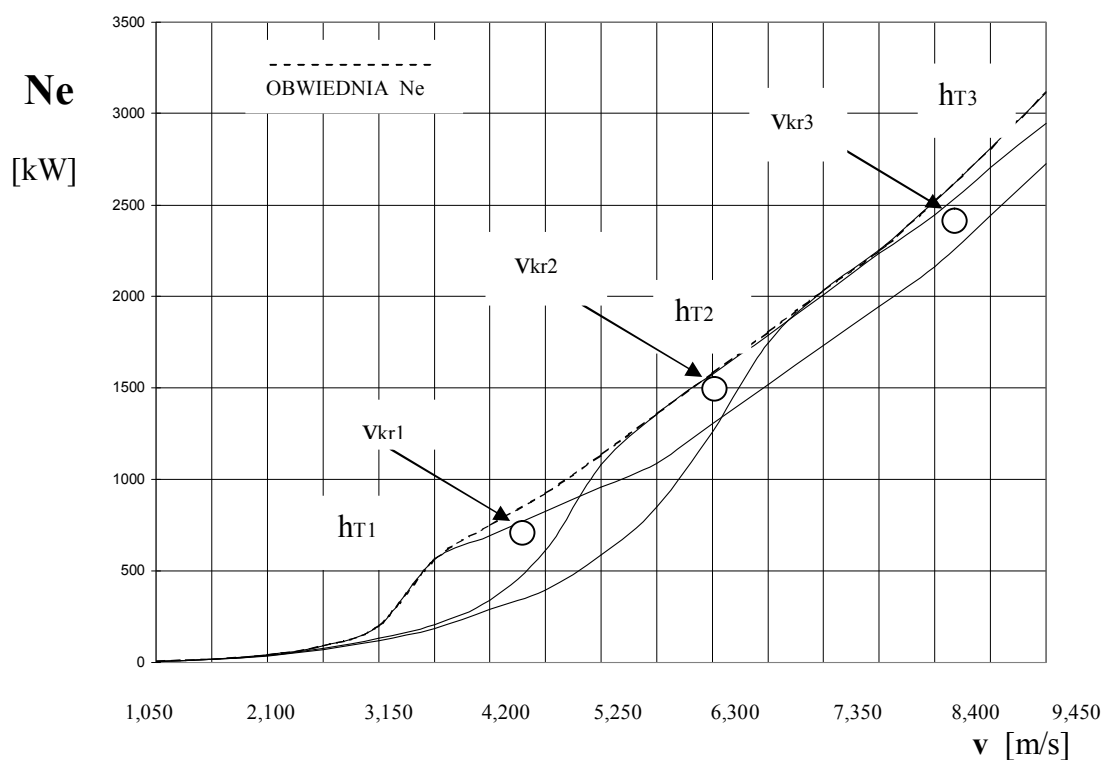
Jednak wybór eksploatacyjnych prędkości ruchu będzie zależał od specyficznych cech charakterystyk napędowych poszczególnych typów statków (uwzględniających również warunki głębokości pływania) zaprezentowanych na rysunkach 5.4 – 5.7.



Rys. 5.4. Charakterystyka napędowa statku Typ 1 – pływającego w zmiennych warunkach głębokości względnej
Źródło: opracowanie własne.

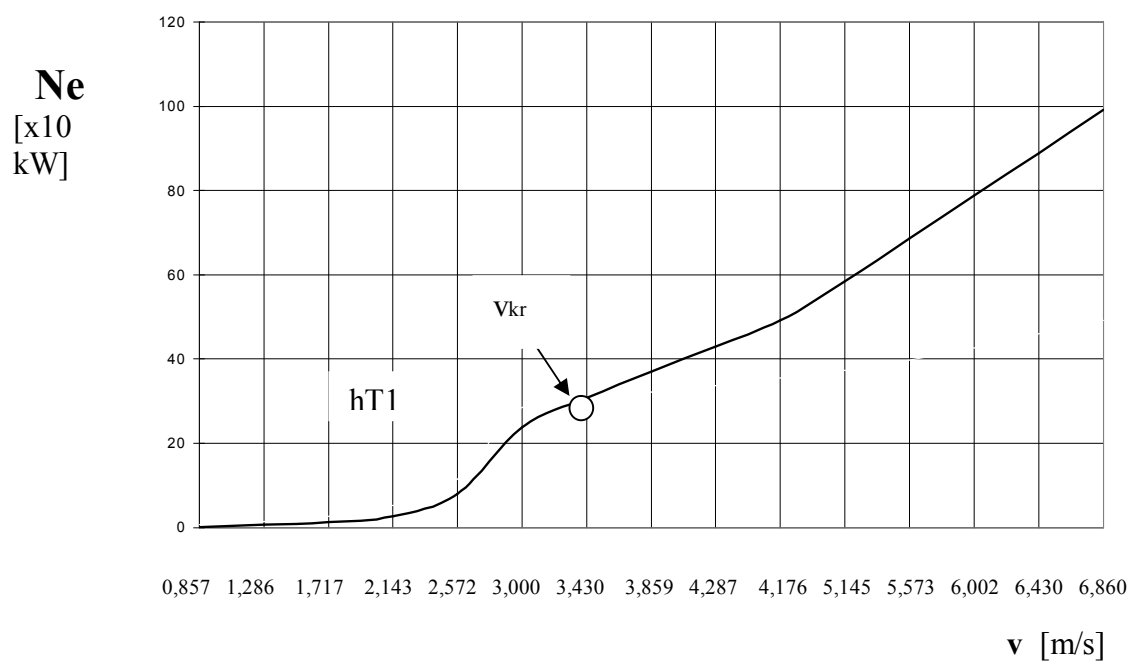


Rys. 5.5. Charakterystyka napędowa statku Typ – 2 pływającego w zmiennych warunkach głębokości względnej
Źródło: opracowanie własne.



Rys. 5.6. Charakterystyka napędowa statku Typ – 3 pływającego w zmiennych warunkach głębokości względnej

Źródło: opracowanie własne.



Rys.5.7. Charakterystyka napędowa statku Typ – 4 pływającego w stałych warunkach głębokości względnej

Źródło: opracowanie własne.

Charakterystyki napędowe statków typów 1 – 3 zawierają obraz przebiegu zależności pomiędzy prędkością ruchu a efektywną mocą napędową dla wyróżnionych uprzednio głębokości względnych oraz obwiednię tych zależności. Natomiast we wszystkich charakterystykach zostały wyróżnione prędkości krytyczne dla występujących w nich wartościach głębokości względnych h_T . Odpowiadające tym prędkościom moce efektywne mogą stanowić parametryczną podstawę doboru silników napędowych dla poszczególnych typów statków.

Teoretyczne warunki pływania na drodze wodnej można ująć w postaci skwantyfikowanej dla wyróżnionych głębokości względnych na całej długości drogi wodnej. W tym aspekcie potencjalne warianty warunków pływania prezentuje tabela 5.1.

Tabela 5.1

Potencjalne warunki pływania

Wariant	Głębokość względna		
	1,5	3,0	5,0
	Udział w długości drogi wodnej		
1	całkowity	-	-
2	-	całkowity	-
3	-	-	całkowity
4	średni	średni	średni
5	duży	średni	mały
6	duży	mały	mały

Źródło: opracowanie własne.

Dla rozpatrywanych przypadków dróg wodnych mogą być praktycznie brane pod uwagę dwa warianty:

- 1- dla Drogi Wodnej Z –PW
- 6 – dla Odrzańskiej Drogi Wodnej

Zakładając, że ruch statków szybkich powinien odbywać się z założenia w zakresie prędkości nadkrytycznych to – z punktu widzenia efektywnej mocy napędowej – propozycja dotycząca doboru wartości tej mocy a wynikowo eksploatacyjnej prędkości ruchu v_e dla każdego z wariantów powinna zapewnić tą prędkość co najmniej na poziomie wartości prędkości krytycznej. Jednakże racjonalizacja doboru mocy efektywnej powinna – zdaniem autora – znacząco uwzględniać udział odcinkowej głębokości względnej w całej długości drogi wodnej. Prędkość krytyczną lub większą mogą osiągać statki na tych odcinkach drogi wodnej które mają całkowity lub duży ('większościowy') udział w całej długości drogi; w pozostałych przypadkach „mniejszościowych” udziałów można przyjmować, że osiągane prędkości będą praktycznie niższe od adekwatnych do głębokości względnych prędkości krytycznych. Tym samym statki na relatywnie krótkich odcinkach będą pływały w przedziałach prędkości podkrytycznych.

Proponowane w tym kontekście wartości parametrów eksploatacyjnych analizowanych typów statków zawarte są w tabeli 5.2.

Tabela 5.2.

Wartości eksploatacyjnych parametrów poszczególnych typów statków

Wariant warunków pływania	Typ statku											
	1			2			3			4		
	Ne		Ve [m/s]	Ne		Ve [m/s]	Ne		Ve [m/s]	Ne		Ve [m/s]
	Zależność	KW		Zależność	KW		Zależność	KW		Zależność	KW	
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	$\geq(v_{kr})$	308	3,43
6	$\geq(v_{kr1})$	1022	4,2	$\geq(v_{kr1})$	690	4,2	$\geq(v_{kr1})$	692	4,2	-	-	-

Źródło: opracowanie własne.

Wartości tych parametrów mogą być traktowane jako minimalne lub docelowe. W tym drugim przypadku wzrost wartości głębokości drogi wodnej występujący w wariancie 6 (ODW) – przy niezmienniej wartości mocy efektywnej silnika - skutkuje wzrostem prędkości ruchu odbywającym się w przedziale prędkości podkrytycznych głębokości względnych h_{r2} i h_{r3} .

5.2. Efektywność eksploatacji szybkich statków towarowych

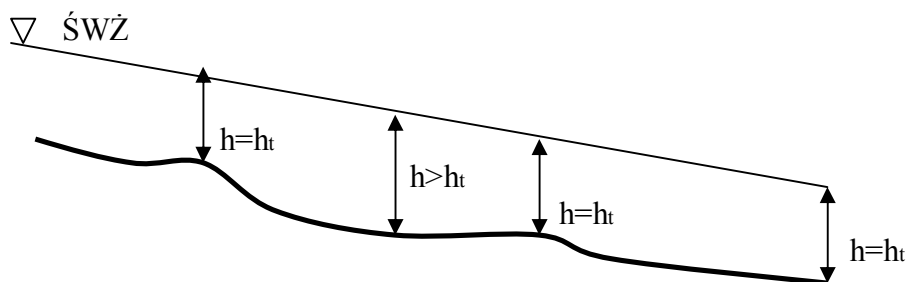
Porównawczej oceny efektywności eksploatacji statków towarowych można dokonać za pomocą bezwymiarowego wskaźnika efektywności transportu *WET*. Bezwymiarowość wskaźnika - zgodnie z prawami podobieństwa, umożliwia jego stosowanie w analizie porównawczej obiektów, którymi w rozpatrywanym przypadku są jednostki pływające.

Podstawową postać wskaźnika *WET* prezentuje zależność ogólna :

$$WET = f(P, g, v, Ne) \quad (5.5)$$

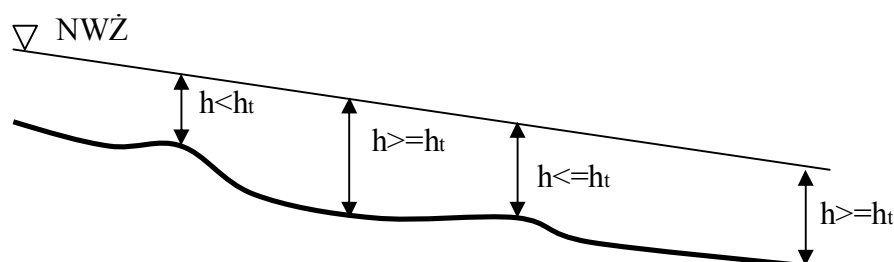
Użycie pojęcia „postaci podstawowej” wynika z uwzględnienia w niej tylko czynników bazowych tj. ładowności P stanowiącej czynnik dochodowy w procesie transportowym oraz mocy efektywnej napędu Ne stanowiącej czynnik kosztów. Ze względu na ograniczenia wartości prędkości ruchu v oraz praktyczną tożsamość wartościową w odniesieniu do wszystkich statków pływających dotychczas w podkrytycznych jej zakresach, istotność prędkości w podstawowej postaci *WET* jest znikoma. Ilościowa rola tego czynnika rośnie w przypadku znaczącego różnicowania prędkości ruchu statków co może mieć miejsce po wprowadzeniu do eksploatacji statków szybkich. Ponadto statki szybkie wyróżniają się większą relacją h/t niż statki wolne a wynikowo mniejszym zanurzeniem przy porównywalnych lub tożsamyh warunkach pływania determinowanych głębokością tranzytową co może wydłużać czas ich eksploatacji w okresie nawigacyjnym.

Na drogach wodnych przebiegających przez naturalne koryta rzek głębokość jest zróżnicowana, co wykazano w rozdziale 5.1. Ponadto w praktyce zróżnicowanie to ma charakter niemonotoniczny zarówno w przypadku średnich stanów wody żeglownej (SWŻ), która daje określoną gwarancję wystąpienia głębokości tranzytowej na całej długości drogi wodnej, jak również w przypadkach niskich stanów wody żeglownej (NWŻ), przy której głębokości tranzytowe występują odcinkowo. Powyższe przypadki ilustrują rys. 5.8 i 5.9.



Rys.5.8. Przykładowe zróżnicowanie głębokości drogi wodnej przy średnich stanach wody żeglownej

Źródło: opracowanie własne.



Rys.5.9. Przykładowe zróżnicowanie głębokości drogi wodnej przy niskich stanach wody żeglownej

Źródło: opracowanie własne.

Podstawą rozpatrywania tych przypadków jest przykład zróżnicowania głębokości na granicznym odcinku Odrzańskiej Drogi Wodnej (rys. 5.10). Wypłyenia na tym odcinku obejmują około 25 % jego długości. Świadczy to o tym, że dla statków wolnych, pływających z zanurzeniem eksploatacyjnym porównywalnym z głębokością tranzytową w okresie nawigacyjnym wystąpią przerwy w ich eksploatacji wynikające z niedostatecznej głębokości przy niskich stanach wody żeglownej.

Taka sytuacja może nie wystąpić w eksploatacji statków szybkich o relatywnie mniejszym zanurzeniu, które na odcinkach o głębokościach równych lub wyższych od tranzytowych będą poruszały się z prędkością nadkrytyczną; natomiast na odcinkach o głębokościach mniejszych od tranzytowych ale porównywalnych z ich zanurzeniem eksploatacyjnym - z prędkością podkrytyczną.

Werbalny i formalny zapis efektywności tego sposobu eksploatacji statków na drodze wodnej można wyrazić poprzez stwierdzenia, że:

- prędkości eksploatacyjne ruchu statków wolnych to prędkości z zakresu podkrytycznego, które statki te osiągają na drodze wodnej o głębokości tranzytowej lub wyższej tzn. , że:

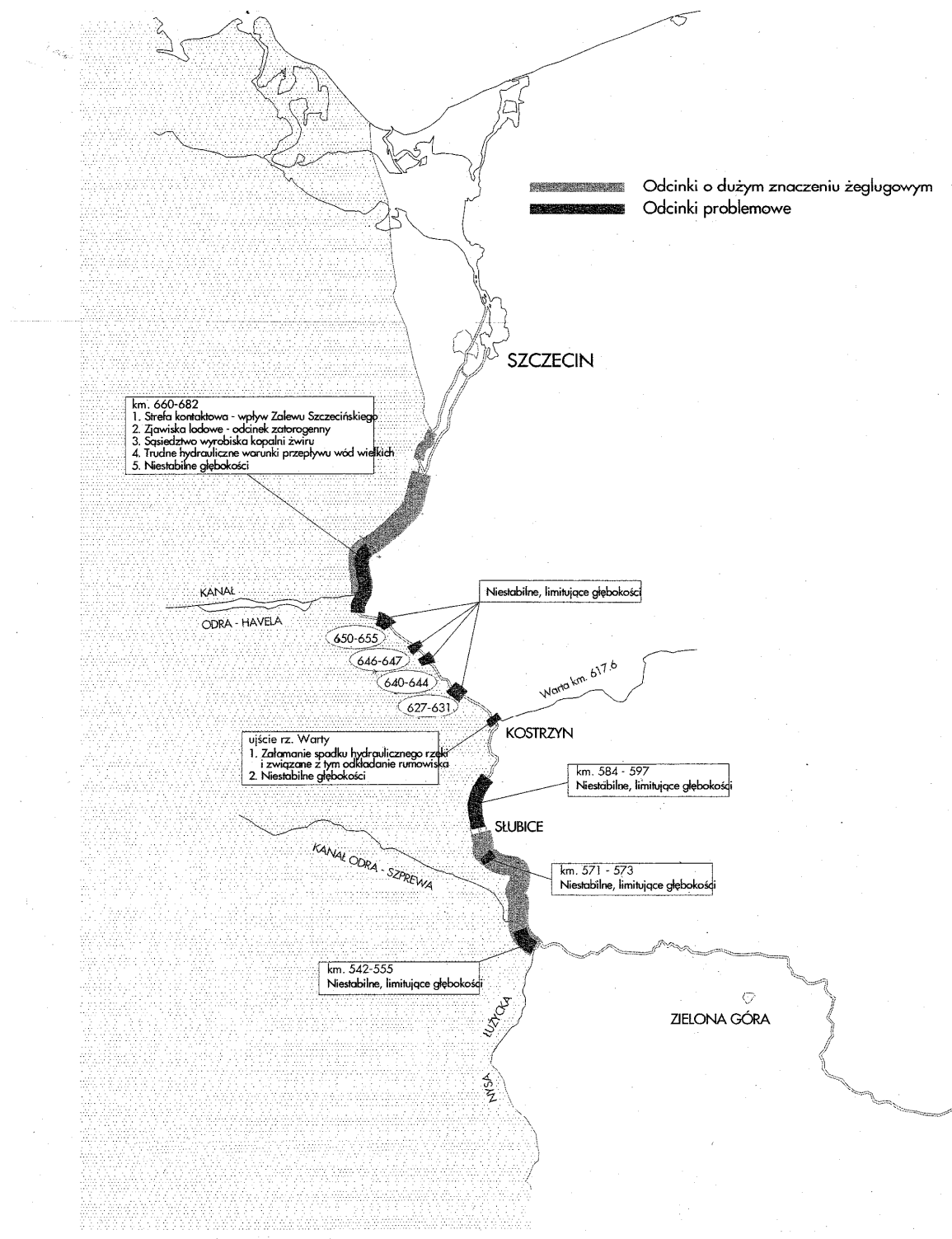
$$v_{pw} = f(Fr_h < 1; h \geq h_t) \quad (5.6)$$

- prędkości eksploatacyjne ruchu statków szybkich przyjmują dwie wartości:
 - * w zakresie podkrytycznym, dla wartości głębokości mniejszych od tranzytowych i porównywalnych z zanurzeniem eksploatacyjnym statków , tzn.

$$* v_{ps} = f(Fr_h < 1; T_s = < h < h_t) \quad (5.7)$$

- w zakresie nadkrytycznym, dla wartości głębokości równych lub większych od tranzytowych tzn.:

$$v_{ns} = f(Fr_h \Rightarrow 1; h \Rightarrow h_t) \quad (5.8)$$



Rys. 5.10. Miejsca limitujące głębokość na granicznym odcinku Odry
Źródło: Materiały RZGW Szczecin

-względny czas realizacji ruchu statku wolnego z prędkością v_{pw} wynika ze stosunku czasu trwania ruchu na głębokości tranzytowej lub wyższej na całej długości drogi wodnej do czasu trwania okresu nawigacyjnego τ co wyraża się zależnością:

$$\eta_{\tau pw} = \tau(v_{pw}) / \tau \quad (5.9)$$

- względny cząstkowy czas realizacji ruchu statku szybkiego wynika ze stosunku:
* czasu trwania ruchu na głębokości mniejszej od tranzytowej i porównywalnej z jego zanurzeniem eksploatacyjnym do czasu trwania okresu nawigacyjnego, tzn.:

$$\eta_{\tau ps} = \tau(v_{ps}) / \tau \quad (5.10)$$

* czasu trwania ruchu na głębokościach tranzytowych lub większych do czasu trwania okresu nawigacyjnego tzn. :

$$\eta_{\tau ns} = \tau(v_{ns}) / \tau \quad (5.11)$$

- względna prędkość ruchu statków wolnych wynika z zależności:

$$\eta_{vpw} = v_{pw} / v_{kr} \quad (5.12)$$

$$\text{w której } v_{kr} = \sqrt{g \cdot h_t}$$

- względna prędkość ruchu statków szybkich w zakresie:

* prędkości podkrytycznych, wynika z zależności

$$\eta_{vps} = v_{ps} / v_{kr} \quad (5.13)$$

* prędkości nadkrytycznych, z zależności

$$\eta_{vns} = v_{ns} / v_{kr} \quad (5.14)$$

ale z reguły – dla celów analizy wstępnej – będzie przyjmowała wartości równe jedności.

- względna długość drogi ruchu w okresie nawigacyjnym dla statków wolnych wynika z zależności:

$$\eta_{dw} = \eta_{\tau pw} * \eta_{vpw} \quad (5.15)$$

- ważona względna długość drogi ruchu statków szybkich w okresie nawigacyjnym wynika z zależności:

$$\eta_{ds} = (\eta_{\tau ps} * \eta_{vps}) + (\eta_{\tau ns} * \eta_{vns}) \quad (5.16)$$

Konkluzją zapisanych formalnie proponowanych sposobów eksploatacji statków na drodze wodnej jest modyfikacja wskaźnika WET do postaci wyrażonej przez następujące zależności:

- dla statków wolnych

$$WET_w = (P * g * \eta_{dw}) / Ne \quad [kN/kW] \quad (5.17)$$

- dla statków szybkich

$$WET_s = (P * g * \eta_{ds}) / Ne \quad [kN/kW] \quad (5.18)$$

Zależności te w aspekcie maksymalizacji wartości WET preferują bezpośrednio:

- dużą ładowność
- małą moc efektywną
- długą drogę ruchu w okresie nawigacyjnym

Ich postać – poprzez wymiar - można interpretować jako względny pomiar pracy transportowej wykonywanej w okresie nawigacyjnym w różnych warunkach głębokościowych przez jednostkę transportową wyposażoną w system napędowy o określonej mocy.

Dla określenia wartości WET_s szybkich towarowych statków transportowych niezbędne jest wyznaczenie ich ładowności. Tabela 4.4 zawiera charakterystykę wymiarową analizowanych statków szybkich w tym również parametr wyporności. Jeżeli o ładowności P stanowi zależność:

$$P = V \gamma_w - M_s \quad (5.19)$$

w której: V – wyporność [m^3]

γ_w – gęstość (masowa) wody [t/m^3]

M_s – masa własna statku [t]

to wartość ładowności praktycznie będzie wynikała z wyporności oraz założonej masy własnej statku, obejmującej masę kadłuba, zapasów, załogi etc. Prognozowanie masy własnej statku a tym samym jego ładowności można sprowadzić do przyjęcia wartości wynikających z cech statków podobnych. Na podstawie statków zaprezentowanych w literaturze fachowej [1] przyjęto, że:

$$M_s = 0,3 V \gamma_w \quad (5.20)$$

a

$$P = 0,7 V \gamma_w \quad (5.21)$$

Uwzględniając powyższe zasady oraz parametry eksploatacyjne statków szybkich zawarte w tabelach 4.4 (wyporność) i 5.2 (moc efektywna napędu, prędkość eksploatacyjna) wyznaczone zostały maksymalne wartości wskaźników WET_s wszystkich analizowanych typów statków szybkich (tabela 5.3).

Tabela 5.3

Wartości składowych i wskaźników WET_s

Typ statku	Ładowność P [t]	Moc Ne [kW]	Względna długość drogi ruchu	WET_s Max	Rejon pływania
1	542	1022	1	5,3	ODW – 1
2	429	690	1	6,2	ODW – 2
3	377	692	1	5,4	ODW - 3
4	195	308	1	6,3	DW Z-PW

Źródło: opracowanie własne.

Z wartości wskaźników WET_s wynika, że statki typów 4 i 2 są bardziej efektywne od statków typów 3 i 1. Różnice tej efektywności sięgają 20 %.

Głębsza analiza umożliwiająca porównanie efektywności statków szybkich i statków wolnych wymaga uwzględnienia zróżnicowanych warunków pływania w okresie nawigacyjnym. Okres ten można podzielić na trzy stany eksploatacyjne wyrażone poniższą formułą analityczną:

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3 \quad (5.22)$$

w której:

$$- \tau_1 = \tau (h \geq h_t) \quad (5.23)$$

oznacza czas, w którym na całej długości drogi wodnej występują głębokości tranzytowe lub większe

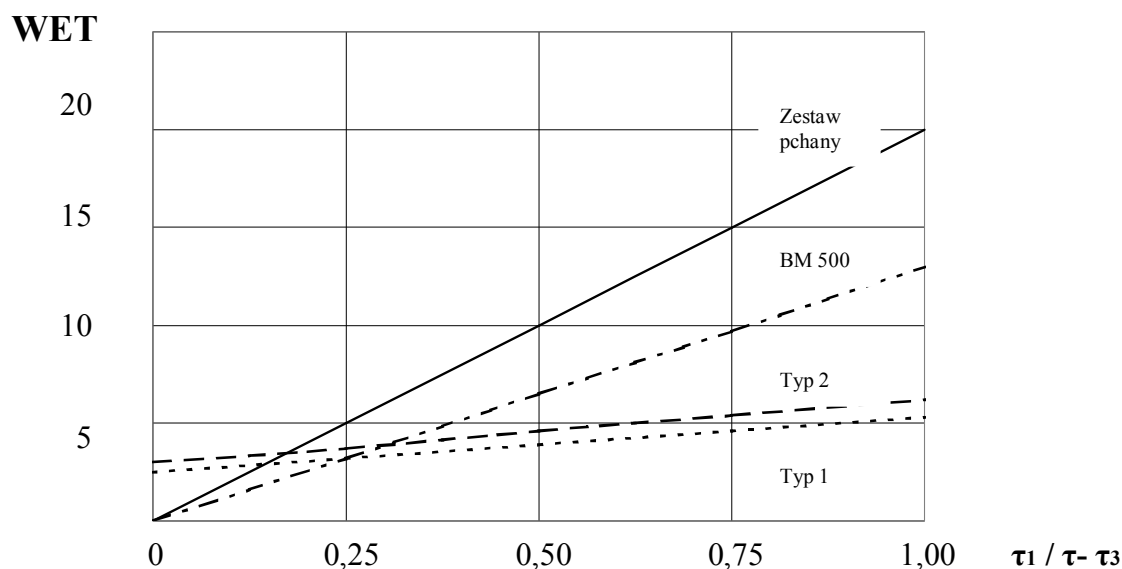
$$- \tau_2 = \tau (h_t > h > T_s) \quad (5.24)$$

oznacza czas występowania głębokości mniejszych od tranzytowych ale większych od zanurzenia statków szybkich na całej długości drogi wodnej

$$- \tau_3 = \tau (h < T_s) \quad (5.25)$$

oznacza czas występowania głębokości mniejszych od zanurzenia statków szybkich na całej długości drogi wodnej.

Wykres na rysunku 5.11 obrazuje przebieg wartości wskaźników WET dla statków wolnych i szybkich w zależności od udziału czasu trwania głębokości tranzytowych i wyższych τ_1 do czasu trwania okresu nawigacyjnego pomniejszonego o czas τ_3 tj. czas trwania głębokości mniejszych od zanurzenia statków szybkich.



Rys. 5.11. Przebieg wartości wskaźników efektywności transportu

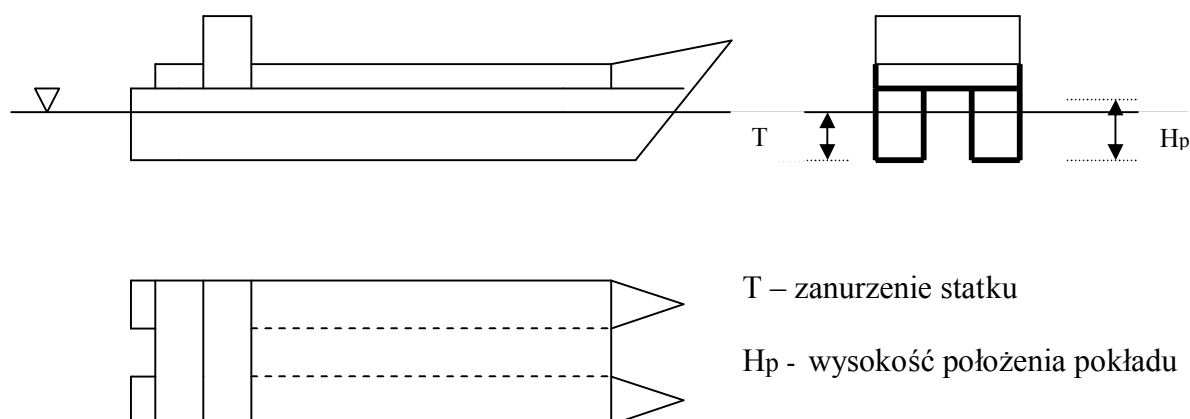
Źródło: opracowanie własne.

Z wykresu tego wynika, że mogą istnieć takie wartości czasów trwania głębokości dostępnych praktycznie tylko dla statków szybkich, które powodują że wskaźnik efektywności transportowej statków szybkich przybiera wartości wyższe od tego wskaźnika odniesionego do statków wolnych.

Jest to pośredni dowód na fakt, że na płytkich drogach wodnych mogą efektywnie funkcjonować jednostki szybkie o relatywnie małym zanurzeniu, których specyfikę oddaje nazwa *śródlądowych statków płytkozanurzonych*.

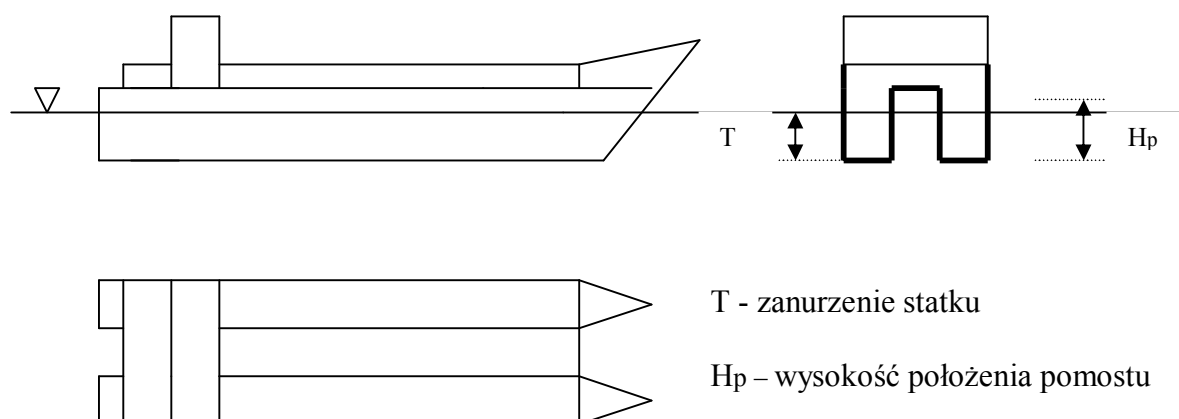
5.3. Przestrzeń ładunkowa i ładowność statków szybkich

Każdy z proponowanych statków szybkich zbudowany jest z dwóch kadłubów oraz łączącego je pokładu lub pomostu. Przestrzeń ładunkowa, którą pod względem kształtu i objętości determinuje zład poprzeczny może przyjmować dwie konfiguracje czyniące z katamaranu konstrukcję pełno-pokładową (górnopokładową) lub otwarto – pokładową. Konfiguracje te ilustrują rysunki 5.12 i 5.13.



Rys. 5.12. Pełnopokładowa konfiguracja statku szybkiego

Źródło: opracowanie własne.



Rys 5.13. Otwartopokładowa konstrukcja statku szybkiego

Źródło: opracowanie własne.

W pierwszym przypadku przestrzeń ładunkowa usytuowana nad pokładem, ograniczona jest szerokością całkowitą statku pomniejszoną o szerokości nadburcia; wysokość tej przestrzeni ograniczona jest przez wymiar pionowy wynikający z wysokości położenia pokładu nad powierzchnią wody oraz wysokością prześwitu pod mostami.

W drugim przypadku przestrzeń ładunkowa usytuowana jest w kadłubach jednostki oraz nad tymi kadłubami a także nad pomostem. Szerokość przestrzeni ma dwa wymiary wynikające z szerokości wewnętrznej kadłubów jednostki i całkowitej jej szerokości pomniejszonej o szerokości nadburcia. Wysokość tej przestrzeni wynika z wysokości położenia pomostu nad powierzchnią wody, zanurzeniem statku, wysokości dna kadłubów oraz z wysokości prześwitów pod mostami.

Długość przestrzeni ładunkowej jest determinowana długością całkowitą statku pomniejszona o wymiary długości dziobowej i rufowej części kadłuba, które pełnią funkcje inne niż ładunkowe. Przyjmuje się że stanowią one ok. 35 % długości całkowitej statku.

Wybór konfiguracji przestrzeni ładunkowej będzie zależał od cech geometrycznych ładunku, jego masy oraz ładowności statku. Dla statków szybkich podstawowym ładunkiem będzie ładunek zjednostkowany w postaci kontenerów. Ich wymiar oraz masę brutto określają standardy ISO. Biorąc pod uwagę istniejący stan konteneryzacji ładunków w zintegrowanych procesach transportowych należy przyjąć, że podstawowymi kontenerami użytkowymi w przestrzeniach ładunkowych szybkich statków śródlądowych typu 1C (20'') i 1A (40''). Wartości ich parametrów przedstawia tabela 5.4.

Tabela 5.4

Wartości parametrów kontenerów

Parametr	Wymiar	Typ kontenera	
		1C	1A
Długość	m	6,058	12,192
Szerokość	m	2,438	2,438
Wysokość	m	2,438	2,438
Objętość	m ³	36,01	72,46
Masa całkowita brutto	t	20,32	30,48
Masa właściwa	t/m ³	0,564	0,420

Źródło: opracowanie własne.

Poszczególnymi typami statków mogą być przewożone kontenery których ilość wynika z maksymalnych ich mas (kryterium masy) oraz ładowności statków a także z wymiarów kontenerów i wymiarów przestrzeni ładunkowych (kryterium objętości). Ze względu na konfigurację przestrzeni ładunkowych oraz wymiar jej szerokości w poszczególnych konfiguracjach należy przyjąć, że orientacja kontenerów w tych przestrzeniach będzie wzdłużna tj. dłuższe ściany kontenerów będą równoległe do osi wzdłużnej statków. Wobec tego, wymaganą długość linii ładunkowych będą tworzyły sumy iloczynów długości i ilości kontenerów, które wyczerpują ładowność statków. Szacunkowe wartości parametrów ładunkowych statków obliczone zgodnie z kryterium masy zawarte są w tabeli 5.5.

Tabela 5.5.

Wartości parametrów ładunkowych statków wg kryterium masy

Typ statku	Ładowność [t]	Kontenery 1C		Kontenery 1A	
		Ilość [szt]	Wymagana długość linii ładunkowej [m]	Ilość [szt]	Wymagana długość linii ładunkowej [m]
1	542	26	158	17	209
2	429	21	128	14	172
3	377	18	110	12	148
4	195	9	55	6	74

Źródło: opracowanie własne.

Z tabeli tej wynika, że dłuższej linii ładunkowej a tym samym większej przestrzeni ładunkowej wymagają kontenery 40''. Wobec tego faktu w przestrzeni ładunkowej może pojawić się rezerwa przy przewozie kontenerów 20'', o masie mniejszej od maksymalnej.

Linie ładunkowe kontenerów dzielone są na odcinki, których maksymalna długość odpowiada ładunkowym długościom statków. Wynikiem tego działania - w którym przyjęto, że na odcinku linii ładunkowej musi się mieścić całkowita liczba kontenerów – jest wiedza na temat wymaganej liczby odcinków linii ładunkowych zawarta w tabeli 5.6.

Tabela 5.6

Wartości parametrów ładunkowych statków wg kryterium długości przestrzeni ładunkowych

Typ statku	Długość statku [m]	Długość odcinka linii ładunkowej statku [m]	Ilość kontenerów w odcinku / Wymagana ilość odcinków linii ładunkowej [szt]	
			Kontener 1C	Kontener 1A
1	82,0	53,3	8/3,25	4 / 4,25
2	82,0	53,3	8/2,62	4 / 3,50
3	72,0	46,8	7/2,57	3 / 4,00
4	56,0	36,4	6/1,5	3 / 2,00

Źródło: opracowanie własne

Ilość odcinków linii ładunkowych zależy od szerokości przestrzeni ładunkowych determinuje ilość warstw kontenerów, którą należy usytuować w tych przestrzeniach kształtowanych również poprzez konfiguracje konstrukcyjne statków. Wyniki analizy dotyczącej parametrów ładunkowych statków w aspekcie szerokości przestrzeni ładunkowych prezentuje tabela 5.7.

Tabela 5.7

Wartości parametrów ładunkowych statków wg kryterium szerokości przestrzeni ładunkowych

Typ statku	Konfiguracja górnopokładowa			Konfiguracja otwartopokładowa		
	Dopuszczalna ilość odcinków na szerokości statku	Ilość warstw kontenerów		Dopuszczalna ilość odcinków na szerokości statku	Ilość warstw kontenerów	
		1C	1A		1C	1A
1	4	0,81	1,06	3	1,08	1,42
2	3	1,33	1,17	3	1,17	1,17
3	3	0,86	1,33	3	0,86	1,33
4	3	0,5	0,67	3	0,5	0,67

Źródło: opracowanie własne.

Występujące w tabeli 5.7 wartości dopuszczalnych ilości odcinków linii ładunkowych w jednej warstwie kontenerów są wynikiem działania porównującego dostępną szerokość całkowitą statków - w konfiguracji górnopokładowej - z iloczynem szerokości kontenerów i ilości odcinków ładunkowych; w konfiguracji otwartopokładowej działania te dotyczą iloczynów częściowych porównywanych wartością do wymiarów szerokości częściowych przestrzeni ładunkowych tej konfiguracji konstrukcji. W każdym z rozpatrywanych przypadków ilość odcinków jest liczbą całkowitą.

Dopuszczalna wysokość przestrzeni ładunkowej opisowo została przedstawiona na początku tego rozdziału. Jej wymiarowanie będzie zależało od konkretnych założeń dotyczących:

- statków, w tym:
 - wysokości położenia pokładu (pomostu) nad powierzchnią wody
 - wysokości dna podwójnego w kadłubach konfiguracji otwartopokładowej
- infrastruktury transportowej w zakresie wysokości prześwitów pod mostami

Wysokość położenia pokładu (pomostu) wynika przede wszystkim z konieczności wyeliminowania opływu (zwilżania) poszycia tej konstrukcji przez generowane ruchem statku fale dziobowe, których amplituda może przewyższać odległość pomiędzy wodnicą pływania a pokładem. Ponieważ amplituda fal w pobliżu pionów dziobowych może być relatywnie wysoka, przednia krawędź pokładu znajdująca się pomiędzy dwoma kadłubami zostaje usytuowana w określonej odległości od pionów w obszarze gdzie amplituda fal będzie znakomicie niższa. W wyniku tego działania przyjmuje się [1], że odległość górnej powierzchni pokładu (pomostu) od powierzchni wody będzie wynosiła 0,40 m.

Dno podwójne kadłubów może powstać poprzez zakrycie ich dennych usztywnień poszyciem wewnętrznym a jego wysokość będzie praktycznie tożsama z wysokością usztywnień. Przyjmuje się, że wymiar wysokości „brutto” dna podwójnego nie powinien przekroczyć 0,20 m.

Minimalna wysokość prześwitów pod mostami dla średniej wody żeglownej [materiały RZGW Szczecin] wynosi:

- dla Odrzańskiej Drogi Wodnej – 5,00 m
- dla Drogi Wodnej Zachód – Północny Wschód – 3,87 m

Wobec powyższego dopuszczalna wysokość przestrzeni ładunkowej przyjmuje wartości:

- dla statków typu 1,2 i 3 (pływających po ODW)
 - górnopokładowych – 4,60 m
 - otwartopokładowych :
 - * nad pokładem (pomostem) – 4,60 m
 - * nad dnem podwójnym – 5,60 m
- dla statków Typu 4 (pływających po DW Z-PW)
 - górnopokładowych – 3,47 m
 - otwartopokładowych:
 - * nad pokładem (pomostem) – 3,47 m
 - * nad dnem podwójnym – 4,07 m

Z porównania wysokości kontenerów z wysokościami przestrzeni ładunkowych wynika, że dopuszczalna ilość warstw kontenerów obejmuje:

- dla górnopokładowych statków wszystkich typów- 1 warstwę
- dla statków otwartopokładowych typów 1,2 i 3 - 1 warstwę nad pomostem i dwie nad dnem podwójnym; wartość średniej ważonej ilości warstw wynosi - 1,66
- dla Typu – 4 otwartopokładowego – 1 warstwę

W oparciu o powyższe dane oraz założone kryteria maksymalnej ładowności i maksymalnej objętości przestrzeni ładunkowej determinowanej kontenerami typu 1A określony został zbiór statków (tabele 5.8.1, 5.8.2) te kryteria spełniający.

Tabela 5.8.1

Wartości parametrów ładunkowych statków górnopokładowych spełniających kryteria ładowności i przestrzeni ładunkowej

Typ statku	Kontenery 1C				Kontenery 1A			
	Dopuszczalna ilość odcinków ładunkowych	Dopuszczalna ilość warstw	Ilość kontenerów wg kryterium ładowności	Ilość kontenerów wg kryterium przestrzeni ładunkowej	Dopuszczalna ilość odcinków ładunkowych	Dopuszczalna ilość warstw	Ilość kontenerów wg kryterium ładowności	Ilość kontenerów wg kryterium przestrzeni ładunkowej
1	-	-	-	-	-	-	-	-
2	-	-	-	-	-	-	-	-
3	-	-	-	-	-	-	-	-
4	3	1	9	18	3	1	6	9

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 5.8.2

Wartości parametrów ładunkowych statków otwartopokładowych spełniających kryteria ładowności i przestrzeni ładunkowej

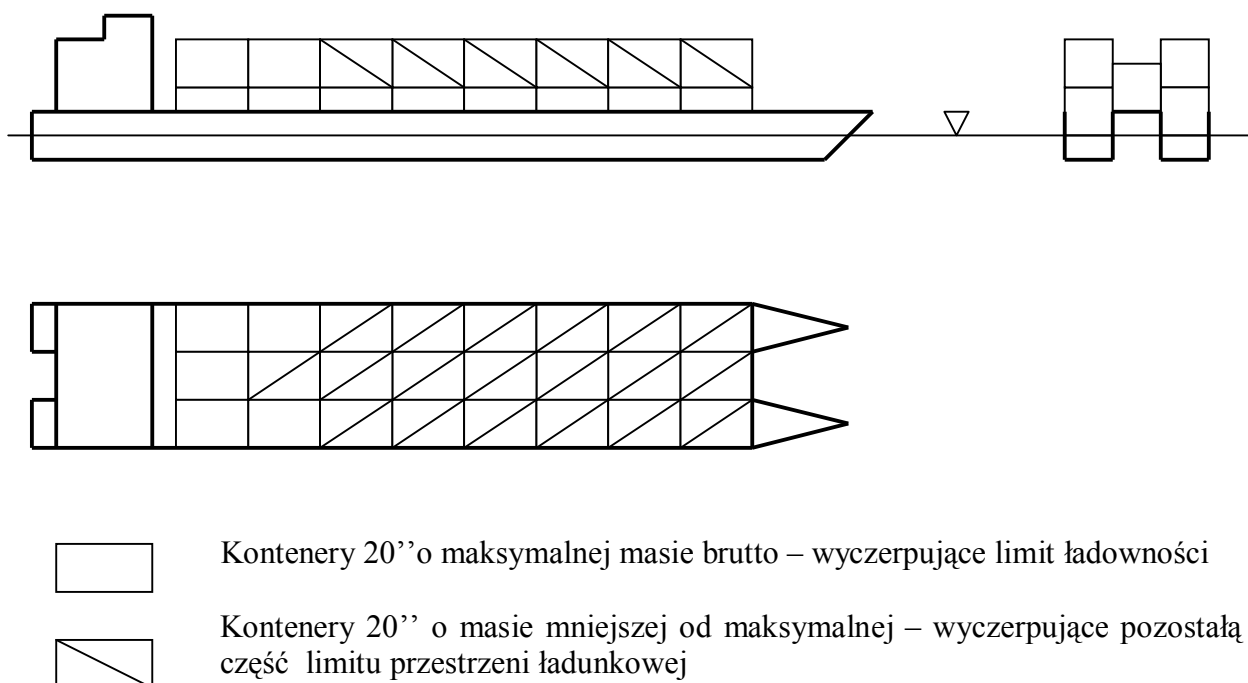
Typ statku	Kontenery 1C				Kontenery 1A			
	Dopuszczalna ilość odcinków ładunkowych	Dopuszczalna ilość warstw	Ilość kontenerów wg kryterium ładowności	Ilość kontenerów wg kryterium przestrzeni ładunkowej	Dopuszczalna ilość odcinków ładunkowych	Dopuszczalna ilość warstw	Ilość kontenerów wg kryterium ładowności	Ilość kontenerów wg kryterium przestrzeni ładunkowej
1	3	1,66	26	40	3	1,66	17	20
2	3	1,66	21	40	3	1,66	14	20
3	3	1,66	18	35	3	1,66	12	15
4	3	1	9	18	3	1	6	9

Źródło: opracowanie własne.

Z parametrycznej charakterystyki zbioru przedstawionego w tabelach 5.8.1 i 5.8.2 można wnioskować, że spośród statków górnopokładowych założone kryteria spełnia tylko Typ – 4 ; natomiast spełniają je wszystkie typy statków otwartopokładowych.

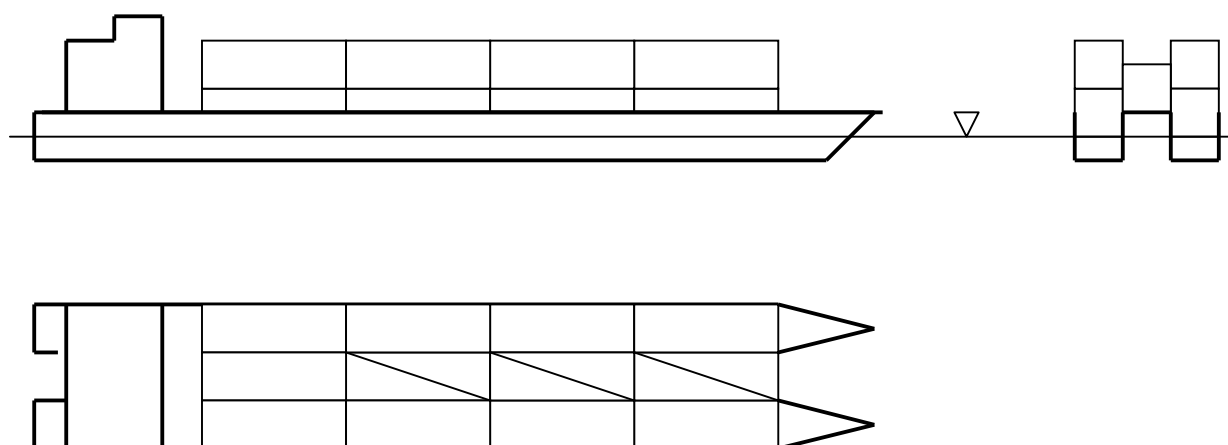
Ponadto w każdym z elementów (statków) zaprezentowanego zbioru ilość kontenerów wynikająca z kryterium pojemności ładunkowej jest znakomicie większa od ilości kontenerów limitowanych ładownością. A więc w proponowanych rozwiązaniach większy stopień wykorzystania pojemności ładunkowej może mieć miejsce w przypadku mniejszego od dopuszczalnej wykorzystania masy brutto kontenerów co jest częstym zjawiskiem w realizacji przewozów kontenerowych.

Przykładowy stan załadowania otwartopokładowego statku Typu- 2, kontenerami 1C i 1A ilustrują rysunki 5.14 i 5.15.



Rys.5.14. Stany załadowania statku Typu 2 kontenerami 20''

Źródło: opracowanie własne.



Rys.5.14. Stany załadowania statku Typu 2 kontenerami 40''

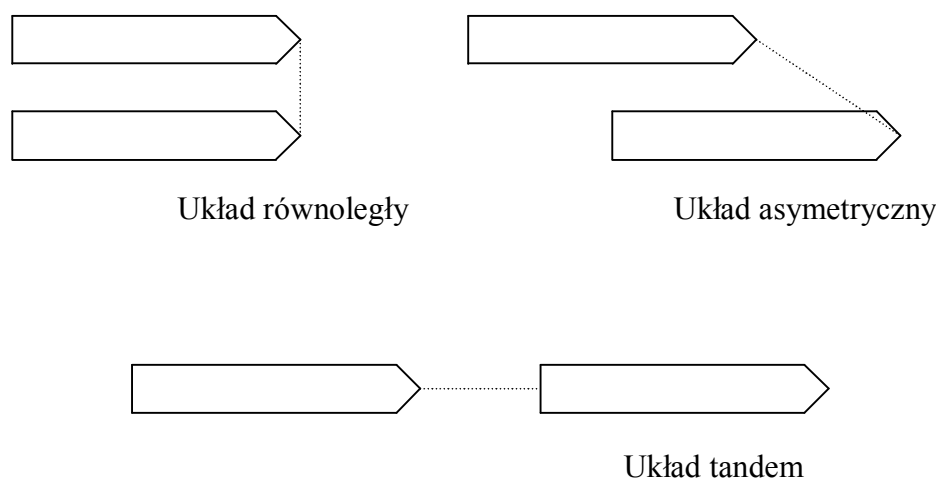
Źródło: opracowanie własne.

W zaprezentowanych stanach załadowania statku każdym z typów kontenerów o maksymalnej masie brutto, kontenery - wyczerpując limit ładowności - w różnym stopniu wyczerpują limit przestrzeni ładunkowej. Proces ten jest bardziej intensywny przy załadunku kontenerów 40''.

5.4. Analiza układu i kształtu kadłubów katamaranów

O kształcie kadłubów statków szybkich w zasadniczy sposób decyduje przyjęta ich dwukadłubowa konfiguracja. Wynika ona z preferencji relatywnie dużych prędkości na wodach płytkich i tendencji zmniejszania oporu falowego wymagających dużej smukłości kadłubów. Jednak praktycznie nawet duża wartość stosunku L/b , nie eliminuje zjawiska falowania znacząco uciążliwego dla infrastruktury transportowej a występującego w zakresie okołokrytycznych prędkości ruchu statków.

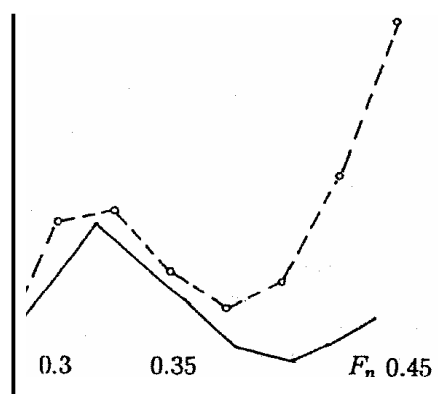
Działalność badawcza na rzecz zmniejszania oporu falowego i zmniejszania negatywnych skutków tego zjawiska ma swoją historię sięgającą połowy XX wieku. Z tego okresy znane są przede wszystkim prace K.Eggersa prowadzone w ośrodkach doświadczalnych Hamburga i Duisburga polegające na badaniu oporów ruchu kadłubów katamaranów usytuowanych wzajemnie w zróżnicowany sposób (rys. 5.15).



Rys.5.15. Zróżnicowanie wzajemnego usytuowania kadłubów katamaranów

Źródło: opracowanie własne.

Prawie pięćdziesiąt lat później na dwunastej konferencji HYDRONAV'97 Heinrich Soding z uniwersytetu w Hamburgu, zaprezentował wyniki badań w zakresie oporu falowego i całkowitego katamaranów asymetrycznych [22]. Stwierdził on, że opór falowy charakteryzuje się najniższymi wartościami wtedy, kiedy wzajemne wzdłużne przesunięcie kadłubów wynosi połowę długości pojedynczego kadłuba. Porównanie wyznaczonych doświadczalnie wartości oporów ruchu falowego i całkowitego prezentują rysunki 5.16 i 5.17.

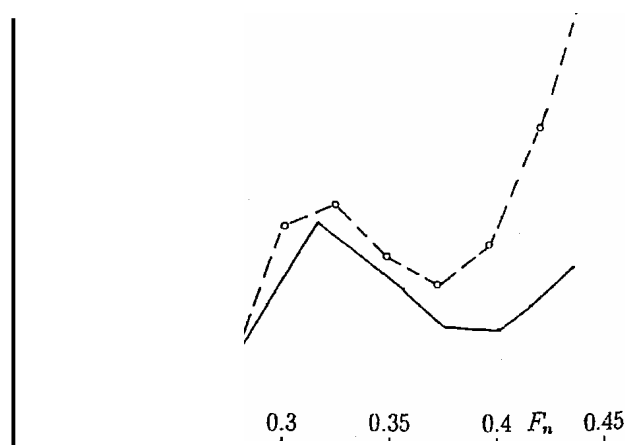


Rys. 5.16. Przebieg zależności oporu falowego od prędkości ruchu:

-układu asymetrycznego o współczynniku $l = L/2$

-oraz układu symetrycznego

Źródło: [33]



Rys. 5.17. Przebieg zależności oporu całkowitego od prędkości ruchu:

-układu asymetrycznego o współczynniku $l = L/2$

-oraz układu symetrycznego

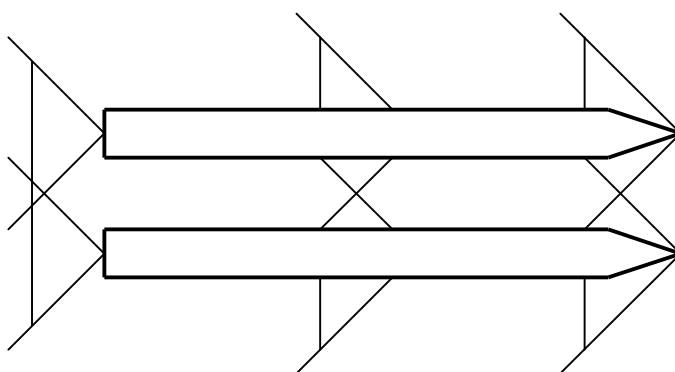
Źródło: [33]

Autor badań stwierdził również, że mniejsza wartość oporu falowego układu asymetrycznego jest z pewnością wynikiem interferencji fal, które generowane są przez wzajemnie przesunięte dwa ośrodki (piony dziobowe). Skutkiem interferencji jest zmniejszanie (tłumienie) amplitudy fal a tym samym zmniejszanie negatywnego oddziaływania tego zjawiska na otoczenie. Efekt amplitudowo fazowy został uzyskany przy wzroście długości całkowitej jednostki pływającej, co może stanowić przeszkodę w jego praktycznych zastosowaniach. Układ asymetryczny katamarana eliminuje – z zespołów konstrukcyjnych - pomost lub pokład ładunkowy, sprowadzając przestrzeń ładunkową do przestrzeni jego kadłubów. Ale jak wykazano w rozdziale 5.3. przestrzeń ta jest wystarczająca, by umieszczone w niej kontenery całkowicie lub w znaczącym stopniu wyczerpywały limit ładowności statków. Ze względu na wzrost długości w stosunku do układu równoległego, katamaran asymetryczny mógłby być stosowany na drogach wodnych, na których długość szluz jest dużo większa od długości

pojedynczego kadłuba co ma miejsce na ODW w tzw. służach pociągowych, które osiągają wymiar ok. 180 m.

Jednakże ze względu na to, że powyżej opisane badania prowadzone były na wodach głębokich trudno jest bezkrytycznie przenieść ich wyniki i efekty bezpośrednio na wody płytkie. Na wodach płytkich i okołokrytycznych prędkościach ruchu istotnym zjawiskiem są przegłębienia statków na które katamaran asymetryczny jest mało odporny. Lecz jeden z czynników tych badań może być wykorzystany pośrednio w badaniach układów równoległych; czynnikiem tym jest przesunięcie ośrodków generowania fali.

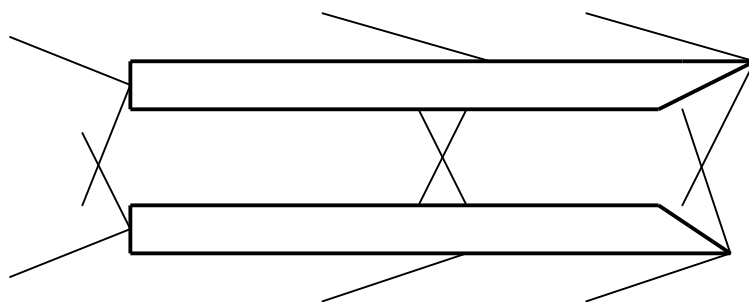
W układzie równoległym katamaranu zbudowanym z kadłubów symetrycznych, mamy do czynienia z symetrycznym - względem każdego z kadłubów – rozchodzeniem się fal skośnych. W obszarze pomiędzy kadłubami podlegają one interferencji z możliwością tłumienia amplitudy. Ze względu na symetrię wodnic pływania kadłubów w ten obszar kierowana jest połowa energii falowania (rys. 5.18).



Rys.5.18. Układ fal skośnych i poprzecznych wokół układu równoległego o kadłubach symetrycznych.

Źródło: opracowanie własne.

Ponieważ jest to obszar „korzystny” z punktu widzenia negatywnego oddziaływania falowania na otoczenie, nasuwa się pytanie – czy nie można tu skierować większej części energii generowanego falowania przyjmując generalne założenie, że wodnice pływania kadłubów katamarana są asymetryczne. Przykład jednego z proponowanych rozwiązań asymetrycznych prezentuje rysunek 5.19.



Rys. 5.19. Katamaran w układzie równoległym z asymetrycznymi kadłubami; prognozowany układ fal skośnych

Źródło: opracowanie własne.

Teoretycznie ten rodzaj asymetrii geometrii kadłubów powinien spowodować asymetryczny układ fal i pożądany efekt skierowania znaczącej części energii falowania w obszar pomiędzy kadłubami.

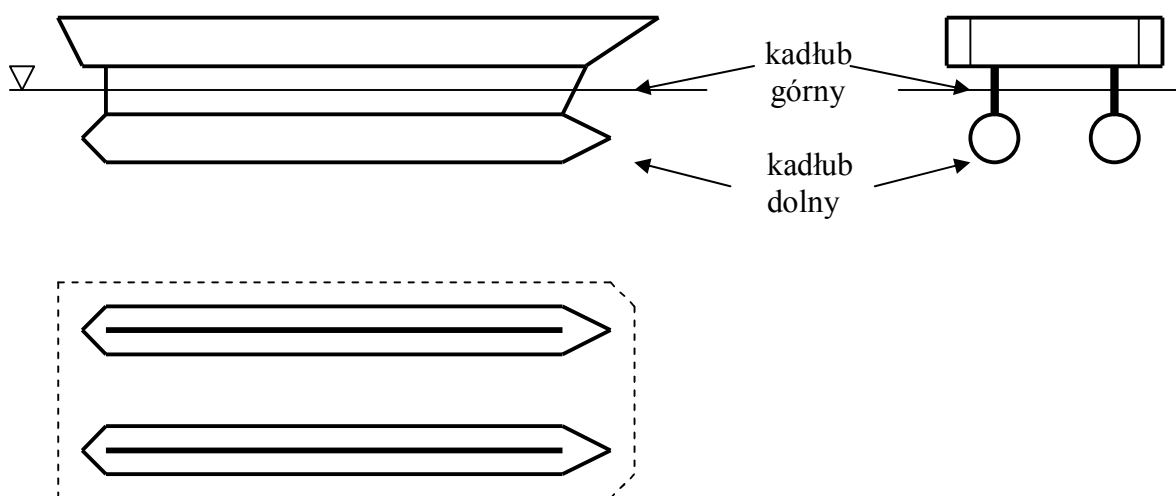
Zaprezentowana asymetria kadłubów ma również istotne mankamenty; w obszar pomiędzy kadłubami wpływa znacznie więcej wody niż w przypadku stosowania kadłubów symetrycznych. Powoduje to znaczące przyśpieszenie jej przepływu w ograniczonej przestrzeni i wzrost oporu tarcia, spadek ciśnienia prędkości i wzrost zanurzenia statku.

Na wszystkie te oczekiwania i wątpliwości dotyczące wynikowego sensu tego działania można odpowiedzieć prowadząc doświadczenia na modelach fizycznych szybkich statków towarowych.

5.5. Niektóre uwarunkowania eksploatacyjne szybkich statków pasażerskich - reminiscencje

Praktyczny efekt generowania minimalnego falowania przez ruch statku nawodnego został uzyskany w dwukadłubowcach typu SWATH. Ogólna analiza przeprowadzona w rozdziale 3.1 wyklucza zastosowanie tego rozwiązania w szybkim towarowym transporcie śródlądowym. Jednak istnieją przesłanki by mogło ono być przedmiotem badań prowadzonych na rzecz szybkich śródlądowych statków pasażerskich. Przesłanki te są zawarte w monografii [15] Jana P. Michalskiego pt. „Metody wyznaczania oporu ruchu i mas uogólnionych kadłuba przydatne w projektowaniu wstępnym statków dwukadłubowych o małej wodnicy pływania” oraz prezentacji pt. „A Practical Resistance Prediction System for SWATH Ships” autorstwa Zao – Jian Zou, Qing- Shan Luo [33] dokonanej w Lubece (Niemcy) w roku 2004.

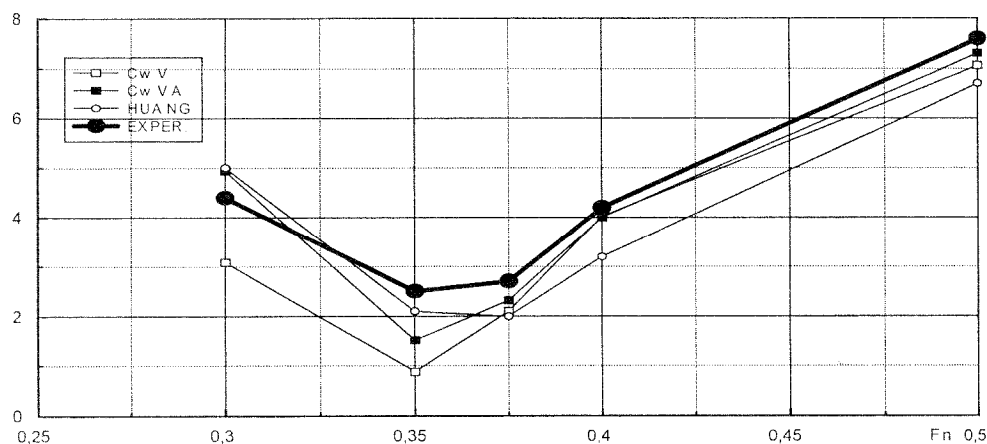
Pierwsza przywołana pozycja dotyczy podobnie jak i druga dotyczy statków typu SWATH. J.P.Michalski [15] w swojej publikacji stwierdza, że „na wielkość oporu falowego statku typu SWATH wpływ mają smukłość kadłubów dolnych, liczba Froude’a, smukłość kadłubów górnych, stosunek długości kadłubów górnych do długości pływaków, rozstaw pływaków (kadłubów dolnych), współczynnik pełnotliwości cylindrycznej pływaków”. Użyte w tym cytacie pojęcia dotyczące zespołów konstrukcyjnych statku ilustruje rysunek 5.20.



Rys. 5.20. Zespoły konstrukcyjne statku typu SWATH

Źródło: opracowanie własne.

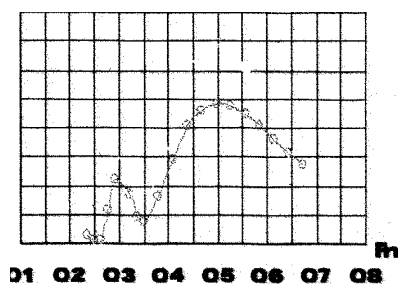
Wyniki prac doświadczalnych zawartych w tej publikacji wskazują na fakt osiągania minimum oporu falowego przez różne modele statków determinowanego wartością $Fr = 0,35$ (rys 5.21).



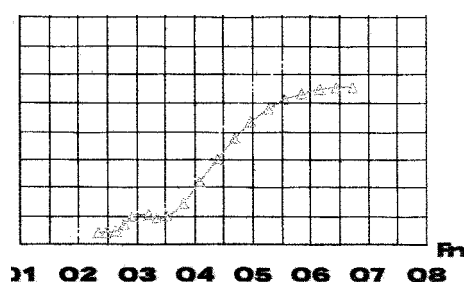
Rys.5.21. Przebieg zależności oporu falowego statków typu SWATH od liczby Froude'a
Źródło:[15]

Druga z przywołanych pozycji literatury odnosi się do badań oporu całkowitego ruchu statków typu SWATH w tym również oporu falowego. Badania były prowadzone w sposób teoretyczny i doświadczalny.

Ich wyniki również potwierdzają, że falowy opór ruchu dla $Fr=0,35$ przyjmuje wartości relatywnie bardzo małe podobnie jak opór całkowity rozpatrywany w całym przedziale względnej prędkości ruchu (rys. 5.22, 5.23).

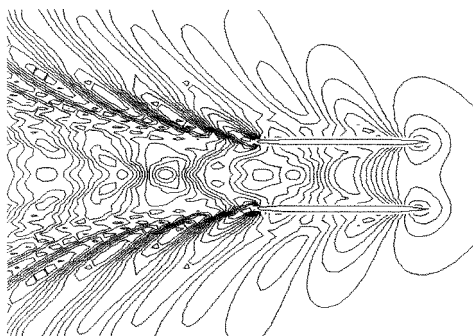


Rys. 5.22. Przebieg zależności oporu falowego statku typu SWATH od względnej prędkości ruchu
Źródło: [33]



Rys. 5.23. Przebieg zależności oporu całkowitego statku typu SWATH od względnej prędkości ruchu
Źródło: [33]

Pochodzący z tych badań warstwowy zapis generowanego falowania (rys. 5.24) świadczy o tym, że pełne zanurzenie kadłubów dolnych oraz smukłość kadłubów górnych może znakomicie zmniejszać negatywny wpływ energii falowania na liniową infrastrukturę transportu śródlądowego.



Rys. 5.24. Warstwowy obraz generowanych fal statku typu SWATH
Źródło: [33]

Preferowana dla ruchu statków typu SWATH wartość prędkości względnej skłania do parametrycznej oceny tego rozwiązania konstrukcyjnego i jego bezwzględnej prędkości ruchu. Dla wartości $Fr=0,35$, długość statku (kadłuba dolnego) i prędkość pozostają w relacjach przedstawionych w tabeli 5.9.

Tabela 5.9

Wartości prędkości ruchu i odpowiadające im długości kadłuba

Parametr	Wartość					
Długość [m]	13,0	20,3	29,3	40,0	52,0	66,0
Prędkość [m/s]	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0
Prędkość [km/h]	14,4	18,0	21,6	25,2	28,8	32,0

Źródło: opracowanie własne.

Biorąc pod uwagę „klasyczne długości” śródlądowych statków pasażerskich osiągające wartości w granicach 25 – 35 m, to tej długości statki typu SWATH mogłyby osiągnąć prędkości w granicach 20 – 24 km/h nie generując fali negatywnie oddziałującej na otoczenie. Ruch ten odbywałby się na wodach głębokich jeśli byłby spełniony warunek

$$h/t \geq 3$$

przyjęty w rozdziale 2.1 (wzór 2.10, 2.11) jako kryterium użytkowania energooszczędnych statków pasażerskich na wodach głębokich. Kryterium to spowodowało dyskretny dobór zanurzenia statków pasażerskich o wartościach: 0,5 m, 0,75 m, 1,0 m. Ponieważ z reguły

kadłuby dolne statków typu SWATH mają kształt cylindryczny, średnica cylindra r będzie porównywalna z ich zanurzeniem. Przy określonych powyżej zanurzeniach (średnicach kadłubów cylindrycznych) zakładane długości statków będą determinowały ich smukłości L/b gdzie $b=r=T$ oraz potencjalną liczbę pasażerów. Zgodnie z treścią rozdziału 2.4 jednemu m^3 wyporności można „przypisać” trzech pasażerów.

Wyniki obliczeń prowadzone w aspekcie smukłości oraz liczby pasażerów dla zadanych długości i zanurzeń statków zawarte są w tabeli 5.10.

Tabela 5.10

Wybrane elementy charakterystyki eksploatacyjnej pasażerskich statków śródlądowych typu SWATH

Parametr	Długość [m]								
	25,0			30,0			35,0		
	Zanurzenie [m]			Zanurzenie [m]			Zanurzenie [m]		
	0,50	0,75	1,00	0,50	0,75	1,00	0,50	0,75	1,00
L/b	50	33	25	60	40	30	70	47	35
Wyporność [m ³]	9,5	22,0	39,0	11,4	26,0	47,0	13,3	31,0	55,0
Liczba pasażerów	28	66	108	34	78	141	40	93	165
Prędkość [km/h]	20,00			22,00			24,00		

Źródło: opracowanie własne.

Uzyskane wartości parametrów rokuja pozytywny rezultat zastosowań statków typu SWATH do szybkiego przewozu pasażerów. Ponieważ półzanurzona konfiguracja tej konstrukcji w wersji podstawowej ma zapewnić obiektom oceanotechnicznym stabilność pozycji na fali, w proponowanym ich zastosowaniu tj. w transporcie pasażerskim jednym z problemów pozostaje stateczność tych statków - przede wszystkim poprzeczna - zakłócana w wyniku przemieszczania się pasażerów. Warunki stateczności dynamicznej (w czasie ruchu statku) mogą być spełnione przez poziome płetwy rufowe (patrz rys. 5.20). Skuteczna stateczność statyczna (w czasie postoju lub przy małych prędkościach) może być uzyskana w wyniku stosowania kadłubów górnych o małej smukłości dające duży przyrost wyporności przy relatywnie małym zanurzeniu a więc poprzez wzrost stateczności kształtu. Przeczy to jednak założeniu o dużej - ze względu na falotwórczość -smukłości wodnicy pływania. Stąd pożądanym rozwiązaniem jest czynny (aktywny) system stabilizacji kołysań bocznych [19] zwiększający i bezpieczeństwo i komfort pływania.

6. ŁĄDOWO – WODNE ŁAŃCUCHY TRANSPORTOWE SZANSĄ DLA STATKÓW WOLNYCH

6.1. Barki pchane jako jednostki ładunkowe w transporcie intermodalnym

Propozycje zawarte w poprzednich rozdziałach nie wyczerpują alternatywnych rozwiązań dotyczących statków szybkich i nie eliminują śródlądowych statków wolnych - tj. statków pływających z prędkościami podkrytycznymi – z ich alternatywnych zastosowań.

Praktyczną zasadą stosowaną przez armatorów statków wolnych jest eksploatacja tych statków w warunkach pełnego wykorzystania ich ładowności lub pojemności ładunkowej. O ile wykorzystanie pojemności ładunkowej nie zawsze wiąże się z maksymalnym dopuszczalnym zanurzeniem o tyle pełne wykorzystanie ładowności jest tożsame z zanurzeniem maksymalnym. Tym samym – poza ruchem z małą prędkością – jednostki te z reguły pływają w ograniczonym głębokością tranzytową czasie, czasie krótszym od okresu nawigacyjnego. Wydłużenie tego czasu przy zachowaniu zasady wykorzystania maksymalnej ładowności statku można osiągnąć poprzez zmniejszenie jego masy własnej. Działanie to powoduje zmniejszenie zanurzenia statku bez zmiany dotychczasowej ładowności. Innym efektem tego działania może być wzrost ładowności uzyskany bez zmiany pierwotnego maksymalnego zanurzenia. W latach 2001 - 2004 idea minimalizacji masy własnej statku przyświecała międzynarodowemu zespołowi realizacyjnemu projektu UE pod nazwą INBAT (INNOVATIVE BARGE TRAINS FOR EFFECTIVE TRANSPORT ON SHALLOW WATERS) . Ze względu na większą efektywność transportową zestawów pchanych prace projektowe koncentrowały się na barkach pchanych. Uzyskany wynik tamtego działania prezentuje tabela 6.1.

Tab.6.1

Charakterystyka barki pchanej (BPI-360)

Parametr	Wymiar	Wartość
Długość	m	32,5
Szerokość	m	9,008
Zanurzenie maks.	m	1,7
Ładowność maks.	t	360
Masa własna	t	50
Stosunek masy ładunku do masy całkowitej	-	0,878
Liczba kontenerów 20' w jednej warstwie	szt.	15 (3x5)

Źródło: opracowanie własne na podstawie [8]

Konstrukcja tej barki jest lżejsza o 40 % od porównywalnego rozwiązania „klasycznego” , którego ładowność przy przyjętych wymiarach L, B oraz T wyniosłaby 330 t.

Komentarz uzyskanego efektu może być następujący:

- bez zmiany zanurzenia (wynoszącego 1,7 m), w stosunku do rozwiązania „klasycznego” nastąpił wzrost ładowności barki o 9,0 % tj. o 30 t do wartości 360 t
- lub

- bez zmiany ładowności (wynoszącej 330 t), w stosunku do rozwiązania klasycznego nastąpiło zmniejszenie zanurzenia o 7,0 % tj. o 0,12 m do wartości 1,58m.

Korzyści z uzyskanego efektu bezwzględnie jakim jest obniżenie masy własnej konstrukcji nie wprowadzają więc zasadniczych ilościowych zmian w ładowności czy zanurzeniach barek; jednak ten efekt jest sukcesem zespołu realizacyjnego z innego punktu widzenia.

Barka pchana - podobnie jak naczepa samochodowa, nadwozie wymienne lub wagon kolejowy - może być członem ładunkowym środka transportu lub efektywną mobilną jednostką ładunkową w zintegrowanych systemach transportowych. O efektywności konstrukcyjnej tych jednostek świadczy m.in. Wskaźnik Masy Konstrukcji (WMK – *propozycja autorska*), którego wartość wynika ze stosunku masy całkowitej jednostki ładunkowej do jej masy własnej. Porównanie wartości tego wskaźnika dla mobilnych i stacjonarnych jednostek ładunkowych prezentuje tabela 6.2.

Tabela 6.2

Charakterystyka mas przykładowych jednostek ładunkowych

Jednostka ładunkowa		Wartości parametrów		
Rodzaj	Typ	Masa własna [t]	Masa całkowita [t]	Wskaźnik mas WMK
Mobilna	Barka BPI - 360	50,0	410,0	0,88
	Naczepa kurtynowa SCS 24/L	6,7	35,0	0,81
	Naczepa kontenerowa SCF 24	4,9	35,0	0,86
	Wagon dwuosiowy ZASTAL	14,5	45,0	0,68
	Wagon czteroosiowy ZASTAL	24,5	88,0	0,72
Stacjonarna	Kontener 20'	2,0	20,3	0,90
	Kontener 40'	3,5	30,5	0,89

Źródło: opracowanie własne.

Porównanie wartości wskaźników mas wyraźniej podkreśla jakość rozwiązań konstrukcyjnych barki pchanej BPI –360, które pod tym względem nie ustępuje takim „wyrafinowanym” konstrukcjom jakimi są kontenery. Wartość tego wskaźnika jest bardzo ważna w transporcie intermodalnym, w którym masa własna jednostek ładunkowych zmniejsza użyteczną ładowność środków transportu.

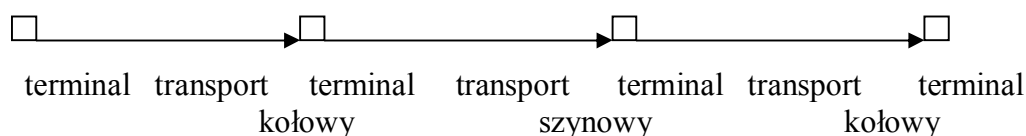
Transport intermodalny (intermodal transport): przewóz towarów w jednej i tej samej jednostce ładunkowej lub pojeździe, przy użyciu sukcesywnie różnych gałęzi transportu i bez przeładunku samych towarów w zmieniających się gałęziach transport. [32].

W transporcie intermodalnym obowiązuje reguła, że w trakcie całego przewozu (od nadawcy do odbiorcy) towary przewożone są w jednej i tej samej jednostce ładunkowej i nie mogą być przeładowywane w zmieniających się gałęziach transportu. Jednocześnie polityka transportowa Unii Europejskiej mająca na celu zrównoważony rozwój transportu preferuje formy transportu kombinowanego rozumianego jako „transport intermodalny, w którym główna część przewozu wykonywana jest przez kolej, żeglugę śródlądową lub transport morski a początkowy i/lub końcowy odcinek jest wykonywany przez transport drogowy tak krótko, jak to tylko możliwe”[32].

Sieć transportu kombinowanego składa się z dwóch głównych elementów: dróg transportowych (element liniowy) różnych gałęzi transportu oraz „miejsc połączeń” tych dróg (element punktowy) umożliwiających jednostkom ładunkowym zmianę rodzaju środka transportu (gałęzi transportu) i drogi transportowej. Wykorzystanie w procesie transportowym zbioru elementów tej sieci nazywane jest łańcuchem transportowym. Łańcuch transportowy składa się z ogniw transportowych i węzłów przeładunkowych.

Struktura lądowych łańcuchów transportu kombinowanego (rys. 6.1) obejmuje:

- lądowe węzły przeładunkowe (terminale),
- ogniwa transportu kołowego (samochodowego),
- ogniwa transportu szynowego (kolejowego).

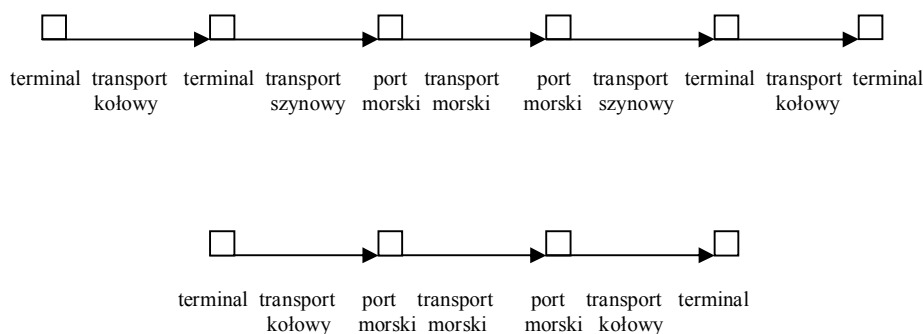


Rys.6.1. Struktura lądowego łańcucha transportu kombinowanego

Źródło: opracowanie własne.

Podstawowa struktura polskich lądowo – wodnych a praktycznie lądowo – morskich łańcuchów transportu kombinowanego (rys.6.2) obejmuje:

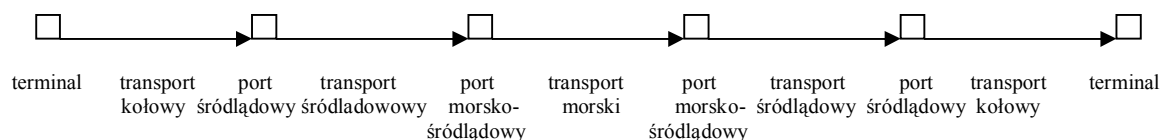
- lądowe węzły przeładunkowe,
- morskie węzły przeładunkowe (porty morskie),
- ogniwa transportu kołowego,
- ogniwa transportu szynowego,
- ogniwa transportu morskiego.



Rys. 6.2. Struktury lądowo – morskich łańcuchów transportu kombinowanego

Źródło: opracowanie własne.

Ze względu na nieobecność w Polsce transportu śródlądowego w transporcie kombinowanym w żadnym z wariantów nie występują śródlądowe węzły przeładunkowe (porty śródlądowe) i śródlądowe ogniwa transportowe. Szansą na ich wystąpienie jest przede wszystkim wprowadzenie do eksploatacji szybkich towarowych statków śródlądowych przeznaczonych głównie do przewozu kontenerów, a także „wolnych” zestawów pchanych i adekwatnych do barek pchanych - barkowców morskich. Te działania rozszerzyłyby strukturę lądowo – morskich łańcuchów transportowych do formuły lądowo – wodnych łańcuchów transportu kombinowanego (rys. 6.3).



Rys. 6.3. Struktura lądowo – wodnego łańcucha transportu kombinowanego

Źródło: opracowanie własne.

W strukturach łańcucha lądowo wodnego mogą występować warianty determinowane rodzajem jednostek ładunkowych: stacjonarnych i mobilnych, które w większości przypadków wymagają odmiennych metod za i wyładunku. Dla przemieszczania stacjonarnych jednostek ładunkowych - stosowane są głównie metody załadunku pionowego; dla przemieszczania mobilnych jednostek ładunkowych – przede wszystkim metody załadunku poziomego.

6.2. Technika wodnych subłańcuchów transportowych

W lądowo – wodnym łańcuchu transportowym można wyróżnić subłańcuch wodny obejmujący porty morsko – śródlądowe i śródlądowe oraz transport morski i śródlądowy. Proponowana technika realizacji procesu transportowego tego subłańcucha obejmuje środki transportu takie jak:

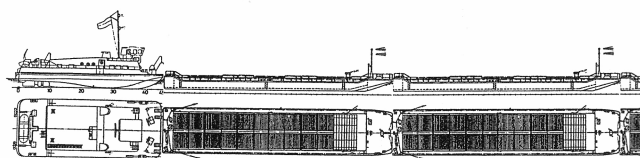
- barki pchane
- zestawy pchane
- barkowce jako morskie środki transportu barek pchanych

Barki pchane, które są jednocześnie jednostkami ładunkowymi w zintegrowanych procesach transportowych zostały zaprezentowane w rozdziale 6.1. Podkreślono w nim główny atut rozwiązania zawartego w konstrukcji barki BPI – 360, jakim jest niska wartość WMK. Barki pchane jako człony ładunkowe mogą tworzyć zestawy pchane o zróżnicowanej konfiguracji i wymiarach. Biorąc pod uwagę parametry wcześniej analizowanych polskich dróg wodnych oraz przepisy administracyjne ograniczające wymiary główne jednostek pływających, zestawy te byłyby zestawami jednorzędowymi podwójnymi lub potrójnymi [12].

Zestawy jednorzędowe podwójne (rys. 6.4) o wymiarach poziomych:

- długości – $L = 82 \text{ m}$
- szerokości – $B = 9 \text{ m}$

mogłyby obsługiwać porty śródlądowe drogi wodnej DWZ-PW, przy zanurzeniu $T = 1,2 \text{ m}$ i ładowności 480 t .



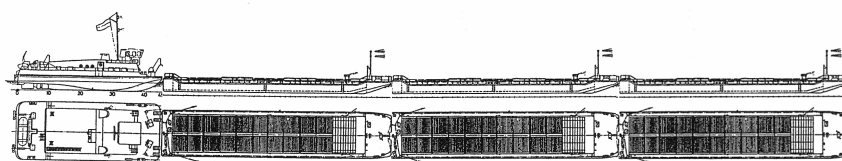
Rys.6.4. Jednorzędowy zestaw pchany podwójny

Źródło: opracowanie własne na podstawie [34]

Zestawy jednorzędowe potrójne (rys. 6.5) o wymiarach głównych:

- długości – $L=115$ m
- szerokości – $B=9$ m
- zanurzeniu – $T=1,7$ m

mogłyby obsługiwać porty leżące nad ODW przy ładowności *1080 t*.



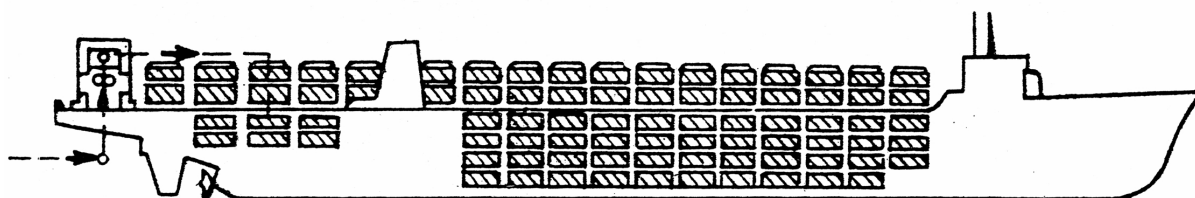
Rys. 6.5. Jednorzędowy zestaw pchany potrójny

Źródło: opracowanie własne na podstawie [34]

W portach morsko – śródlądowych nadawcy – zestawy byłyby rozcłunkowywane a barki pchane podlegałyby załadunkowi na barkowce. Po stronie odbiorcy – barki podlegałyby wyładunkowi z barkowca i łączeniu w zestawy pchane; oczywistym jest, że po stronie odbiorcy pchacz zestawu byłby jednostką oczekującą na barki.

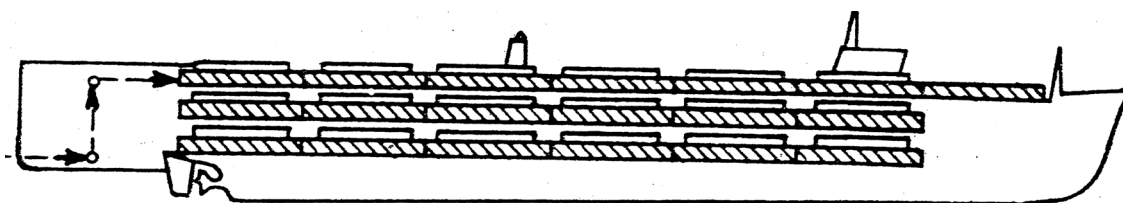
Przemieszczane barek pchanych trasami morskimi znane jest od lat 70 XX wieku. Barkowcowe Systemy Transportowe (LASH, SEABEE, BACAT, CLASS, STRADLER) , poprzez środki transportu i technologię obsługi łączyły żeglugę morską z żeglugę śródlądową w jeden zintegrowany system. Ze względu na sposób załadunku i wyładunku barek pchanych, rozwiązania BST można podzielić na dwa typy szeregi. Pierwszy z nich – przystosowany do przewozu dużej masy ładunkowej – rzędu kilkudziesięciu tysięcy ton, wymaga zastosowania własnych urządzeń podnośnych co zwiększa jego koszty inwestycyjne i eksploatacyjne (rys.6.6). Drugi z typów szeregi, charakteryzuje się wielowarstwowym dokowym (wypornościowym) systemem załadunku i wyładunku barek i stosowany jest do przewozu

ładunku o masie rzędu kilku tysięcy ton (rys. 6.7). Wspólną cechą obydwu typoszeręgów jest to, że barki pchane stosowane w nich jako jednostka ładunkowa wymagają specjalnych wzmocnień konstrukcyjnych a ponadto mają dużą wysokość boczną i duże zanurzenie. Powoduje to wzrost ich masy własnej, która relatywnie – do masy ładunku – jest wyższa niż w „klasycznych” konstrukcjach śródlądowych.



Rys. 6.6. Przykład barkowca z urządzeniami podnośnymi

Źródło: [14]



Rys. 6.7. Przykład barkowca dokowego z wielowarstwowym systemem alokacji barek

Źródło: [14]

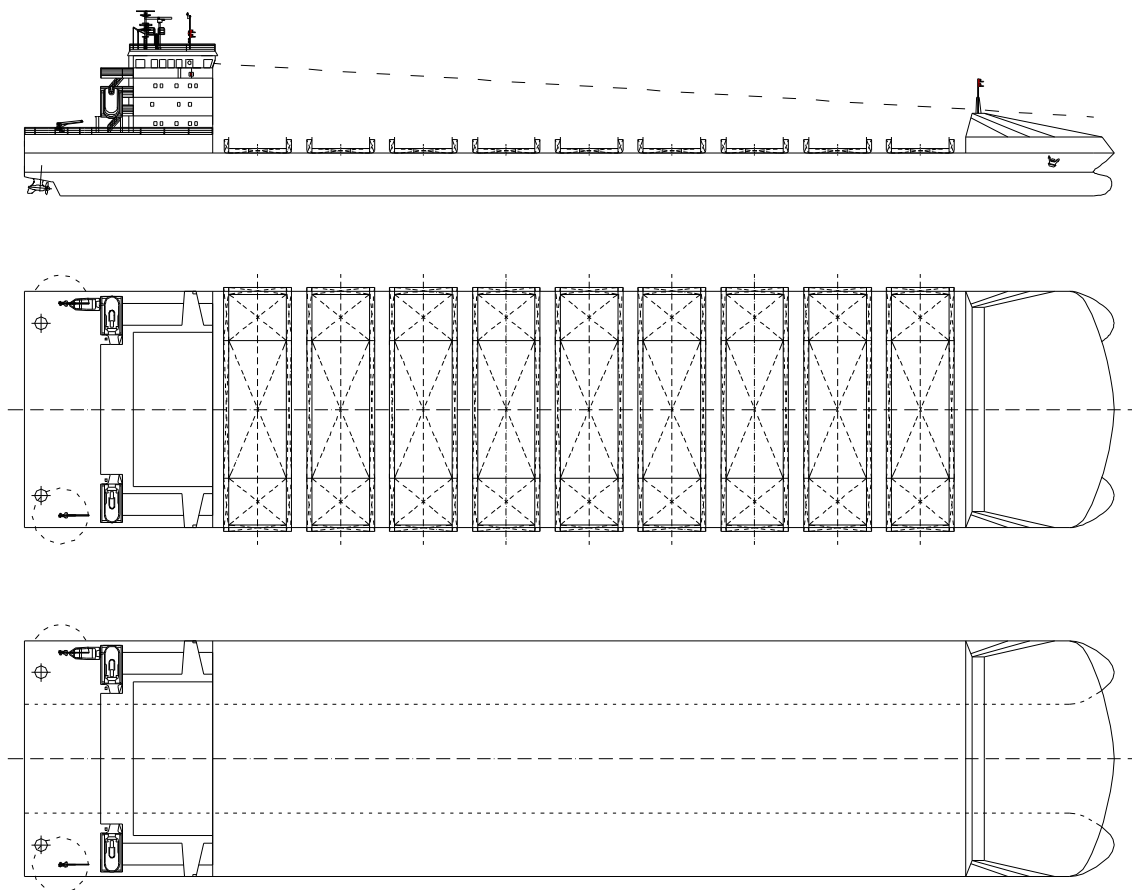
Konieczność unikania nadmiaru masy własnej konstrukcji śródlądowych jakimi są barki pchane pływające po drogach wodnych o ograniczonej głębokości powoduje, że barkowce morskie mogą przewieźć relatywnie niewielką ich ilość w jednej warstwie załadunkowej i na ograniczonej długości linii ładunkowej. Parametry takiego barkowca prezentuje tabela 6.3 a jego sylwetkę rys. 6.8.

Tabela 6.3.

Charakterystyka barkowca dokowego

Parametr	Wymiar	Wartość
Długość	m	144,72
Szerokość	m	31,50
Zanurzenie	m	3,15
Liczba barek pchanych BPI-360	szt.	9
Ładowność	t	3.700

Źródło: Prace własne, Tołkacz L., Żurawski T.



Rys. 6.8. Barkowiec dokowy z jednowarstwową alokacją barek

Źródło: : Prace własne, Tołkacz L., Żurawski T

Załadunek i rozładunek barek w tym rozwiązaniu może być realizowany systemem dokowym i techniką Float on – Float off. Z założenia, że barkowiec ten przewoziłby barki BPI-360 wynikałoby z kolei, że ilość barek w jednej partii ładunkowej mogłaby wynosić ok. 9 szt. a wynikowa maksymalna masa ładunku 3.200 t przy ładowności barkowca ok. 3.700 t. Ilość masy ładunku zawarta w barkach pchanych stanowi o tym, że lądowo - wodny łańcuch transportowy w którym zastosowano by zaprezentowaną technikę powinien być sposobem na realizację przewozów relatywnie krótkich w części morskiej np. przewozów lądowo-transbałtyckich. Warunkiem tych przewozów byłoby dysponowanie infrastrukturą transportową po stronie odbiorcy adekwatną do infrastruktury po stronie nadawcy. Problem ten można określić również w ten sposób, że lądowo – wodne transbałtyckie łańcuchy transportu kombinowanego powinny zachowywać symetrię struktury.

6.3. Zasięg lądowo-wodnych transbałtyckich łańcuchów transportu zintegrowanego.

Przewozy transbałtyckie to przewozy mieszczące się w definicji żeglugi bliskiego zasięgu (ŻBS), której celem jest ograniczenie przewozów lądowych. Sumaryczną masę ładunków ŻBS przemieszczaną rocznie wodami Bałtyku można ocenić na 400 mln t, a średnią ładowność statków operujących na tym akwenie - od 3 – 9 tys.t.

Basen Morza Bałtyckiego tworzy granice morskie Niemiec, Danii, Szwecji, Finlandii, Rosji, Estonii, Łotwy, Litwy i Polski (rys.6.9).

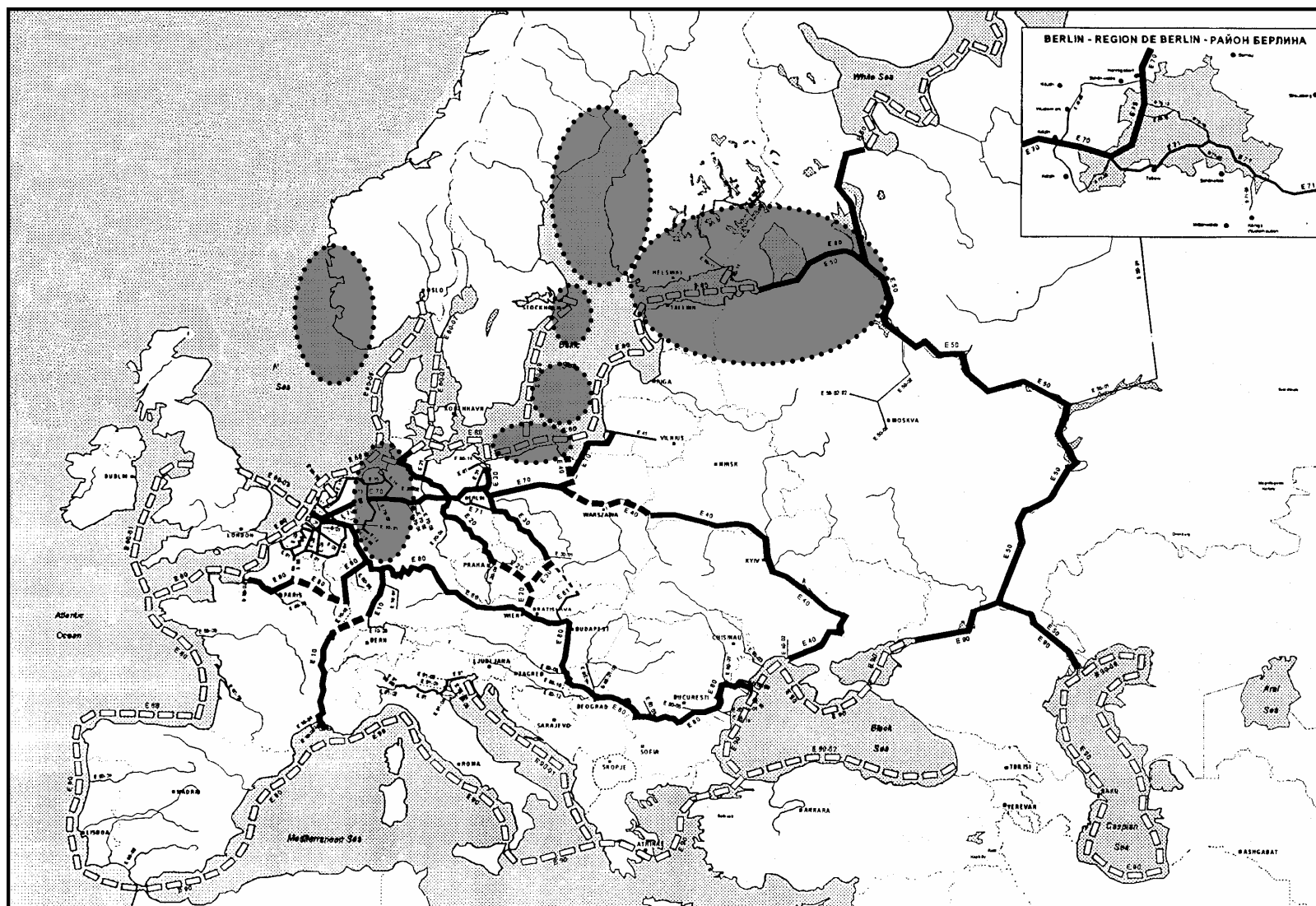


Rys.6.9. Geograficzne położenie krajów nadbałtyckich

Źródło; www.wikipedia.pl

Poszukiwaną wspólną cechą tych krajów są porty i drogi wodne śródlądowe oraz porty morsko – śródlądowe uzasadniające istnienie lądowo – wodnych transbałtyckich łańcuchów transportu zintegrowanego. Potencjalnie, pożądaną infrastrukturą transportową w sposób bezpośredni dysponują wszystkie kraje bałtyckie poza Niemcami i Danią; w sposób pośredni – poprzez ODW - również Niemcy.

Wszystkie drogi śródlądowe w tych państwach przebiegają przez obszary istotne gospodarczo; niektóre z tych dróg mają parametry dróg śródlądowo – morskich i tam mogą bezpośrednio wpływać z Bałtyku również statki morsko – śródlądowe. Obszary te wskazane są na rys. 6.10 a ich ogólne cechy infrastrukturalne prezentują tabele 6.3 i 6.4.



Rys. 6.10. Nadbałtyckie obszary istotne gospodarczo wyposażone w infrastrukturę transportu śródlądowego lub morsko – śródlądowego.
 Źródło: opracowanie własne na bazie materiałów Europejskiej Komisji Gospodarczej ONZ

Tabela 6.3

Charakterystyka obszarów gospodarczych dysponujących
drogami śródlądowymi

Kraj	Drogi śródlądowe	Porty śródlądowe
Niemcy	Kanał Odra- Hawela Odrzańska Droga Wodna	Berlin Eberswalde (Schwedt)* Szczecin*
Polska	Warciańska D. W. D. W. Wisła –Odra Odrzańska Droga Wodna	Poznań Krzyż Ujście Gliwice Koźle Wrocław Cigacice Kostrzyn Szczecin*
Litwa	Rzeka Neumunas	Kaunas Klaipeda*
Łotwa	Rzeka Daugawa	Daugovpils Riga*
Estonia	Rzeka Ema Jez. Pejpus Rzeka Narwa	Tartu Narwa*

* - port morsko - śródlądowy

()* potencjalny port morsko - śródlądowy

Źródło: opracowanie własne.

Tabela 6.4

Charakterystyka obszarów dysponujących
drogami śródlądowo – morskimi

Kraj	Drogi śródlądowo – morskie	Porty śródlądowo – morskie
Szwecja	Jezioro Wanern Kanał Trollhattan Rzeka Gota	Karlstad Mariestad Goteborg*
Finlandia	Pojezierze Fińskie Kanał Saimaa	Kuopio Joessu Wyborg – Ros. *
Rosja	Wołżański System Wodny Rzeka Newa	Moskwa Rybińsk St. Petersburg*

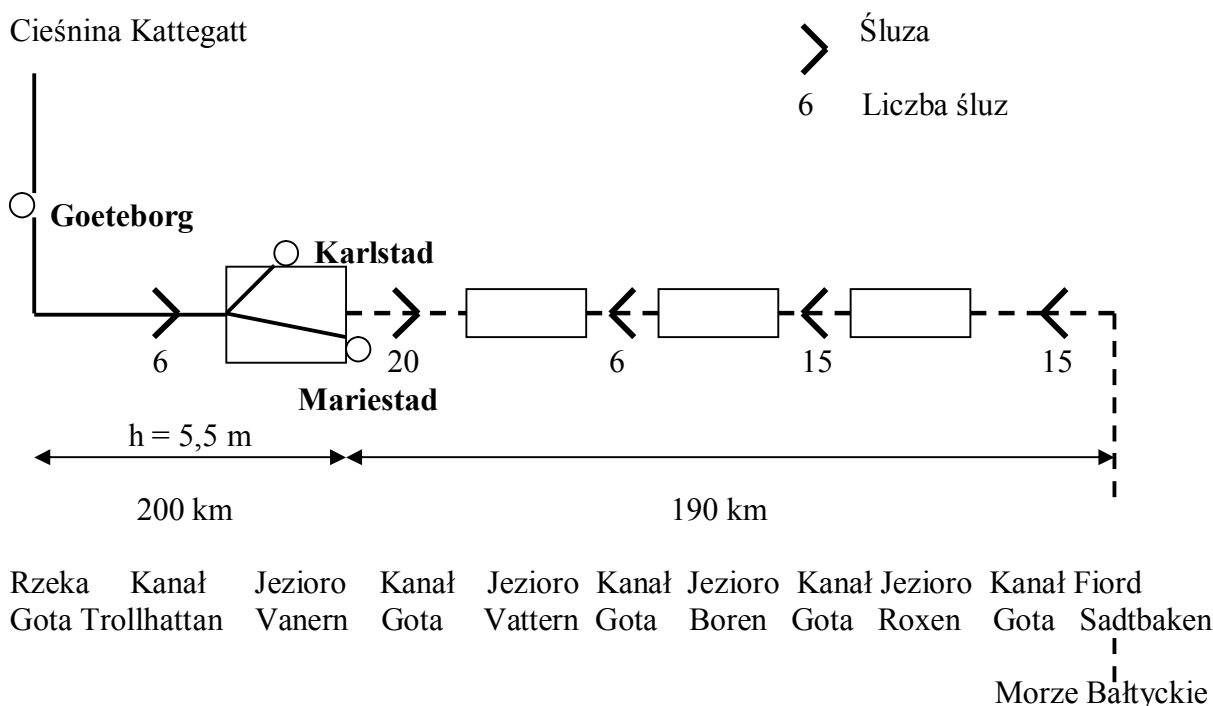
* - port morsko - śródlądowy

Źródło: opracowanie własne.

Szwedzkie drogi śródlądowe

Główna droga śródlądowa Szwecji zwana - „Błękitną Wstęgą Szwecji” - prowadzi od portu morsko – śródlądowego Göteborg leżącego na wschodnim brzegu cieśniny Kattegatt u ujścia rzeki Gota, do fiordu Sadtbaken połączonego z Bałtykiem.

Zakładając, że zapleczem portów morsko – śródlądowych Szczecina i Świnoujścia są porty śródlądowe Niemiec i Polski, to przedpolem tych zachodniopomorskich portów mogą być porty śródlądowe Litwy, Łotwy, Estonii, Szwecji Finlandii i Rosji. Przebieg morskich tras żeglugowych łączących porty morsko – rzeczne jest zgodny z bałtyckimi autostradami morskimi. Charakterystykę infrastruktury transportu śródlądowego z dostępem do morza poszczególnych państw bałtyckich przedstawiają opisy zamieszczone poniżej.



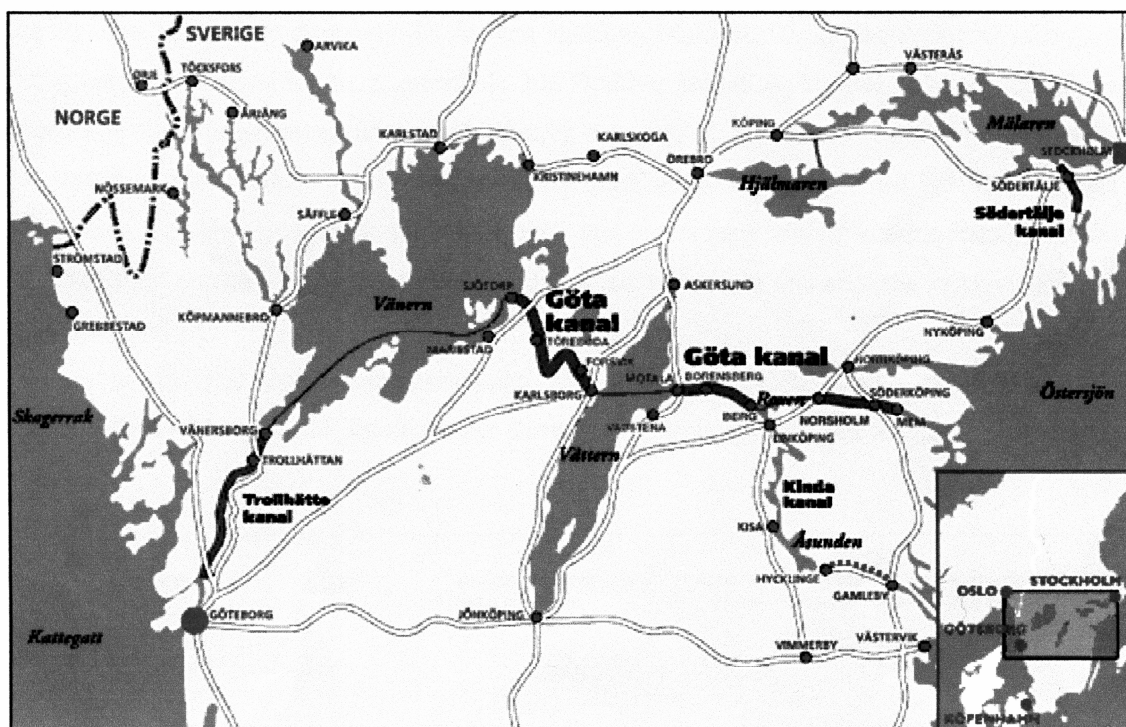
Rys.6.11. Schemat przebiegu „Błękitnej Wstęgi Szwecji”

Źródło: opracowanie własne.

Całkowita długość tej drogi wynosi 390 km ; jej parametry na tej długości są znakomicie zróżnicowane dzieląc eksploatacyjnie tą drogę na dwie części. Pierwsza część obejmuje ujściowy odcinek rzeki Gota, kanał Trollhattan wraz z jego żeglugową zabudową hydrotechniczną (którą stanowi 6 śluz o wymiarach $90 \text{ m} \times 13,7 \text{ m} \times 5,5 \text{ m}$) a także jezioro Vanern . Stwarza ona możliwości ruchu statków o wymiarach $85,0 \text{ m} \times 12,5 \text{ m} \times 4,5 \text{ m}$, które tym samym mogą mieć cechy statków morsko – śródlądowych. W kontekście wymiarów śluz traktowanych jako pociągowe, wymiary – prezentowanych uprzednio - barek pchanych BPI-360 dają możliwość tworzenia z nich dla tej drogi wodnej zestawów jednorzędowych podwójnych o ładowności 720 ton.

Druga część „Błękitnej Wstęgi...” przebiega od jeziora Vanern, poprzez pierwszy odcinek kanału Gota , jezioro Watern oraz drugi odcinek kanału Gota obejmujący również jeziora Boren i Roxen. Tą część charakteryzuje zabudowa hydrotechniczna z pierwszej połowy XIX wieku ograniczająca wymiary statku po długości – do 30 m , po szerokości – do 7 m i z tytułu zanurzenia do 3 m. Zabudowa ta obecnie pozwala na przemieszczanie się

plywających jednostek pasażerskich. Długość tej części „turystycznej” wynosi około 200 km; na pierwszą część „towarową” przypada ok. 190 km długości. Mapę „Błękitnej Wstęgi Szwecji” na całej jej długości prezentuje rysunek 6.12.



Rys. 6.12. Mapa przebiegu „Błękitnej Wstęgi Szwecji”

Źródło: www.wikipedia.pl

Przedstawione na tym rysunku informacje (m.in. schodki śluzowe) świadczą o znacznym zróżnicowaniu wysokości położenia elementów składowych tej drogi wodnej.

Fińskie drogi śródlądowe

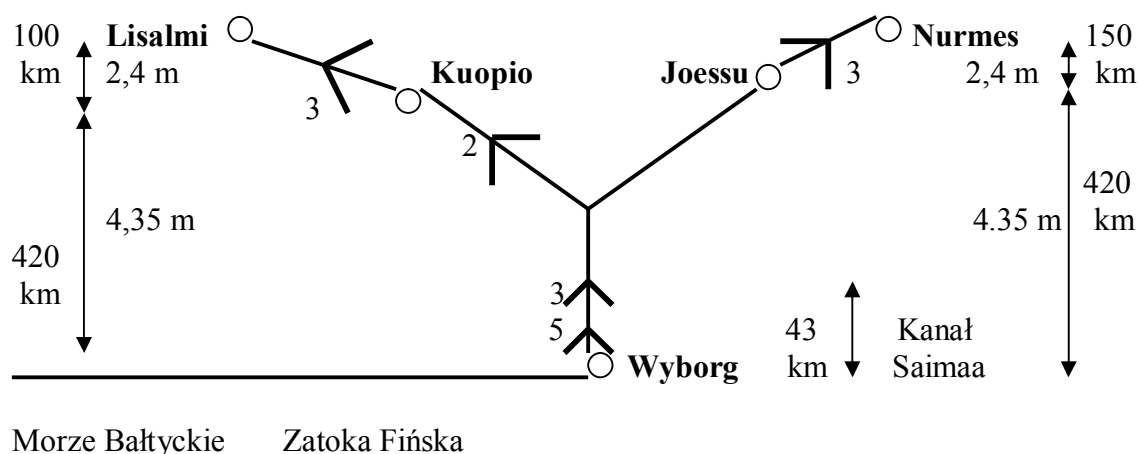
Najbardziej znaczącą drogą wodną Finlandii posiadającą połączenie z Bałtykiem jest kompleks systemu wodnego Saimaa (rys. 6.13), obejmujący zbiór jezior i kanał Saimaa mający swój początek w rosyjskim porcie Wyborg (Viipuri – fin.) nad Zatoką Fińską. Długość kanału Saimaa wynosi 42,9 km; na tej długości usytuowanych jest 8 żeglugowych stopni wodnych (rys. 6.14), z których 5 znajduje się na terytorium Rosji a 3 na terytorium Finlandii. Parametry kanału oraz śluz stopni wodnych umożliwiają na tej drodze wodnej ruch statków o długości do 85,0 m, szerokości do 13,2 m i zanurzeniu do 4,5; na niektórych trasach kompleksu, jeziora ograniczają zanurzenie statków do 2,4 m. Podobnie jak w przypadku śluz kanału Trollhättan (Szwecja), śluzy kanału Saimaa umożliwiają pociągowe przemieszczanie zestawów pchanych składających się z dwóch barek BPI – 360.

Obszar systemu wodnego jezior Saimaa to 4.400 km²; długość tego systemu osiąga 2 tysiące kilometrów. Czas trwania żeglugi przerywanej zalodzeniem akwenu szacowany jest na ok. 200 dni w roku. Obszar ten dysponuje 60 portami z których najważniejsze to: Kuopio, Haapamaki, Joensuu, Varkaus, Matyiluoto, Imatra, Lappeenranta i Lahti.



Rys.6.13. Mapa kompleksu systemu wodnego Saimaa

Źródło: www.fma.fi/e/leisure/canals/



Rys. 6.14. Schemat kompleksu wodnego Saimaa
Źródło: opracowanie własne.

Rosyjskie drogi śródlądowe

Połączenie Bałtyku z rosyjskimi drogami śródlądowymi ma miejsce ma miejsce w odniesieniu do Wołżańskiego Systemu Wodnego, (rys. 6.15, 6.16), który jest transkontynentalną drogą wodną mającą połączenie za pomocą naturalnych wód powierzchniowych oraz sztucznych kanałów i zbiorników wodnych z pięcioma morzami tj. : Bałtykiem, Białym, Azowskim, Czarnym i Kaspijskim[Wszelaczński W. Drogi Wodne Śródlądowe, PG 1990].

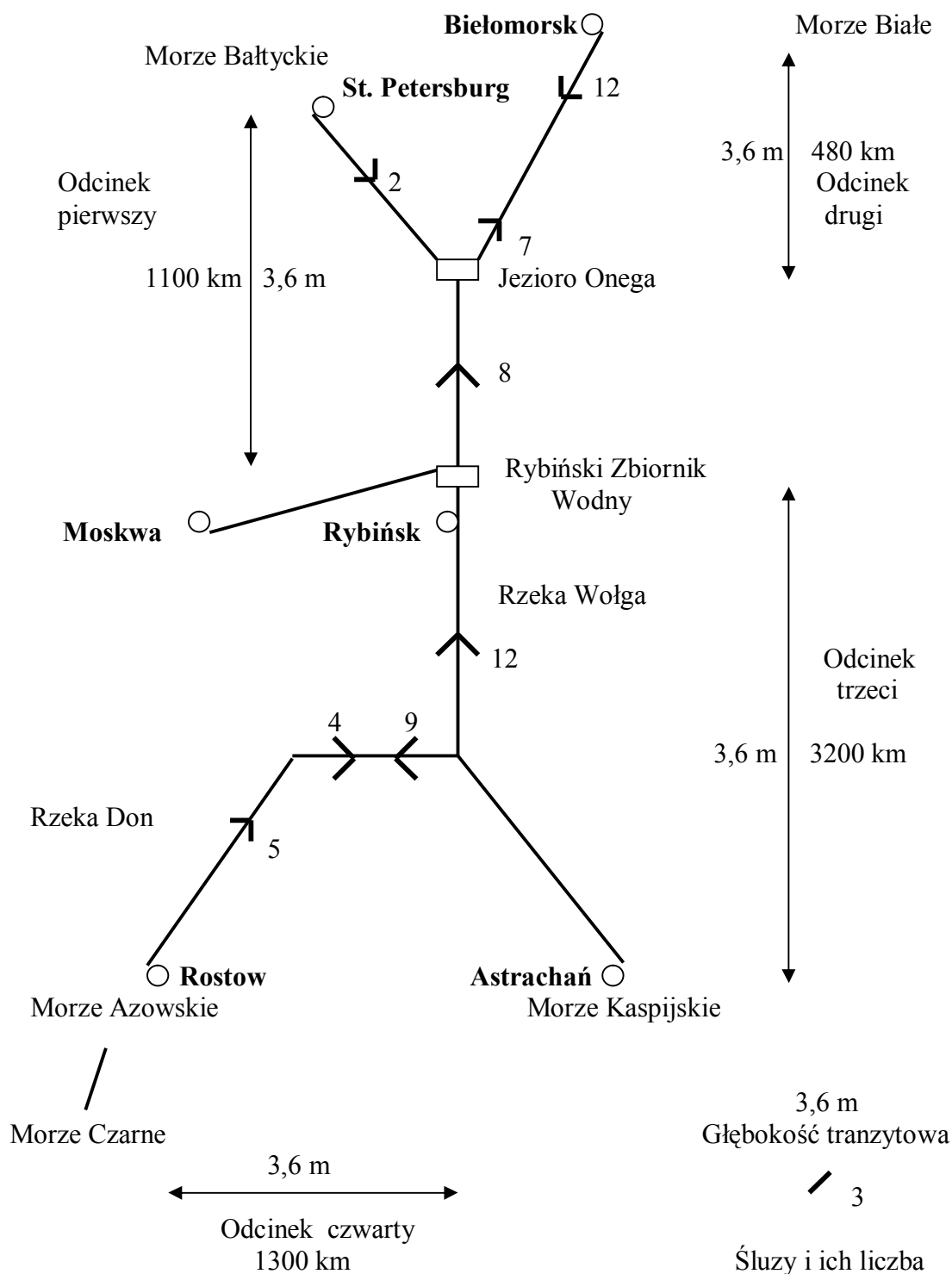
System ten jest wieloodcinkowy. Najbardziej istotny dla tematycznego celu jest odcinek pierwszy, łączący Bałtyk z rzeką Wołgą (tworząc Wołżańsko – Bałtycki Szlak Wodny) przebiegający poprzez : rzekę Newę, kanał Nowowołodowski (kanał lateralny jez. Ładoga), rzekę Swir – stanowiących pierwszą część tego odcinka oraz poprzez kanał Oneski (kanał lateralny jeziora Onega), rzekę Wytiegry, kanał Maryjski, rzekę Kowżę, kanał Biełozierski, rzekę Szeksnę i Rybiński Zbiornik Wodny – stanowiących drugą część tego odcinka. Długość tego odcinka wynosi 1100 km a występująca na nim głębokość tranzytowa ma wartość 3,6 m. Wymiary poziome statków ograniczane przez dwie śluzy znajdujące się na rzece Świr wynoszą po długości 140 m a po szerokości 20 m. Wartości parametrów geometrycznych tego odcinka umożliwiają ruch 6 barek BPI 360 tworzących dwurzędowy potrójny zestaw pchany.

Drugi odcinkiem tego systemu o długości ok.480 km łączy Morze Białe z jeziorem Onega a poprzez pierwszą część pierwszego odcinka również z morzem Bałtyckim. Połączenie jeziora Onega z morzem Białym w znakomitej części jest połączeniem sztucznym tworzonym przez kanał Białomorski, na którym występuje w sumie 19 śluz a głębokość kanału osiąga 4 m.

Trzeci odcinek Systemu przebiega rzeką Wołgą, na której usytuowanych jest 9 stopni wodnych (o wymiarach 240 m x 20 m), która wpływa do Morza Kaspijskiego. Długość tego odcinka wynosi ok. 3200 km . „Wołżański” odcinek również można podzielić na dwie części: od zbiornika Rybińskiego do kanału Wołga – Don (długość ok. 2000 km) i od Kanału Wołga – Don do morskiego ujścia Wołgi (1200 km)

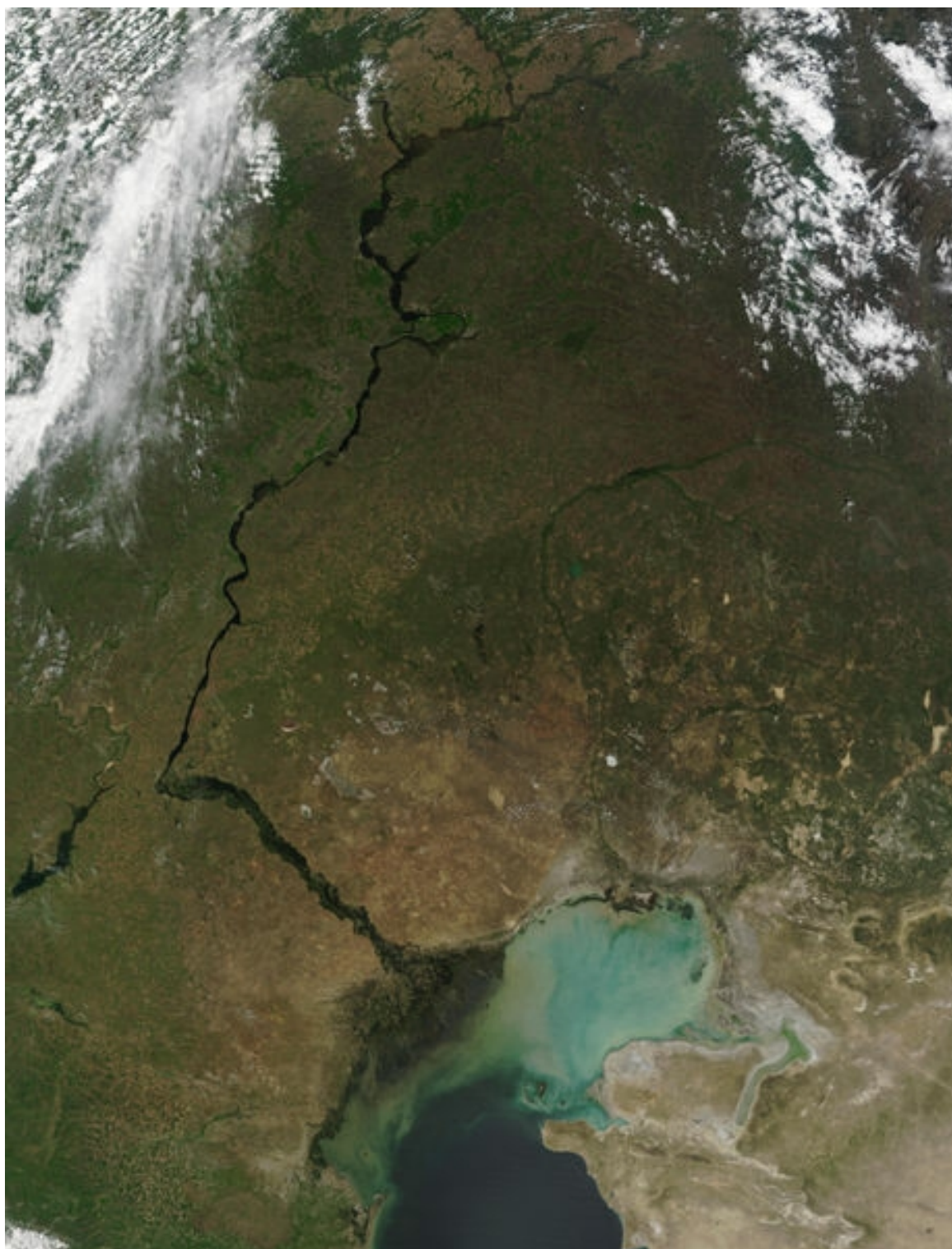
Kanał Wołga - Don wraz z rzeką Don uchodzącą do Morza Azowskiego tworzy czwarty odcinek systemu. Na odcinku tym o długości ok. 1300 km i głębokości tranzytowej 3,6 m występuje 18 śluz, których wymiary po długości i szerokości (250 m x 20 m) umożliwiają ruch statków motorowych o ładowności rzędu 3000 t.

Z powyższej krótkiej charakterystyki Wołżańskiego Systemu Wodnego wynika, że wartości jego żeglugowych parametrów geometrycznych odbiegają znacząco „in plus” od wartości odpowiadających sobie parametrów, które występują na drogach śródlądowych Europy Zachodniej. Stąd jednostkami pływającymi w tym systemie są w dużej części statki morsko – śródlądowe o konfiguracji jedno i dwukadłubowej.



Rys. 6.15. Schemat Wołżańskiego Systemu Wodnego

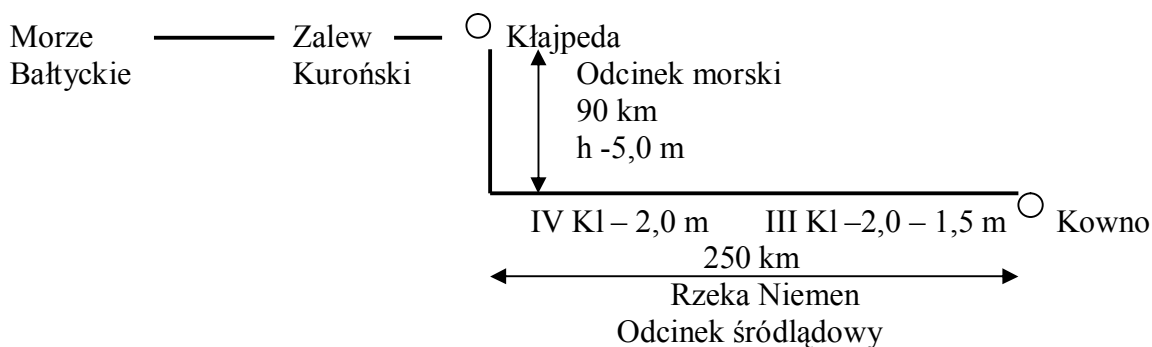
Źródło: opracowanie własne



Rys.6.16. Wołżański System Wodny – zdjęcie satelitarne z 2002 r. Źródło:
www.wikipedia.org/wiki/wol/

Litewskie drogi śródlądowe

Podstawową i jedyną potencjalną drogę transportu śródlądowego tworzy rzeka Neumanas (Niemen) na odcinku 250 km od potencjalnego portu śródlądowego Kaunas (Kowno) do ujścia tej rzeki do Kursu Marios (Zalewu Kurońskiego). Ze względu na wymóg minimalnego uzbrojenia technicznego przy rozładunku barkowca, śródlądowa droga wodna Niemna powinna być wydłużona o 90 km przebiegu przez Zalew Kuroński do portu morskiego Klaipeda (Kłajpeda). Łączna długość drogi zestawów pchanych od Kłajpedy do Kowna wynosiłaby 340 km a głównym portem śródlądowym tej drogi byłoby Kowno (415. tys. mieszkańców) posiadające obecnie zabudowę portową. Głębokość odcinka drogi wodnej przebiegającego przez Zalew Kuroński wynosi 5,0 m; głębokość odcinka rzeczno to 1,50 – 2,00 m. Na drodze tej aż do Kowna nie występują stopnie wodne (w Kownie – stopień energetyczny), a okres nawigacyjny obejmuje około 250 dni w roku. Wg [Ekg] droga ta ma IV klasę (w odcinku ujściowym) i klasę III. Może więc – zgodnie z tą informacją - przyjmować jednorzędowe zestawy pchane BPI -360 podwójne lub potrójne. Śródlądową drogę Litwy ilustruje schemat przedstawiony na rys.6.17, a przebieg drogi wodnej na tle terytorium Litwy przedstawia rys.6.18.



Rys.6.17. Schemat śródlądowej drogi Litwy

Źródło: opracowanie własne.



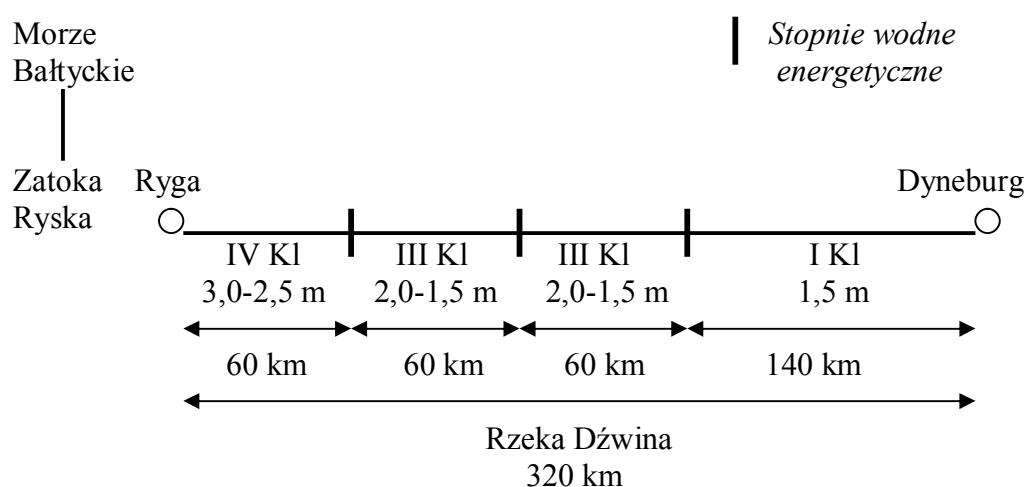
Rys.6.18. Mapa przebiegu drogi wodnej Niemna . Źródło: www.wikipedia.pl

Źródło: www.wikipedia.org/wiki/wol/

Łotewskie drogi śródlądowe

Jedyną potencjalną śródlądową drogę wodną tworzy rzeka Daugava (Dźwina) na odcinku od miasta Daugavpils (Dyneburg ; 118 tys. mieszkańców) do portu Morsko rzeczne Riga (Ryga) na długości około 320 km. Rzeka Dźwina na w/w odcinku nie zapewnia obecnie ciągłości ruchu jednostek pływających, ponieważ jej bieg przecinają trzy energetyczne stopnie wodne nie posiadające zabudowy żeglugowej. Wg [Ekg] drogę tą charakteryzują IV, III i I klasa o głębokościach od 3,0 – 1,5 m, co umożliwiałoby pływanie zestawów BPI – 360 jednorzędowych podwójnych lub potrójnych.

Śródlądową drogę Łotwy ilustruje schemat przedstawiony na rys 6.19 oraz mapa Łotwy z zaznaczonym położeniem Dźwiny (rys.3.20)



Rys.3.19. Schemat śródlądowej drogi wodnej Łotwy

Źródło; opracowanie własne.



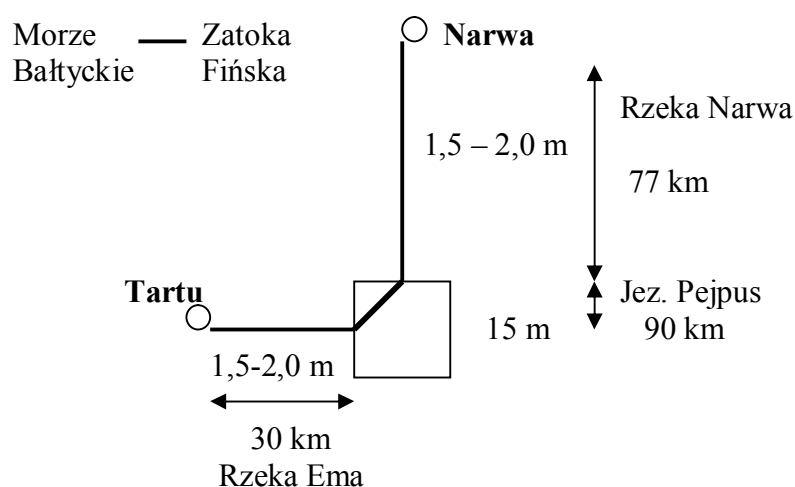
Rys. 6.20. Przebieg drogi wodnej na tle terytorium Łotwy

Źródło: www.wikipedia.pl

Estońskie drogi śródlądowe

Estonia posiada również jedną potencjalną śródlądową drogę wodną tworzoną przez rzekę Narwa (Narwa), jezioro Pejpsi (Pejpus) oraz rzekę Ema o łącznej długości około 190 km. Morsko – śródlądowym portem tej drogi wodnej może być port Narwa (Narwa), natomiast końcowym portem śródlądowym – port w mieście Tartu (103 tys. mieszkańców). Wg [Ekg] droga ta – ze względu na szerokość – ma klasę I a jej głębokości wahają się od 1,5 – 2,0 m. Na drodze tej mogą być ewentualnie eksploatowane zestawy BPI-360 jednorzędowe pojedyncze lub podwójne.

Śródlądową drogę wodną Estonii ilustrują rys. 6.21 i 6.22.



Rys. 6.21. Schemat śródlądowej drogi wodnej

Źródło: opracowanie własne



Rys.6.22. Trasa przebiegu drogi wodnej na tle terytorium Estonii

Źródło: www.wikipedia.pl

Z opisów charakteryzujących infrastrukturę transportu śródlądowego ościennych państw bałtyckich można wnioskować, że ich stan gotowości eksploatacyjnej jest zróżnicowany.

Drogi wodne Szwecji, Finlandii i Rosji są bieżąco eksploatowane i nie wymagają istotnych działań prowadzących do ich technicznej dostępności dla proponowanych rozwiązań transportu transbałtyckiego.

Warunkiem dostępności do dróg wodnych leżących na obszarach Litwy, Łotwy i Estonii jest ich modyfikacja. Najmniejszy zakres modyfikacji dotyczy drogi wodnej rzeki Niemen (Litwa), co umożliwia jej dostępność eksploatacyjną w relatywnie krótkim czasie. Potencjalna droga wodna Łotwy przebiegająca rzeką Dźwiną, wymaga znaczącej modernizacji istniejących stopni energetycznych w aspekcie żeglugowym (np. budowy śluz). Patrząc na ten problem optymistycznie proces modernizacji odsuwa w czasie dostępność tej drogi dla jednostek śródlądowych. Potencjalna droga śródlądowa Estonii również wymaga zabiegów modernizacyjnych dotyczących m.in. szerokości toru wodnego i promieni łuków zakrętów podwyższających jej klasę, co również jest działaniem mogącym nastąpić w dłuższej perspektywie czasowej.

Patrząc na problem wodno – lądowych łańcuchów transportu intermodalnego z punktu widzenia potencjalnego ich użytkownika, to praktycznie tą technologią transportu (transportu zestawami pchanymi i barkowcami) zainteresowana jest przede wszystkim Polska. Szwecja, Finlandia i Rosja mogą stosować technologie wykorzystujące statki morsko - śródlądowe zmniejszające koszty procesów transportowych (m.in. koszty zewnętrzne) na ich terytorium . Do takich technologii dążą również Niemcy chcąc uczynić Schwedt a następnie Berlin portami śródlądowo – morskimi tj. portami położonymi przy drogach wodnych śródlądowych i obsługującymi statki morsko – śródlądowe.

7. KLASYFIKACJA WODNYCH DRÓG ŚRÓDLĄDOWYCH

7.1. Historia współczesna i stan istniejący klasyfikacji

Wodne drogi śródlądowe podobnie jak drogi lądowe podlegają klasyfikacji. Uogólniony cel tej klasyfikacji można zdefiniować jako potrzebę bezpośredniej i pośredniej oceny wodnych dróg śródlądowych pod względem ich przydatności do realizacji żeglugi.

Ocena bezpośrednia – określa możliwość przemieszczania się tymi drogami jednostek pływających o zdeterminowanych parametrach. Ocena pośrednia jest oceną porównawczą dróg wodnych o zróżnicowanej podatności żeglugowej i *de facto* stanowi czynnik podziału na klasy dróg wodnych. Zróżnicowanie podatności żeglugowej wynika z darów przyrody jakimi są rzeki i jeziora w ich naturalnym stanie i z działalności człowieka wprowadzającego modyfikacje tych stanów naturalnych a także wprowadzającego tzw. sztuczne drogi wodne tj. kanały żeglowne. Liczba klas jest wynikiem istnienia przedziału wartości parametrów dróg wodnych uznanych za żeglowne a także przyjętego - stałego lub zmiennego – przyrostu wartości tych parametrów.

Drogi wodne tworzą w sposób naturalny i sztuczny – sieci, umożliwiające realizację procesów transportowych trasami przebiegającymi przez zbiory dróg wodnych różnych pod względem ich natury jak również ich klasy. O kryteriach oceny bezpośredniej i pośredniej dróg wodnych decydują cele użytkowe (aplikacyjne) którymi są:

- cele nawigacyjne, wymagające określenia warunków żeglugowych na planowanej trasie transportowej
- cele projektowe przyszłych żeglownych dróg wodnych i tras transportowych

Klasyfikacja dróg - poprzez jej cechy - stosowana dla celów nawigacyjnych uwzględnia stan rzeczywisty dróg wynikający nie tylko z bieżących realizacji zadań inwestycyjnych ale także z zaszczości historycznych, jako że drogi wodne w znanych historycznie czasach zawsze były wykorzystywane do procesów transportowych.

Cele projektowe dróg wodnych mogą - w aspekcie rozszerzania obszarów gospodarczych dysponujących siecią dróg wodnych – zmieniać ich kwalifikację np. ze względu na rosnący przedział wartości parametrów dróg wodnych na nowych terytoriach objętych wspólnymi działaniami na rzecz racjonalizacji procesów transportowych i integrację tych procesów. Na każdym „wspólnym” terytorium występują górne granice parametrów dróg wodnych determinowane przede wszystkim ich naturalnymi wartościami. Na terytorium Unii Europejskiej taką sytuację można odnieść do rzeki Dunaj.

Kryteria klasyfikacji dróg wodnych w najnowszej historii gospodarczej krajów europejskich nie były jednoznaczne. Wynikało to z idywidualizacji działań poszczególnych krajów a także z postępujących działań zbiorowych powstających europejskich związków gospodarczych. Polska realizowała działania na rzecz dróg wodnych dysponując swoimi klasyfikacjami. Ich przykład z roku 1977 przedstawiony jest w tabeli 7.1, a parametryczne uzupełnienie tej klasyfikacji zawierają tabele 7.2 i 7.3. Czesi, którzy w Europie są wielokrotnymi inicjatorami propozycji z zakresu transportu śródlądowego dysponowali również swoją klasyfikacją, którą w przykładowym oryginale z roku 1988 prezentuje tabela 7.4. W wersji niemiecko - języcznej z roku 1996 ta klasyfikacja wygląda już inaczej pod względem oznakowania klas (tabela 7.5). W obydwu wymienionych propozycjach klasy dróg wodnych determinowane są bezpośrednio konfiguracją i ładownością jednostek pływających.

Tabela 7.1.

Polska klasyfikacja dróg wodnych z roku 1977

Wyszczególnienie	Oznaczenie klasy				
	I	II	III	IV	V
Dopuszczalna ładowność statku w t	300	500	1000	1500	3000
Głębokość szlaku żeglownego na rzekach					
a. najmniejsza głębokość gwarantowana w m	0,8	1,3	1,8	2,1	3,0
b. % gwarancji najmniejszej głębokości	80	85	90	95	95
c. średnia głębokość nawigacyjna w m	1,0	1,6	2,0	2,5	3,5
Układ w planie szlaku żeglownego rzek					
a. szerokość szlaku żeglownego w m	30	40	50	60	90
b. najmniejszy promień łuku osi szlaku w m	250	400	500	650	750
Wymiary kanałów					
a. najmniejsza szerokość w m na poziomie dna typowego statku o dopuszczalnej ładowności przy pełnym zanurzeniu	30	35	40	45	50
b. najmniejsza głębokość wody w kanale	2,0	2,5	3,0	4,0	4,5
c. najmniejszy promień łuku osi kanału w m	300	500	650	800	1000
Gabaryty komór śluzowych					
a. długość komory w m	42	85,6	85	190	190
b. szerokość komory w m	3,2	9,6	12	12	12,0
c. głębokość komory na progu w m	1,5	2,5	3,0	3,5	4,0
Najmniejszy prześwit pod mostami					
a. wysokość spodu konstrukcji mostu ponad najwyższą wodę żeglowną w m	4,5	4,5	5,0	5,5	6,0
b. szerokość przęsła żeglownego w m	30	35	40	45	50
Najmniejsze wzniesienie linii napowietrznych ponad najwyższą wodę żeglowną					
a. linii napowietrznych niskiego napięcia w m	8	8	10	12	12
b. linii napowietrznych wysokiego napięcia w m	10	12	12	14	16

Źródło: [34]

Tabela 7.2

Minimalne zapasy wody pod dnem
[cm]

Głębokość nawigacyjna [m]	Na rzekach swobodnie płynących					Na kanałach
	Statki z napędami i zestawy pchane	Zbiornikowce dla ładunków klasy I		Barki holowane		
		Dno piasz- czyste lub gliniaste	Dno kamieniste	Dno piasz- czyste lub gliniaste	Dno kamieniste	
Do 1,5	10	10	15	5	10	15
1,5 – 3,0	15	15	20	10	15	20
ponad 3,0	20	20	25	15	20	30

Źródło: [34]

Tabela 7.3

Różnice wymiarów śluz i kadłubów śluzowanych

Zalecenia	Różnice wymiarów [m]		
	Na długości	Na szerokości	Na wysokości (głębokości)
Dla małych śluz europejskich	0	0,20	0,20
Dla dużych śluz europejskich	2 – 3	1,5	0,2 – 1,0
Jw. wg obecnej praktyki	2 – 3	0,6 – 1,2	0,2 – 1,0
Dla dużych śluz amerykańskich		0,6	0,3
Dla dużych śluz radzieckich przy wymiarach śluz:			
Długość do 50 m	1		
50-100 m	2		
100-150 m	4		
150-210 m	6		
ponad 210 m	10		
szerokość do 10 m		0,4	
10-18 m		0,8	
ponad 18 m		1,0	
głębokość na progu			
do 2,8 m			0,25
ponad 2,8 m			0,40

Źródło: [34]

Tabela 7.4

Czesko - języczna (czechosłowacka) klasyfikacja dróg wodnych z roku 1988

	Kategorie vodní cesty	Třída vodní cesty	Největší používaná plavidla a soupravy	Schéma plavidel a souprav a jejich min. a max. nosnost v t	Grafické vyjádření na mapách	
					Hotové úseky	Rozestavěné a plánované úseky
Neklasifikované vodní cesty	Vodní toky využívané pro voroplavbu a plavení dřeva		Vory, kmeny			
	Periodicky splavné toky		Různá tradiční plavidla, zpravidla dřevěná a bez strojního pohonu		-----	
	Malé vodní cesty s význa- nem pro rekreační a sportovní plavbu		Velká sportovní plavidla, motorové jachty, plachetnice, malé osobní lo- di — výjimečně i nejmenší plavidla komerční vodní dopravy		-----	-----
Klasifikované vodní cesty s významem pro komerční vodní dopravu	L	10, 11, 12	Nejmenší tlačné soupravy, malé motorové nákladní lodě (péniche aj.). V některých případech nej- menší plavidla pobřežní plavby	240 – 560 480 – 1120 270 – 350 	-----	-----
		10, 11 12, 21	Tlačné soupravy menší a střední velikosti, velké motorové nákladní lodě. V některých případech říční- námořní lodě a středně velká pla- vidla pobřežní plavby.	1420 – 3180 1000 – 3000 2840 – 6360 2840 – 6360 	=====	=====
	I	22	Střední a velké tlačné soupravy. Největší říční a říční-námořní mo- torové nákladní lodě, v některých případech velká plavidla pobřežní plavby či námořní lodě.	5680 – 12720 2700 – 5000 	=====	=====
		23 A VYŠŠÍ	Velké a největší tlačné soupravy v některých případech i námořní lodě.	8520 – 19080 	=====	=====
					A VĚTŠÍ JEDNOTKY	

A VETŠÍ JEDNOTKY

Zdrolo: [11]

Tabela 7.5

Niemiecko – języczna klasyfikacja dróg wodnych z roku 1996

	Kategorie der Wasser- straße	Klasse der Wasser- straße	Die größten verwendeten Wasserfahrzeuge und Verbände	Schema der Wasserfahrzeuge und Verbände und ihre min. und max. Tragfähigkeit in t	Graphischer Ausdruck auf Schemas		Graphischer Ausdruck auf Landkarten
					Fertige Abschnitte	Abschnitte im Bau oder geplant	
Nichtklassifizierte Wasserstraßen	Zum Flößen genutzte Flüsse		Flöße, Baumstämme				
	Periodisch schiffbare Flüsse		Verschiedene Traditionsschiffe, in der Regel aus Holz und ohne maschinellen Antrieb		-----		
	Kleine Wasserstraßen mit Bedeutung für Urlaub und Sport		Große Sportwasserfahrzeuge, Motorjachten, Segelschiffe, kleine Fahrgastschiffe, ausnahmsweise kleinere Wasserfahrzeuge der kom- merziellen Schifffahrt		-----	-----	
Klassifizierte Wasserstraßen mit Bedeutung für die kommerzielle Schifffahrt	Regionale Wasser- straßen	I, II, III	Kleine und mittlere Schubverbände, kleine Motorfrachtschiffe (Péniche u.a.), in manchen Fällen die klei- nen Küstenschiffe	180–500 360–1000 250–1000 	-----	-----	
	Wasserstraßen von internationaler Bedeutung	IV, Va, Vb VIa	Schubverbände kleinerer und mitt- lerer Größe, große Motorgrößerschiffe. Manchmal auch Fluß-See-Schiffe und mittelgroße Schiffe der Küsten- schifffahrt	1250–3000 1250–3000 3200–6000 3200–6000	=====	=====	
		VIb	Mittlere und große Schubverbände. Die größten Binnenschiffe und Fluß- See-Motorgrößerschiffe, auch große Küstenschiffe oder Seeschiffe	6400–12000 2700–5000 	=====	=====	
		VIc, VII	Große und größte Schubver- bände, in manchen Fällen auch Seeschiffe	9600–27000 	=====	=====	

Zdrolo: [11]

W obliczu jednoczącej się Europy w roku 1950 pojawia się klasyfikacja dróg wodnych Seilera (tabela 7.6), która została przyjęta jako obowiązująca w krajach Europejskiej Wspólnoty Gospodarczej.

Tabela 7.6.

Klasyfikacja dróg wodnych Seilera

Klasa drogi wodnej	Wymiary miarodajnych jednostek floty					Nośność przyjęta [t]
	Nośność [t]	Długość [m]	Szerokość [m]	Maks. zanurzenie [m]	Wysokość nadwodna [m]	
I	300	38,50	5,00	2,20	3,55	250-400
II	600	50,00	6,60	2,50	4,20	400-650
III	1000	67,00	8,20	2,50	3,95	650-1000
IV	1350	80,00	9,50	2,50	4,40	1000-1500
V	2000	95,00	11,50	2,70	6,70	1500-3000
VI	>3000	do 230,00	do 28,00	4,50	12,80	>3000

Źródło: [12]

Z sekwencji zapisu dotyczącego charakterystyki jednostek pływających można wnosić, że podstawowym kryterium klasyfikacyjnym była nośność statków.

Nowe klasyfikacje powstawały z powodu zmian technik żeglugowych, zmian oceny efektywności transportu śródlądowego oraz zmian dotyczących samych wspólnot gospodarczych.

Na przełomie XX i XXI wieku można powiedzieć, że standardowe techniki żeglugowe są ustabilizowane a europejska żegluga śródlądowa dysponuje statkami motorowymi i zestawami pchanymi. Obszary wspólnot gospodarczych są dosyć wyraźnie zarysowane. Dla krajów Unii Europejskiej powstaje klasyfikacja dróg wodnych opracowana w roku 1992 przez Europejską Komisję Gospodarczą ONZ (tabela 7.7). Ze względu na uogólnioną ocenę efektywności żeglugi śródlądowej zakładającą, że im większy statek i wyższa klasa drogi wodnej tym wyższa efektywność transportu – w klasyfikacji tej wyróżniono drogi o znaczeniu regionalnym i międzynarodowym. Omawianą klasyfikację uzupełniają informacje zawarte na mapie Europejskich Dróg Wodnych (Wydana pod egidą ONZ) obejmujące dodatkowo:

- ilościowe wyszczególnienie dopuszczalnego zanurzenia statków i jego oznakowanie graficzne odniesione do sekwencji klas dróg wodnych (tabela 7.8),
- ilościowe wyszczególnienie wysokości fal i oznakowania rejonów pływania odniesione również do sekwencji klas dróg wodnych (tab. 7.9).

Tabela 7.7

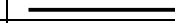
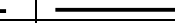
Klasyfikacja europejskich dróg wodnych wg EKG – ONZ [19]

Typy i klasy dróg wodnych żeglownych			Barki motorowe				Zestawy pchane				Prześwit min. Pod mostami [m]
			L [m]	B [m]	T [m]	P [t]	L [m]	B [m]	T [m]	P [t]	
O znaczeniu regionalnym	Na zachód od Łaby	I	38,5	5,05	1,8-2,2	250-400					4,00
		II	50-55	6,6	2,5	400-650					4,00-500
		III	67-80	8,2	2,5	650-1000					4,00-5,00
	Na wschód od Łaby	I	41	4,7	1,4	180					3,00
		II	57	7,8-9,0	1,6	500-630					3,00
		III	60-70	8,2-9,0	1,6 – 2,0	470-700	118-132	8,2-9,0	1,6-2,0	1000-1200	4,00
O znaczeniu międzynarodowym		IV	80-85	9,5	2,5	1000-1500	85	9,5	2,5-2,8	1250-1450	5,25 7,00
		Va	95-110	11,4	2,5-2,8	1500-3000	95-110	11,4	2,5-4,5	1600-3000	5,25 7,00
		Vb					172-185	11,4	2,5-4,5	3200-6000	9,10
		VIa					95-110	22,8	2,5-4,5	3200-6000	7,00 9,10
		VIb					185-195	22,8	2,5-4,5	6400-12000	7,00 9,10
		Vic					270-280	22,8	2,5-4,5	9600-18000	9,10
							193-200	33,0	2,5-4,5	9600-1800	
		VII					285-195	33,0	2,5-4,5	14500-27000	9,10

Źródło: Europejska Komisja Gospodarcza ONZ

Tabela 7.8

Dopuszczalne zanurzenie statków w poszczególnych klasach

Klasa drogi wodnej	Dopuszczalne zanurzenie statku [m]				
	$\geq 3,00$	2,50 – 2,99	2,00 – 2,49	1,50 – 1,99	$\leq 1,49$
	Oznakowanie graficzne				
I – III					
$\geq$ IV					
Kolor oznakowania	czarny	granatowy	ciemno niebieski	jasno niebieski	Zielony

Źródło: [19 - mapa]

Tabela 7.9

Cechy rejonów pływania statków

Klasa drogi wodnej	Wysokość fali [m]			
	$< 2,00$	$\leq 1,20$	$\leq 0,60$	Bez falowania
	Oznakowanie graficzne			
I – III				
$\geq$ IV				
Kolor oznakowania	różowy	niebieski	zielony	Żółty

Źródło: [19 -mapa]

Z tabeli 7.5 wynika, że dopuszczalne zanurzenia w całym zakresie zawartym w tabeli mogą występować we wszystkich klasach dróg wodnych.

Na podstawie klasyfikacji EKG – ONZ ukazuje się w roku 2002 polska klasyfikacja dróg wodnych. Jej cechy ilościowe prezentuje tabela 7.10. Ujmuje ona dodatkową klasę Ia by można było uwzględnić w tej klasyfikacji żeglowne drogi wodne o charakterze historycznym i turystycznym [12]. Klasyfikację tą uzupełniają wartości parametrów eksploatacyjnych (tabela 7.11) oraz charakterystyka wybranych śródlądowych szlaków żeglugowych w Polsce (tabela 7.12). Informacje te stanowią integralną część Rozporządzenia Rady Ministrów z dnia 7 maja 2002 r w sprawie klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych (Dz.U. z 2002 r., poz. 695).

Tabela 7.10

Ilościowe cechy polskiej klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych.

Droga wodna	Klasa drogi wodnej	Statki z napędem i barki				Zestawy pchane				Minimalny prześwit pod mostami ponad WWŻ
		Charakterystyki ogólne				Charakterystyki ogólne				
		Długość maks.	Szerokość maks.	Zanurzenie maks.	Ładowność	Długość	Szerokość	Zanurzenie	Ładowność	
		L[m]	B[m]	T[m]	PŁ[t]	L[m]	B[m]	T[m]	PŁ[t]	
O znaczeniu regionalnym	Ia	24	3,5	1,0						3,00
	Ib	41	4,7	1,4	180					3,00
	II	57	7,5-9,0	1,6	500					3,00
	III	67-70	8,2-9,0	1,6 – 2,0	700	118-132	8,2-9,0	1,6-2,0	1000-1200	4,00
O znaczeniu między-narodowym	IV	80-85	9,5	2,5	1000-1500	85	9,5	2,5-2,8	1250-1450	5,25 lub 7,00
	Va	95-110	11,4	2,5 – 2,8	1500-3000	95-110	11,4	2,5-3,0	1600-3000	5,25 lub 7,00
	Vb					172-178	11,4	2,5-3,0	3200-4000	

Przypisy:

1. Wartość zanurzenia ustala się dla konkretnej drogi wodnej
2. (H) z uwzględnieniem bezpiecznej odległości 0,30 m , pomiędzy skrajnią mostu i statkiem
3. (H) dla przewozu kontenerów ustala się następujące wartości:
 - 5,25 m dla statków przewożących kontenery w dwóch warstwach
 - 7,00 dla statków przewożących kontenery w trzech warstwach
4. Niektóre istniejące drogi wodne mogą być uznane za należące do klasy IV ze względu.....
5. (L-L) odniesione są do stanu rzeczywistego i perspektywicznego
6. WWŻ – najwyższa woda żeglowna , ustalony stan wody, po którego przekroczeniu uprawianie żeglugi jest zabronione

Źródło: [31]

Tabela 7.11

Parametry eksploatacyjne śródlądowych dróg w Polsce

Lp.	Parametry eksploatacyjne	Wielkości parametrów							
		Klasy	Ia	Ib	II	III	IV	Va	Vb
1.	Minimalne wymiary szlaku żeglownego w rzece	Jedn. miary							
1.1	Szerokość szlaku żeglownego	m	15	20	30	40	40	50	50
1.2	Głębokość tranzytowa	m	1,2	1,6	1,8	1,8	2,8	2,8	2,8
1.3	Promień łuku osi szlaku żeglugowego	m	100	200	300	500	650	650	800
2.	Minimalne wymiary kanału								
2.1	Szerokość szlaku żeglownego	m	12	18	25	35	40	45	45
2.1	Najmniejsza głębokość wody w kanale	m	1,5	2,0	2,2	2,5	3,5	3,5	3,5
2.3	Promień łuku osi szlaku żeglownego	m	150	250	400	600	650	650	800
3.	Minimalne wymiary śluz żeglugowych								
3.1	Szerokość śluzy	m	3,3	5,0	9,6	9,6	12,0	12,0	12,0
3.2	Długość śluzy	m	25	42	65	72	120	120	187
3.3	Głębokość na progu dolnym	m	1,5	2,0	2,2	2,5	3,5	4,0	4,0
4.	Odległość pionowa przewodów linii elektroenergetycznej przy zwisie normalnym ponad poziom WWŻ								
4.1	Nieuziemnionych o napięciu do 1kV oraz uziemnionych i przewodów telekomunikacyjnych	m	8	8	8	10	12	15	15
4.2	Nieuziemnionych o napięciu wyższym od 1kV w zależności od napięcia znamionowego linii (U)	m	10 + U/ 150		12 + U/ 150		14 + U/ 150	17 + U/ 150	

Przypisy:

1. Szerokość szlaku żeglownego na poziomie dna statku o dopuszczalnej ładowności przy pełnym zanurzeniu
2. Głębokość odnosi się do pierwszej wartości zanurzenia statku lub zestawu, określonej dla tej samej klasy w tabeli klasyfikacji dróg wodnych
3. Szlak żeglowny na łuku poszerza się w zależności od długości statku lub zestawu pchanego i promienia łuku
4. Do klasy II zalicza się również śluzy istniejące o długości od 56,6 m do 57,4 m, a do klasy IV – o długości 85,0 m
5. WWŻ – najwyższa woda żeglowna, ustalony stan wody, po którego przekroczeniu uprawianie żeglugi jest zabronione

Źródło: [31]

Tabela 7.12

Charakterystyka wybranych śródlądowych szlaków żeglugowych w Polsce

Lp	Nazwa śródlądowej drogi wodnej	Długość (km)	Klasa drogi wodnej
	Odrzańska Droga Wodna wraz z kanałami Gliwickim i Kędzierzyńskim		
	Kanał Kędzierzyński Od Kanału Gliwickiego do Zakładów Azotowych „Błachownia”	5,9	II
	Kanał Gliwicki Od Gliwic do Kędzierzyna Koźła	41,2	II
	Rzeka Odra Od Kędzierzyna- Koźła do Brzegu Dolnego	187,1	III
	Od Brzegu Dolnego do Ujścia Warty	335,0	II
	Od ujścia Warty do Ognicy	79,4	III
	Od Ognicy do Widuchowej	7,1	V b
	Rzeka Odra Wschodnia Od Widuchowej do przekopu Klucz -Ustowo	26,4	Vb
	Rzeka Regalica Od przekopu Klucz – Ustowo do jez. Dąbie	11,1	Vb
	Jezioro Dąbie Od ujścia Regalicy do granicy z morskimi wodami wewnętrznymi	9,5	Vb
	Rzeka Odra Zachodnia Od Widuchowej do granicy z morskimi wodami wewnętrznymi	36,6	Vb
	Droga Wodna Wisła – Odra		
	Rzeka Brda Od ujścia do rzeki Wisły do połączenia z Kanałem Bydgoskim	14,4	II
	Kanał Bydgoski Od ujścia rzeki Brdy do rzeki Noteć	24,5	II
	Rzeka Noteć Od połączenia z Kanałem Bydgoskim do ujścia rzeki Drawy	138,3	Ib
	Od ujścia rzeki Drawy do ujścia rzeki Warty	48,9	II
	Rzeka Warta Od ujścia rzeki Noteć do ujścia do rzeki Odry	68,2	II
	Droga Wodna Wisły		
	Rzeka Wisła Od ujścia rzeki Przemszy do połączenia z Kanałem Łęczańskim	37,5	IV
	Od ujścia Kanału Łęczańskiego do stopnia wodnego Przewóz	34,3	III
	Od stopnia wodnego Przewóz do ujścia rzeki Sanny	203,0	Ib
	Od ujścia rzeki Sanny do Płocka	324,8	Ib
	Od Płocka do stopnia wodnego Włocławek	55,0	Va
	Od stopnia wodnego Włocławek do ujścia rzeki Tążyny	43,0	Ib
	Od ujścia rzeki Tążyny do Tczewa	190,5	II
	Od Tczewa do granicy z morskimi wodami wewnętrznymi	32,7	III
	Rzeka Martwa Wisła Od rzeki Wisły w Przegalinie do granicy z morskimi wodami wewnętrznymi	11,5	Vb
	Rzeka Szarpawa Od rzeki Wisły do ujścia do Zalewu Wiślanego	25,4	II
	Rzeka Nogat Od rzeki Wisły do ujścia do Zalewu Wiślanego	62,0	II
	Kanał Żerański Od rzeki Wisły do Zalewu Żegrzyńskiego	17,2	II

Źródło: [31]

7.2. Propozycje zmian kryteriów klasyfikacji dróg wodnych

Pierwszy wniosek jaki się nasuwa po przeglądzie obowiązujących klasyfikacji jest taki, że podstawowa informacja jest z reguły uzupełniana dodatkowymi informacjami parametrycznymi.

Drugi wniosek dotyczy kryteriów tworzenia klasyfikacji. Z przeglądu etapów realizacji klasyfikacji oraz jej stanu obecnego wynika, że tworzenie kryteriów w aspekcie jednoznacznego spełnienia przez klasyfikację celów użytkowych (aplikacyjnych) jest – jak dotychczas – praktycznie niemożliwe.

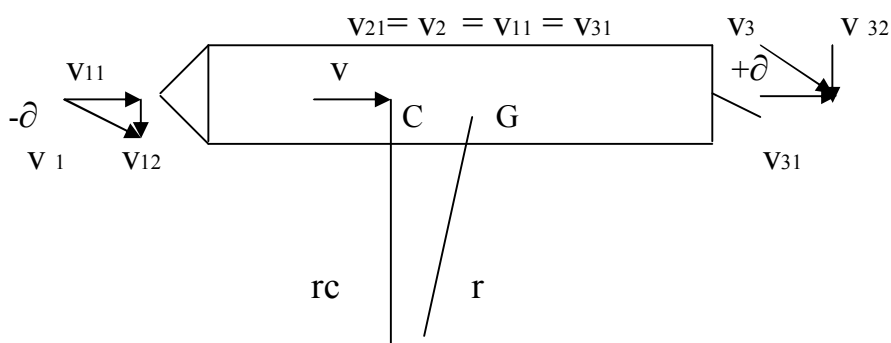
J.Kulczyk i J. Winter [12] wskazują na podstawowe kryteria tworzenia polskiej klasyfikacji obejmujące:

- największą długość i największą szerokość statku lub zestawu pchanego
- minimalny prześwit pod mostami, rurociągami i innymi urządzeniami krzyżującymi się z drogą wodną

W rzeczywistości jako kryterium występuje również maksymalne zanurzenie statku, którego wartość „ustala się dla konkretnej drogi wodnej, uwzględniając warunki miejscowe”. Dodatkową informacją ilościową zawartą bezpośrednio w Klasyfikacji... jest ładowność jednostek pływających.

Długość i szerokość jednostek pływających jest determinowana przede wszystkim długością i szerokością budowli hydrotechnicznych takich jak śluzy, podnośnie, pochylnie. Przyjęcie jako kryterium klasyfikacyjnego długości i szerokości jednostek pływających jest słuszne ze względu na to, że są to parametry o wartościach stałych adekwatnych do stałych wymiarów określonych budowli hydrotechnicznych. Ta stałość jest rzeczywista w odniesieniu do statków motorowych o konstrukcji ciągłej. W przypadku zestawu pchanego taka jednoznaczność tego kryterium już nie występuje. Wzrost stopnia jednoznaczności tego kryterium dla zestawów pchanych można uzyskać poprzez założenie, że na polskich drogach wodnych pływają tylko zestawy jednorzędowe, co „stabilizuje” kryterium szerokości jednostek pływających. Natomiast długość zestawu może być krotnością długości statku o konstrukcji ciągłej. Tak określona długość może wystąpić jako czynnik tworzenia klasyfikacji m.in. w przypadku stosowania administracyjnych ograniczeń długości statków.

Długości i szerokości statków są ich dwoma wymiarami poziomymi. Ale w realizacji ruchu na drodze wodnej istotny jest również trzeci wymiar poziomy determinowany promieniami łuków zakrętów. Wartości tych promieni na drogach wodnych poszczególnych klas określają uzupełniające informacje klasyfikacji. Zaznaczenie wpływu tego parametru na klasę drogi wodnej może wystąpić w podstawowej informacji klasyfikacyjnej. Ponieważ determinantami klas drogi wodnej są parametry jednostek pływających, parametrem statku adekwatnym do promienia łuku zakrętu drogi wodnej jest jego promień cyrkulacji. Promień cyrkulacji zależy z pewnością od długości statku i jego prędkości ale także od systemu sterowania statkiem. Jego wartość wynika również z przyjętych zasad kinematyki ruchu statku [18]. Podczas cyrkulacji lokalne kąty dryfu ∂ i lokalne prędkości v w dowolnych punktach statku zmieniają się w czasie i wzdłuż długości statku (rys.7.1) zmieniając wartości a także zwrot w przypadku poprzecznych składowych prędkości v_1 i v_2 oraz kąta dryfu ∂ .



Rys. 7.1. Kinematyka ruchu statku podczas cyrkulacji

Źródło: opracowanie własne na podstawie [10]

Istnieje więc na długości statku punkt (C), w którym wartość poprzecznej składowej prędkości i kąt dryfu są równe zero. Punkt ten nazywany jest punktem obrotu a jego odległość rc od środka okręgu cyrkulacji jest mniejsza od promienia cyrkulacji r .

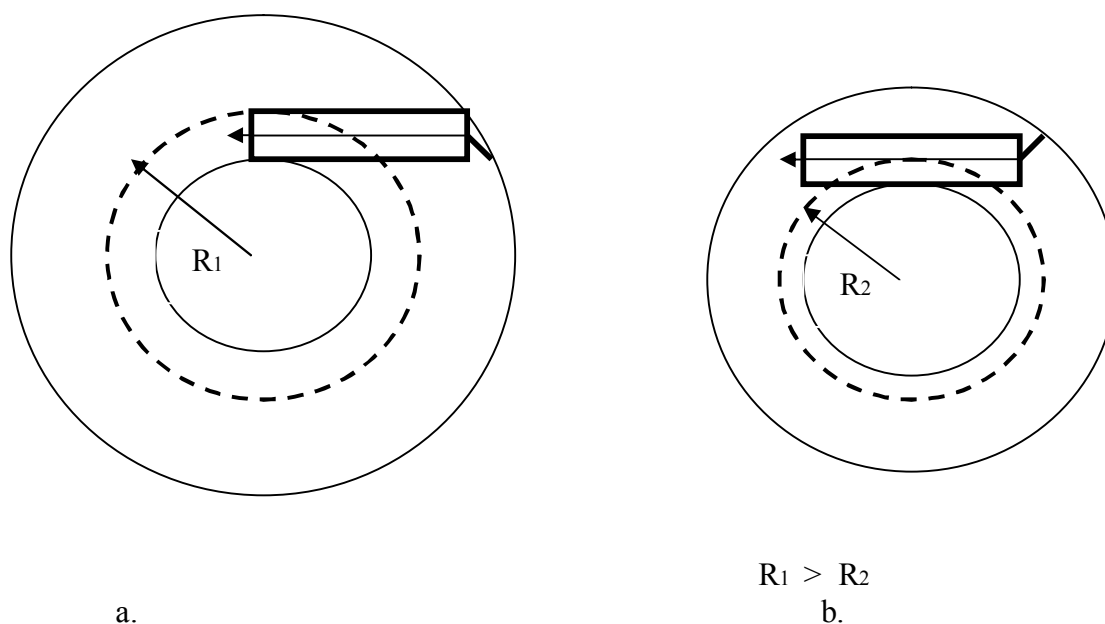
Dla statków z płetwowymi sterami rufowymi punkt ten znajduje się w odległości $1/3 - 1/6 L$ od pionu dziobowego.

Przesunięcia punktu obrotu C do punktu położenia środka ciężkości G tj. do $1/2 L$ jest możliwe do osiągnięcia poprzez zmiany układu sterowego obejmujące:

- dodatkowe zastosowanie płetwowego steru dziobowego
- dodatkowe zastosowanie dziobowego steru strumieniowego
- zastosowanie strumieniowego steru dziobowego i strumieniowego steru rufowego

Zmiany te prowadzą do zmniejszenia (w przypadku zmiany a) lub eliminacji (zmiana b i c) globalnego (odniesionego do punktu G) kąta dryfu a także zmniejszenia promienia cyrkulacji. Promienie cyrkulacji będą się różniły w przypadku zastosowania „klasycznego” płytowego steru rufowego i w przypadku zastosowania w konstrukcji pływającej dodatkowego dziobowego steru strumieniowego. W nowych konstrukcjach te ostatnie rozwiązania mogą występować z rosnącą częstotliwością. Ilustrację powyższej dywagacji stanowi rysunek 7.2.

Kontynuując problematykę wymiarów poziomych można również stwierdzić, że wynikającym z wartości szerokości statku wymiarem charakteryzującym drogę wodną jest szerokość szlaku żeglugowego (umieszczana jak dotychczas w uzupełniającej informacji klasyfikacyjnej). W odniesieniu do parametru szerokości można przyjąć zasadę, że całkowita szerokość szlaku żeglugowego odpowiadającego danej klasie zależna jest od krotności szerokości statku. Takie podejście wynika z analogii do dróg kołowych, których klasę określają m.in. ilość kierunków ruchu i ilość pasm ruchu dla każdego z kierunków. Tym samym w klasyfikacji wystąpiłaby informacja o „kierunkowości” i pasmowości drogi wodnej.



Rys. 7.1. Promienie łuków cyrkulacji statków ;
 a). bez dziobowego steru strumieniowego,
 b). z dziobowym sterem strumieniowym
 Źródło: opracowanie własne.

Poza wymiarami poziomymi klasyfikacja dróg wodnych obejmuje również w sposób bezpośredni lub pośredni wymiary pionowe w zakresie: wysokości prześwitu pod mostami nad WWŻ (Wielką Wodą Żeglowną) i głębokości tranzytowej.

Głębokość tranzytowa wyrażona jest poprzez parametr zanurzenia statków; wysokość prześwitu pod mostami nie jest odniesiona do wymiarów statków.

Zanurzenie statku decyduje o ładowności statku wyrażonej masą ładunku. Zanurzenie i wysokość prześwitu decyduje o pojemności ładunkowej wyrażoną objętością ładunku w konstrukcjach otwartopokładowych, które z reguły przeznaczone są do transportu ładunków objętościowych. O ile w okresie dominacji przewozów ładunków masowych wysokości prześwitu pod mostami limitowały przede wszystkim wysokość stałej konstrukcji statku, to wraz z rosnącymi przewozami ładunków drobnicowych o malejącej gęstości własnej (t/m^3) rośnie znaczenie pojemności ładunkowej a wysokość prześwitu w tych przypadkach limituje przede wszystkim wysokość przestrzeni ładunkowej. Z tego warunku wynika fakt, że coraz częściej rejs statku limitowany jest wysokością prześwitów pod mostami niż głębokością tranzytową.

Jeżeli wymiary głębokości tranzytowej i wymiary prześwitu pod mostami odniesione są do tego samego stanu wody, to ich suma może być wartością stałą dla określonego mostu. Dodatkowo ruch rumowiska dennego - w wyniku konstrukcji mostów - ma specyficzny charakter obejmujący określoną długość koryta rzecznego przed i za mostem, powodujący w

tym obszarze znaczący wzrost głębokości w porównaniu do głębokości tranzytowej. Wymiar pionowy pod mostem można więc wyrazić zależnością:

$$hm = hp + ht + \Delta hm \quad (7.1)$$

gdzie: - hm – bezwzględna wysokość przestrzeni pod mostem
 - hp – wysokość prześwitu odniesiona do określonego stanu wody
 - ht – głębokość tranzytowa odniesiona do określonego stanu wody
 - Δhm – przyrost głębokości pod mostem wynikający z ruchu rumowiska dennego

W tym kontekście, wysokość przestrzeni ładunkowej pod mostem (Hp) jako wymiar pionowy odniesiony do statku mógłby być zdefiniowany poprzez zależności:

$$Hp < hm \quad (7.2)$$

$$Hp = hm - \Delta Hd - \Delta hd - \Delta hs \quad (7.3)$$

Gdzie: - ΔHd – wysokość konstrukcji dna statku
 - Δhs – zapasy „wysokości” pod dnem statku i pod skrajnią mostu

i gdzie ΔHd i Δhs mogą przyjmować wartości stałe lub quasistałe.

Zawarte powyżej propozycje są związane z dążeniem do takiego sposobu rozwiązywania problemów żeglugi pod mostami, by można było wykorzystać całą wysokość istniejącą pod tymi konstrukcjami. Wykorzystanie to wiąże się ze zmianą zanurzenia statku na „okołomostowych” odcinkach drogi wodnej poprzez jego zabalastowanie. Wzrost zanurzenia statku wymagałby wzrostu jego wysokości bocznej do wartości:

$$Hm = T + \Delta Hb + \Delta Hp \quad (7.4)$$

tj. obejmującej: - T – Zanurzenie konstrukcyjne statku
 - ΔHb – wysokość wolnej burty
 - ΔHp – dodatkową wysokość boczną uwzględniającą możliwy wzrost zanurzenia statku

$$\text{i której } \Delta Hb = \Delta hm \quad (7.5)$$

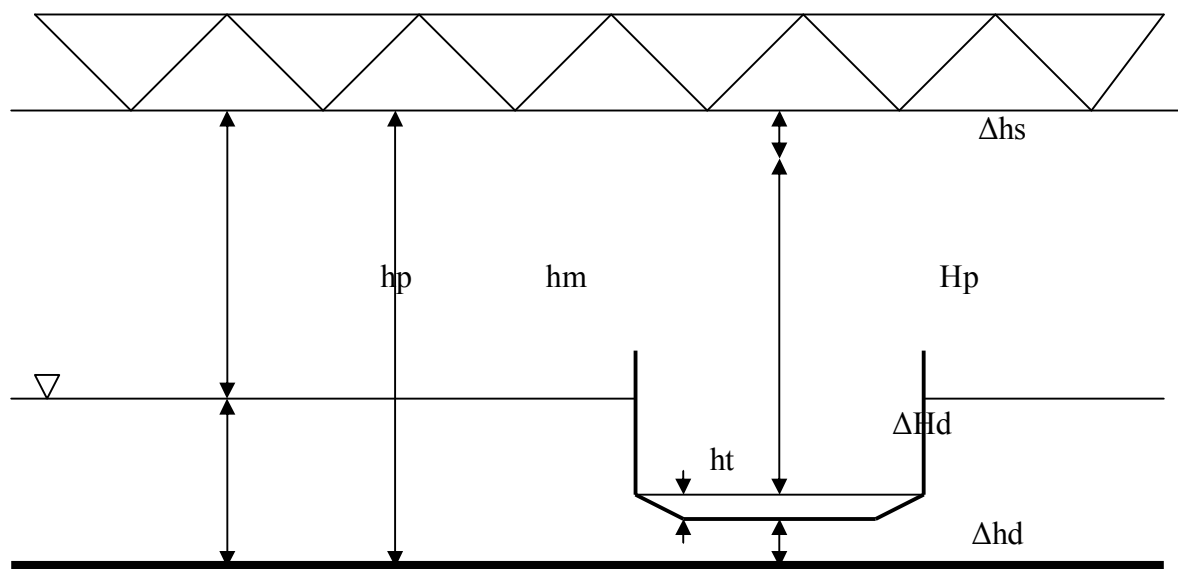
tj. wartość dodatkowej wysokości bocznej wynikałaby z wartości przyrostu głębokości pod mostami.

Tym samym w parametrach klasyfikacji drogi wodnej wystąpiłyby wymiary statków obejmujące pożądaną wymiar wysokości bocznej Hm (wysokości „mostowej”), wymiary dopuszczalnej wysokości przestrzeni ładunkowej Hp . Jednocześnie w klasyfikacji dróg wodnych nie występowałby wymiar prześwitu pod mostami, który nie jest wymiarem statku. Uproszczoną formą propozycji generowania wymiarów pionowych zawartych w podstawowej klasyfikacji dróg wodnych można sprowadzić do zależności:

$$hm = hp + ht \quad (7.6)$$

$$Hp = hm - \Delta Hd - \Delta hd - \Delta hs \quad (7.7)$$

w których nie uwzględnia się możliwości zwiększania zanurzenia statku i jego wysokości bocznej natomiast uwzględnia się wymiarowanie bezwzględnej wysokości przestrzeni pod mostem w/g wzoru 7.6 i przyjmowanie jej jako wartości stałej determinującej wysokość przestrzeni ładunkowej statku H_p (rys. 7.2).



Rys.7.2. Wymiary pionowe drogi wodnej i wysokości przestrzeni ładunkowej statku

Źródło: opracowanie własne.

Nowe propozycje wysuwane „pod adresem” klasyfikacji dróg wodnych mają na celu wyrażenie wartości wszystkich jej geometrycznych parametrów poprzez wymiary związane z jednostką pływającą. Ze względu na zróżnicowaną konfigurację jednostek, klasyfikacja powinna odnosić się do ich modułu długości, który praktycznie jest tożsamy ze statkiem o konstrukcji ciągłej lub z częścią zestawu pchanego tworzonego przez pchacz i jedną barkę pchaną. Ponadto po to, by klasyfikacja stała się podstawowym i praktycznie jedynym narzędziem oceny możliwości realizacji zadania transportowego na określonych trasach, musi zawierać nie tylko ich ocenę ilościową ale i jakościową.

O ocenie ilościowej stanowią wartości:

- długości modułu jednostki pływającej,
- szerokości modułu jednostki pływającej,
- zanurzenia jednostki pływającej,
- promienia łuku cyrkulacji,
- wysokość przestrzeni ładunkowej.

Ocena ilościowa – jakościowa wynika z:

- liczby modułów jednostki pływającej,
- krotności przejścia przez śluzy.

Ocenę jakościową mogą stanowić:

- liczba kierunków i pasm ruchu na torze wodnym drogi wodnej,
- rejonu pływania statków

Powyższe informacje mogą być uzupełnione parametrami eksploatacyjnymi statku tj. jego ładownością, pojemnością czy prędkością ruchu.

Ocena ilościowa w stopniu zasadniczym decyduje o możliwości przemieszczania się jednostek pływających na drogach wodnych tworzących trasę transportową; ocena jakościowa – daje podstawy do prognozowania utrudnień w ich ruchu.

Pojawiająca się ocena ilościowo – jakościowa odniesiona jest przede wszystkim do długości zestawu pchanego a poprzez jej ilościowy charakter wyraża liczbę modułów długości a także potrzebę krotności przejścia przez śluzy. Świadczy to również o jakości drogi transportowej tworzącej utrudnienia w ruchu poprzez wymiar śluz.

7.3. Przesłanki stosowania cyfrowej klasyfikacji śródlądowych dróg wodnych

Klasyfikacja generowana w oparciu o sugestie zawarte w rozdziale 7.2 spełniałaby jeden z jej celów jakim jest cel nawigacyjny. Wartości parametrów klasyfikacji byłyby rosnące wraz z rosnącą klasą drogi wodnej. Każdej z poszczególnych wartości parametrów odpowiadałby symbol cyfrowy również o rosnącej wartości. Zbiór symboli cyfrowych tworzyłby kod klasyfikacyjny drogi wodnej. Każdy eksploatowany statek posiadałby kod identyfikowany z kodem klasy drogi wodnej po której ten statek mógłby się poruszać zarówno w przypadku tożsamości kodów jak również kodów „wyższych” drogi wodnej. Tym samym klasyfikacja o określonych cechach stosowana byłaby zarówno w stosunku do statku jak i drogi wodnej.

Złożoność kodu klasyfikacyjnego wymagałaby z pewnością stosowania technik komputerowych, umożliwiających wybór cyfrowo opisanych tras transportowych dla określonego statku i elementami optymalizacji tego wyboru. Budowa (generowanie) cyfrowego kodu dróg wodnych umożliwiłaby wprowadzenie znacznie większej liczby klasyfikacyjnej dróg usuwając niejednoznaczności oceny klasy wyrażonej np. przedziałem wartości w obecnie obowiązującej klasyfikacji. Jednocześnie działania te wymagałyby jednolitego sformułowania parametrów i ich wartości odniesionych do geometrii drogi wodnej. Byłyby one formułowane na podstawie wartości parametrów statków i z uwzględnieniem warunków bezpieczeństwa pływania oraz wymagań technicznych zabudowy dróg wodnych. Tym samym klasyfikacja o określonych cechach stosowana byłaby zarówno w stosunku do statku jak i drogi wodnej

W dotychczasowej praktyce większość parametrów drogi wodnej jak również aspekty bezpieczeństwa ruchu stanowiły uzupełnienie podstawowych klasyfikacji. W opisywanej propozycji parametry drogi mają stanowić integralną część klasyfikacji. Natomiast warunki bezpieczeństwa ruchu, które nie są związane z klasą drogi, powinny być wyjściowym dokumentem dla dalszych działań klasyfikacyjnych. Warunki te determinowane są parametrami bezpośrednimi i pośrednimi.

Bezpośrednie wyrażone są wartościami bezwzględnymi obejmującymi m.in.:

- minimalne zapasy wody pod dnem statków:
 - * dla rzek,
 - * dla kanałów,
- minimalny zapas odległości pomiędzy statkiem (lub jego ładunkiem) a skrajnią mostów,
- minimalną odległość pomiędzy burtą statku a ścianą śluzy.

Pośrednie, wyrażone zależnościami uwzględniającymi wymiary statków obejmującymi m.in.:

- szerokość szlaku żeglugowego na odcinku prostym, tworzoną przez sumę szerokości statku (B) i odstępów między statkiem a brzegami oraz pomiędzy statkami (Δb), gdzie [12] :

$$\Delta b \geq 0,2 B$$

- szerokość szlaku żeglugowego na łuku, tworzoną przez sumę szerokości statku oraz zapas szerokości szlaku (Δb) wyrażony np. zależnością [12]:

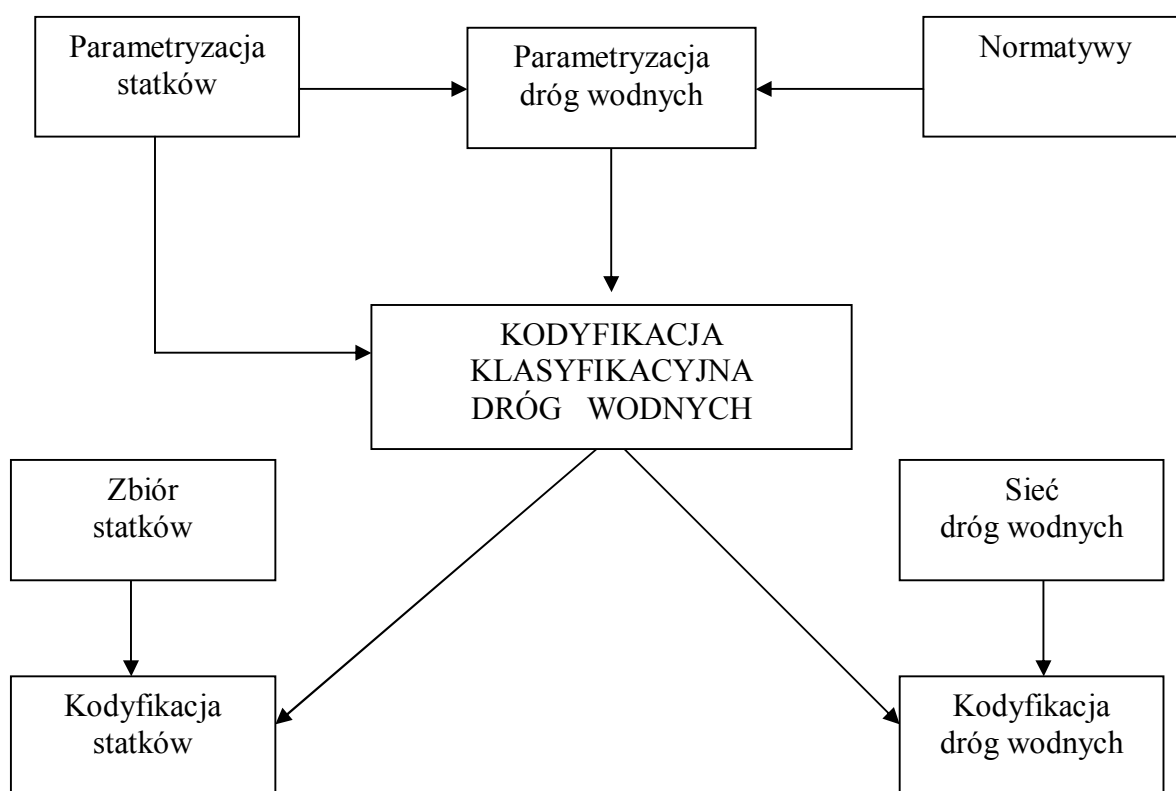
$$\Delta b = L/6$$

Parametry drogi wodnej zawarte w klasyfikacji powinny dotyczyć m.in. zagadnień głębokości drogi, ewentualnie zmienności tej głębokości, budowli hydrotechnicznych, łuków zakrętów czy prędkości przepływów wody.

Tym samym klasyfikacja ujmowałaby trzy zbiory informacji:

- zbiór cyfrowych kodów klasyfikacyjnych dróg wodnych,
- zbiór parametrów statków,
- zbiór parametrów drogi wodnej.

Kody klasyfikacyjne służyłyby kodowaniu statków jak również konkretnych dróg wodnych lub ich odcinków tworzących określoną sieć. Opisane działania te ilustruje schemat przedstawiony na rysunku 7.3.



Rys.7.3. Schemat kolejności działań klasyfikacyjnych i kodyfikacyjnych

Źródło: opracowanie własne.

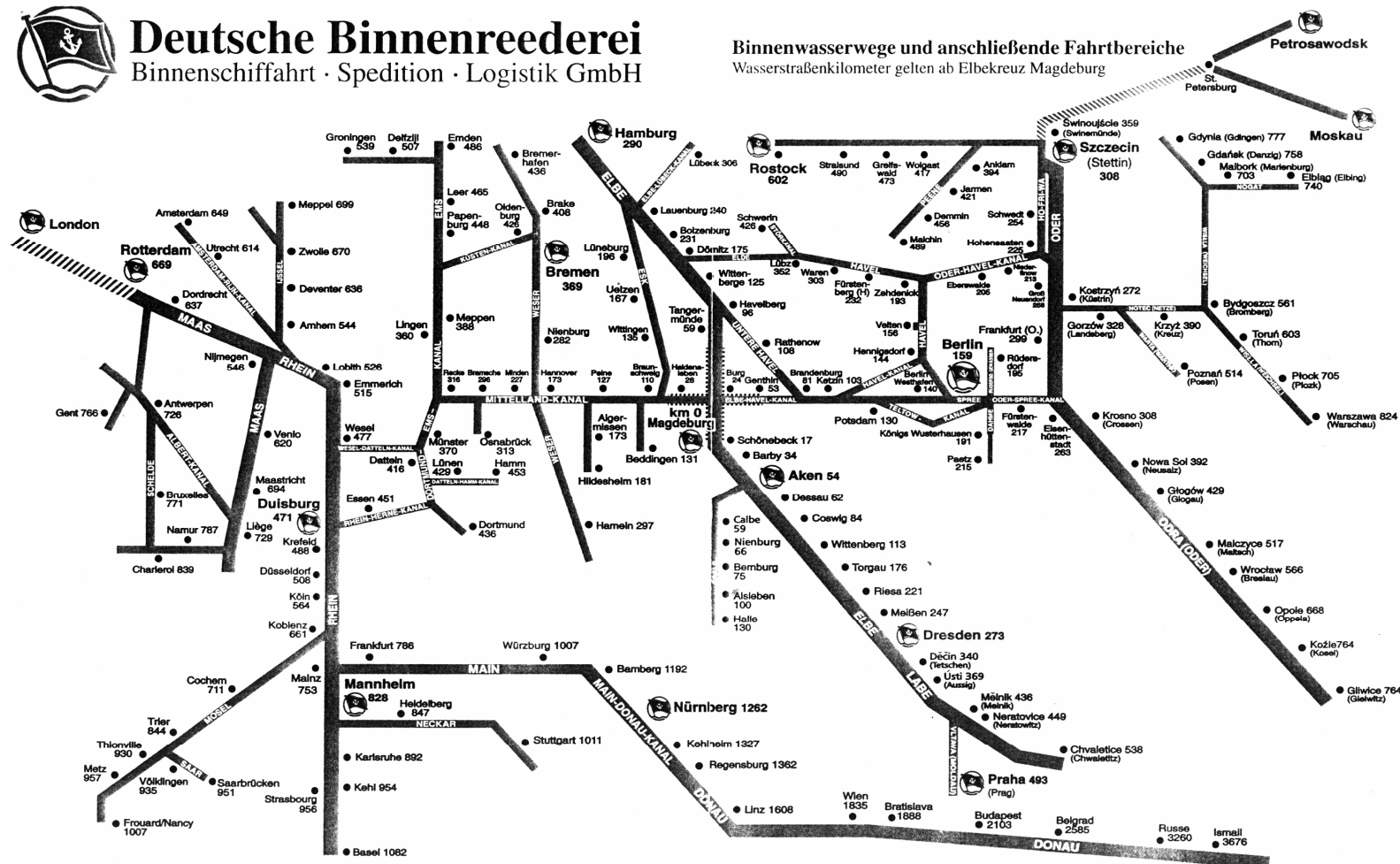
Kodyfikacja dotycząca zarówno statków jak i dróg wodnych sieci następowałaby poprzez identyfikację ich parametrów z odpowiednimi parametrami zawartymi w klasyfikacji. Przykładową europejską sieć dróg wodnych przedstawia rysunek 7.4.



Deutsche Binnenreederei

Binnenschifffahrt · Spedition · Logistik GmbH

Binnenwasserwege und anschließende Fahrtbereiche
Wasserstraßenkilometer gelten ab Elbekreuz Magdeburg



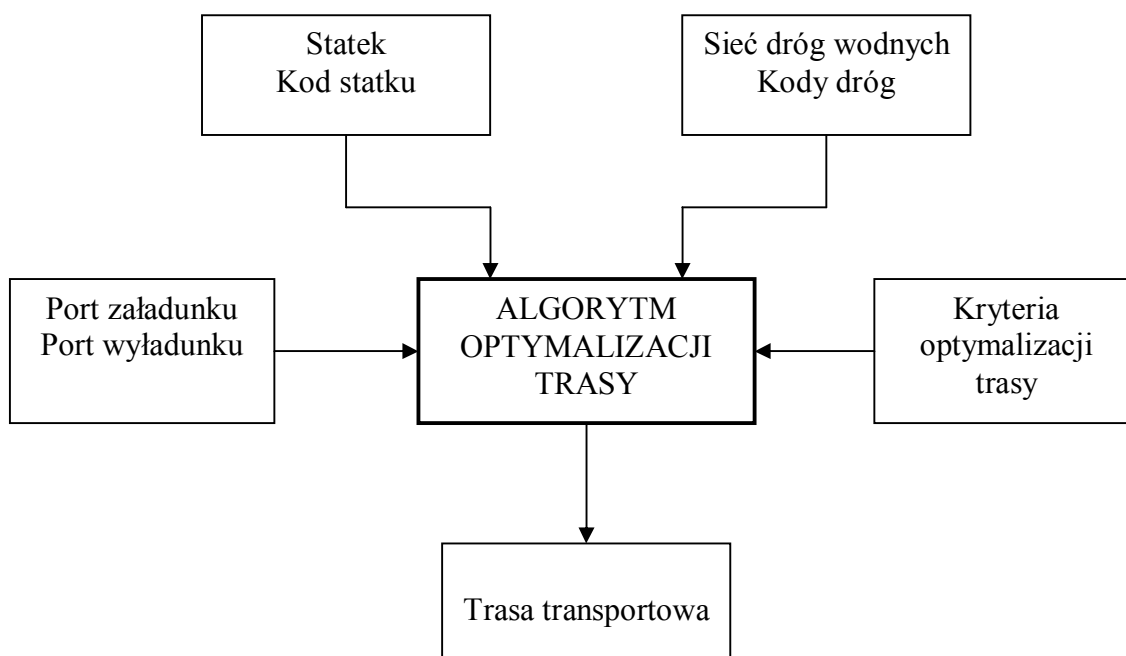
Rys. 7.4. Przykładowa europejska sieć dróg wodnych
Źródło: Deutsche Binnenreederei S A

Sieć tą charakteryzują wykazane odległości między portami. Perspektywicznym jej mankamentem jest brak cyfrowej identyfikacji tworzących ją dróg wodnych.

Działania dotyczące oceny ruchu statków od załadowcy do odbiorcy wymagałyby dysponowania:

- kodem statku wytypowanego do realizacji usługi transportowej,
- cyfrową identyfikacją sieci dróg wodnych wraz z kodami klasyfikacyjnymi tych dróg,
- algorytmem optymalizacyjnym.

Porównanie wymagań tworzonych przez statek z możliwościami sieci dróg wodnych ilustruje rysunek 7.5.



Rys.7.5. Schemat zależności informacji w postępowaniu dotyczącym wyboru trasy transportowej

Źródło: opracowanie własne.

Planowanie podróży z zastosowaniem algorytmu optymalizacyjnego powinno skutkować wyborem trasy transportowej w zależności od założonych kryteriów optymalizacyjnych.

Tym samym „Klasyfikacja śródlądowych dróg wodnych” generowana w proponowanym ujęciu stanowiłaby istotny czynnik realizacji usług transportowych.

LITERATURA

1. Alfieriev M.J., Madorskij G.S., *Transportnyje katamarany wnutriennogo pławanija*. Wydawnictwo Transport. Moskwa 1976
2. Basin A.N. i in., *Gidrodinamika sudow na mielkowodie*. Wydawnictwo Sudostrojenije. Leningrad 1976
3. Chwesiuk K., *Żegluga bliskiego zasięgu ofertą dla rozwoju europejskiego systemu transportowego*. Międzynarodowa Konferencja „Systemy Transportowe w Regionie Morza Bałtyckiego. Szczecin, październik 2000
4. Damazy L., *Elektrownie*. Wydawnictwo WTN, Warszawa 1995
5. Dudziak J., *Teoria Okrętu*. Wydawnictwo Morskie. Gdańsk 1988
6. Głowczyński S., Gronowski F., *Żegluga śródlądowa – Ekonomia, eksploatacja, organizacja*. Wydawnictwo WKiŁ. Warszawa 1979
7. Grudzewski W., Hajduk I., *Rozwój systemu transportowego Polski w warunkach integracji europejskiej*. Wydawnictwo PWE. Warszawa 1998
8. Jastrzębski T., Further consideration of a High-Speed Craft definition. *Fast Ferry Internationale*. Vol. 33. nr 7. September 1994
9. Kobyliński L., *Śruby okrętowe*. Wydawnictwo Komunikacyjne. Warszawa 1955.
10. Koźlak A., *Harmonizacja warunków konkurencji w transporcie*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk 2002
11. Kubec., Podzimek., *Svet vodnich cest*. Wydawnictwo NADAS. Praha 1988
12. Kulczyk J. Winter J., *Śródlądowy transport wodny*. Wydawnictwo Politechniki Wrocławskiej. Wrocław 2004
13. Labuda G. *Rzeki w dziejach narodów Tom I. Rzeki; kultura – cywilizacja – historia*. Wydawnictwo Muzeum Śląskie. Katowice 1992
14. Logatchev S. I., *Transportnyje suda buduszczego*. Wydawnictwo Sudostrojenije. Leningrad 1976
15. Michalski J. P., *Metody wyznaczania oporu i mas uogólnionych kadłuba przydatne w projektowaniu wstępnym statków dwukadłubowych o małej wodnicy pływania*. Wydawnictwo Politechniki Gdańskiej. Gdańsk 2002
16. Mickiewicz M., *Z dziejów żeglugi*. Wydawnictwo Nasza Księgarnia. Warszawa 1971
17. Pawlenko G.E., *Soprotiwlenije wody dwiżeniju sudow*. Wydawnictwo Morskoj Transport. Moskwa 1056

18. Praca zbiorowa, *Poradnik Okrętowca*. Wydawnictwo Morskie. Gdynia 1960
19. Rezolucja EKG-ONZ o klasyfikacji dróg wodnych. Materiał TRANS/S.C. 3 / R.153.9
20. Rozenberg L., *Propozycja metodyki syntezy układu stabilizacyjnego kołysań bocznych statku za pomocą zbiornika aktywizującego*. Praca Doktorska. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej. Szczecin 1988
21. Rydzkowski W., Wojewódzka – Król K., *Współczesne problemy polityki transportowej*. Wydawnictwo PWE S.A. Warszawa 1997
22. Soding H., *Unsymmetrical Catamarans* . 12 Międzynarodowa Konferencja “Hydronav ‘97”. Wrocław – Szklarska Poręba 1997
23. Szwankowski S., *Lądowo – morskie łańcuchy transportowe*. Wydawnictwo Uniwersytetu Gdańskiego. Gdańsk 1998
24. Tołkacz L., *Efficiency of inland ship exploitation on water-ways*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Marine Technology III”. Szczecin 2000. Wyd. WITPress. Southampton & Boston 2000
25. Tołkacz L., *Uwarunkowania zastosowań stałej poduszki powietrznej w eksploatacji statków śródlądowych*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa „Transport XXI Wieku”. Warszawa 09.2001. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej 2001
26. Tołkacz L., *Kryteria doboru ruchu statku śródlądowego na drodze wodnej o zmiennej głębokości*. VI Konferencja Oceanotechnika i Okrętownictwo „Niezawodność i bezpieczeństwo Systemów Transportowych”. Międzyzdroje 06.2002. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej 2002
27. Tołkacz L., *Transbałtyckie łańcuchy transportowe*. VII Konferencja Oceanotechnika i Okrętownictwo „Transport Zintegrowany”. Międzyzdroje 06.2004. Wydawnictwo Politechniki Szczecińskiej. Szczeci 2004
28. Tołkacz L., *Wstępna analiza możliwości wykorzystania energii odnawialnych w systemach napędowych statków śródlądowych*. Międzynarodowa Konferencja Naukowa Transport XXI Wieku. Warszawa 09.2004. Wydawnictwo Politechniki Warszawskiej. Warszawa 2004

29. Tołkacz L., *Szybkie towarowe statki śródlądowe*. Zeszyt Naukowy 9/2005. Wydawnictwo Akademii Morskiej w Szczecinie. Szczecin 2005
30. Wiśniewski G., *Energia słoneczna – przetwarzanie i wykorzystanie energii promieniowania słonecznego*. Wydawnictwo Fundacji Ekologicznej „Silesia”. Katowice 1999
31. Woś K., *Kierunki aktywizacji działalności żeglugi śródlądowej w rejonie ujścia Odry w warunkach integracji Polski z Unią Europejską*. Oficyna wydawnicza „Sadyba”. Warszawa 2005
32. Wronka J., *Transport kombinowany w aspekcie wymogów zrównoważonego rozwoju*. Wydawnictwo Naukowe Ośrodka Badawczego Ekonomiki Transportu PP. Warszawa 2002
33. Ziao-Jian Z., Qing-Shan L., *A practical resistance prediction system for SWATH ships*. (Symposium “Practical Design of Ships and Other Floating”. Lubeck . Germany 2004
34. Żylicz A., *Statki śródlądowe*. Wydawnictwo Morskie. Gdańsk 1979