

**ZESZYTY NAUKOWE NR 9(81)
AKADEMII MORSKIEJ
W SZCZECINIE**

INLAND SHIPPING 2005

Lech Tołkacz

Szybkie towarowe statki śródlądowe

Słowa kluczowe: żegluga śródlądowa, statki śródlądowe

Zawarto propozycje kryteriów projektowych i kryteriów wyboru szybkich towarowych statków śródlądowych to jest, pływających z prędkością nadkrytyczną na określonej głębokości tranzytowej drogi wodnej. Uzasadnione techniczno – ekonomicznie rozwiązania mogą stanowić alternatywę dla rozwoju środków transportu i intensyfikacji usług śródlądowego transportu wodnego, szczególnie w odniesieniu do ładunków drobnicowych.

Fast Cargo Inland Ships

Key words: inland shipping, inland ships

The paper contains propositions of design and decisive criteria to be applied for selection of the fast cargo inland ships, i.e. operating at supercritical speed on determined transition depth of water way. Well-founded solutions (technical-economical) may become an alternative for transportation means development and intensification of inland waterway transportation service, particularly related to general cargoes.

Wprowadzenie

Konkurencyjność w transporcie determinowana jest trzema podstawowymi czynnikami: czasem trwania usługi transportowej, ceną tej usługi oraz jej jakością. Czas trwania usługi wynika praktycznie wprost z prędkości ruchu gałęziowych środków transportu lub ich scalonego użytkowania w transporcie zintegrowanym. Jednocześnie cena tej usługi jest między innymi pochodną wielkości masy ładunkowej. Rozpatrując problem transportu z punktu widzenia prędkości ruchu środków transportu oraz ich ładowności można przyjąć, że w europejskich warunkach są one znacząco zróżnicowane, co prezentuje tabela 1.

Tabela 1

Prędkości ruchu i ładowność środków transportu w warunkach europejskich
Movement velocity and capacity of transportation means in Europe

Środek transportu	Przeciętna prędkość przemieszczania ładunku [km/h]	Ładowność			
		bardzo duża > 1500 t	duża 500-1500 t	średnia < 500 t	mała < 50 t
Pociąg towarowy	20 – 40 (120)*	-	X	-	-
Samochód ciężarowy	40 – 60 (90)*	-	-	-	X
Statek morski żeglugi bliskiego zasięgu	20 – 40 (70)*	X	X	-	-
Statek śródlądowy	8 – 12 (14)*	(X)**	(X)***	(X)****	-

- ()* – prędkość maksymalna,
 ()** – drogi wodne V klasy i wyższej,
 ()*** – drogi wodne klas IV – II,
 ()**** – przypadki sporadyczne.

Jak wynika z tabeli 1, do przewozu ładunków o dużej masie są preferowane pociągi towarowe i statki śródlądowe. Jednakże pociągi towarowe mają kilkakrotnie wyższą prędkość przemieszczania ładunku niż statki śródlądowe, co przy dążeniu do skracania czasu trwania przewozu stawia je w uprzywilejowanej pozycji zarówno w przewozach masowych jak i drobnicowych. Ponadto doskonalenie infrastruktury transportu kolejowego może spowodować dalszy wzrost przeciętnej prędkości przemieszczania ładunku tym środkiem

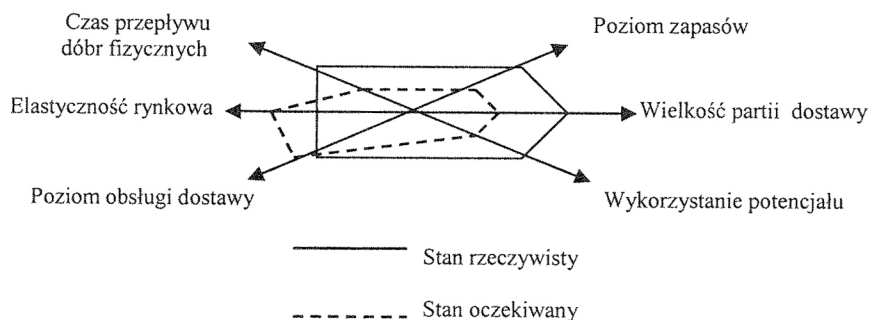
transportu i ograniczanie udziału żeglugi śródlądowej w usługach transportowych. Jednocześnie można wnioskować, że generalnie brak jest środków transportu do przewozu średnich mas ładunkowych z efektywną prędkością.

Zachowanie znaczącej pozycji na rynku transportowym przez żeglugę śródlądową powinno być analizowane w dwóch aspektach:

- wzrostu ładowności statków śródlądowych (dla ładunków masowych) i ich przestrzeni ładunkowej (dla ładunków drobnicowych),
- wzrostu ich prędkości ruchu (z preferencją dla ładunków drobnicowych).

Tendencje do wzrostu ładowności lub przestrzeni ładunkowej statków śródlądowych mogą być realizowane w warunkach eksploatacji śródlądowych dróg wodnych o parametrach pozwalających na takie działanie. Tendencje te dominują w strategii rozwoju żeglugi śródlądowej w Europie Zachodniej.

Polskie śródlądowe drogi wodne nie tworzą warunków do istotnej zmiany ich parametrów, a tym samym do zmiany wymiarów głównych statków śródlądowych i ich zdolności przewozowej. Czy tym samym żegluga śródlądowa w Polsce jest skazana na powolny dalszy regres, czy należy poszukiwać innego efektywnego rozwiązania? Trendy w rozwoju usług transportowych określane są między innymi przez strategię kształtowania celów logistycznych (rys. 1), w której skróceniu czasu trwania przemieszczania ładunków towarzyszy zmniejszenie partii dostawy (ładunku).



Rys. 1. Strategia kształtowania celów logistycznych użytkownika transportu

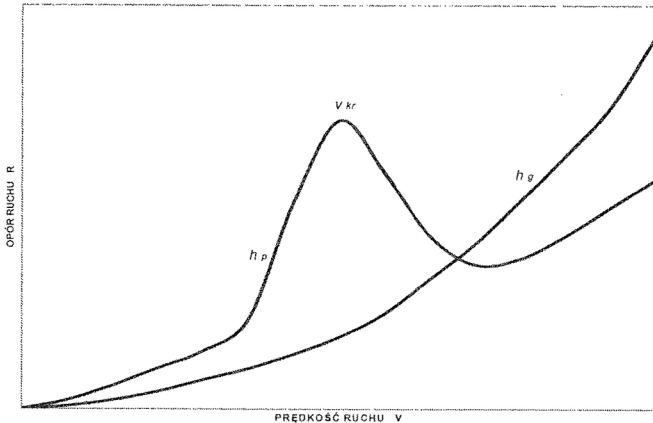
Źródło: [2]

Fig. 1. Strategy of forming logistic objectives of transportation users

W europejskiej i polskiej gospodarce maleje znaczenie przewozów masowych na rzecz wzrostu przewozów ładunków drobnicowych. Przyjmując, że ładunki drobnicowe tworzą mniejsze partie dostaw, a jednocześnie wymagają większej prędkości ich przemieszczania, można postawić tezę, że dla polskiej żeglugi śródlądowej szansą na wzrost jej efektywności jest znaczące przyspieszenie prędkości ruchu statków śródlądowych przy malejącej ich ładowności.

Determinanty 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 rysunku 2.



Rys. 2. 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

Fig. 2. Resistance characteristics of the object moving on shallow water (h_p) and deep water (h_g)

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 występuje, na wodzie płytkiej, wartość prędkości określana jako krytyczna, przy której opór ruchu osiąga maksimum, tzn.:

$$R_{\max} = f(v_{kr}) \quad (1)$$

Zjawisko to teoretycznie występuje wtedy, gdy głębokowodna liczba Froude'a o postaci:

$$Fr_h = v_{kr} / \sqrt{gh} \quad (2)$$

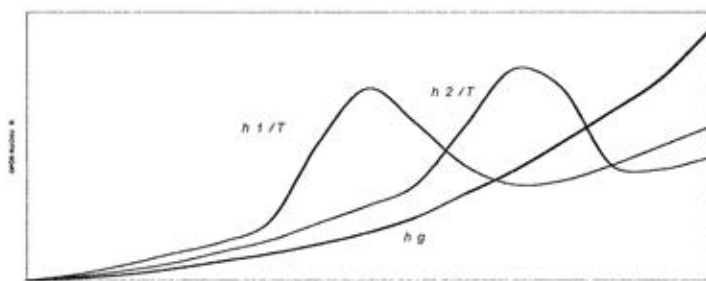
gdzie :

g – przyspieszenie ziemskie,

h – głębokość akwenu.

w pierwszym przybliżeniu osiąga wartość równą 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 podwodnej 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. Natomiast przyrost oporu ruchu na wodzie płytkiej w stosunku do wody głębokiej zmniejsza się wraz z rosnącą wartością h/T , co obrazuje rysunek 3.



Rys. 3. Charakterystyka oporowa ruchu statku na wodzie płytkiej ze zmienną wartością h/T ; $h_1/T < h_2/T$

Fig. 3. Resistance characteristics of the ship on shallow water at variable value of h/T

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

$$0 < v_p < v_{kr} \quad (3)$$

$$v_{kr} < v_n \quad (4)$$

Ze względu na gwałtowny 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 zależnością [4]:

$$v_e = \sqrt{g h} \quad (0,46 : 0,53) \quad (5)$$

Z uwzględnieniem powyższych aspektów w tabeli 2 zostały określone krytyczne i eksploatacyjne prędkości ruchu statków śródlądowych pływających po akwenach o zróżnicowanej głębokości tranzytowej.

Tabela 2

Prędkości krytyczne i eksploatacyjne na wodach płytkich
Critical and exploitation velocities on shallow waters

Głębokość tranzytowa	Prędkość krytyczna $F_{rh} = 1$		Prędkość eksploatacyjna
	[m]	[m / s]	
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

Z tabeli 2 wynika, że większe głębokości tranzytowe 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 praktycznie do 9 km/h.

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 stosowanie szybkich śródlądowych statków transportowych.

Założenia konfiguracji i parametrów statków szybkich

Jednostkowy przyrost oporu ruchu na wodzie płytkiej w stosunku do wody głębokiej (rys. 2) będzie się zmieniał w zależności od parametrów statku, parametrów akwenu oraz zakresu prędkości. W tabeli 3 przedstawiono trendy wpływu zasadniczych czynników tych zmian w aspekcie zakresu prędkości ruchu.

Tabela 3

Trendy wpływu czynników zmian na przyrost oporów jednostkowych
Tendencies of variation factors influence of unitary resistance increment

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

Z tego zestawienia wynika, że czynnikami zmian o stałym trendzie w rozpatrywanym przedziale prędkości ruchu statku są relacja głębokości akwenu do zanurzenia statku (h/T) oraz współczynnik pełnotliwości (δ). Malejąca wartość tych czynników, przy stałej głębokości akwenu, wpływa bezpośrednio na zmniejszanie się ładowności statku. Ubytek ładowności mógłby być rekompensowany przez duży wzrost długości i, relatywnie mniejszy, wzrost jego szerokości.

Jednak ograniczenia, jakie tworzą:

- przepisy administracyjne dotyczące żeglugi śródlądowej;
- droga wodna przez:
 - szerokość szlaku żeglugowego,
 - promienie łuków zakrętów,
 - szerokości i długości śluz,
- uwarunkowania wynikające z konfiguracji i konstrukcji statku przez:
 - warunki stateczności statku,
 - warunki wytrzymałości jego konstrukcji;

uniemożliwiają dowolny wybór wymiarów poziomych kadłuba statku. Uzasadniony wzrost relacji L/B i B/T wpływa z kolei pozytywnie na opór ruchu w docelowym zakresie prędkości nadkrytycznych.

Wobec określonych ograniczeń i sprzecznych trendów wynikających ze zmian wartości określonych czynników pojawia się konieczność analizy zbioru statków okołooptymalnych, dla których wskaźnik efektywności transportowej (WET) o postaci [5] :

$$WET = P g v_e / N_e \quad (6)$$

gdzie:

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

będzie przyjmował wartości najwyższe.

W wyniku analizy, prowadzonej na podstawie zweryfikowanych założeń dotyczących:

- długości statków (56 m, 71 m, 82m),
- szerokości statków (9,0 m, 11,4 m),
- relacji h/T (= 1,5) minimalnej dla prędkości nadkrytycznych,
- konfiguracji statku (dwukadłubowa),
- maksymalizacji wartości współczynnika pełnotliwości δ (0,9),
- konstrukcji statku (konstrukcja ciągła),
- masy własnej statku (30 % masy całkowitej),

uzyskano zbiór rozwiązań dopuszczalnych, którego charakterystykę techniczno-eksploatacyjną w odniesieniu do preferowanych statków tego zbioru prezentują tabele 4a i 4b. Z charakterystyki tej wynika, że wskaźnik efektywności transportowej maleje wraz ze wzrostem prędkości ruchu statków; rośnie natomiast wraz ze wzrostem ich długości.

Tabela 4a

Charakterystyka techniczno – eksploatacyjna preferowanych statków dwukadłubowych
Technical-exploitation characteristics of the preferred two-hulled ships

Typ statku	Prędkość eksploatacyjna [m/s] / [km/h]			
	4 / 14,4	5 / 18	6 / 21,6	7 / 25,2
Ne [kW] / WET				
1	427 / 22,84	588 / 20,75	810 / 18,06	1067 / 16,00
2	470 / 31,56	653 / 28,40	889 / 25,02	1174 / 22,15
3	644 / 37,72	904 / 30,00	1268 / 25,68	1678 / 22,40

Charakterystyka techniczno-eksploatacyjna preferowanych statków dwukadłubowych
Technical-exploitation characteristics of the preferred two-hulled ships

Typ statku	Wymiar statku [m]				δ	Wyporność statku [m ³]	Masa [t]		Akwen pływania
	L	B		Tk			kadłuba	ładunku	
		jednego kadłuba	całkowita statku						
1	56	3,46	9,00	1,00	0,9	370	126	244	Odrzańska Droga Wodna, Droga Wisła – Odra, Wisła Dolna – Nogat, Europa Zachodnia
2	71	3,46	9,00	1,20	0,9	530	159	371	Odrzańska Droga Wodna, Europa Zachodnia,
3	82	4,38	11,40	1,20	0,9	776	233	543	Odra swobodnie płynąca Europa Zachodnia

Wnioski

1. Wartości WET uzyskane dla szybkich towarowych statków śródlądowych, w rozpatrywanym przedziale prędkości, są 2 – 3 krotne niższe od wartości tego wskaźnika (WET=67,20) odniesionej do statku BM – 500.
2. Wartości WET dla statków szybkich mogą być podwyższone przez uwzględnienie w jego postaci formalnej wag wynikających ze zwiększenia:
 - przepustowości dróg wodnych przy większej prędkości ruchu,
 - stawek przewozowych za przewóz ładunków drobnicowych,
 - czasu eksploatacji statków szybkich w okresie nawigacyjnym na skutek ich mniejszego zanurzenia.
3. Zastosowanie dwukadłubowej konfiguracji statków szybkich zmniejsza zagrożenie ich negatywnego oddziaływania na środowisko (erozja brzegów) i zmniejsza wartość oporu ruchu w zakresie prędkości krytycznej.

4. Zastosowanie statków szybkich o ładowności od 240 – 540 ton wypełnia lukę ofert usług transportowych w przedziale średnich ładowności (patrz tab. 1).
5. Szybkie statki towarowe tworzą nową ofertę dla żeglugi śródlądowej realizującej swoje zadania transportowe na wodach płytkich o znaczących różnicach głębokości w okresie nawigacyjnym.

Literatura

1. Basin A.M. i in., *Gidrodynamika sudov na melkovodie*, Wyd. Sudostrojenije, Leningrad 1976
2. Szwanowski S., *Łądowo-morskie łańcuchy transportowe*, Uniwersytet Gdański, Gdańsk 1998 r.
3. Tołkacz L., *Prace własne* (niepublikowane) Szczecin 2004-2005 r.
4. Winter J., Kulczyk J., *Śródlądowy transport wodny*, Politechnika Wrocławska, Wrocław 2004 r.
5. Żylicz A., *Statki śródlądowe* Wydawnictwo Morskie, Gdańsk 1979 r.

Wpłynęło do redakcji w grudniu 2005 r.

Recenzent

prof. dr hab. inż. Jan Kulczyk

Adres Autora

dr inż. Lech Tołkacz
Politechnika Szczecińska
Wydział Techniki Morskiej, Katedra Logistyki i Ekonomiki Transportu
Szczecin, Al. Piastów 41
tel. (091) 449-44-29