



TECHNIKA TRANSPORTU SZYNOWEGO

Waldemar MIRONIUK, Zofia JÓŹWIAK

PROJEKT KONSTRUKCJI PŁYWAJĄCEJ DO REALIZACJI BADAŃ PŁYWALNOŚCI I STATECZNOŚCI STATYCZNEJ

Streszczenie

W referacie zaprezentowano projekt konstrukcji pływającej do realizacji badań pływalności i stateczności statycznej na laboratoryjnym stanowisku badawczym. Zaprojektowana jednostka pływająca ma kształt pontonu, możliwa do wykonania z materiałów łatwo dostępnych, lekka, z grodziami wzdłużnymi i poprzecznymi. W referacie określono ją jako „barka”. Dobrany podział grodziovyy umożliwi realizację badań z zakresu wpływu swobodnej powierzchni na stateczność początkową. W projektowaniu uwzględniono także wyposażenie dodatkowe niezbędne do przeprowadzenia badań wpływu przyjmowania, przesuwania i zdejmowania ciężarów na położenie i stateczność początkową. Wymiary główne barki dobrano do wielkości istniejącego basenu stanowiska przeznaczonego dla modeli okrętów nawodnych.

WSTĘP

Okrętowe baseny modelowe stanowią integralną część budownictwa morskiego. To właśnie na basenach modelowych sprawdzany i weryfikowany jest dobór kształtu i dobór wiązań konstrukcji, testowane są nowe materiały i nowe technologie, nowatorskie rozwiązania konstrukcyjne. Sprawdzana i badana jest wytrzymałość kadłuba na fali, wytrzymałość lokalna, sterowność i zwrotność, dzielność morską. Trudno jest nie wspomnieć o całej dziedzinie dotyczącej oporów, doboru śrub czy układów napędowych. Tutaj także sprawdzane są podstawy teorii okrętu. Baseny modelowe spełniają także ważne zadania szkoleniowe. Jest rzeczą bardzo istotną, żeby przyszła kadra dowodząca jednostkami pływającymi znała podstawy bezpiecznej eksploatacji okrętu.

Oprócz wypełniania licznych zadań stawianych załogom okrętowym, zawsze sprawą priorytetową jest ich bezpieczeństwo i bezpieczeństwo okrętu, niezależnie od warunków w jakich pływa. Aby zminimalizować ryzyko utraty stateczności, załoga a zwłaszcza dowódca okrętu powinien dysponować odpowiednim zasobem wiedzy, który umożliwi mu podjęcie właściwych i zdecydowanych decyzji odnośnie postępowania w sytuacjach awaryjnych, w jakich może się znaleźć. Przede wszystkim dowódca okrętu i kadra dowodząca powinni znać podstawy bezpiecznej żeglugi, posiadać, prócz wiedzy teoretycznej, praktyczne doświadczenie i nawyki stosowania dobrej praktyki morskiej. Wiedzę taką zdobywa się podczas wykonywania służby na morzu, ale i także podczas ćwiczeń z wykorzystaniem modeli okrętów w kontrolowanych warunkach laboratoryjnych.

Przed załogami okrętów stawiane są liczne i różnorodne zadania wymagające od nich zarówno sprawności fizycznej, wiedzy technicznej jak wiedzy i doświadczenia morskiego.

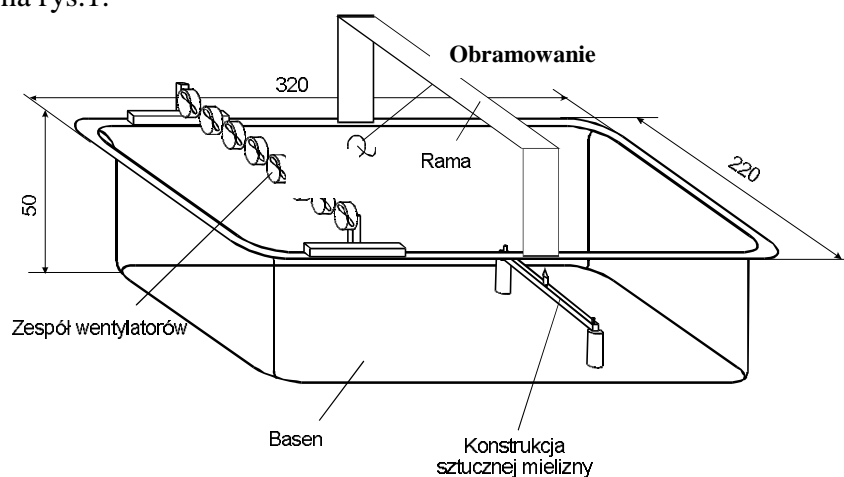
Najlepszy, najnowocześniejszy sprzęt nie zagwarantuje bezpiecznego pływania jeżeli zawiedzie czynnik ludzki. Aby zminimalizować ryzyko utraty stateczności (zatonienia na skutek wywrócenia się okrętu), załoga a zwłaszcza dowództwo okrętu powinno dysponować odpowiednim zasobem wiedzy praktycznej, który umożliwi podjęcie odpowiednich działań co do postępowania w możliwych sytuacjach awaryjnych, bez paniki, zdecydowanie i skutecznie.

Dlatego tak ważne są badania modelowe okrętów i praktyczne ćwiczenia na modelach[2,4,5].

Celem niniejszego referatu jest zaprezentowanie konstrukcji pływającej do realizacji badań pływerności i stateczności statycznej na laboratoryjnym stanowisku badawczym.

1. KSZTAŁT KONSTRUKCJI BARKI

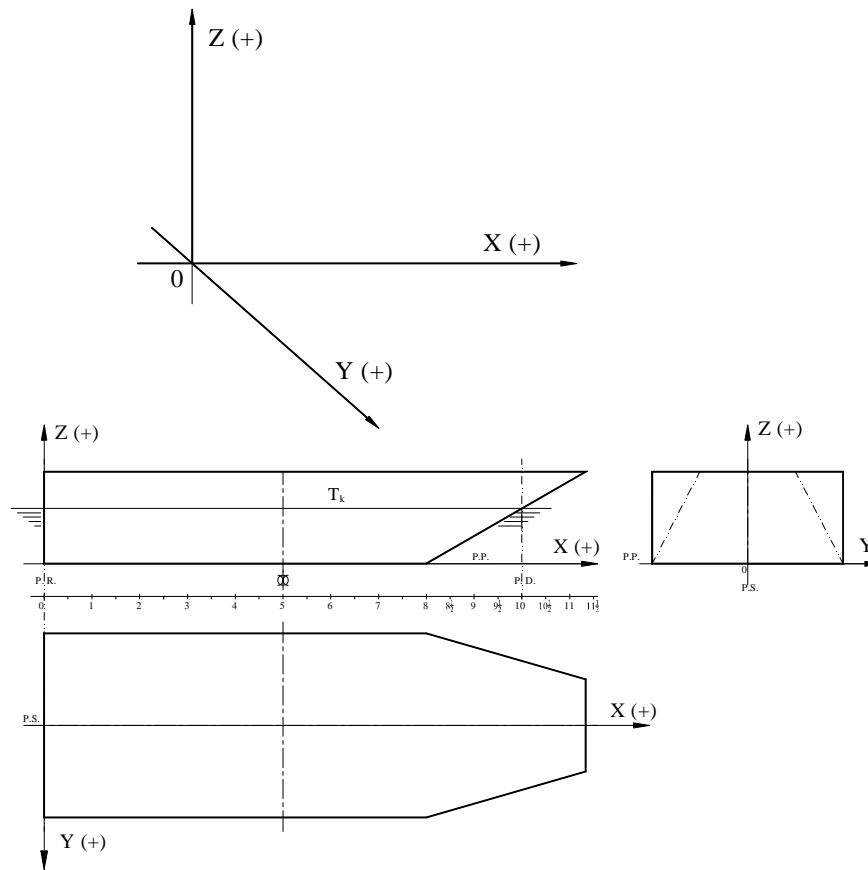
Zaprojektowana jednostka pływająca ma kształt pontonu, możliwa do wykonania z materiałów łatwo dostępnych, lekka, z grodziami wzdłużnymi i poprzecznymi. W referacie określono ją jako „barka”. Dobry podział grodziowy umożliwi realizację badań z zakresu wpływu swobodnej powierzchni na stateczność początkową. W projektowaniu uwzględniono także wyposażenie dodatkowe niezbędne do przeprowadzenia badań wpływu przyjmowania, przesuwania i zdejmowania ciężarów na położenie i stateczność początkową. Wymiary główne barki tj. $L=1,2$ m $B=0,4$ m $H=0,2$ m dobrano do wielkości istniejącego basenu stanowiska przeznaczonego dla modeli okrętów nawodnych. Schemat basenu modelowego przedstawiono na rys.1.



Rys. 1. Schemat basenu modelowego [5,6]

W zaprojektowanej barce przyjęto prostokątny układ współrzędnych „OXYZ”, którego początek wyznacza punkt przecięcia pionu rufowego (PR) z płaszczyzną podstawową (PP).

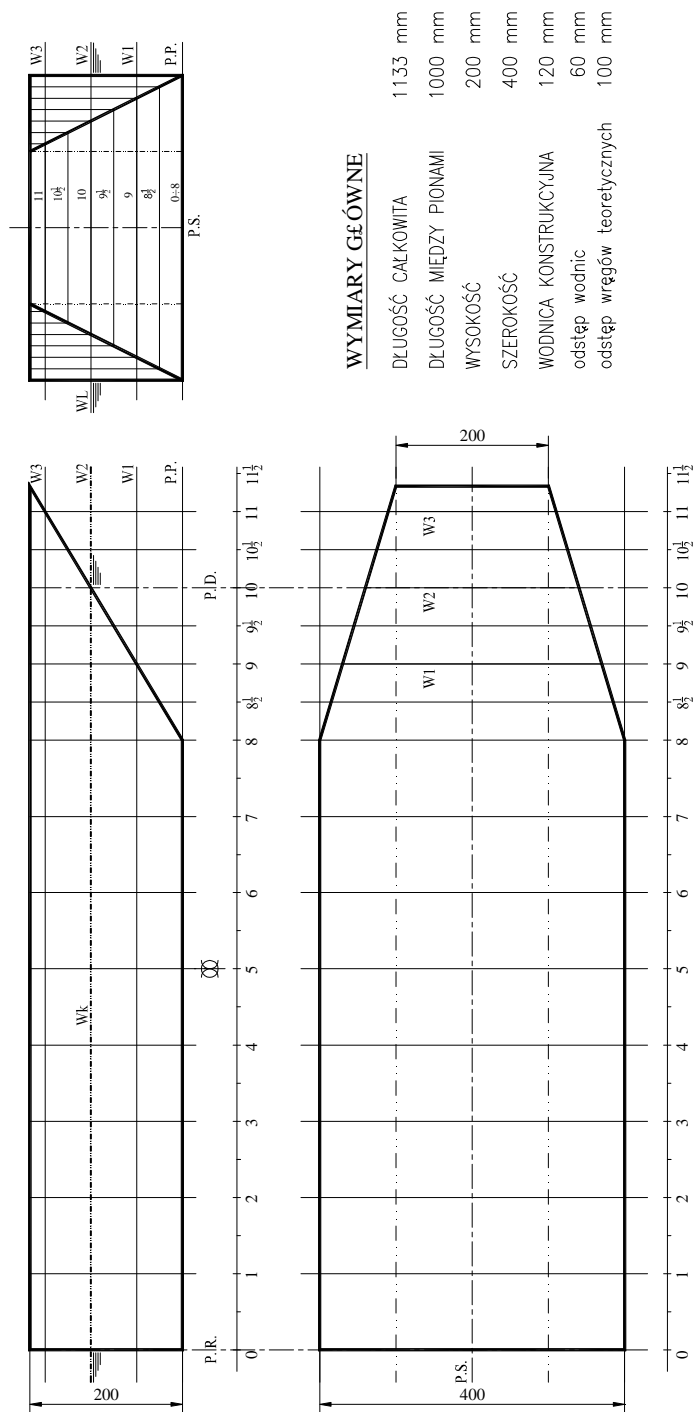
Wartości dodatnie dla współrzędnych przyjęto zgodnie z rys.2. tj.: X - do dziobu, Y - na prawą burtę (PB), Z - do góry od płaszczyzny podstawowej (PP).



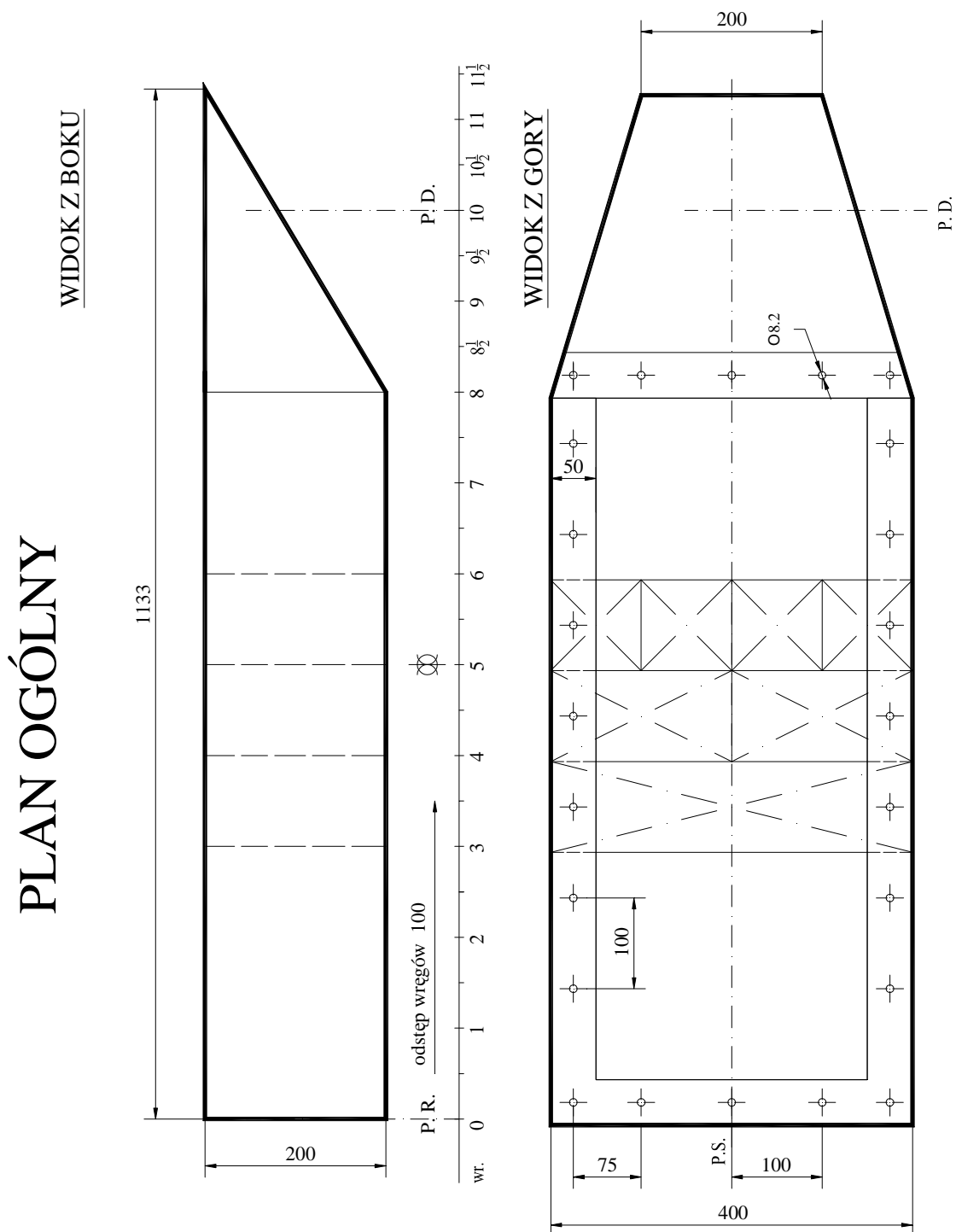
Rys. 2. Układ współrzędnych kadłuba barki [6,7]

Położenie wodnicy konstrukcyjnej przyjęto dla zanurzenia $T_k=0,12$ m .

LINIE TEORETYCZNE



Rys. 3. Rysunek linii teoretycznych [7]



Rys. 4. Plan ogólny barki [7]

2. OBLICZENIA HYDROSTATYCZNE BARKI

Obliczenia hydrostatyczne sporządzono dla barki nieprzegłębionej i przedstawiono graficznie w postaci Krzywych Hydrostatycznych[1,2,8,9]. Przedstawiają one wyniki obliczeń w postaci wykresów dla poszczególnych parametrów geometrycznych kadłuba w zależności od jego zanurzenia. Do obliczeń wykorzystano linie teoretyczne, z których

odczytano rzędne wodnic i wrężnic. W okrętownictwie, podobnie jak i w innych dziedzinach techniki, bardzo często występuje konieczność obliczania wartości całek oznaczonych funkcji, tzn. pola zawartego pod odpowiednim odcinkiem krzywej całkowej. Rzadko korzysta się z postaci analitycznej funkcji ze względu na jej złożony charakter, lub nadmierną pracochłonność zastosowania obliczeń analitycznych. W praktyce, wartość całki oznaczonej wyznacza się przy pomocy całkowania numerycznego.

W niniejszej pracy, do obliczeń parametrów hydrostatycznych, wykorzystano metodę Simpsona I oraz metodę „5/8”. Ponieważ wodnice są symetryczne, do obliczeń przyjęto rzędne połówkowe wodnic na poszczególnych przekrojach wrężnicowych. Do obliczeń przyjęto następujące założenia:

- odstęp pomiędzy przekrojami wodnicowymi 0,06 m,
- odstęp pomiędzy przekrojami wrężnicowymi 0,10 m,
- gęstość wody $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$,
- jednostki podstawowe do obliczeń: długość w cm a masę w kg,
- współczynnik uwzględniający grubość poszycia $k = 1.00$,
- przegłębienie $t = 0.00\text{m}$.

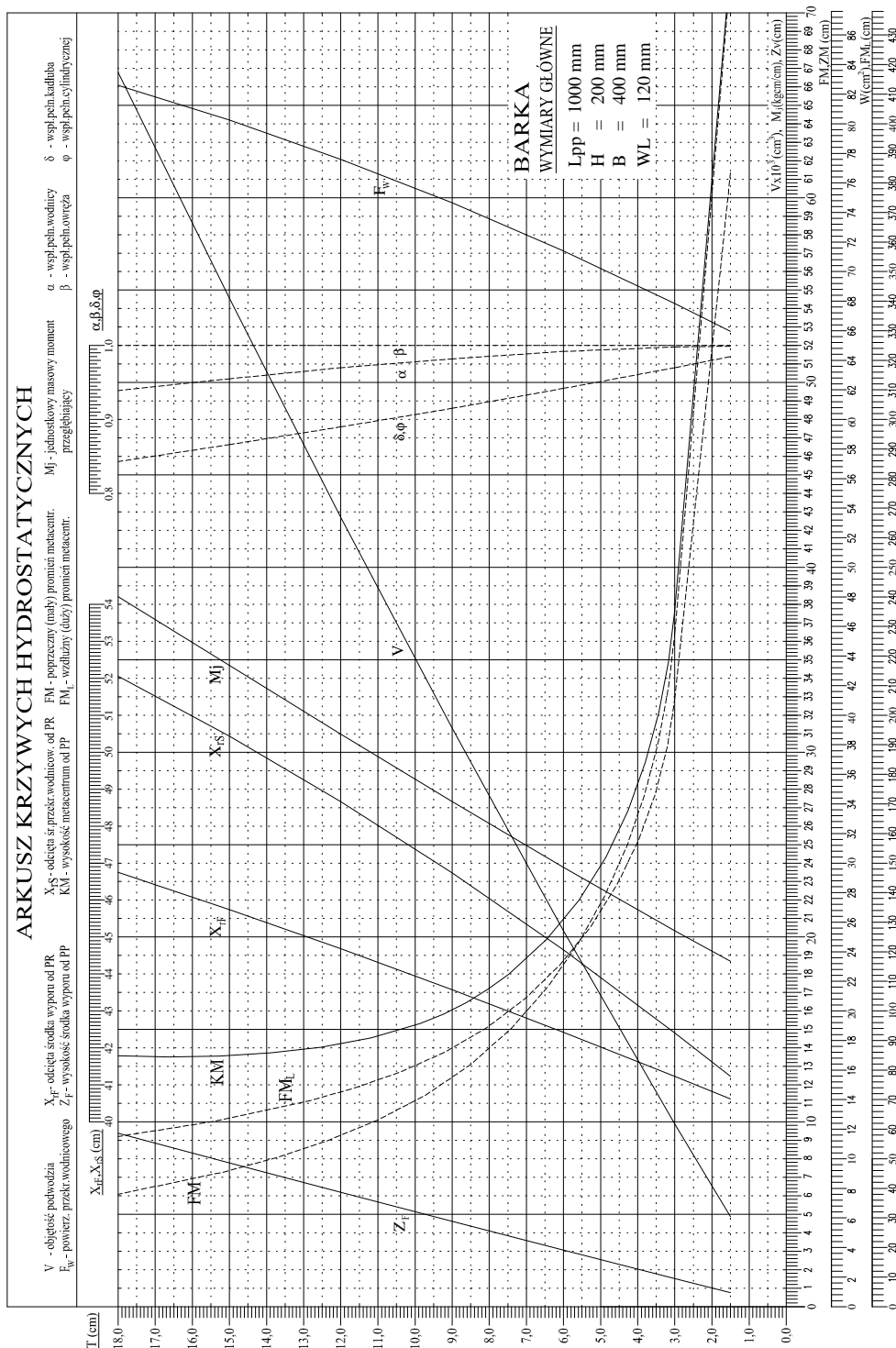
Wyniki obliczonych parametrów hydrostatycznych przedstawiono w tabeli nr.1.

Tab.1. Wyniki obliczeń hydrostatycznych barki[6,7]

T	cm	1,5	3,0	6,0	9,0	12,0	15,0	18,0
V	cm ³	4874,1	9892,5	20340,0	31297,5	42720,0	54562,5	66780,0
D	kg	4,874	9,893	20,340	31,298	42,720	54,563	66,780
X _{RF}	cm	40,621	41,231	42,424	43,575	44,682	45,742	46,752
X _F	cm	-9,379	-8,769	-7,576	-6,425	-5,318	-4,258	-3,248
Z _F	cm	0,754	1,515	3,055	4,615	6,191	7,779	9,376
F _w	cm ²	3298,1	3392,5	3570,0	3732,5	3880,0	4012,5	4130,0
X _{rs}	cm	41,227	42,410	44,650	46,731	48,660	50,436	52,058
X _s	cm	-8,773	-7,590	-5,350	-3,269	-1,340	0,436	2,058
FM	cm	90,124	45,538	23,066	15,448	11,569	9,200	7,598
Z _M	cm	90,878	47,053	26,121	20,063	17,760	16,979	16,974
FM _L	cm	383,387	205,665	116,879	87,322	72,527	63,586	57,512
M _j	kgcm/cm	18,687	20,345	23,773	27,330	30,984	34,694	38,407
I _B	cm ⁴	439268,6	450480,5	469155,0	483488,9	494213,3	501992,2	507421,7
I _L	cm ⁴	1868653	2034540	2377312	2732946	3098364	3469393	3840673
TPC	kg/cm	3,298	3,393	3,570	3,733	3,880	4,013	4,130
α	-	0,999	0,998	0,992	0,982	0,970	0,955	0,939
β	-	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
δ	-	0,985	0,970	0,942	0,915	0,890	0,866	0,843

ϕ	-	0,985	0,970	0,942	0,915	0,890	0,866	0,843
L_w	cm	82,5	85,0	90,0	95,0	100,0	105,0	110,0
B_w	cm	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0	40,0
nr wodnicy		W$\frac{1}{4}$	W$\frac{1}{2}$	W1	W1$\frac{1}{2}$	W2	W2$\frac{1}{2}$	W3

Na podstawie wyników obliczeń zawartych w tabeli nr. 1 wykonano wykresy krzywych hydrostatycznych przedstawionych na rys. nr 5.

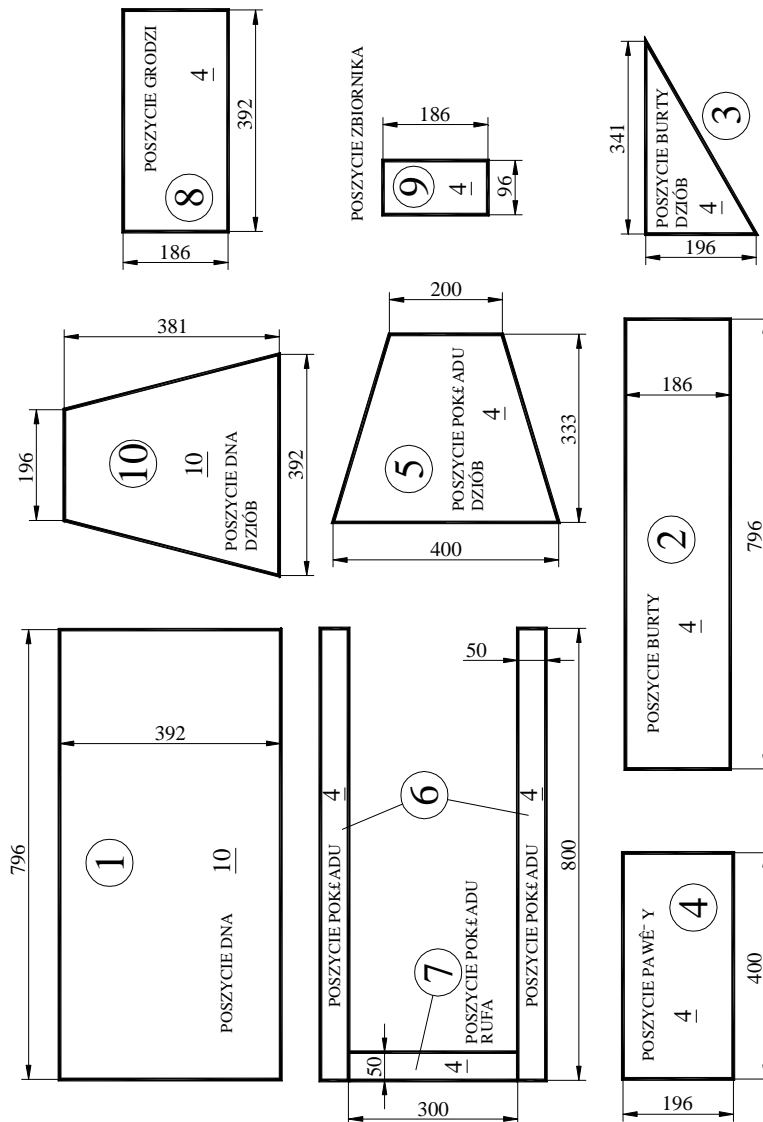


Rys. 5. Krzywe hydrostatyczne barki [7]

3. OBLICZANIE MASY I POŁOŻENIA ŚRODKA MASY BARKI PUSTEJ

Do prowadzenia badań modelowych zaprojektowanej konstrukcji barki niezbędna jest informacja o jej całkowitej masie i położeniu środka masy modelu barki. W obliczeniach

masy i położenia środka masy barki pustej założono wykonanie barki ze stopu aluminium. Do wykonania barki zaproponowano materiał o nazwie katalogowej EN AW 5754 (PA11) z katalogu typowych wyrobów dla przemysłu okrętowego, którego parametry są zgodne z normą PN EN 485-1. Ciężar właściwy dla przyjętego stopu aluminium wynosi $2,68 \text{ g/cm}^3$. Do obliczeń masy kadłuba barki konstrukcję podzielono na elementy składowe przedstawione na rys. 6.



Rys. 6. Elementy składowe konstrukcji kadłuba

Dla wymienionych na rys.6 elementów dokonano pomiarów ich masy i odległości od właściwych parametrów w celu określenia ich momentów statycznych[3,10]. Następnie obliczono współrzędne środka masy kadłuba pustego barki. Wyniki obliczeń położenia środka masy konstrukcji kadłuba barki przedstawiono w tabeli nr 2.

Tab. 2. Wyniki obliczeń masy i współrzędnych środka masy konstrukcji kadłuba barki[7]

№ poz.	wyszczególnienie	pole pow.	grubość	Masa	x od PR	z od PP	mx	mz
		m ²	mm	kg	cm	cm	kgcm	kgcm
1	poszycie dna	0,3120	10	8,3625	40,2	0,5	336,1708	4,1812
2	poszycie burty x2	0,3120	4	3,3450	40,2	9,8	134,4683	32,7808
3	poszycie burty dziób x2	0,0668	4	0,7166	90,9	13,07	65,1360	9,3655
4	poszycie pawęży	0,0784	4	0,8404	0,2	9,8	0,1681	8,2364
5	poszycie pokładu dziób	0,0999	4	1,0709	94,8	19,8	101,5240	21,2044
6	poszycie pokładu x2	0,0800	4	0,8576	40	9,8	34,3040	8,4045
7	poszycie pokładu rufa	0,0150	4	0,1608	2,5	19,8	0,4020	3,1838
8	poszycie grodzi x4	0,2916	4	3,1265	45	10,3	140,6910	32,2026
9	poszycie zbiornika x4	0,0714	4	0,7657	52,5	10,3	40,1974	7,8864
10	poszycie dna dziób	0,1119	10	2,9999	94,51	8,72	283,5191	26,1578
RAZEM				22,2458	51,092	6,905	1136,581	153,6034

Na masę barki w stanie pustym składa się masa konstrukcji i masa balastu stałego. W związku z powyższym w kolejnym etapie dokonano obliczeń masy i współrzędnych środka masy barki pustej zgodnie ze wzorem 1 i 2 a wyniki przedstawiono w tabeli nr 3.

$$X_G = \Sigma(5) / \Sigma(2) \quad (1)$$

$$Z_G = \Sigma(6) / \Sigma(2) \quad (2)$$

Tab.3. Wyniki obliczeń położenia środka masy barki pustej[7]

wyszczególnienie	masa	x	z	mx	mz
	kg	cm	cm	kgcm	kgcm
1	2	3	4	5	6
KONSTRUKCJA	22,246	51,092	6,905	1136,581	153,603
BALAST STAŁY	20,474	37,719	19,411	772,267	397,423
PARAMETRY BARKI PUSTEJ	$\Sigma(2) =$ 42,720	$X_G =$ 44,6828	$Z_G =$ 12,899	$\Sigma(5) =$ 1908,848	$\Sigma(6) =$ 551,034

Następnie przeprowadzono obliczenia sprawdzające podczas, których dla zanurzenia konstrukcyjnego $T = 12$ cm, z tabeli krzywych hydrostatycznych odczytano wartość odciętej

środką wyporu $X_{rF} = 44,682$ cm, która jest w przybliżeniu równa $X_{rF} \cong X_G$. Oznacza to, że barka jest nieprzełączona. W związku z powyższym do dalszych badań można przyjąć obliczone parametry barki pustej za prawidłowe gdzie:

$$\begin{aligned}M &= 42,72 \text{ kg,} \\X_g &= 44,68 \text{ m} \\Z_g &= 12,90 \text{ m}\end{aligned}$$

4. WYPOSAŻENIE DODATKOWE DO REALIZACJI BADAŃ

Dla przeprowadzenia badań stateczności barki na stanowisku laboratoryjnym zaprojektowany model wyposażono w ciężarki stalowe o masach: 2,2 kg, 1,5 kg i 1,1 kg oraz ciężarki mosiężne (14 sztuk) o masie 0,2 kg. Mosiężne ciężarki spinające (10 sztuk) zostały zaprojektowane dla dociążenia pontonu do zanurzenia konstrukcyjnego oraz położenia modelu na równej stępce w stanie pustym. Masa jednego ciężarka wynosi 0,2086 kg. Mogą one być również wykorzystywane do prowadzenia badań wpływu zmiany położenia mas na stateczność barki.

Ponieważ swobodna powierzchnia cieczy zawsze powoduje zmniejszenie początkowej wysokości metacentrycznej, zaprojektowana barka przystosowana jest do badań jej wpływu na bezpieczeństwo pływania. W tym celu w konstrukcji kadłuba barki umożliwiono jego podział grodziami wzdłużnymi i poprzecznymi. Wyniki badań modelowych będą tematem kolejnej publikacji.

PODSUMOWANIE

Zaprojektowana konstrukcja pływająca umożliwi prowadzenie podstawowych badań modelowych jej stateczności w różnych stanach eksploatacyjnych. Obliczone parametry zaprojektowanej barki takie jak ciężar jednostki i położenie jej środka masy będzie można określić po zakończeniu wszystkich prac związanych z jej budową. Położenie i masę balastu stałego, która zależy od rodzaju zastosowanego stopu aluminium, tzn. od ciężaru właściwego stopu, należy dobrać ostatecznie po wykonaniu całej konstrukcji barki. W zaprezentowanym projekcie masa balastu i jego położenie zaplanowano w rejonie wręgów 1÷2.

PROJECT OF CONSTRUCTION FOR FLOATING AND STATIC STABILITY RESEARCH

Abstract

The paper presents the design of floating structures for studies of buoyancy and static stability on a laboratory bench. Designed construction is shaped pontoon, feasible with materials readily available, light longitudinal and transverse bulkheads. The paper describes it as a "bargain". This project will allow the implementation of research on the impact of the free surface on initial stability. The design also includes additional equipment necessary to carry out research on the impact the adoption, move or remove weights to the beginning stability. The main dimensions of the barge matched to the size of the existing pool position models designed for surface ships.

BIBLIOGRAFIA

1. Kabaciński J.: *Stateczność i niezatapialność statku*, Gdańsk 1995.
2. Derett D. R.: *Ship stability for Masters and Mates*, BH. Oxford,UK,2003.

3. Dudziak J.: *Teoria okrętu*, WM, Gdańsk 2006.
4. Mironiuk W.: *Preliminary research on stability of warship models*, COPPE Brazil, Rio de Janeiro, 2006.
5. Mironiuk, W., Pawłędzio, A., Wróbel, R. *Trenażer do walki z wodą*. Przegląd Morski nr 5 Gdynia 2004.
6. Mironiuk W., Pawłędzio A., Zacharewicz M.: *Badania modelowe stateczności i niezatapialności okrętów*. AMW Gdynia 2006.
7. Rogalewski M.: *Projekt konstrukcji pływającej do prowadzenia ćwiczeń na trenażerze do walki z wodą*. AMW, Gdynia 2009
8. Staliński J.: *Teoria okrętów*. WM Gdańsk 1969.
9. Więckiewicz W.: *Geometria i obliczenia hydrostatyczne kadłuba statku*. Gdynia 1999.
10. Więckiewicz W.: *Obliczenia masy i współrzędnych środka masy statku*. Gdynia 1999.

Autorzy:

dr inż. Waldemar MIRONIUK– Akademia Marynarki Wojennej Gdynia

dr hab. inż. Zofia JÓŹWIAK prof. nadzw. AM– Akademia Morska Szczecin