

inż. Klaudia Trzcńska

dr hab. inż. Anna Szymczak-Graczyk, prof. UPP¹⁾*

ORCID: 0000-0002-1187-9087

dr inż. Barbara Ksit²⁾

ORCID: 0000-0001-6459-8783

Analiza stateczności pontonu w zależności od konstrukcji budynku pływającego

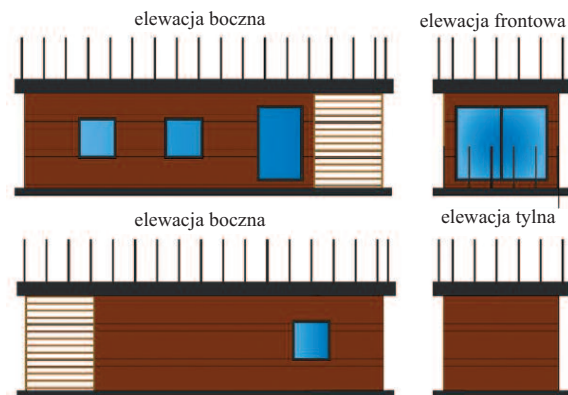
Zmiany klimatyczne, problemy środowiskowe, przeludnienie dużych i zurbanizowanych miast utrudniają życie społeczeństwu na każdym kontynencie. Zastąpienie tradycyjnych konstrukcji budowlanych takimi, które mogą unosić się na wodzie, może znaleźć zastosowanie w wielu krajach [1]. Budownictwo amfibijskie staje się coraz bardziej powszechne [2]. Dom pływający nie jest posadowiony na stałe na fundamentach czy palach. Amfibia osadzona jest na łądzie, ale w czasie powodzi cała konstrukcja unosi się jak tratwa, dzięki umieszczonym w jej podstawie pływakom [3, 4]. Możemy również spotkać się z domami, które na stałe znajdują się na wodzie [5, 6]. Na taką pływającą konstrukcję składa się ponton, który jest rodzajem fundamentu pod budynki pływające. Ma on kształt skrzyni, która musi być szczelnie zamknięta [7, 8]. Bardzo istotne jest, żeby ponton był możliwie lekki oraz zapewniał odpowiednią wyporność, dlatego też jego wnętrze może zostać wypełnione pianką poliuretanową. Poza pontonem, który odpowiedzialny jest za niezatapialność obiektu, należy zwrócić uwagę na konstrukcję, która się na nim znajduje. Powinna ona być lekka, odporna na warunki środowiskowe oraz funkcjonalna w użytkowaniu [9 – 11].

Materiały i metody badawcze

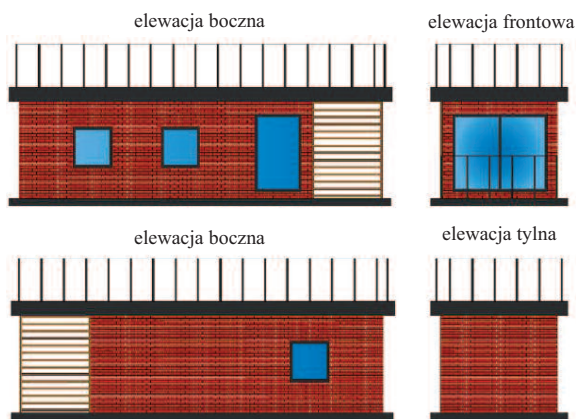
W artykule porównano ze sobą trzy rodzaje konstrukcji pływających: szkieletową drewnianą; szkieletową stalową oraz wykonaną ze ścian typu sandwich. Zostały one ze sobą zestawione, a następnie

wybrano najbardziej korzystne rozwiązanie do zastosowania w przypadku domu pływającego. Pierwszą z porównywanych konstrukcji była **drewniana konstrukcja szkieletowa** (rysunek 1). Ściany nośne składają się z pionowych belek sosnowych o przekroju 45 x 100 mm w rozstawie 400 mm. Natomiast w ścianach działowych zwiększono rozstaw do 600 mm. Otwory okienne i drzwiowe zostały zabezpieczone podwójnie belką pionową o przekroju 45 x 100 mm. W narożnikach konstrukcji oraz połączeniach ze ścianami działowymi, a także w przypadku nadproży zastosowano belki pionowe o przekroju kwadratowym w wymiarach 100 x 100 mm, a pod otwory okienne wykorzystane zostały belki poziome o przekroju 45 x 100 mm. Między belkami umieszczono docieplenie z wełny mineralnej. Szkielet z ociepleniem od strony zewnętrznej i wewnętrznej został wykończony płytą ze sklejki o grubości 18 mm. Od strony zewnętrznej została też wykonana ozdobna elewacja z desek drewnianych.

Drugą z porównywanych konstrukcji była stalowa konstrukcja szkieletowa (rysunek 2), która składa się z belek i słupków z profili U oraz C, a ściany nośne z pionowych profili C90 w rozstawie 600 mm, natomiast ściany działowe z profili U50 w rozstawie 900 mm. Ściany opierają się na poziomej podwalinie



Rys. 1. Elewacje budynku pływającego w drewnianej konstrukcji szkieletowej [12]



Rys. 2. Elewacje budynku pływającego w stalowej konstrukcji szkieletowej [12]

z profilu U. Narożniki budynku umocnione są skrajnymi słupkami z profili C. Otwory okienne zostały umocnione podwójnie pionowymi profilami C, podobnie jak nadproża. Pod otwory okienne zastosowano poziomy profil C. Cała konstrukcja została ocieplona pianką poliuretanową, która charakteryzuje się bardzo dobrymi parametrami termodynamicznymi, zapewnia izolację akustyczną, jest paroprzepuszczalna, odporna na działanie grzybów i pleśni oraz na dyfuzję pary wodnej. Najbardziej popularną metodą jej nakładania jest bezpośredni natrysk. Szkielet wraz z dociepleniem jest wykończony od strony ze-

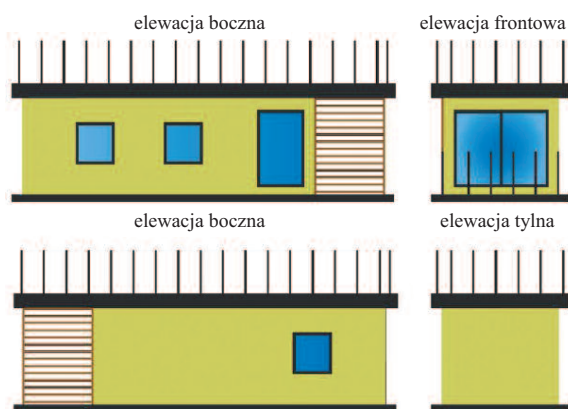
¹⁾ Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, Wydział Inżynierii Środowiska i Inżynierii Mechanicznej

²⁾ Politechnika Poznańska, Wydział Inżynierii Łądowej i Transportu

* Adres do korespondencji: anna.szymczak-graczyk@up.poznan.pl

wewnętrznej i wewnętrznej płytą ze sklejką o grubości 18 mm, a ponadto od strony zewnętrznej została wykonana ozdobna elewacja z płytek imitujących cegły.

Ostatnia z porównanych konstrukcji, to budynek ze ścianami typu sandwich, potocznie zwanymi płytami warstwowymi (rysunek 3). Grubość płyty zewnętrznej wynosi 80 mm, szerokość 1050 mm, a jej wysokość jest dopasowana do wysokości budynku. Natomiast ściany wewnętrzne wykonane są z płyt o grubości 50 mm. Otwory okienne zostały odpowiednio dopasowane i wycięte. Oba rodzaje płyt składają się z blachy wewnętrznej i zewnętrznej o grubości 0,5 mm i rdzenia z poliuretanu. Łączone są ze sobą krytym łącznikiem z samowiercącym wkrętem. Narożniki budynku zostały wzmocnione dwuteownikiem i ceownikiem, do któ-



Rys. 3. Elewacje budynku pływającego w konstrukcji ze ścianami typu sandwich [12]

rych za pomocą wkrętów przytwierdzone są płyty typu sandwich.

Każda z wymienionych konstrukcji jest wykonana z zupełnie innych materiałów oraz cechuje się zupełnie odmiennymi właściwościami [12].

Wyniki

Model obliczeń stateczności i wysokości metacentrycznej, który został przedstawiony, jest opracowany na podstawie „The Australian Standard Guidelines for design of marinas, AS 3962-2001” (Sidney 2001) [13]. Metodę obliczeniową wg tej normy można stosować w przypadku kąta przechyłu, który nie przekracza 15°. Podczas sprawdzania pływalności, stateczności oraz wysokości metacentrycz-

nej należy przyjmować do obliczeń obciążenia charakterystyczne, przez analogię do kontrolowania stanów granicznych użyteczności podanych w Eurokodzie 1 [14]. W PN-EN 14504 [15] również podano, że podczas sprawdzania stateczności pomostów pływających należy wziąć pod uwagę częściowy współczynnik bezpieczeństwa. Przyjmuje się, że środek ciężkości obciążeń ruchomych położony jest na wysokości 1,0 m nad powierzchnią pomostu, jak wg zaleceń niemieckich oraz zgodnie z PN-EN 14504 [15].

W tabeli zestawiono i porównano wszystkie obliczenia w przypadku każdej z konstrukcji. Metody obliczeń oraz wykorzystane wzory i algorytmy obliczeniowe opisano szczegółowo w publikacji [12]. Z danych przedstawionych w tabeli wynika, że konstrukcja szkieletowa drewniana oraz stalowa charakteryzują się bardzo podobnymi wynikami i obie mają bardzo podobne obciążenia. Najmniejszymi obciążeniami cechuje się konstrukcja ze ścianami warstwowymi, co idealnie odzwierciedla zanurzenie własnym oraz obciążeniem użytkowym, a dokładnie wolna burta, która jest niemal 1,5 razy większa w przypadku konstrukcji sandwich.

Pozostałe obliczenia różnią się w podobny sposób. Warto jednak zwrócić uwagę na kąt przechylenia górnej płaszczyzny pontonu w stosunku do poziomu lustra wody, który w przypadku każdej konstrukcji wynosi ok. 3°, co jest bardzo dobrym wynikiem, gdyż zalecenia wg [8] określają, że w Polsce kąt ten nie powinien przekraczać 6°. Warto jednak zwrócić uwagę, że norma PN-EN 14504 [15] dopuszcza w przypadku pomostów pływających kąt przechyłu nie większy niż 10°, a norma australijska nie większy niż 15° [13]. Każda z konstrukcji poddanych analizie spełnia więc te wymagania.

Wnioski i podsumowanie

Wykonane obliczenia prowadzą do wniosku, że **każda z ocenianych konstrukcji spełnia wymagania stawiane budynkom pływającym**. Bardzo ważne jest zachowanie odpowiedniego kąta przechyłu. W każdym przypadku wynosi on ok. 3° i spełnia warunek maksymalnego kąta 6°. Wysokość wolnej burty w każdym z przypadków również wskazuje, że żadna z budowli nie zostanie zatopiona. Warto jednak zwrócić uwagę, że **konstrukcja ze ścianami typu sandwich ma najmniejsze obciążenia stałe, dzięki czemu może osiągnąć większe wartości wolnej burty, a tym samym mniejsze zanurzenie**. Obciążenia te wynikają z mniejszej liczby elementów konstrukcyjnych użytych do wykonania konstrukcji. Kon-

Pływalność, stateczność oraz wysokość metacentryczna pontonu w przypadku każdej konstrukcji [12]

Parametry	Konstrukcja		
	szkieletowa drewniana	szkieletowa stalowa	ze ścian sandwich
Zanurzenie pontonu pod ciężarem własnym oraz obciążeniem użytkowym h_a [m]	1,2540	1,2499	1,1248
Wolna burta [m]	0,2460	0,2501	0,3752
Wielkość zanurzenia pontonu obciążonego ciężarem własnym i obciążeniem użytkowym V_1 [m ³]	65,9804	65,7728	59,4451
Wielkość zanurzenia pod obciążeniem całkowitym H_1 [m]	1,3040	1,2999	1,1748
Środek wyporu h_{d1} [m]	0,6520	0,6499	0,5874
Odległość określająca położenie punktu metacentrycznego powyżej środka wyporu h_{mb} [m]	1,2373	1,2412	1,3733
Wysokość metacentryczna h_{mc} [m]	1,0171	1,0189	1,0885
Kąt przechylenia górnej płaszczyzny pontonu w stosunku do poziomu lustra wody $\tan [\circ]$	ok. 3	ok. 3	ok. 3
Wysokość wolnej burty h_f [m]	0,1048	0,1088	0,2306

struktura budynku ze ścianami warstwowymi jest dużo prostsza niż dwie pozostałe badane konstrukcje, ponieważ panele przyjeżdżają na plac budowy gotowe. Konstrukcję wystarczy tylko wzmocnić dwuteownikami w narożach budynku, ponieważ ocieplenie znajduje się w płycie, która jest też wykończona i nie trzeba robić dodatkowej elewacji. Pozostałe budynki wymagają wykonania szkieletu, który trzeba wypełnić ociepleniem oraz okryć sklejką, a także wykonać elewację. Mimo że każda z trzech porównywanych konstrukcji charakteryzuje się krótkim czasem wykonania, to również w tym przypadku konstrukcja sandwich wysuwa się na prowadzenie.

Biorąc pod uwagę walory estetyczne, konstrukcja sandwich wypada nieco gorzej, ponieważ panele są wykończone w dość prosty i minimalistyczny sposób, ale wyglądają na nowoczesne. Są zazwyczaj jednokolorowe, czasem mają fakturę. W przypadku budynków o konstrukcji szkieletowej drewnianej i stalowej, elewację należy wykonać w odrębnym etapie budowy. Można wówczas zastosować belki elewacyjne imitujące drewno, płytki elewacyjne o różnej fakturze bądź inny materiał. Takie budynki mogą wyglądać dużo ciekawiej i bardziej estetycznie niż z płyt sandwich. Bardzo łatwo będzie też ocieplić takie konstrukcje zewnętrznie oraz w razie potrzeby odnowić elewację. W przypadku ścian warstwowych jest to dużo trudniejsze. Podobnie jest z naprawą fragmentu elewacji bądź ściany zewnętrznej.

Kolejnym aspektem są koszty budowy i ewentualnych napraw eksploatacyjnych. Zdecydowanie najdroższa w wykonaniu jest drewniana konstrukcja szkieletowa. Do wykonania takiego szkieletu potrzebne jest drewno bardzo dobrej jakości. Ponadto w porównaniu z konstrukcją stalową rozstawy między belkami są mniejsze, za czym idzie zużycie większej ilości drewna. Dodatkowym kosztem jest ocieplenie i potrzeba wykonania elewacji w przypadku obu konstrukcji szkieletowych. Jeśli chodzi o koszty odnowienia budynku bądź ewentualnych napraw, rolę się odwracają. W przypadku domu ze ścianami warstwowymi nie zawsze jest możliwość

naprawy. Wtedy niezbędna jest wymiana całego panelu, co wiąże się z większymi kosztami niż w przypadku wymiany bądź naprawy powierzchni, która tego wymaga.

Literatura

- [1] Wang CM, Wang BT. Great Ideas Float on the Top. Large Floating Structures: Technological Advances. Springer, 2014, 1-36.
- [2] Holcombe S. Applications and Huge Potential Demand for Amphibious Structures. Proceedings of the First International Conference on Amphibious Architecture, Design & Engineering, 2017, 138.
- [3] Nillesen AL, Singelenberg J. Amphibious Housing in the Netherlands. Architecture and Urbanism on The Water. NAI, Rotterdam, 2011.
- [4] Nakajima T, Umeyama M. A New Concept for the Safety of Low-lying Land Areas from Natural Disasters. Journal of Ocean Engineering and Marine Energy. 2015; 1: 19 – 29.
- [5] Olthuis K, Keuning D. Float! Building on Water to Combat Urban Congestion and Climate Change. Frame, Amsterdam. 2011, 204 – 231.
- [6] Ostrowska-Wawryniuk K, Piątek Ł. Lightweight Prefabricated Floating Buildings for Shallow Inland Waters. Design and Construction of The Floating Hotel Apartment in Poland. J. Water Land Dev. 2020; 44: 118 – 125.
- [7] Szymczak-Graczyk A. Floating platforms made of monolithic closed rectangular tanks. Bulletin of the Polish Academy of Sciences: Technical Sciences. 2018; 2, 66, 209 – 219.
- [8] Mazurkiewicz B. Porty jachtowe i mariny. Projektowanie. Fundacja Promocji Przemysłu Okrętowego i Gospodarki Morskiej. Gdańsk, 2010.
- [9] Karczewski A, Piątek Ł. The Influence of the Cuboid Float's Parameters on the Stability of a Floating Building. Polish Maritime Research. 2020; 27: 16 – 21.
- [10] Szymczak-Graczyk A. Numerical Analysis of the Bottom Thickness of Closed Rectangular Tanks Used as Pontoons. Appl. Sci. 2020; 10, 8082.
- [11] Kabaciński J. Stateczność i niezatapialność statku, WSM, Szczecin 1993.
- [12] Trzcńska K. Analiza stateczności pontonu w zależności od konstrukcji budynku pływającego. Praca inżynierska, Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu, 2023.
- [13] The Australian Standard Guidelines for Design of Marinas, AS 3962-2001, Sidney, 2001.
- [14] Eurokod 1 PN-EN-1991-1-1 Oddziaływania na konstrukcje.
- [15] PN-EN 14504:2009 Statki żegluga śródlądowej. Przystanie pływające. Wymagania, badania.

Artykuł przygotowano na podstawie pracy inżynierskiej nagrodzonej w konkursie zorganizowanym przez Polski Związek Producentów i Przetwórców Izolacji Poliuretanowych PUR i PIR „SIPUR” oraz Polski Związek Inżynierów i Techników Budownictwa, Oddział w Poznaniu.



ARBOCEL® – The Power of Progress

– włókna na bazie celulozy o charakterze mikrobrojającym, zagęszczającym oraz strukturotwórczym w produktach chemii budowlanej



Fibers for Life.

Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

e-mail: arbocel@jrs.pl