

Janusz GRABIAN¹
Wojciech ŚLĄCZKA²
Wojciech PRZETAKIEWICZ³

WIELOFUNKCYJNE WARSTWOWE MATERIAŁY KOMPOZYTOWE NA KADŁUBY WYBRANYCH JEDNOSTEK EKSPLOATOWANYCH W WARUNKACH ŻEGLUGI ŚRÓDLĄDOWEJ

Artykuł przedstawia badania wstępne dotyczące wielowarstwowego materiału kompozytowego spełniającego postawione wymagania dotyczące budowy kadłubów wybranych jednostek pływających, przeznaczonych do żeglugi śródlądowej. Dokonano analizy i opisano warunki eksploatacyjne jednostek pływających śródlądowych, ze szczególnym naciskiem na bezpieczeństwo i koszty obsługi eksploatacyjnej jednostek. Zaproponowano sposób zwiększenia bezpieczeństwa użytkowania jednostki przez wprowadzenie wielowarstwowego materiału ograniczającego możliwość rozszczelnienia kadłuba w przypadku uderzenia o obiekty znajdujące się pod wodą. W celu badań porównawczych określono warunki przyjętej technologicznej próby zginania oraz wymagania dotyczące wielowarstwowości płyt próbnych. Wytworzono trój- i czterowarstwowe płyty próbne o grubości 14-30 mm, wykorzystując: kompozyty zawieszinowe na bazie żywicy epoksydowej zbrojone cząstkami ceramicznymi, kompozyty na bazie żywicy poliestrowej zbrojone uporządkowanym włóknem szklanym oraz piany metalowe na bazie aluminium oraz kompozytu aluminiowo-ceramicznego. Przedstawiono wyniki wstępnych badań dotyczących odporności płyt próbnych na zginanie w warunkach przyjętej próby technologicznej, a także odporności na ścieranie. Odniesiono się do możliwości wytwarzania tak skomponowanych materiałów warstwowych w warunkach znanej, szeroko stosowanej technologii formowania elementów kształtowych z kompozytów polimerowo-szklanych w formach negatywowych. Doprecyzowano typ śródlądowych obiektów pływających, wykazując zalety i celowość stosowania tych materiałów.

Słowa kluczowe: żegluga śródlądowa, kadłub, materiały wielofunkcyjne, materiały wielowarstwowe, kompozyt polimerowo-szklany, piana aluminiowa

¹ Autor do korespondencji/corresponding author: Janusz Grabian, Akademia Morska, 70-500 Szczecin, Wały Chrobrego 1-2, tel.: 91 4809930, e-mail: j.grabian@am.szczecin.pl
² Wojciech Ślączka, Akademia Morska, Szczecin, e-mail: w.slaczka@am.szczecin.pl
³ Wojciech Przetakiewicz, Akademia Morska, Szczecin, e-mail: w.przetakiewicz@am.szczecin.pl

1. Wprowadzenie

Obok klasycznych materiałów konstrukcyjnych stosowanych w budowie śródlądowych jednostek pływających, pierwotnie drewna, a następnie stali konstrukcyjnych niskowęglowych, w XX w. pojawiły się jednostki budowane z użyciem stopów aluminium oraz kompozytów poliestrowo-szklanych. Obecnie w zależności od przeznaczenia jednostki, tzn. transport towarowy lub pasażerski (jednostki turystyczne, sportowe, inspekcyjne, rybackie, badawcze itp.), można zauważyć w tych ostatnich tendencję do szerszego wprowadzania materiałów spoza grupy stopów żelaza. Również materiały bardziej zaawansowane, takie jak materiały komórkowe, materiały kompozytowe, także hybrydowe, materiały warstwowe mogą być, w pewnych uzasadnionych warunkach, zastosowane w budowie wybranych śródlądowych jednostek pływających. Jednostki budowane z kompozytów o osnowie polimerowej i zbrojeniu z włókien szklanych mogą osiągać długość przekraczającą 100 m. Materiały te wykazują się takimi zaletami, jak: łatwość formowania złożonych kształtów, nadawanie trwałego koloru wyrobom, niemagnetyczność, stosunkowo duża trwałość eksploatacyjna, mały zakres czynności konserwacyjnych. W porównaniu z jednostkami budowanymi ze stali kompozyty polimerowo-szklane pozwalają budować jednostki o mniejszej masie i złożonych kształtach. Cechą charakterystyczną i różnicującą te materiały jest reakcja na obciążenia, np. zginające. W przypadku konstrukcyjnej stali niskowęglowej w szerokim zakresie występują odkształcenia plastyczne, a w przypadku kompozytów polimerowo-szklanych – odkształcenia właściwe dla materiałów sprężystych. Jednostki śródlądowe pływające na ograniczonych akwenach, o małej głębokości, często przy dużej intensywności ruchu, są narażane na uszkodzenia kadłuba. W przypadku kolizji może dojść do przekroczenia wartości granicznych naprężeń (dopuszczalnych), czego efektem jest pęknięcie i rozszczelnienie kadłuba – co pokazano na rys. 1. [1].



Rys. 1. Przykładowe uszkodzenie kadłuba łodzi turystycznej wykonanej z kompozytu poliestrowo-szklanego [1]

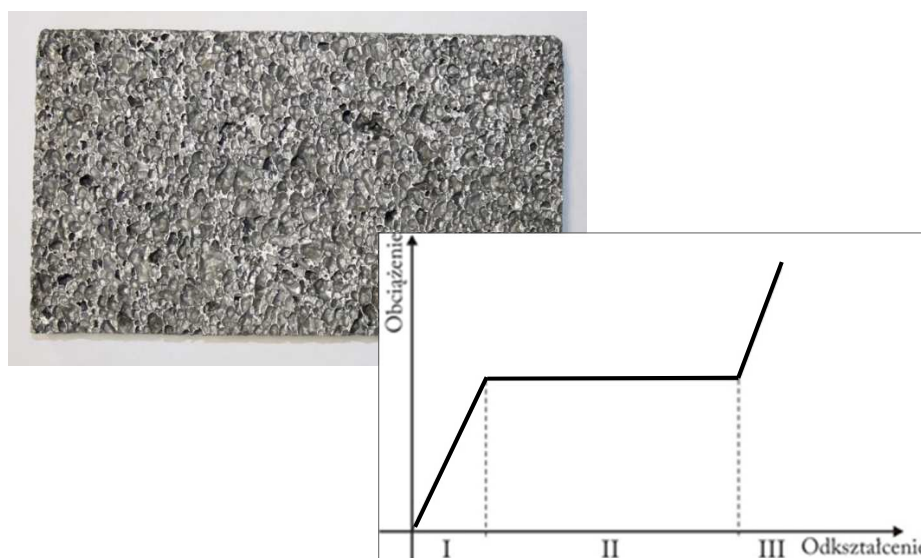
Fig. 1. Example of damage to the hull of a leisure boat made of polyester-glass composite [1]

Podjęmowane są liczne próby wprowadzania nowych materiałów konstrukcyjnych, ograniczających wady materiałów dotychczas stosowanych. Pozwalałyby one na efektywniejsze spełnianie potrzeb i warunków eksploatacji występujących w żegludze śródlądowej. Przykładowo, zastosowanie lekkich, wytrzymałych materiałów, przez zmniejszenie masy jednostki pływającej, pozwoliłoby na zredukowanie głębokości zanurzenia. Przeprowadzono próby zastosowania na kadłuby śródlądowych jednostek pływających, nowych w budowie jednostek pływających, warstwowych materiałów z wykorzystaniem przekładki z piany poliuretanowej wprowadzanej pomiędzy „okładki” z cienkiej blachy stalowej lub polimerów, a także warstwowych materiałów o konstrukcji „sandwich” [2-4]. Przy wyborze materiałów ważne są również takie aspekty, jak bezpieczeństwo żeglugi śródlądowej i zmniejszenie wrażliwości konstrukcji jednostki pływającej na uszkodzenia w wyniku kolizji, ograniczenie czynności konserwacyjnych, czy przykładowo ograniczenie zjawiska osmozy powodującego degradację materiału, jakim jest kompozyt poliestrowo-szkłany.

2. Materiał badawczy

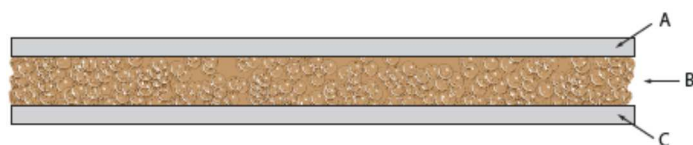
Uzasadniona jest koncepcja wprowadzenia przekładki o szczególnych właściwościach pomiędzy dwie warstwy kompozytu polimerowo-szkłanego, mającej pracować w warunkach naprężeń ściskających jako efekt nacisku lokalnego, wynikającego także ze stanu zginania, co może mieć miejsce w warunkach eksploatacji jednostki pływającej i ewentualnych kolizji. Innowacyjnym materiałem mogącym znaleźć zastosowanie jest w tym przypadku piana aluminiowa o ciężarze właściwym 0,3-0,5 g/cm³, wytwarzana z aluminium spienianego przy użyciu czynnika pianotwórczego [5-8]. Pianę można wytwarzać również z kompozytu aluminiowo-ceramicznego przez wdmuchiwanie gazu do ciekłego metalu, a jej budową wewnętrzną w pewnym zakresie można sterować [9]. Piany takie, zarówno aluminiowe, jak i kompozytowe, charakteryzują się specyficzną odpornością na ściskanie, co pokazano na rys. 2.

Piana poddana obciążeniom ściskającym zachowuje się w pierwszej fazie jak materiał sprężysty, a następnie przechodzi w drugą fazę wyboczeń, odkształceń plastycznych oraz pęknięcia cienkich ścianek por gazowych wypełniających gabaryt. Faza ta jest związana z absorpcją energii przez deformowaną pianę i determinowana jej budową strukturalną, określoną udziałami i wielkością por gazowych. Do budowy kadłuba może być zastosowany, jako zamiennik monolitycznego kompozytu polimerowo-szkłanego, wielowarstwowy materiał składający się z: warstwy kompozytu polimerowo-szkłanego, warstwy piany aluminiowej i warstwy kompozytu polimerowo-szkłanego, co przedstawiono na rys. 3. Materiał trójwarstwowy może być uzupełniony o kolejną warstwę zewnętrzną, będącą w kontakcie z wodą, pełniącą rolę bariery przeciwośmoticznej oraz odporną na ścieranie. Układ taki tworzy czterowarstwowy materiał wielofunkcyjny, co przedstawia rys. 4.



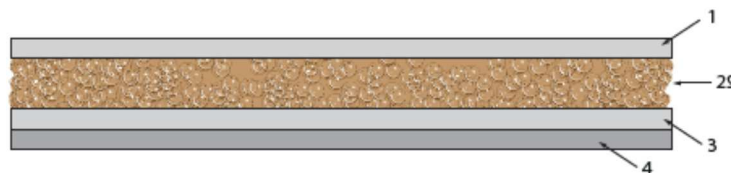
Rys. 2. Piana aluminiowa jako materiał na przekładkę i jej charakterystyka wytrzymałościowa

Fig. 2. Aluminium foam and its longitudinal compression strength



Rys. 3. Proponowany materiał trójwarstwowy przeznaczony do badań wstępnych; A – kompozyt poliestrowo-szkłany, B – piana aluminiowa, C – kompozyt epoksydowo-szkłany

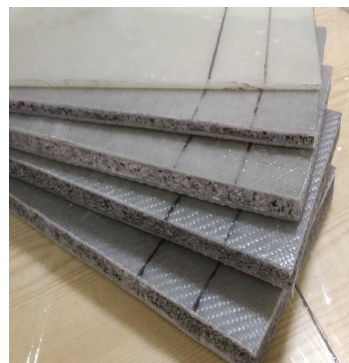
Fig. 3. The proposed system of layered material; A – fiberglass and polyester resin composite, B – aluminium foam, C – fiberglass and epoxy resin composite



Rys. 4. Proponowany materiał warstwowy wielofunkcyjny; 1 – kompozyt poliestrowo-szkłany, 2 – piana aluminiowa, 3 – kompozyt poliestrowo-szkłany, 4 – warstwa odporna na ścieranie i zjawiska osmotyczne

Fig. 4. The proposed system of multifunctional layered material; 1 – fiberglass and polyester resin composite, 2 – aluminium foam, 3 – fiberglass and epoxy resin composite, 4 – a layer resistant to abrasion and the phenomenon of osmosis

Wstępna ocena przydatności proponowanego materiału może być oparta na technologicznej próbie zginania trójpunktowego [10]. W celach badawczych związanych z technologiczną próbą trójpunktowego zginania przygotowano płyty próbne o wymiarach 430×200 mm, co przedstawiono na rys. 5. Wykonano płytę z kompozytu polimerowo-szklanego z użyciem żywicy epoksydowej Epidian 53 oraz dwunastu warstw tkaniny z włókna szklanego o gramaturze 350 g/m^2 . Płyty wielowarstwowe wykonano z użyciem warstw piany aluminiowej o grubości 10, 15, 20, 25 i 30 mm, ułożonych pomiędzy dwoma warstwami kompozytu z żywicy Epidian 53 z sześcioma warstwami tkaniny szklanej. Po upływie 48 godzin z płyt próbnych wycięto próbki o wymiarach 200×60 mm oraz 320×60 mm. Do utwardzenia żywicy użyto utwardzacza Z-1.



Rys. 5. Płyty próbne o wymiarach 430×200 mm

Fig. 5. Test plate with dimensions 430×200 mm



Rys. 6. Próbki walcowe do technologicznej próby ścierania

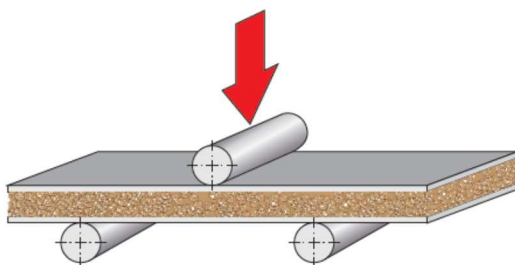
Fig. 6. Cylindrical samples for technological abrasive tests

W celu określenia możliwości zastosowania warstwy nr 4 z rys. 4., a jednocześnie spełniania przez nią funkcji bariery przeciwko zjawisku osmozy, na warstwę odporną na ścieranie wybrano materiały kompozytowe na bazie żywicy epoksydowej z udziałem włókna szklanego oraz ceramiki w postaci cząstek węgla krzemowego. Aby przeprowadzić technologiczną próbę odporności na ścieranie, wykonano walcowe próbki o średnicy 29 mm i wysokości 30 mm, co przedstawiono na rys. 6. Próbki wykonano z żywicy Epidian 53, kompozytu Epidian 53 z tkaniną z włókna szklanego, kompozytu Epidian 53 z cząstkami węgla krzemowego o rozmiarze $25 \mu\text{m}$ (udział objętościowy 50%), kompozytu Epidian 53 z cząstkami węgla krzemowego o rozmiarze 2,5 mm, kompozytu Epidian 53 z cząstkami węgla krzemowego o rozmiarach $25 \mu\text{m}$ oraz 2,5 mm w proporcji 50/50.

3. Cel i warunki przeprowadzenia badań

Celem prowadzonych badań wstępnych było określenie ewentualnej przydatności wielowarstwowego materiału przedstawionego w pkt 2. do budowy kadłubów jednostek śródlądowych jako zamiennika szeroko stosowanego kompozytu polimerowo-szklanego. Jako podstawowe kryterium przyjęto zadowalające wyniki technologicznej próby zginania trójpunktowego, opartej na standardowych, ujętych normami próbach zginania metali, polimerów, sklejk itp., które określają wymiary próbek oraz geometrię układu podpór i elementu obciążającego. Jako drugie kryterium przyjęto dostateczną odporność na ścieranie [11] warstwy zewnętrznej kompozycji wielowarstwowej. Przeprowadzone zostały badania:

- **Wytrzymałości na zginanie.** Do określenia zachowania się materiału warstwowego pod obciążeniem skutkującym deformacją i jego zniszczeniem przyjęto schemat obciążenia przedstawiony na rys. 7. i realizowany z użyciem maszyny wytrzymałościowej za pomocą przyrządu znajdującego się na jej wyposażeniu.



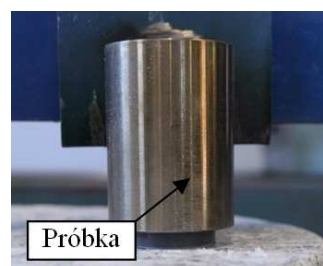
Rys. 7. Schemat stanowiska do przyjętej technologicznej próby zginania trójpunktowego

Fig. 7. Scheme of a stand for technological three-point bending tests

- **Odporności na ścieranie** – technologiczna próba odporności na ścieranie jest symulacją tarcia zewnętrznej powierzchni kadłuba o trwałe, stabilne, kamienne lub betonowe przeszkody nawodne lub podwodne. Wykonane stanowisko tribologiczne typu trzpień–tarcza pozwala na realizację badania przez symulację ruchu posuwistego walcowej próbki badanego materiału względem przeciwpróbki w postaci granitowego lub betonowego krążka o średnicy 300 mm, obracającego się ze stałą prędkością. Próbka w postaci walca o średnicy 29 mm i wysokości do 30 mm jest dociskana do powierzchni obracającej się przeciwpróbki z siłą, której wartość jest regulowana stosownym obciążeniem uchwytu próbki (rys. 8.). Urządzenie pozwala na przeprowadzenie próby na sucho oraz na mokro. Odporność na zużycie ścierne w warunkach realizowanej próby technologicznej, przy nacisku 150 kN i prędkości liniowej 22 km/godz. wyrażono przez ubytek masy w czasie.

Rys. 8. Stanowisko do technologicznej próby odporności na ścieranie

Fig. 8. The abrasion resistance test bed stand



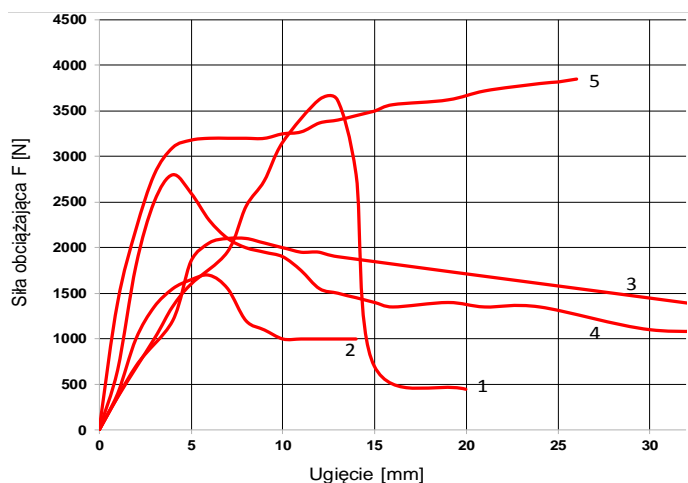
4. Wyniki badań

Przeprowadzono technologiczną próbę trójpunktowego zginania z użyciem maszyny wytrzymałościowej z właściwym oprzyrządowaniem, badając próbki wycięte z płyt próbnych wykonanych z: monolitycznego kompozytu włókno szklane – żywica epoksydowa jako poziomu odniesienia do klasycznego materiału oraz nowych materiałów wielowarstwowych z użyciem kompozytu włókno szklane – żywica epoksydowa oraz piany aluminiowej. Na rysunku 9. przedstawiono wygląd próbek po przeprowadzonej próbie zginania. Zaobserwować można zróżnicowane mechanizmy destrukcji materiałów wielowarstwowych, takie jak odspojenie warstwy zewnętrznej, pęknięcie przebiegające w osi symetrii, a także zgniecenie pianowej przekładki w obszarze działania siły odkształcającej. Wyniki próby technologicznej przeprowadzonej dla próbek o wymiarach 200×60 mm, ułożonych na rolkach podporowych w odległości 150 mm (dla wszystkich próbek), przedstawiono na rys. 10. Krzywe obrazujące intensywność zużycia wybranych materiałów kompozytowych przez ścieranie w kontakcie z granitową przeciwpóbką przedstawiono na rys. 11.

Rys. 9. Widok zniszczonych próbek

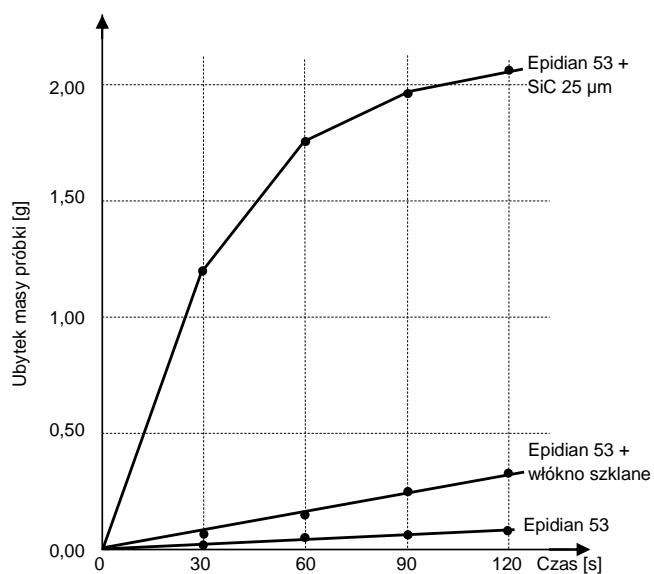
Fig. 9. A view of damaged specimens





Rys. 10. Zestawienie krzywych zginania trójpunktowego próbek wyciętych z różnych płyt próbných; 1 – monolityczny kompozyt Epidian 53 + włókno szklane, 2 – materiał wielowarstwowy z pianą aluminiową 10 mm, 3 – 15 mm, 4 – 20 mm, 5 – 25 mm

Fig. 10. The curve of three-point bending of a specimen cut out of the test plate; 1 – monolithic composite Epidian 53 + glass fiber, 2 – multilayer material with aluminum foam 10 mm, 3 – 15 mm, 4 – 20 mm, 5 – 25 mm



Rys. 11. Wyniki badania odporności na ścieranie

Fig. 11. The results of abrasive resistance tests

Technologiczną próbę ścierania przeprowadzono, obciążając próbki siłą 15 kG i dokonując pomiaru ubytku masy co 30 s.

5. Wnioski

Przeprowadzone próby technologiczne zginania mają jedynie charakter orientacyjny, ponieważ próbki o przyjętym arbitralnie wymiarze są niejako „wycięte” z całości konstrukcji i ich krawędzie podczas obciążania są swobodne. Ponadto wraz ze zmianą grubości próbek nie zmieniano rozstawu podpór, utrzymując go w wymiarze 150 mm. Tym niemniej, zaprezentowane w pkt 4. wyniki badań wstępnych pozwalają na stwierdzenie, że możliwe i celowe jest utworzenie złożonego, wielowarstwowego materiału z kompozytów zarówno poliestrowych, jak i spienionego aluminium jako warstwy wewnętrznej o zaproponowanej charakterystyce reakcji na obciążenia zginające. Wykazała to próbka nr 5 wykonana z wielowarstwowego materiału o grubości piany równej 25 mm. Materiał taki, w początkowej fazie obciążenia, zachowuje się jak materiał sprężysty. Po przekroczeniu określonej granicy sprężystości wchodzi on w zakres odkształceń plastycznych, które są finalizowane zgnieceniem wewnętrznej przekładki z piany aluminiowej. Analizując kształt krzywych przedstawionych na rys. 11., można zaobserwować, jak ich przebieg zbliża się, wraz ze wzrostem grubości piany aluminiowej, od charakterystycznego dla monolitycznego kompozytu polimerowo-szklanego do przebiegu właściwego dla piany aluminiowej przedstawionego na rys. 2. Najlepszą odporność na ścieranie wykazuje, dla przyjętych warunków próby technologicznej, próbka utworzona z Epidianu 53. Warstwa odporna na ścieranie powinna być ułożona na zewnątrz panelu, w części dennej kadłuba i w zależności od potrzeb na burtach lub w obszarze przejścia burty w pokład.

Należy podkreślić, że technologia kadłuba z proponowanych wielowarstwowych materiałów może wykorzystywać formy negatywowe zewnętrzne znane z dobrze opanowanej technologii wyrobów kształtowych z kompozytu poliestrowo-szklanego.

Korzystny jest, z przyczyn technologicznych, kształt kadłuba o powierzchniach rozwijalnych, co w płaskodennych rzecznych jednostkach pływających na płytkich akwenach z prędkościami rzędu kilkunastu kilometrów na godzinę jest często stosowane. W przypadku powierzchni nierozwijalnych właściwe będzie zastosowanie przekładkowych elementów z piany aluminiowej o kształcie na przykład trójkąta o wymiarach dostosowanych do lokalnej krzywizny kadłuba.

Zestawienie wyników wstępnych badań porównawczych pozwala umiejscowić proponowany kompozytowy materiał warstwowy w korzystnej relacji wobec tradycyjnych materiałów stosowanych w budowie śródładowych jednostek pływających. Wskazane jest dopracowanie warunków prób technologicznych oraz przeprowadzenie dalszych badań, mających na celu utworzenie charakterystyk właściwości użytkowych warstwowych materiałów wykorzystujących obok pian

aluminiowych także kompozytowe piany aluminiowe, przeprowadzenie optymalizacji ich budowy, m.in. pod kątem zmniejszenia ciężaru, oraz opracowanie metodyki badań symulacyjnych konstrukcji przestrzennych (kadłubów) z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Działania takie byłyby, w przypadku pozytywnych wyników badań, podstawą do uruchomienia procedur certyfikujących oraz wdrożeniowych.

6. Ocena możliwości zastosowania warstwowych materiałów kompozytowych w budowie wybranych jednostek pływających śródlądowych

Analiza wyników przeprowadzonych badań wstępnych wybranych właściwości proponowanych materiałów warstwowych oraz warunków eksploatacji w żegludze śródlądowej pozwala wysnuć wniosek, że materiały te mogą być zastosowane zwłaszcza do budowy kadłubów jednostek:

- płytko zanurzonych, lekkich, operujących na wodach śródlądowych,
- intensywnie eksploatowanych na akwenach portowych, zalewowych i śródlądowych o dużym natężeniu ruchu,
- często narażanych podczas eksploatacji na uszkodzenia – uderzenia dziobem, burtami o inne jednostki oraz elementy infrastruktury portowej, przeprawowej i brzegowej, otarcia dnem o mielizny, przeszkody podwodne itp.,
- o kadłubach wytwarzanych z kompozytów poliestrowo-szklanych z użyciem form negatywowych jako elementu modyfikacji dotychczas stosowanej technologii.

Materiałami spełniającymi tak sformułowane warunki mogą być przedstawione w niniejszym opracowaniu złożone, przestrzenne struktury kompozytowe z udziałem spienionych metali, polimerów i ceramiki [7, 9, 12]. Jako obiekty pływające, do których budowy mogłyby znaleźć zastosowanie tak skomponowane materiały wielowarstwowe, można wytypować:

- **Barki i łodzie turystyczne, tramwaje wodne.** Coraz liczniej pojawiają się na polskich wodach śródlądowych jednostki do pływania turystycznego, takie jak barki. Należy zauważyć, że do użytkowania i sterowania nimi może być wymagane, zgodnie z aktualnie obowiązującymi przepisami, jedynie drogowe prawo jazdy kat. B, co potencjalnie zwiększa liczbę ich użytkowników. Armatorzy tych jednostek będą oczekiwać obiektów pływających trwałych, bezpiecznych, o niewielkim zanurzeniu, odpornych na zróżnicowane uszkodzenia mechaniczne i wymagających minimum konserwacji, zwłaszcza że mogą być one eksploatowane również przez osoby o niewielkich umiejętnościach i doświadczeniu.
- **Tankowce rzeczne.** Przeznaczone do transportu i dystrybucji paliw, najczęściej lekkich, a także niebezpiecznych chemikaliów. Specjalistyczne

jednostki o kadłubach wykonanych ze stali, w przypadku rozszczelnienia zbiorników powstałego w wyniku kolizji, stwarzają ryzyko zapalenia się paliwa wywołanego iskrzeniem. Celowe byłoby także rozważenie możliwości budowy nowych, specjalistycznych jednostek do transportu i dystrybucji skroplonego gazu LNG z wykorzystaniem proponowanych materiałów.

- **Jednostki rozwijające duże prędkości, np. poduszkowce, łodzie inspekcyjne.** Biorąc pod uwagę jednostki poruszające się z dużymi prędkościami, a tym samym mając do czynienia z innym wymiarem skutków kolizji, można rozważyć sensowność wprowadzenia, analogicznie do pojazdów lądowych, stref zgniotu pochłaniających energię uderzenia. Można je zbudować, stosując w określonych, wyznaczonych w wyniku symulacji metodą elementów skończonych, strefach kadłuba przekładkowej warstwy piany aluminiowej o stosownej grubości.

Literatura

- [1] <https://www.gettyimages.at>.
- [2] Ignalewski W.: Wpływ nowoczesnych technologii na rozwój statków śródlądowych w Europie, Wrocław 2017.
- [3] Gawdzińska K., Chybowski L., Bejger A., Krile S.: Determination of technological parameters of saturated composites based on sic by means of a model liquid, *Metallurgija*, 55 (2016) 659-662.
- [4] INCONATRANS. Projekt NCBiR E! 3065. Nowa generacja przyjaznych środowiskowo statków śródlądowych i przybrzeżnych dla polskiego systemu dróg wodnych relacji wschód–zachód.
- [5] Ashby F., Evans A., Flech A.: *Metal Foams a Design Guide*, Butterworth–Heinemann, Woburn 2000.
- [6] Fiebig C., Steffen M.E., Caba S., Koch M.: Hybrid Composites of Plastic and Aluminium Foam, *Euro Hybrid Materials and Structures* 2016, pp. 170-176.
- [7] Gawdzińska K., Chybowski L., Przetakiewicz W.: Study of thermal properties of cast metal-ceramic composite foams, *Arch. Foundry Eng.*, 17 (2017) 47-50.
- [8] Gawdzińska K., Gucma M.: Two-criteria analysis of casting technologies of metal and composite foams, *Arch. Metall. Mater.*, 60 (2015) 305-308.
- [9] Grabian J.: *Kompozytowe piany metalowe w przemyśle okrętowym*, Wydawnictwo FOTOBIT, Kraków 2012.
- [10] PN-EN ISO 7438:2006. Metale – Próba zginania. Statyczna próba zginania technologicznego.
- [11] Gawdzińska K., Bryll K., Nagolska D.: Influence of heat treatment on abrasive wear resistance of silumin matrix composite castings, *Arch. Metall. Mater.*, 61 (2016) 177-182.
- [12] Grabian J., Ślącza W., Pawłowska P., Kostrzewa W.: The role of innovative composite materials in the safe and efficient operation of floating marine structures, *Sci. J. Maritime University Szczecin*, 52 (2017) 23-29.

MULTIFUNCTIONAL LAMINATED COMPOSITE MATERIALS OF HULLS OF SELECTED VESSELS OPERATED IN INLAND SHIPPING CONDITIONS

Summary

The article presents the preliminary tests of a multi layer composite material that meets design requirements for hulls of some vessels intended for inland navigation. In the analysis and description of operating conditions of inland vessels a particular focus was put on the safety and operational costs of the vessels. The solution proposed to increase operational safety consists in introducing a multi layer material that limits the loss of hull integrity in the case a vessel hits an underwater object. For comparative studies, the conditions of the adopted technological bending test were defined along with requirements for multi layer test plates. Plates produced for the tests were three- and four-layered 14-30 mm thick plates made of three materials: epoxy resin-based suspension composites reinforced with ceramic particles, polyester resin-based composites reinforced with ordered fiberglass and metal foams based on aluminium and aluminium-ceramic epoxy. The preliminary research results include the resistance of test plates to bending in the adopted technological test conditions and abrasive resistance. Particular reference was made to the manufacturing of so composed layered materials applying a known and widely used process of forming profiled elements of polymer-glass composites in negative moulds. The type of inland vessel was more precisely indicated, along with advantages and purpose of using the materials under consideration.

Keywords: inland shipping, hull, multifunctional materials, multilayer materials, composite polymer-glass, aluminum foam

DOI: 10.7862/rm.2018.25

Przesłano do redakcji: 24.04.2018

Przyjęto do druku: 26.06.2018