

Andrzej GRZĄDZIELA

Wydział Mechaniczno – Elektryczny, Akademia Marynarki Wojennej w Gdyni

e-mail: a.grzadziela@amw.gdynia.pl

# Analiza możliwości wykorzystania materiałów polimerowych w budowie okrętów wojennych w aspekcie przepisów towarzystw klasyfikacyjnych

**Streszczenie:** Zastosowanie materiałów polimerowych w konstrukcjach okrętów wojennych rozpoczęło się w latach 70-tych XX wieku. Zasadniczo materiały polimerowe zostały wdrożone w konstrukcjach kadłubów, struktur wewnętrznych oraz w fundamentach maszyn okrętowych. Podstawowym ograniczeniem w zastosowaniu materiałów polimerowych były cechy, które eliminowały je z uwagi na restrykcyjne przepisy towarzystw klasyfikacyjnych i norm obronnych. Referat przedstawia zakres przepisów, które eliminują lub ograniczają zastosowanie polimerów w konstrukcjach okrętów wojennych. Dodatkowo w referacie przedstawiono dyskusję nad potrzebą zmian przepisów, które nie spełniają już kryterium aktualności.

**Słowa kluczowe:** polimery w budowie statków, kompozyty polimerowe, laminaty

## ANALYSIS OF THE USE OF POLYMER MATERIALS FOR NAVAL SHIPBUILDING IN TERMS OF RULES OF CLASSIFICATION SOCIETIES

**Summary:** Applications of laminate materials in the construction of warships began generally in the 70s of the twentieth century. Generally, polymeric materials have been implemented in the construction of hulls, internal structures and foundations of ship engines. The primary limitation to the use of polymeric materials have features that eliminated them because of restrictive rules of classification societies and standardization. The paper presents the scope of the rules of classification societies, that eliminates the use of polymers in the construction of warships. In addition, the paper presents a discussion on the need for amendments to the rules, which do not meet the updates.

**Keywords:** polymers in shipbuilding, polymer composites, laminates

## 1. WSTĘP

Zastosowanie materiałów polimerowych w konstrukcjach okrętowych odniosło spektakularny sukces w przypadku budowy jachtów śródlądowych i pęnomorskich. Od połowy lat 60-tych XX wieku większość konstrukcji kadłubowych jest realizowanych w technologii laminatów [1,3]. Dotychczasowe konstrukcje drewniane zostały uznane jako tak zwane rozwiązania klasyczne a z uwagi na koszty produkcji, dedykowane dla bardzo zamożnych klientów. Alternatywą dla konstrukcji laminatowych były i są stopy aluminium jednakże

materiały te z uwagi na konieczność stosowania aktywnej ochrony katodowej zarówno w morzu jak i w portach obecnie nie są zbyt popularne.

Głównymi czynnikami przemawiającymi za zastosowaniem materiałów laminatowych na konstrukcje okrętów wojennych są amagnetyczność, akceptowalna gęstość materiału, łatwość wykonania konstrukcji seryjnych oraz stosunkowo atrakcyjne walory ekonomiczne. W ostatnich latach prowadzone badania nad materiałami typu sandwich umożliwiły przygotowanie elementów konstrukcyjnych z laminatów odpornych na ostrzał małokalibrowy oraz na obciążenia wynikające z bliskich detonacji [6,11,12]. Czynniki te

stały się znaczącym atutem w budowie małych jednostek patrolowych przeznaczonych głównie do walki z terroryzmem, przemytem oraz piractwem morskim [9, 13].

Pomimo rozwoju konstrukcji z materiałów polimerowych ich zastosowanie miało i ma nadal ograniczony zakres stosowalności w budowie okrętów wojennych. Przedstawione w pracy przepisy towarzystw klasyfikacyjnych i normy obronne są decydującymi czynnikami ograniczającymi możliwości szerszego zastosowania materiałów laminatowych w konstrukcjach okrętowych. Znaczna część wymagań i restrykcji formalnych ma swoje uzasadnienie w praktyce stoczniowej lub doświadczeniach z pola walki natomiast część z nich jest efektem bezwładności w edycji przepisów i dostosowania przemysłu stoczniowego do nowoczesnych rozwiązań z zakresu inżynierii materiałowej.

## 2. PRZEPISY TOWARZYSTW KLASYFIKACYJNYCH I NORMY OBRONNE

Budownictwo okrętowe od ponad 200 lat wykorzystuje doświadczenia produkcyjne wy-

nikające przepisów dotyczących konstrukcji jednostek pływających. Doświadczenia te są przedmiotem przepisów i norm, których celem nadrzędnym jest bezpieczeństwo na morzu. Najbardziej istotną rolę w projektowaniu oraz w procesie wykonawczym mają specjalistyczne organizacje potocznie zwane towarzystwami klasyfikacyjnymi. Są to jednostki rzeczoznawcze, państwowe lub prywatne, zajmujące się klasyfikacją jednostek pływających oraz nadzorem w procesie produkcji, remontu i modernizacji. Towarzystwa klasyfikacyjne posiadają swoje przedstawicielstwa w najważniejszych portach świata, zatrudniając wysoko wykwalifikowaną kadrę inspektorów oraz rzeczoznawców. Często jako jednostki nadzorujące realizują również inne czynności audytorskie związane z normalizacją i standaryzacją, także w stosunku do okrętów wojennych. Towarzystwa są zorganizowane w International Association of Classification Societies – Międzynarodowym Stowarzyszeniu Towarzystw Klasyfikacyjnych, co czyni ich działalność rozpoznawalną i projakościową. Wykaz najważniejszych towarzystw klasyfikacyjnych zawiera tabela 1.

**Tabela 1. Wykaz najważniejszych światowych towarzystw klasyfikacyjnych**  
**Table 1. The list of the world's major classification societies.**

Nazwa	Skrót	Rok założenia	Siedziba centrali	IACS	EMSA
Lloyd's Register of Shipping	LR	1760	Londyn	x	x
Bureau Veritas	BV	1828	Paryż	x	x
Registro Italiano Navale	RINA	1861	Genua	x	x
American Bureau of Shipping	ABS	1862	Houston	x	x
Det Norske Veritas	DNV	1864	Oslo	x	x
Germanischer Lloyd	GL	1867	Hamburg	x	x
Nippon Kaiji Kyokai	NKK	1899	Tokio	x	x
Российский морской регистр судоходства	RS	1913	Petersburg	x	x
Hellenic Register of Shipping	HR	1919	Pireus	x	x
Polski Rejestr Statków	PRS	1936	Gdańsk	x	x
China Classification Society	CCS	1956	Pekin	x	x
Korean Register of Shipping	KR	1960	Taejŏn	x	x
Registro Internacional Naval	RINAVE	1973	Paryż	-	x
Indian Register of Shipping	IRS	1975	Bombaj	x	-

W zakresie czynności klasyfikacyjnych nadzór nad nowo budowanym statkiem lub okrętem jest sprawowany dwuetapowo poprzez zatwierdzenie dokumentacji oraz przegląd zasadniczy [16]. Dodatkowo jednostki pływające są poddawane przeglądom konwencyjnym oraz klasyfikacyjnym w postaci:

- przeglądów rocznych,
- przeglądów pośrednich (drugi lub trzeci przegląd roczny od odnowienia klasy),
- przeglądów dla odnowienia klasy (piaty przegląd roczny).

W zakresie konstrukcji okrętów wojennych oprócz przepisów towarzystw klasyfikacyjnych istnieją tzw. normy obronne. W Polsce dokumenty te są przygotowywane i rozpowszechniane przez Wojskowe Centrum Normalizacji, Jakości i Kodyfikacji. W odniesieniu do produkcji okrętów wojennych katalog norm obronnych obejmuje szereg zagadnień konstrukcyjnych i wyposażeniowych. Należy jednak nadmienić, że produkcję okrętów wojennych można realizować o wybrane polskie normy obronne jak i normy obronne państw obcych. Sytuacja taka ma najczęściej miejsce w przypadku gdy okręt lub część jego wyposażenia jest przedmiotem zakupionej obcej licencji.

Wsparcie w zakresie przepisów normalizacyjnych można uzyskać z EDSIS (European Defence Standardization Information System),

czyli Europejskiego Systemu Informacji Normalizacji Obronnej. Jest to internetowy, jawny wykaz prac normalizacyjnych ministerstw obrony państw członkowskich Unii Europejskiej obsługiwany od strony technicznej przez pracowników Europejskiej Agencji Obrony EDA. Kolejnym źródłem wiedzy w zakresie konstrukcji okrętów wojennych jest EDSTAR (European Defence Standardization Reference System) stanowiący rozwinięcie Europejskiego Podręcznika Zaopatrywania Obronnego (EHDP). EDSTAR jest bazą danych norm „*the best practice*”, zawierającą jawne dokumenty normalizacyjne wyselekcjonowane w określonych obszarach tematycznych. Istotnym elementem standaryzacji są również katalogi norm US Navy określane jako „MIL-STD”, „MIL-SPEC” oraz „MilSpecs”. Dokumenty te zawierają rekomendacje i wymagania zatwierdzone przez amerykański departament obrony w odniesieniu do większości morskich aspektów technicznych i taktycznych.

### 3. ZAKRES STOSOWALNOŚCI LAMINATÓW W KONSTRUKCJACH OKRĘTÓW WOJENNYCH

Wykorzystanie materiałów polimerowych w konstrukcjach morskich jest obecnie powszechną praktyką produkcyjną. Podstawowe zastosowanie laminatów w okrętownictwie



Rys. 1. Kadłub szwedzkiej korwety Smyge wykonanej w technologii laminatowej

Fig. 1. The hull of the Swedish corvette Smyge made in laminate technology

dostrzegamy w konstrukcjach kadłubów – rysunek 1 [3,4]. Czynniki, które zdecydowały o zastosowaniu laminatowych kadłubów dla okrętów wojennych są:

- redukcja pola magnetycznego,
- łatwość i taniota produkcji,
- podatność na bieżące naprawy,
- odporność na detonacje podwodne,
- łatwość kształtowania powierzchni zgodnie z technologią Stealth.

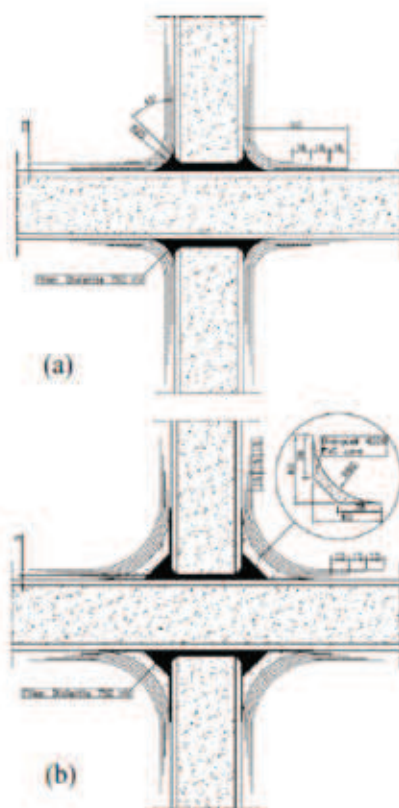
Ze względu na wytrzymałość wzdłużną kadłuby laminatowe są zwykle wykonywane w technologii sandwich X, która umożliwia łatwe dołączanie elementów nadbudówki lub grodzi wykonanych w technologii laminatowej – rysunek 2 [5]. Podstawowym problemem jest właściwe obliczenie sztywności rdzenia konstrukcyjnego, którego zadaniem prze przenoszenie sił i momentów oraz obciążeń zmęczeniowych.

Konstrukcje elementów wyposażenia kadłubowego zaczynają również w coraz większym

zakresie wykorzystywać materiały polimerowe [10,14]. Podstawowym elementem laminatowym są maszty, które w nowoczesnych okrętach spełniają szereg zadań WRE (Walki Radio – Elektronicznej) będąc jednocześnie elementem o niskiej emisji odbicia fal radiolokacyjnych – rysunek 3.

Kolejny zakres zastosowań laminatów to okrętowy układ napędowy, a w szczególności łożyska ślizgowe i elementy uszczelnień linii wałów – rysunek 4. Wykonane z polimerów pierścienie uszczelniające przy wytworzonym nadciśnieniu powietrznym zapewniają wysoki komfort akustyczny oraz pełne uszczelnienie układu transmisji mocy [8,15].

Dodatkowo, materiały polimerowe znajdują coraz szersze zastosowanie w elementach wyposażenia kabin i pomieszczeń specjalnych, sanitarnych oraz magazynowych. Zakres ich stosowalności jest jednak obecnie ograniczony restrykcyjnymi przepisami towarzystw klasyfikacyjnych oraz wymaganiami norm obronnych.

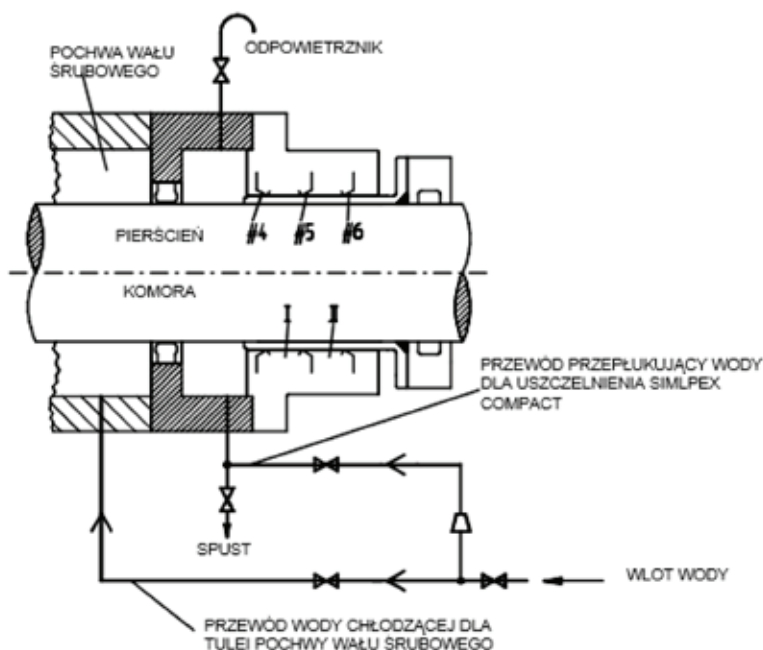


Rys. 2. Dwa typowe rozwiązania połączeń typu X dla kadłubów laminatowych [5]

Fig. 2. Two typical solutions connections X for hull laminate [5]



Rys. 3. Typowy maszt wykonany w technologii laminatowej  
 Fig. 3. Typical mast made with laminate



Rys. 4. Układ uszczelnień linii wałów z widocznymi pierścieniami polimerowymi 4,5 i 6  
 Fig. 4. The system seals shaft lines with visible rings polymer 4,5 i 6

#### 4. OGRANICZENIA W ZASTOSOWANIU MATERIAŁÓW POLIMEROWYCH NA OKRĘTY W ŚWIETLE PRZEPISÓW I NORM OBRONNYCH

Przepisy towarzystw klasyfikacyjnych obejmują bardzo szerokie spektrum zagadnień tech-

nicznych dotyczących projektowania, produkcji, remontów i modernizacji techniki morskiej. W stosunku do okrętów wojennych przepisy są przygotowywane indywidualnie, jednakże należy nadmienić, że większość czerpie wiedzę z opracowań zleconych ASME przez amerykański Departament Obrony z lat 1958–62. Wyni-

kiem opracowania były przepisy budowy okrętów przygotowane przez amerykański ABS i normy US Navy. Kolejne przepisy stały się albo kalką przepisów ABS albo ich rozwinięciem wynikającym z zastosowania nowoczesnych technologii projektowych lub/i inżynierii materiałowej. Sytuacja podobna występuje w przepisach PRS, którego *Przepisy klasyfikacji i budowy okrętów wojennych (OW)* powstały w roku 2008 [16]. Struktura przepisów składa się 10 części, z których tylko cztery można wprost odnieść do zastosowania materiałów polimerowych w konstrukcjach okrętów wojennych.

Część II Przepisów klasyfikacji i budowy okrętów wojennych (OW) odnosi się do kadłubów okrętowych i stanowi kluczowe zagadnienie w zakresie stosowalności laminatów. Podstawowe algorytmy obliczeniowe kadłubów zostały przygotowane dla materiałów stalowych lub ze stopów aluminium. Zapis wskazujący na konieczność odrębnego rozpatrywania kadłubów np. laminatowych w żaden sposób nie precyzuje zagadnień wytrzymałościowych lub innych, mogących wpłynąć na decyzje o zastosowaniu laminatów w konstrukcjach kadłubowych. Dodatkowym problemem są bardzo ogólne wymagania w zakresie odporności na udary powietrzne, nawodne i podwodne, użycie broni masowego rażenia oraz drgania kadłuba. Przepisy co prawda wskazują na metodykę obliczeń obciążeń dynamicznych jednakże nie precyzują jaka odpowiedź kadłuba może być satysfakcjonująca. Jednym z najbardziej problematycznych wymagań jest konieczność braku emisji toksycznych gazów i wtórnego promieniowania w trakcie pożarów. Doświadczenia pożarowe z kadłubami laminatowymi wskazują na istotne zagrożenie toksykologiczne, co znacząco obniża walory bojowe okrętu wykonanego z laminatów. Innym, istotnym ograniczeniem jest konieczność przedstawienia wyników obliczeń zginających i ścinających kadłuba przy zastosowaniu liniowo – sprężystego modelu kadłuba. Proponowane algorytmy nie odpowiadają procedurom obliczeniowych kadłubów laminatowych, któ-

rych odporność na detonacje przy długości kadłuba do 60 metrów wykonują się zwykle przy założeniu, że kadłub jest belką sztywną.

Wyposażenie kadłubowe będące przedmiotem wymagań w Części III przepisów znacznie bardziej upraszcza decyzje o zastosowaniu materiałów polimerowych. Co prawda, przepisy stanowią, że obliczenia wytrzymałościowe powinny być przedstawione do PRS-u do zatwierdzenia jednakże wskazują one jednocześnie, że dobór materiałów oraz technologii wykonania może być oparty na wytycznych publikacji NATO ANEP 65 – Naval Ship Integrated Topside Design oraz ANEP 69 – Guidance for Naval Ship Designers on Analysis and Methods for the Hardening of Topside Antennas Against the Blast and Fragments.

Istotnym ograniczeniem dla zastosowania laminatów w konstrukcjach okrętów wojennych są wymagania przeciwpożarowe. Doświadczenia bojowe z konfliktu falklandzkiego oraz I i II wojny w Zatoce Perskiej jednoznacznie wskazują, że największe straty w załodze niesie efekt pożaru a nie zatonięcie. Emisja toksycznych gazów jako produktów spalania oraz zadymienie utrudniające walkę o żywotność okrętu a nawet ewakuację załogi na pokład otwarty wskazują na konieczność wprowadzenia radykalnych wymagań w stosunku do okrętów bojowych [7]. Takie czynniki znacząco ograniczyły zakres stosowalności laminatów na okręty bojowe promując ich zastosowanie na jednostki patrolowe lub straży granicznej. Obecnie jedynym odstępstwem od takiej polityki projektowej są konstrukcje szwedzkie i norweskie (Smyge, Oksoy, Alta Visby itp.), które stawiają na nowoczesne systemy przeciwpożarowe, których działanie ma zniwelować potencjalne zagrożenia pożarowe z użycia laminatów.

## 5. WNIOSKI

Zmiany w zakresie polityki zastosowania materiałów laminatowych w konstrukcjach okrętów wojennych są i będą efektem następujących czynników:

- doświadczeń wojennych na morskim teatrze

działań operacyjnych z użyciem artylerii oraz broni raketowej,

- zmian wynikających z doświadczeń w produkcji jachtów pełnomorskich,
- zmian w zakresie dokumentacji zamawianej głównie przez US Navy,
- lobbingu największych, morskich producentów światowych np. Hyundai, DCNS, Mitsubishi, GE, Rolls Royce, BEA, Thyssen - TNSV, MAN, Wartsila etc.

Analiza stanu faktycznego wskazują, że następujące czynniki determinują zakres stosowalności materiałów laminatowych:

- wdrażanie do konstrukcji okrętowych materiałów polimerowych jest ograniczone głównie bezwładnością w edycji przepisów towarzystw klasyfikacyjnych oraz norm obronnych,
- zmiany lub odstępstwa w zakresie przepisów wiążą się z podjęciem wysokiego ryzyka finansowego, na które stać niewiele flot wojennych i/lub stoczni produkcyjnych,
- decyzje o podjęciu ryzyka wdrożenia nowych materiałów spoza listy zalecanych w przepisach i normach, w przypadku Polski, wymagają obciążenia na stanowiskach zarządczych osób wysoce wykwalifikowanych, wybranych spoza klucza politycznego oraz ścisłej współpracy stoczni i/lub zakładów produkcyjnych z ośrodkami naukowo – badawczymi.

## BIBLIOGRAFIA

1. Abrate S., Impact on composite structures. Cambridge UK: Cambridge University Press; 1998.
2. Bhajantri V.S., Bajantri S. C., Shindolkar A. M., Amrapure S. S., Design and Analysis of Composite Drive Shaft, International Journal of Research in Engineering and Technology, Volume: 03 Special Issue: 03, May 2014, pp. 738–745 (ISSN: 2321–7308).
3. Grządziela A, Kadłuby laminatowe dla okrętów zwalczania min – problemy technologiczne, Przetwórstwo Tworzyw, nr.1/2014, str. 21–27, (ISSN 1429–0472).
4. Johnson K. L., Contact mechanics. Cambridge, UK: Cambridge University Press; 1985.
5. Hayman B., Berggreen Ch., Lundsgaard-Larsen Ch., Karlsen K., Jenstrup C. Design of X-joints in Sandwich Structures for Naval Vessels, 10th International Symposium on Practical Design of Ships and Other Floating Structures, Houston, Texas, United States of America, 2007.
6. Marshall I.H., Composite structures, Vol. 47, Dec. 1999, Elsevier (ISSN: 0263–8223).
7. Mouritz A.P., Mathys Z., Gibson A.G., Heat release of polymer composites in fire, Composites: Part A 37 (2006), pp. 1040–1054.
8. Orkot Marine Bearings, Engineering Manual v 4,0.
9. Richardson MOW, Wisheart MJ. Review of low-velocity impact properties of composite materials. Composites Part A 1996;27A: pp.1123–1131.
10. Sutherland L.S., Soares C.G., Impact behaviour typical marine composite laminates. Compos Part B, Composites Part B Engineering, April 2005, pp. 89–100.
11. Sutherland L.S., Soares C.G., The use of quasi-static testing to obtain the low velocity impact damage resistance of marine GRP laminates, Composites Part B Engineering April 2012, pp. 1459–1467.
12. Sutherland LS, Guedes Soares C. Effects of laminate thickness and reinforcement type on the impact behaviour of e-glass/polyester laminates. Compos Sci Technol 1999;59: pp. 2243–2260.
13. Sutherland LS, Guedes Soares C., Impact characterisation of low fibrevolume glass reinforced polyester circular laminated plates. Int J Impact Eng 2005; 31: pp.1–23.
14. Turton T.J., Dalziel-Job J, Livingstone F., Oil Platforms, Destroyers And Frigates - Case Studies Of Qinetiq's Marine Composite Patch Repairs, ACMC/SAMPE Conference on Marine Composites Plymouth, 11–12 September 2003, (ISBN 1-870918-02-9).
15. Xperion CFRP drive shafts, Sep. 2013.
16. Przepisy Klasyfikacji i Budowy Okrętów Wojennych, PRS, Gdańsk 2008.

Publikację przyjęto do druku: 24.02.17