

## **PROPOZYCJA ZASTOSOWANIA DREWNA MODYFIKOWANEGO NA KONSTRUKCJE MORSKIE**

*Przedstawiono przykłady uszkodzeń kadłubów łodzi rybackich i jachtów wykonanych z drewna naturalnego. Najczęstszą przyczyną uszkodzeń poszycia tych jednostek są pęknięcia, spowodowane podatnością drewna do nasiąkania wodą, a następnie wysychania. Drewno jako materiał porowaty jest podatne na wilgoć. Naturalne drewno po wypełnieniu porów wodą obniża swoje właściwości wytrzymałościowe, twardość, ścieralność oraz udarność. Ponadto łączniki, jakimi są wkręty stalowe, w obecności wody korodują, doprowadzając do korozji drewna. Otwory w drewnie pod wkręty stanowią karby, które przyczyniają się do powstania pęknięć, w związku z czym w miejsce drewna naturalnego zaproponowano drewno modyfikowane powierzchniowo polimerem metakrylanem metylu. Materiał ten zmniejsza naturalne wady drewna, tworząc zwartą i twardą strukturę o wysokich właściwościach wytrzymałościowych. Zaprezentowano charakterystyki wytrzymałościowe. Ponad 5-krotnie mniejsza podatność do nasiąkania drewna modyfikowanego w stosunku do drewna naturalnego predysponuje ten materiał na konstrukcje morskie.*

**Słowa kluczowe:** pęknięcia kadłuba, drewno modyfikowane, właściwości drewna modyfikowanego.

### **WSTĘP**

Podstawowymi zaletami przemawiającymi za stosowaniem drewna na konstrukcje morskie są: jego amagnetyczność, dobra izolacja termiczna, mały ciężar właściwy w stosunku do materiałów metalicznych, tłumienie drgań i dźwięków, odnawialność, łatwość obróbki mechanicznej i łączenia [2, 4, 15]. Ponadto drewno jest materiałem stale odtwarzanym przez przyrodę.

Okrętowe Towarzystwa Klasyfikacyjne i odpowiadające im instytucje wojskowe określają wymagania i charakterystyki materiałów stosowanych w budownictwie okrętowym oraz sprawują nadzór nad ich jakością, zarówno na etapie wytwarzania, przetwórstwa, jak i eksploatacji. W Polsce rolę tę pełnią: Polski Rejestr Statków (PRS) oraz Szefostwa Techniki Morskiej Ministerstwa Obrony Narodowej (STM MON). Wymagania dotyczą zarówno stali, stopów aluminium, jak i materiałów kompozytowych, do których zaliczane jest drewno.

Drewno posiada wiele wad odnośnie do przeznaczenia go na konstrukcje morskie. Do najważniejszych można zaliczyć niedużą wytrzymałość na ściskanie i rozciąganie w porównaniu z materiałami metalicznymi. Poważną wadą drewna jest jego porowatość, a w związku z tym duża podatność do pochłaniania wody.

Przy wzroście wilgotności drewna następuje spadek jego właściwości wytrzymałościowych. Innym istotnym problemem dotyczącym drewna jest wzmożona korozja w połączeniach metal – drewno [1]. Główną przyczyną niskiej trwałości drewnianych konstrukcji jest ich nasiąkanie wodą morską oraz niszczenie tkanki drzewnej na styku woda – powietrze. Nasiąkanie tkanki drzewnej wodą oprócz znacznego obniżenia właściwości mechanicznych i wzrostu ciężaru konstrukcji powoduje pęcznienie i desorpcyjne kurczenie się elementów konstrukcyjnych oraz powstawanie nieszczelności poszycia. Te ostatnie wady drewna bardzo mocno ograniczają wykorzystanie go w okrętownictwie.

Porowatość, która jest pochodną zasadniczych wad drewna, może być jednocześnie jego zasadniczą zaletą. Pory bowiem stwarzają możliwość przyjęcia zamiast wody innego czynnika – czynnika wzmacniającego strukturę. To zainspirowało badania zmierzające do podwyższenia właściwości drewna bez naruszenia jego struktury wewnętrznej – takiej, jaką stworzyła przyroda. W wyniku wprowadzenia do struktury drewna odpowiedniego monomeru uzyskuje się kompozyt drewnopodobny (w dalszej części pracy okreśłany jako kompozyt, drewno modyfikowane).

Modyfikacja drewna składa się z dwóch faz: nasycania drewna monomerem w stanie ciekłym oraz polimeryzacji termicznej [9, 14]. W wyniku modyfikacji tkanka drzewna łączy się z polimerem syntetycznym, tworząc kompozyt materiałowy o właściwościach doskonalszych od materiałów składowych użytych do jego wytworzenia. Zastosowany polimer nie tylko eliminuje wrodzone wady drewna, ale również udoskonala jego szczytowe właściwości. Struktura drewna wzmacnia nowo powstałe tworzywo i to bardziej skutecznie niż włókna tworzyw sztucznych [2, 7, 9, 14, 16, 17, 18]. Odpowiednie właściwości kompozytu, wymagane w zależności od jego przeznaczenia, uzyskuje się przez dobór odpowiedniego rodzaju drewna, rodzaju monomeru i składu inicjatorów polimeryzacji oraz przez dobór parametrów nasycania i obróbki termicznej [2, 3, 5, 7, 9, 14, 15]. Jak wiadomo, przy zginaniu i skręcaniu konstrukcji najbardziej wyężone są powierzchnie zewnętrzne. Dzięki temu, wzmacniając elementy drewniane polimerem, poprzez powierzchniową modyfikację uzyskuje się pożądane właściwości mechaniczne.

## **1. CHARAKTERYSTYKA USZKODZONYCH DREWNIANYCH KADŁUBÓW JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH**

Zgodnie z wymogami PRS-u, dotyczącymi budowy kadłubów jednostek pływających z drewna, materiał użyty do budowy jednostek powinien charakteryzować się brakiem najmniejszych wad oraz mikropełnięć. Ponadto powinien być poddany suszeniu dla uzyskania jednolitej wilgotności stosownej do warunków eksploatacji – rysunek 1.

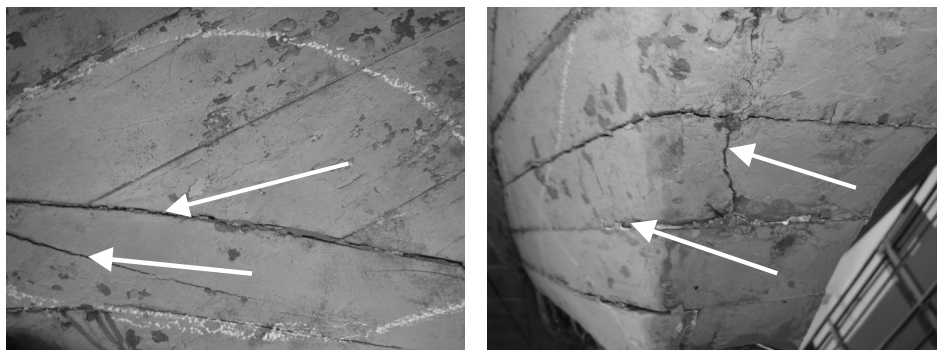


**Rys. 1.** Kawalek zdrowej planki  
*Fig. 1.* A piece of wooden healthy stave

W trakcie budowy kadłuba należy zachować niewielkie szczeliny pomiędzy plankami tworzącymi poszycie kadłuba. Szczeliny te wypełnia się tworzywem charakteryzującym się dużą adhezją do drewna (szpachel, kit, klej, inne tworzywa) oraz plastycznością. Tworzywa te mają za zadanie wypełnienie szczelin międzyplankowych, nadając jednolitą powierzchnię poszyciu kadłuba jednostki. Należy zwrócić szczególną uwagę na dokładność wypełniania szczelin, aby zapobiec przedostaniu się wody pomiędzy plankami.

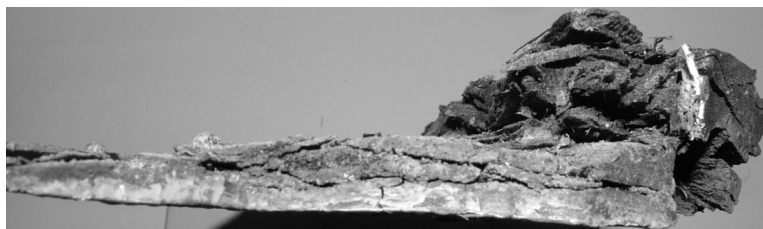
Kadłub podlega zmiennym obciążeniom, szczególnie momentom gnącym oraz działaniu wody morskiej, w wyniku czego następuje powstawanie mikropęknięć w klepkach. W przypadku obecności najmniejszych mikropęknięć, w wyniku zmiennych obciążeń i deformacji kadłuba następuje propagacja mikropęknięć i przejście w niewielkie szczeliny. Woda, przedostając się przez szczeliny, powoduje powolne wypaczanie się drewna. W okresie zimowym woda zamaraża i zwiększa swoją objętość, w rezultacie czego następuje niszczenie wewnętrznej struktury planek, ujawniające się na powierzchniach zewnętrznych w postaci długich szczelin. Poniżej przedstawiono poszycie kadłuba wykonanego z planek drewna mahoniowego (rys. 2).

Na rysunku 2 przedstawiono pęknięcia wzdłuż i w poprzek planek oraz ubytki szpachla wypełniającego szczeliny. Woda morska przedostająca się przez szczeliny wywołuje w drewnie jego korozję, czego rezultatem końcowym jest zniszczenie konstrukcji.



**Rys. 2.** Fragment uszkodzonego poszycia kadłuba w postaci pęknięć wzdłużnych i poprzecznych planek oraz ubytek szpachla wypełniającego szczeliny

*Fig. 2.* Fragment view of the damaged hull plating, there are cracks longitudinal and transverse in staves and the palette knife filling the gaps



**Rys. 3.** Planka zniszczona (przekrój poprzeczny) w wyniku działania wody morskiej

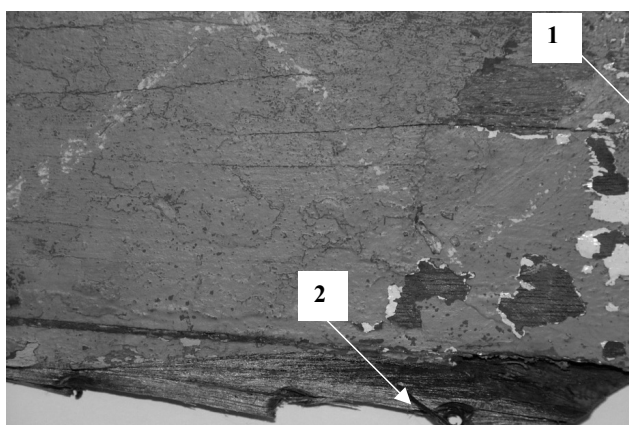
**Fig. 3.** Destroyed stave (cross-section) by the action of seawater

Na rysunku 3 ukazano przekrój poprzeczny planki, która uległa zniszczeniu na skutek działania wody morskiej. W okresie zimowym woda wypełniająca pory drewna na skutek niskiej temperatury zamarzała, zwiększyła objętość i spowodowała rozsadzenie planek.

## 2. ELEMENTY MONTAŻOWE WPŁYWAJĄCE NA OBNIŻENIE TRWAŁOŚCI DREWNA

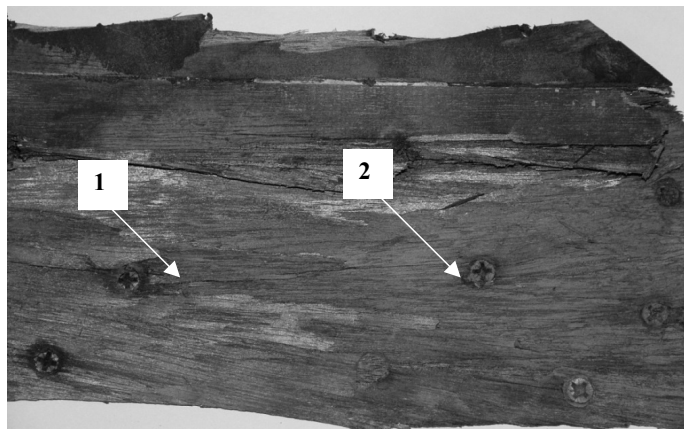
Duży wpływ na degradację drewnianego kadłuba jednostki pływającej ma sposób łączenia i przytwierdzania planek do wręgów.

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono pęknięcia planek poszycia kadłuba. Pęknięcia te spowodowane są karbami powstającymi na wskutek otworów pod wkręty, mocujące planki oraz korki zaślepiające wkręty. Wszystkie pęknięcia uwidocznione na rysunkach 3 i 4 mają swój początek w otworze i przebiegają na całej grubości planek.



**Rys. 4.** Kawalek zniszczonej planki: 1 – pęknięcia rozwijające się od mikroubytku – kitu, farby zabezpieczającej, 2 – pęknięcia wywołane od korbów spowodowanych istnieniem otworów na śruby i korki zaślepiające

**Fig. 4.** The piece damaged staves: 1 – cracks developing from micro decrement – putty, paint protecting, 2 – cracks caused by notches – holes for the screws and blanking plugs



**Rys. 5.** Zniszczona planka: 1, 2 – pęknięcia spowodowane działaniem karbu – otwory na śruby i korki zaślepiające

**Fig. 5.** Destroyed stave: 1, 2 – cracks caused by notch – holes for the screws and blanking plugs

### 3. ANALIZA NISZCZENIA POSZYCIA DREWNIANEGO KADŁUBA

Przeprowadzona analiza niszczenia drewnianego poszycia kadłuba jednostki pływającej spowodowana jest głównie naturalnymi wadami drewna. Drewno jest materiałem porowatym, nasiąka wodą i zwiększa swoją objętość w temperaturze niższej od zera, powodując niszczenie struktury. Z tego powodu konstrukcje pracujące w atmosferze morskiej wymagają bardzo dokładnego uszczelniania i zabezpieczania różnymi impregnatami. Sposób łączenia poszczególnych elementów poszycia kadłuba za pomocą łączników, wywołujących korozję drewna w obecności wody wymaga rozważenia alternatywnych połączeń.

Woda morska, przedostając się przez mikroszczeliny spowodowała, że wkręty (stal podatna na korozję), a tym samym drewno, podlegały korozji. W wyniku korozji powstawały szczeliny, co w rezultacie doprowadzało do dalszego niszczenia materiału.

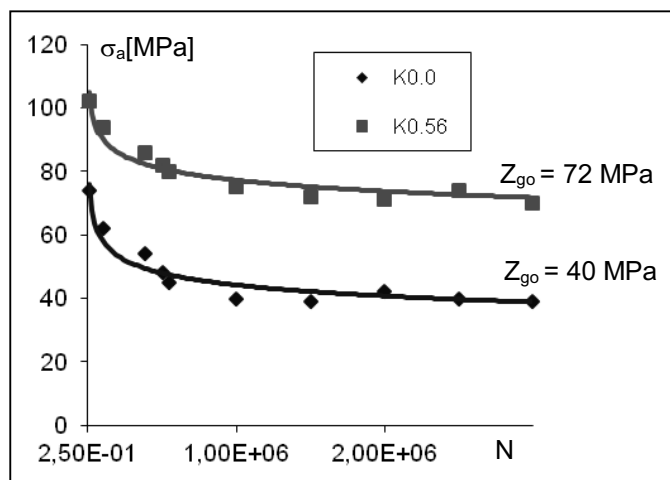
### 4. DREWNO MODYFIKOWANE NA KADŁUBY JEDNOSTEK PŁYWAJĄCYCH

Drewno naturalne jest materiałem anizotropowym i porowatym, charakteryzującym się m.in. tym, że po nasiąkaniu wodą morską wykazuje w trzech kierunkach anatomicznych znacznie zróżnicowane współczynniki pęcznienia. Materiał ten posiada wady, które są bardzo istotne w przypadku stosowania do budowy konstrukcji morskich. Porowatość drewna przyczynia się do jego nasią-

kania wodą. Przy wzroście wilgotności drewna zmniejszają się jego właściwości wytrzymałościowe.

Innym istotnym problemem dotyczącym drewna (jak wykazano wcześniej) jest wzmrożona korozja w połączeniach metal – drewno [1].

Poprawę właściwości drewna naturalnego można uzyskać poprzez jego modyfikację. Modyfikacja drewna składa się z dwóch faz: nasycania drewna monomerem w stanie ciekłym oraz polimeryzacji cieplnej monomeru [7, 9, 14]. W wyniku modyfikacji tkanka drzewna łączy się z polimerem, tworząc kompozyt o lepszych właściwościach niż materiały składowe użyte do jego wytworzenia. Zastosowany polimer nie tylko eliminuje wrodzone wady drewna, ale również udoskonala jego właściwości. Struktura drewna wzmacnia nowo powstałe tworzywo i to bardziej skutecznie niż włókna tworzyw sztucznych [7, 9, 14, 15, 17]. Poniżej przedstawiono wynik badań kompozytu drewno – polimetakrylan metylu [7, 9].

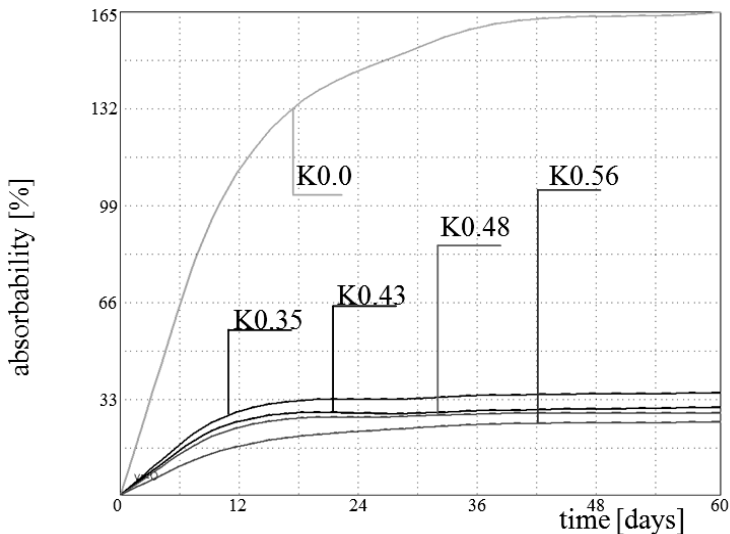


**Rys. 6.** Krzywe Wöhlera drewna naturalnego K0.0 i zmodyfikowanego K0.56 (K0.56 – drewno modyfikowane o zawartości 56% polimeru)

**Fig. 6.** Wöhler curves of natural wood K0.0 and modified wood K0.56 (K0.56 – modified wood with a content of 56% of polyme)

Na rysunku 6 przedstawiono wyniki badań zmęczeniowych drewna naturalnego i modyfikowanego. Dla umownej granicznej liczby cykli zmian naprężeń równej  $2 \cdot 10^6$ , dla drewna naturalnego K0.0  $Z_{go} = 40$  MPA, natomiast dla modyfikowanego K0.56  $Z_{go} = 72$  MPA.

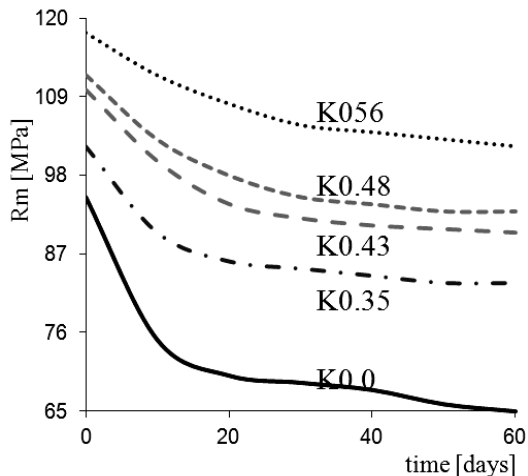
Na rysunku 7 zobrazowano zmianę nasiąkania próbek drewna naturalnego i modyfikowanego, o różnej zawartości polimeru, w wodzie morskiej zależnie od czasu. Po 60 dobach przebywania drewna modyfikowanego K0.56 w wodzie morskiej – nasiąkliwość wynosiła 25%, natomiast naturalnego – 165% [6, 8, 10, 11, 13, 15]. Zmniejszenie zdolności do nasiąkania drewna modyfikowanego jest spowodowane wypełnieniem porów drewna polimerem.



**Rys. 7.** Nasiąkanie drewna naturalnego i modyfikowanego wodą morską (K0.0 – drewno naturalne, K0.35 - K0.56 – drewno modyfikowane o zawartości od 35–56% polimeru)

*Fig. 7. The natural and modified wood water-soaked sea (K0.0 – natural wood, K0.35 - K0.56 – wood modified with a content of 35–56% of the polymer)*

Badania wytrzymałości drewna na rozciąganie w zależności od zawartości polimeru oraz nasycania w wodzie morskiej przedstawiono na rysunku 8 [12]. Wyniki badań wykazały, że wraz ze wzrostem zawartości polimeru w kompozycie drewno – polimer następuje znaczne zwiększenie wytrzymałości, spowodowane zmniejszeniem jego nasiąkliwości w wodzie morskiej.



**Rys. 8.** Wytrzymałość na rozciąganie drewna naturalnego i modyfikowanego poddanego moczeniu w wodzie morskiej

*Fig. 8. The tensile strength the natural and modified wood after the process of soaking in the sea water*

Obniżenie nasiąkania wpływa nie tylko na wzrost wytrzymałości kompozytu drewno – polimer, ale – co jest bardzo istotne dla konstrukcji morskich – na utrzymanie niezmiennego ciężaru konstrukcji.

## PODSUMOWANIE

1. W przypadku poszycia kadłuba jednostki pływającej wykonanej z drewna naturalnego dochodzi do częstych jego pęknięć, spowodowanych zasadniczo podatnością drewna do nasiąkania wodą, powodującą obniżenie właściwości wytrzymałościowych.
2. Alternatywą dla planek z drewna naturalnego jest drewno modyfikowane powierzchniowo.
3. Drewno modyfikowane powierzchniowo charakteryzuje się ponad 5-krotnym zmniejszeniem nasiąkania wodą morską w stosunku do drewna naturalnego.
4. Obniżenie nasiąkliwości drewna modyfikowanego w stosunku do drewna naturalnego powoduje nieznaczne obniżenie właściwości mechanicznych i zachowanie stabilności wymiarów.
5. Materiał ten należy testować w celu zastosowania go na elementy konstrukcyjne jachtów.

## LITERATURA

1. Helińska-Raczkowska L., Moliński W., *Wpływ korozji atmosferycznej w kontakcie z rdzewiącym żelazem na udatność lignomeru*, Zeszyty Naukowe AR, Poznań 1981.
2. Hruzik G.J., *Kierunki i metodologia badań efektywności zastosowania lignomeru*, materiały konferencyjne, Proceedings of the Symposium Wood Modification '95, Poznań 1995.
3. Kamiński A., *Próba określenia niektórych właściwości mechanicznych drewna modyfikowanego na podstawie jego składników. Modyfikacja drewna*, materiały konferencyjne, AR Poznań, 1983, s. 194–200.
4. Krzysik F., *Nauka o drewnie*, wydanie II, PWN, Warszawa 1978.
5. Kuś H., *Biomateriały*, t. IV, WKiŁ, Warszawa 1990.
6. Kyzioł L., *Analiza celowości stosowania drewna modyfikowanego w okrętownictwie*, Zeszyty Naukowe AMW, 1995, nr 3, s. 111–118.
7. Kyzioł L., *Analiza właściwości drewna konstrukcyjnego nasyconego powierzchniowo polimerem MM*, Zeszyty Naukowe AMW, nr 156 A, Gdynia 2004.
8. Kyzioł L., *Analiza wybranych własności drewna modyfikowanego do budowy okrętów*, I Konferencja Naukowo-Techniczna „Polimery i kompozyty konstrukcyjne” w Kozubniku, Politechnika Śląska, Gliwice 1995, s. 218–223.
9. Kyzioł L., *Drewno modyfikowane na konstrukcje morskie*, AMW, Gdynia 2010.
10. Kyzioł L., *Ocena stosowania drewna jako materiału konstrukcyjnego w budowie specjalnych jednostek pływających*, Przemysł Drzewny, 1996, nr 1, s. 23–25.



11. Kyzioł L., *Wpływ nasiąkliwości lignomeru na jego udarność w niskich temperaturach*, materiały konferencyjne, II Konferencja Naukowo-Techniczna „Polimery i kompozyty konstrukcyjne” w Ustroniu, Politechnika Śląska, Gliwice 1996, s. 151–156.
12. Kyzioł L., *Wpływ polimetakrylanu metylu na nasiąkliwość i wytrzymałość kompozytu przeznaczanego na konstrukcje okrętowe*, Przemysł Drzewny, 2001, nr 7–8, s. 27–29.
13. Kyzioł L., *Zastosowanie drewna do budowy okrętów specjalnych*, materiały konferencyjne, Wood Modification 95, AR w Poznaniu, Poznań 2–4 sierpnia 1995, s. 235–243.
14. Ławniczak M., *Sposób polimeryzacji monomerów w drewnie*, AR, Poznań 1975.
15. Ławniczak M., Walentynowicz T., *Lignomer – właściwości i zastosowanie*, PWN Rolnicze i Leśne, Poznań 1979.
16. Mundy J.S., Bonfield P.W., *Predicting the short-term properties chipboard using composite theory*, Wood Science and Technology, 1998, Vol. 32, p. 237–245.
17. Noah J.N., Foudjet A., *Wood-polymer composites from some tropical hardwoods*, Wood Science and Technology, 1988, Vol. 22, p. 115–119.
18. Xu W., Suchsland O., *Modulus of elasticity of wood composite panels with a uniform vertical density profile: a model*, Wood and Fiber Science, 1998, Vol. 30, No. 3, p. 293–300.

## PROPOSITION USE OF MODIFIED WOOD FOR SHIP STRUCTURES

### Summary

*This article presents the examples of damage the hulls of fishing boats and yachts made of natural wood. The main cause of damage hull of these boats are cracks. The cracks are caused by the flexibility of the wood for absorption the water.*

*Wood as the porous material is vulnerable to moisture. Natural wood after filling the pores with water lowers its mechanical properties, hardness, grindability and the impact strength. Connectors, which are steel screws corrode in the presence of water leading to the corrosion of wood. The holes for screws in the wood are notches, which contribute to the formation of cracks.*

*Therefore, natural wood can be to replace the surface modified wood. Wood modified eliminates the disadvantages of natural wood. The structure is hard with high strength properties. In the article were presented the characteristics of strength. Wood modified more than 5 times less absorb water than natural wood. Therefore material may be used for marine structures.*

**Key words:** *cracking the hull, modified wood, modified wood properties.*