

Lesław Kyziol

WŁAŚCIWOŚCI MATERIAŁU POROWATEGO W ZALEŻNOŚCI OD ZAWARTOŚCI CZYNNIKA MODYFIKUJĄCEGO

STRESZCZENIE

Przedstawiono wyniki badań doświadczalnych dotyczących wpływu zawartości polimetakrylanu metylu na wybrane właściwości kompozytu drewno-polimer. Przy projektowaniu konstrukcji morskich wymagana jest znajomość właściwości wytrzymałościowych, zmęczeniowych, odporności materiału na ścieranie. Powierzchniowa modyfikacja drewna pozwala na sterowanie jego właściwościami.

WSTĘP

Drewno jest materiałem porowatym. Przez wypełnienie porów polimerem otrzymuje się kompozyt drewno-polimer. Uzyskuje się w ten sposób skuteczne zabezpieczenie przed degradacją oraz przedłużenie trwałości użytkowania i poprawę właściwości mechanicznych drewna.

Przeprowadzone badania dowiodły, że kompozyty otrzymane z drewna na bazie polimetakrylanu metylu są przydatne do stosowania wszędzie tam, gdzie jest wymagana amagnetyczność, duża wytrzymałość w połączeniu ze sprężystością i lekkością, łatwość obróbki mechanicznej i łączenia elementów, dobre właściwości tłumiące i izolacyjne w odniesieniu do drgań, hałasów i temperatury. Charakteryzuje je stosunkowo niska cena. Przed zastosowaniem kompozytu z udziałem drewna w danej konstrukcji należy dokładnie określić jego właściwości wytrzymałościowe oraz fizyczne.

W celu wykorzystania drewna w budownictwie okrętowym w Instytucie Podstaw Techniki AMW podjęto badania właściwości mechanicznych drewna modyfikowanego metakrylanem metylu. Zbudowano i uruchomiono stanowisko do

nasycania i polimeryzacji drewna. Dokonano powierzchniowego nasycania drewna pozwalającego na kształtowanie właściwości fizykochemicznych elementów konstrukcyjnych.

DREWNO JAKO MATERIAŁ CHEMICZNIE MODYFIKOWANY

Poprzez modyfikację drewna polegającą na nasycaniu go polimerem syntetycznym eliminuje się nie tylko przyrodzone wady drewna, ale dodatkowo podwyższa jego właściwości. Struktura drewna natomiast wzmacnia zastosowane tworzywo sztuczne, i to w sposób lepszy od włókien syntetycznych. W następstwie modyfikacji drewna powstają nowe materiały kompozytowe, o jakości których decydują surowce zastosowane w technologii ich wytwarzania. Przeprowadzone badania dowiodły, że kompozyty z drewna sosny, brzozy, topoli, osiki i olchy na bazie polimerów są przydatne do stosowania wszędzie tam, gdzie jest wymagana duża stabilność wymiarów i niezmienność kształtu oraz dokładność obróbki mechanicznej [7].

Przebieg procesu modyfikacji drewna metakrylanem metylu jest następujący. Odpowiednio przygotowane graniaki umieszcza się w autoklawie, w którym wytwarza się podciśnienie 0.1 MPa przez okres 1 godziny celem usunięcia wilgoci z drewna. Następnie wprowadza się do autoklawu przygotowany monomer i nasycza zanurzone w monomerze graniaki w czasie zależnym od stopnia ich nasycenia.

Próbki o wilgotności początkowej około 10% poddano procesowi nasycania stabilizowanym metakrylanem metylu (MM), a następnie polimeryzacji termicznej. W tym celu umieszczono je w zbiorniku do polimeryzacji wypełnionym wodnym roztworem azotanu sodu. Ciecz podgrzano do temperatury 85 °C w czasie 15 minut, a następnie obniżono temperaturę do 75 °C i utrzymywano przez okres 4 godzin. Aby uzyskać całkowitą polimeryzację monomeru w drewnie, należy podnieść jego temperaturę do wartości 120 °C w czasie 1 godziny [1, 2, 6].

Badania przeprowadzono na próbkach z drewna naturalnego i modyfikowanego (części bielastej sosny). W tabeli 1. podano zawartość PMM (kg PMM/kg drewna suchego) oraz sposób oznaczenia zawartości polimeru w kompozycie. W wyniku modyfikacji drewno staje się bardziej twarde i wytrzymałe.

Tabela 1. Zawartość polimeru w kompozycie drewna

1	Zawartość polimeru w części bielastej	0	35%	43%	48%	56%
2	Oznaczenie	K0.0	K0.35	K0.43	K0.48	K0.56

WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE DREWNA MODYFIKOWANEGO

Zakres badań dotyczył określenia wytrzymałości na rozciąganie drewna modyfikowanego w zależności od zawartości polimeru w kompozycie oraz kąta ($\alpha=15; 30; 45; 60$ i 90°) zawartego pomiędzy kierunkiem działającego obciążenia a kierunkiem wzdłużnym włókien [3]. Próbkę wyrabiano z zachowaniem orientacji ich wymiaru długości pod kątem $\alpha=15, 30, 45, 60$ i 90° w stosunku do kierunku wzdłużnego włókien.

Przeciętna wilgotność próbek z drewna naturalnego była rzędu 12 – 15%. Próbkę poddano rozciąganiu na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej MTS-810.

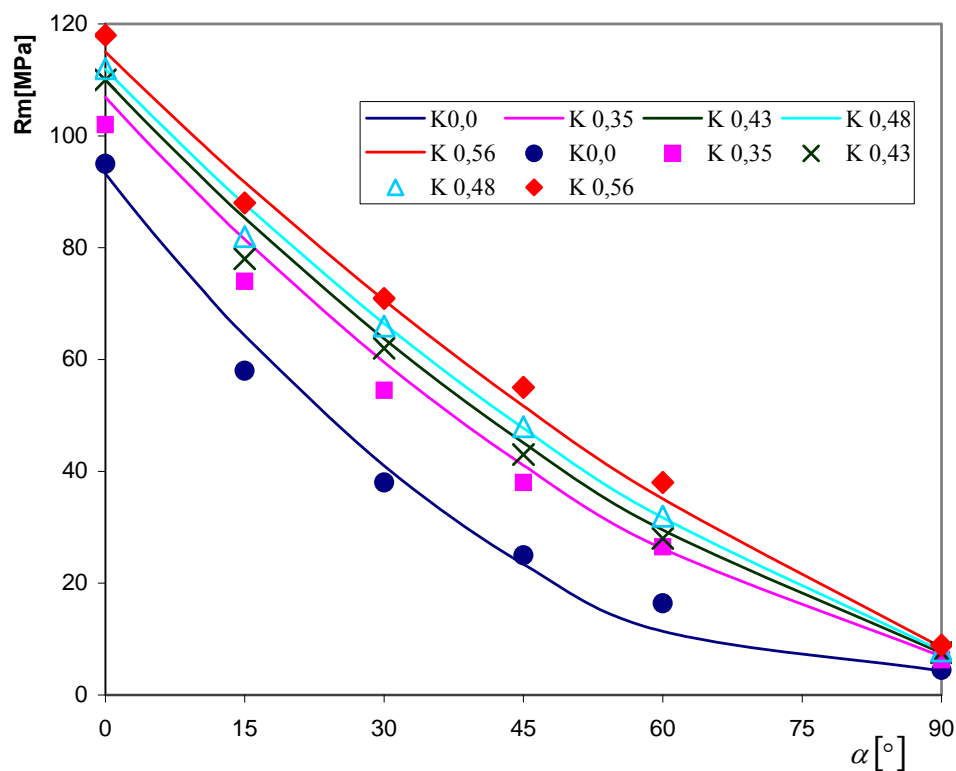
Wyniki badań dotyczących wytrzymałości drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego K0.35-K0.56 zestawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wielkości statystyczne wytrzymałości drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego [3]

Rodzaj materiału	Wielkości statystyczne	α [°]					
		0	15	30	45	60	90
Drewno naturalne K0.0	\bar{R}_m [MPa]	95.0	58.0	38.0	25.0	16.4	4.5
	S_n [MPa]	2.145	3.493	3.873	4.775	1.917	0.5
	S_{n-1} [MPa]	2.261	3.682	4.082	5.033	2.070	0.577
	V [%]	2.4	6.4	10.7	20.1	12.6	12.8
	K_1	1.399	1.431	1.807	1.466	1.878	0.111
Drewno modyfikowane K0.35	\bar{R}_m [MPa]	102.0	74.0	54.5	38.0	26.5	6.3
	S_n [MPa]	2.646	3.635	4.945	3.406	3.428	1.491
	S_{n-1} [MPa]	2.789	3.83	5.212	3.59	3.665	1.581
	V [%]	2.7	5.2	9.6	9.5	13.8	25.1
	K_1	1.864	2.268	2.064	2.055	1.604	0.787
Drewno modyfikowane K0.43	\bar{R}_m [MPa]	110.0	78.0	62.0	43.0	28.0	7.6
	S_n [MPa]	5.882	3.376	5.882	3.873	2.569	1.317
	S_{n-1} [MPa]	6.200	3.559	6.2	4.082	2.708	1.408
	V [%]	5.6	4.6	10.0	9.5	9.7	18.5
	K_1	2.040	1.777	2.04	1.807	1.557	1.822
Drewno modyfikowane K0.48	\bar{R}_m [MPa]	112.0	82.0	66.0	48.0	32.0	7.9
	S_n [MPa]	3.606	3.000	2.898	2.324	3.950	1.245
	S_{n-1} [MPa]	3.801	3.162	3.055	2.449	4.163	1.345
	V [%]	3.4	3.9	4.6	5.1	13.0	17.0
	K_1	1.664	1.333	2.07	1.721	1.772	1.687
Drewno modyfikowane K0.56	\bar{R}_m [MPa]	118.0	88.0	70.9	55.0	38.0	8.9
	S_n [MPa]	5.621	3.742	2.773	3.194	4.313	1.691
	S_{n-1} [MPa]	5.925	3.944	2.923	3.367	4.546	1.808
	V [%]	5.0	4.5	4.1	6.1	12.0	20.3
	K_1	1.245	1.871	1.479	1.565	1.855	1.833

Do opisu wytrzymałości wykorzystano kryterium Misesa, Aśkenazi, funkcję liniową oraz funkcję kwadratową [3].

Analiza uzyskanych wyników badań własności wytrzymałościowych w zależności od kąta α i zawartości polimeru drewna modyfikowanego pozwoliła stwierdzić, że poprawny jest opis empiryczny w postaci paraboli drugiego stopnia – rysunek 1.

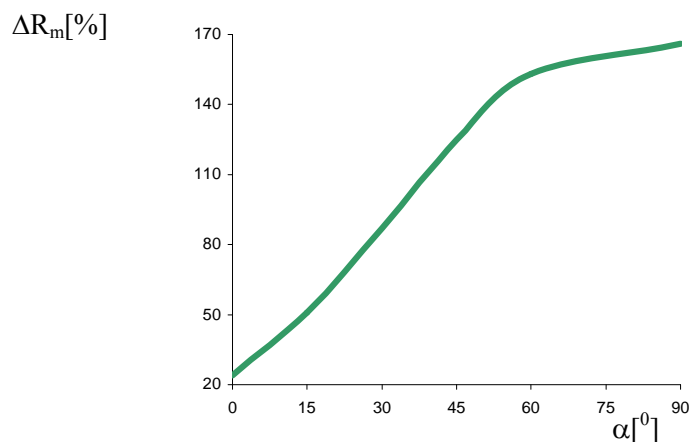


Rys. 1. Wytrzymałość drewna na rozciąganie jako funkcja kwadratu kąta α : punkty – dane doświadczalne, krzywe ciągłe – opisane funkcją kwadratową [3]

$$R_m^{(\alpha)} = \frac{(\alpha - 45)(\alpha - 90)}{(-45)(-90)} R_m^0 + \frac{\alpha(\alpha - 90)}{45(45 - 90)} R_m^{45} + \frac{\alpha(\alpha - 45)}{90(90 - 45)} R_m^{90},$$

gdzie: R_m^0 , R_m^{45} , R_m^{90} – wytrzymałość na rozciąganie dla $\alpha = 0, 45$ i 90° [3].

Na rysunku 2. przedstawiono wyniki badań procentowego przyrostu wytrzymałości na rozciąganie drewna modyfikowanego o największej zawartości polimeru (K 0.56) w stosunku do drewna naturalnego K0.0.



Rys. 2. Procentowy przyrost wytrzymałości na rozciąganie próbek drewna modyfikowanego K0.56 (w stosunku do drewna naturalnego K0.0) w zależności od kąta zawartego pomiędzy kierunkiem działającego obciążenia a kierunkiem włókien

W stosunku do drewna naturalnego wytrzymałość na rozciąganie drewna modyfikowanego K0.56 jest:

- o 24% większa dla kierunku wzdłużnego;
- o 120% większa w przypadku, gdy kąt zawarty pomiędzy kierunkiem działającego obciążenia a kierunkiem włókien wynosi 45°;
- o ponad 167% większa w przypadku, gdy obciążenie działa poprzecznie do kierunku włókien.

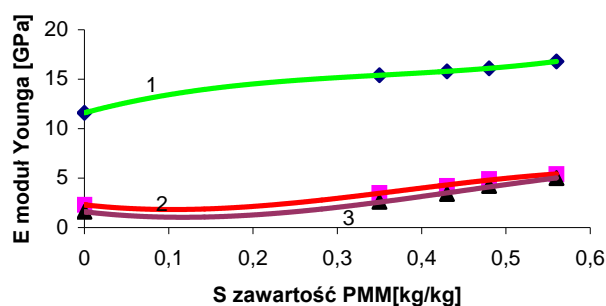
Oznacza to, że proces polimeryzacji znacznie zmniejsza anizotropię wytrzymałości drewna.

STAŁE SPRĘŻYSTOŚCI

Projektowanie konstrukcji drewnianych oparte jest głównie na znajomości charakterystyk wytrzymałościowych materiału. Jednakże liczbowe oszacowania odkształcenia konstrukcji dla najbardziej ogólnych warunków brzegowych wymaga znajomości parametrów sprężystości.

Dla drewna, aby rozwiązać zagadnienie trójwymiarowe, niezbędna jest znajomość 12 parametrów stałych materiałowych. Uwzględniając symetrię energii odkształcenia, 12 parametrów redukuje się do 9.

Próbki do określenia stałych materiałowych pobrano dla kierunków wzdłużnego, promieniowego oraz stycznego. Stałe materiałowe drewna i kompozytu wyznaczono w próbie statycznego rozciągania na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej MTS-810.12 [4].

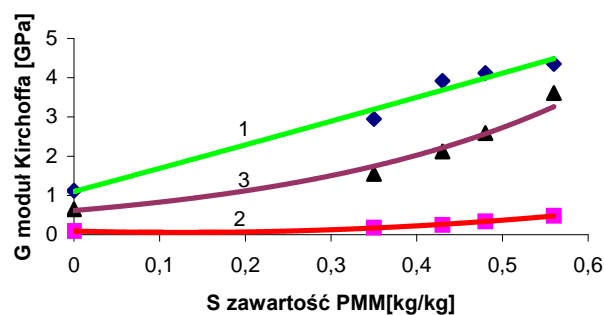


Rys. 3. Wartości modułów Younga drewna naturalnego i kompozytu D-PMM: punkty – dane doświadczalne, linie ciągłe – wg zależności [4]

$$1. E_1 = 48.28 \cdot S^3 - 51.44 \cdot S^2 + 22.95 \cdot S + 11.6 \quad (1_1)$$

$$2. E_2 = -47.05 \cdot S^3 + 53.47 \cdot S^2 - 9.62 \cdot S + 2.30 \quad (1_2)$$

$$3. E_3 = -37.26 \cdot S^3 + 49.80 \cdot S^2 - 10.10 \cdot S + 1.60 \quad (1_3)$$

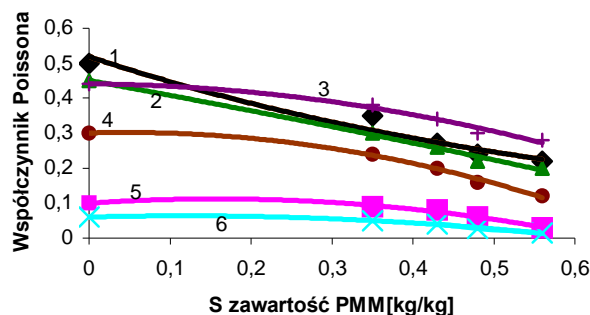


Rys. 4. Wartości modułów Kirchoffa drewna naturalnego i kompozytu D-PMM: punkty – dane doświadczalne, linie ciągłe – wg zależności [4]

$$1. G_{12} = 0.28 \cdot S^2 + 5.88 \cdot S + 1.10 \quad (2_1)$$

$$2. G_{23} = 2.21 \cdot S^2 - 0.55 \cdot S + 0.09 \quad (2_2)$$

$$3. G_{31} = 0.61 \cdot e^{2.97 \cdot S} \quad (2_3)$$



Rys. 5. Wartości współczynników Poissona drewna naturalnego i kompozytu D-PMM: punkty – dane doświadczalne, linie ciągłe – wg zależności [4]

$$1. \nu_{12} = 0.52 \cdot e^{-1.49 \cdot S} \quad (3_1)$$

$$2. \nu_{13} = -0.07 \cdot S^2 - 0.42 \cdot S + 0.45 \quad (3_2)$$

$$3. \nu_{23} = -0.50 \cdot S^2 - 0.018 \cdot S + 0.44 \quad (3_3)$$

$$4. \nu_{32} = -0.70 \cdot S^2 - 0.06 \cdot S + 0.30 \quad (3_4)$$

$$5. \nu_{21} = -0.49 \cdot S^2 + 0.16 \cdot S + 0.10 \quad (3_5)$$

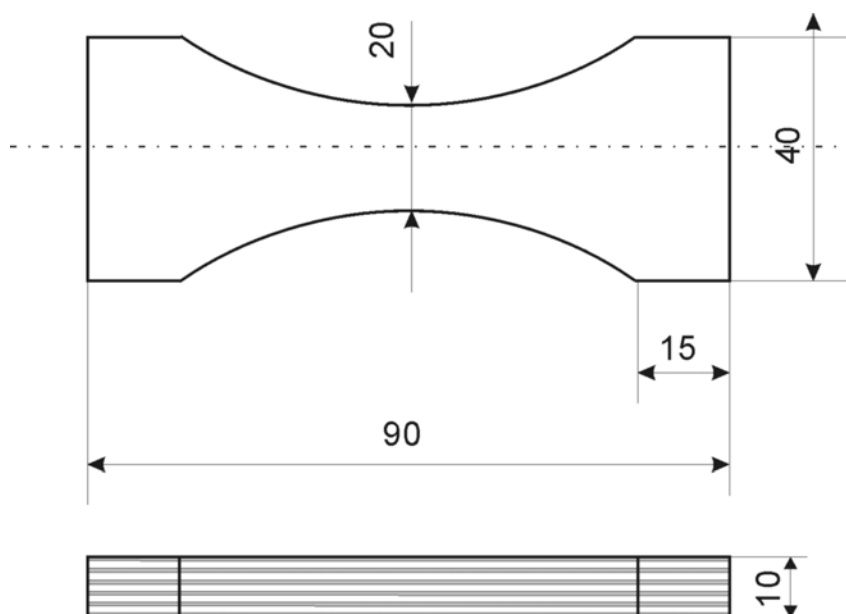
$$6. \nu_{31} = -0.26 \cdot S^2 + 0.06 \cdot S + 0.006 \quad (3_6)$$

Na rysunkach 3. – 5. zestawiono średnie wyniki badań doświadczalnych. Przeprowadzone badania wpływu zawartości polimetakrylanu metylu w kompozycie D-PMM na stałe sprężystości wykazały znaczący wzrost modułów Younga i Kirchhoffa oraz obniżenie współczynników Poissona ze wzrostem zawartości polimeru w kompozycie. Moduł Younga dla kierunku wzdłuż włókien wzrósł o około 50%, natomiast dla dwóch pozostałych kierunków wzrósł dwa, a nawet trzykrotnie (E_3), przy czym wartości współczynników E_2 oraz E_3 niewiele się różniły (dla kompozytu

o największej zawartości polimeru). Kompozyt o największej zawartości polimeru wykazuje znacznie mniejszą anizotropowość aniżeli drewno naturalne [4].

WYTRZYMAŁOŚĆ DREWNA NA ZMĘCZENIE

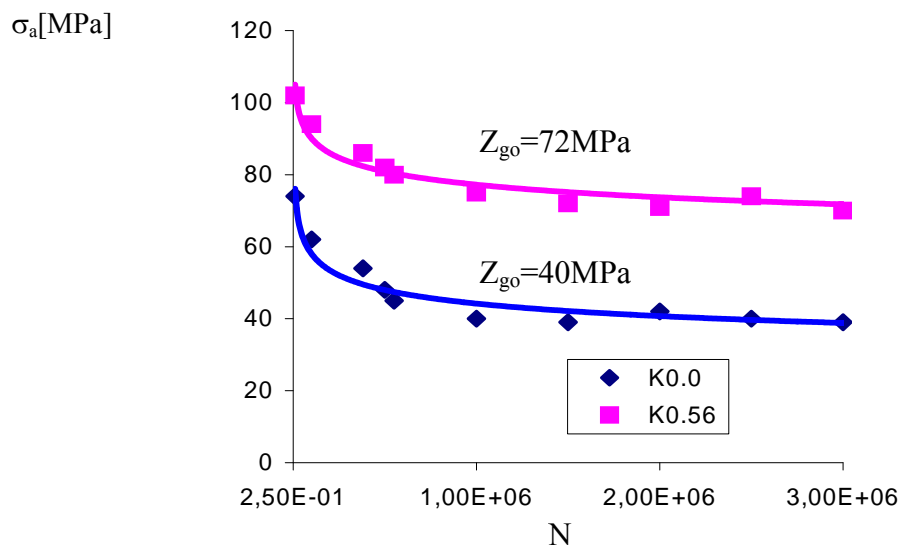
Zmienne obciążenia wywołują zmęczenie drewna. Następstwem tego jest zniszczenie drewna przy naprężeniach mniejszych od wytrzymałości doraźnej.



Rys. 6. Kształt i wymiary próbek do badań zmęczeniowych

Polimetakrylan metylu nie ma trwałej wytrzymałości zmęczeniowej. Istniało przypuszczenie, że pod wpływem cyklicznych obciążeń może on zainicjować pęknięcie i w rezultacie obniżyć wytrzymałość zmęczeniową drewna modyfikowanego. Z tych względów postanowiono zbadać wpływ zawartości polimeru na wytrzymałość zmęczeniową drewna. Przyjęto kształt próbek jak na rysunku 6.

Próbki z drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego K0.56 poddano wahadłowemu zginaniu o częstotliwości 24 Hz.



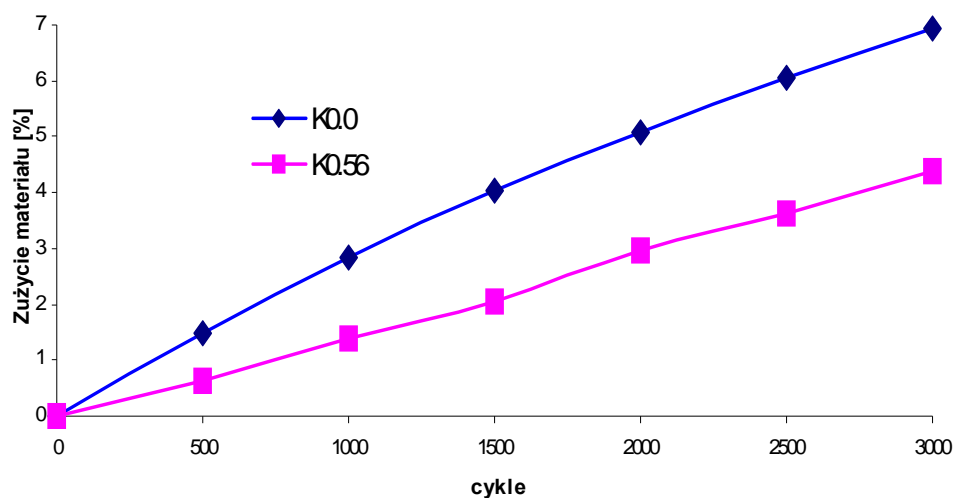
Rys. 7. Krzywe Wöhlera drewna naturalnego K0.0 i zmodyfikowanego K0.56

Na rysunku 7. przedstawiono wyniki badań zmęczeniowych drewna naturalnego i modyfikowanego. Określono wytrzymałość zmęczeniową, przyjmując umowną graniczną liczbę cykli zmian naprężeń równą $2 \cdot 10^6$. Dla drewna naturalnego K0.0 uzyskano $Z_{go} = 40 \text{ MPa}$, natomiast dla modyfikowanego K0.56 $Z_{go} = 72 \text{ MPa}$.

Badania wykazały, że wytrzymałość zmęczeniowa drewna modyfikowanego przy wahadłowym zginaniu jest niemalże dwukrotnie większa niż drewna naturalnego. Polimer wzmacnia strukturę drewna, przez co wzrasta jego wytrzymałość zmęczeniowa.

ŚCIERANIE DREWNA

Zastosowanie drewna na konstrukcje morskie wymaga znajomości jego ścieralności. Szczególnie dotyczy to pokładu oraz elementów poszycia kadłuba, które bezpośrednio podlegają działaniu kry lodowej lub piasku podnoszonego przez śrubę z dna akwenu przybrzeżnego lub portowego. Badania przeprowadzono na własnym urządzeniu wykonanym zgodnie z wymogami.



Rys. 8. Ścieralność drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego K0.56 na maszynie o posuwisto-zwrotnym ruchu ściernicy

Wyniki badań ścieralności drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego K0.56 przedstawiono na rysunku 8. Z przeprowadzonych badań wynika, że dla 3000 cykli posuwisto-zwrotnych próbek ścieralność drewna naturalnego jest półtora raza większa od drewna modyfikowanego.

PODSUMOWANIE

W wyniku powierzchniowej modyfikacji drewna polimetakrylanem metylu uzyskuje się materiał o znacznie wyższych właściwościach w stosunku do drewna naturalnego.

Wytrzymałość na rozciąganie drewna modyfikowanego jest o ponad 167% większa niż drewna naturalnego dla przypadku, gdy obciążenie działa poprzecznie do kierunku włókien. Oznacza to, że proces polimeryzacji znacznie zmniejsza anizotropię wytrzymałości drewna.

Wzrost zawartości polimetakrylanu metylu w kompozycie D-PMM na stałe sprężystości spowodował znaczący wzrost modułów Younga i Kirchoffa oraz obniżenie współczynników Poissona.

Wytrzymałość zmęczeniowa drewna modyfikowanego przy wahadłowym zginaniu jest niemalże dwukrotnie większa niż drewna naturalnego. Polimer wzmacnia strukturę drewna, przez co wzrasta jego wytrzymałość zmęczeniowa. Drewno modyfikowane wykazuje półtora raza mniejszą ścieralność w stosunku do drewna naturalnego.

Słowa kluczowe:

modyfikacja drewna, współczynniki sprężystości, właściwości wytrzymałościowe, ścieralność, wytrzymałość zmęczeniowa

BIBLIOGRAFIA

- [1] Kowalski S., Kyzioł L., Musielak G., *Non-linear model for wood saturation*, „Transport in Porous Media”, Kluwer Academic Publishers Netherland, 2002.
- [2] Kowalski S., Kyzioł L., Rybicki A., *Composite of wood and polymerized methacrylate*, „Composites”, Elsevier USA, part B 33, 2002.
- [3] Kyzioł L., *Anisotropy of ultimate tensile strength of modified wood – theory and experiment*, „Marine Technology Transaction” (po recenzji w druku).
- [4] Kyzioł L., *Influence of polymethylmethacrylate content in wood composite on the anisotropy of elasticity properties*, „Marine Technology Transaction”, Vol. 13, 2002.
- [5] Kyzioł L., *Ocena stosowania drewna jako materiału konstrukcyjnego w budowie specjalnych jednostek pływających*, „Przemysł Drzewny”, Warszawa 1 – 96.
- [6] Kyzioł L., *Wpływ nasycenia drewna sosnowego metakrylanem metylu na jego własności mechaniczne*, „Polimery i kompozyty konstrukcyjne”, 6 – 9 października 1998, Ustroń 1998.
- [7] Ławniczak M., Walentynowicz T., *Lignomer – właściwości i zastosowanie*, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Poznań 1979.

ABSTRACT

The paper presents the experimental investigations results related to the effect of methyl polymethacrylate on some properties of wood-polymer composite. To design marine structures knowledge related to strength, fatigue, abrasion resistance properties is required. Surface modification of wood allows for controlling its properties.

Recenzent prof. zw. dr hab. inż. Zbigniew Zaczek