

## WPŁYW ZAWARTOŚCI POLIMERU NA ANIZOTROPIĘ WYTRZYMAŁOŚCI DREWNA PRZY ROZCIĄGANIU

Michał CZECH\*, Lesław KYZIOŁ\*\*

\*Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka, ul. Wiejska 45 C, 15-351 Białystok

\*\*Wydział Mechaniczno-Elektryczny Akademii Marynarki Wojennej, ul. Śmidowicza 69, 81-103 Gdynia

[mceh@pb.edu.pl](mailto:mceh@pb.edu.pl), [lkyziol@amw.gdynia.pl](mailto:lkyziol@amw.gdynia.pl)

**Streszczenie:** Do opisu wytrzymałości drewna i kompozytu D-PMM przy rozciąganiu w zależności od kąta wycięcia próbek zastosowano kryterium Tsai-Wu dla materiałów anizotropowych. Przyjęto przy tym, że krzywa wytrzymałości przechodzi przez punkty określające wytrzymałość w głównych osiach ortotropii. Współczynniki wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów. Weryfikację adekwatności opisu przeprowadzono w oparciu o test F-Snedocora.

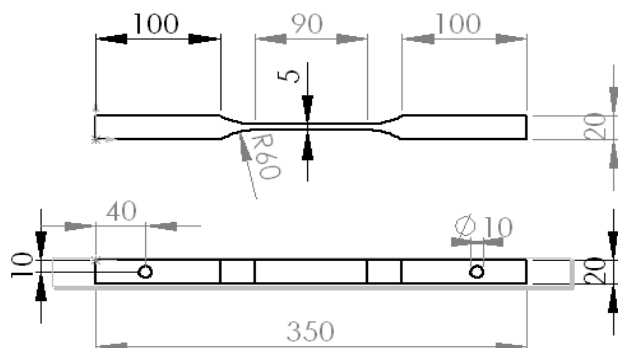
### 1. WPROWADZENIE

Niektórzy autorzy (Kyzioł, 1999; Noah, Foudjet, 1998; Wójtowicz, Jabłoński, 1981) podają, że własności wytrzymałościowe i odkształceniowe drewna modyfikowanego wzrastają lub maleją proporcjonalnie do ilości substancji modyfikującej.

Celem pracy było określenie wpływu modyfikacji bielastego drewna sosny na anizotropię wytrzymałości przy rozciąganiu.

### 2. DANE DOŚWIADCZALNE

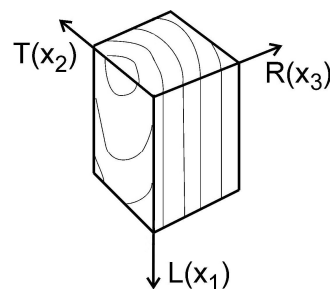
Badanie na rozciąganie przeprowadzono na próbkach normowych według PN-81/D-04107, których kształt i wymiary przedstawiono na Rys. 1.



Rys. 1. Próbkę na rozciąganie

Próbki były wycinane z graniaka drewnianego sezonowanego w warunkach naturalnych w temperaturze  $295 \pm 2K$ . Przeciętna wilgotność próbek wynosiła  $\sim 8\%$ .

Próbki były wycinane w płaszczyźnie  $x_1x_2$  dla sześciu kątów  $\alpha[^\circ] = 0, 15, 30, 45, 60, 90$ , gdzie  $\alpha$  to kąt między kierunkiem działającej siły a kierunkiem włókien (Rys. 2).



Rys. 2. Kierunki anatomiczne drewna

Badania przeprowadzono na próbkach z drewna naturalnego i próbkach poddanych procesowi modyfikacji. Modyfikacja polegała na nasycaniu go metakrylanem metylu stabilizowanym eterem metylowym hydrotionu (MM) a następnie polimeryzacji termicznej (Kyzioł, 2004). Stopień nasycenia próbek monomerem regulowano czasem (0,5; 2; 4; 24 godziny) ich przebywania w autoklawie, w sposób podany w pracy (Kyzioł, 2004).

Próby rozciągania przeprowadzono na uniwersalnej maszynie wytrzymałościowej MTS-810.

### 3. WYNIKI PRÓB I ICH ANALIZA

#### 3.1. Wyniki prób

Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie dla różnych kątów i różnych zawartości polimeru wyrażonych stosunkiem wagowym polimeru do wagi drewna zestawiano w Tab. 1.

Tab. 1. Wielkości statystyczne wytrzymałości bielei i kompozytu D-PMM

Rodzaj materiału	Wielkości Statystyczne	$\alpha [^\circ]$					
		0	15	30	45	60	90
Biel	$\bar{R} [MPa]$	95	58	38	25	16.4	4.5
	$p_i$	10	10	10	10	7	4
	$S_{n-1} [MPa]$	2.261	3.682	4.082	5.033	2.070	0.577
	$v [\%]$	2.38	6.35	10.74	20.13	12.6	12.8
	$K_1$	1.399	1.431	1.807	1.466	1.878	0.111
Kompozyt 0.35	$\bar{R} [MPa]$	102	74	54.5	38	26.5	6.3
	$p_i$	10	10	10	10	8	9
	$S_{n-1} [MPa]$	2.789	3.830	5.212	3.590	3.665	1.581
	$v [\%]$	2.73	5.18	9.56	9.45	13.83	29.10
	$K_1$	1.864	2.268	2.064	2.055	1.604	0.787
Kompozyt 0.43	$\bar{R} [MPa]$	110	78	62	43	28	7.6
	$p_i$	10	10	10	10	10	8
	$S_{n-1} [MPa]$	6.200	3.559	6.200	4.082	2.708	1.408
	$v [\%]$	5.63	4.56	10.00	9.49	9.67	18.53
	$K_1$	2.04	1.777	2.040	1.807	1.557	1.822
Kompozyt 0.48	$\bar{R} [MPa]$	112	82	66	48	32	7.9
	$p_i$	10	10	10	10	10	7
	$S_{n-1} [MPa]$	3.801	3.162	3.055	2.449	4.163	1.345
	$v [\%]$	3.33	3.86	4.63	5.10	13.01	17.03
	$K_1$	1.664	1.333	2.070	1.721	1.772	1.687
Kompozyt 0.56	$\bar{R} [MPa]$	118	88	70.9	55	38	8.9
	$p_i$	10	10	10	10	10	8
	$S_{n-1} [MPa]$	5.925	3.944	2.923	3.367	4.546	1.808
	$v [\%]$	5.02	4.48	4.12	6.12	11.96	20.31
	$K_1$	1.245	1.871	1.479	1.565	1.855	1.833

Wyniki badań wytrzymałości na rozciąganie dla różnych kątów i różnych zawartości polimeru wyrażonych stosunkiem wagowym polimeru do wagi drewna zestawiano w Tab. 1. W tabeli tej podano następujące wielkości statystyczne: średnią wytrzymałość ( $R$ ), liczbę powtórzeń ( $p_i$ ), odchylenie standardowe ( $S_{n-1}$ ) i współczynnik zmienności ( $v$ ). Podano również statystykę  $K_1$  do eliminacji błędów grubych. Wartości krytyczne  $k_1$  dla poziomu istotności 0,05 i liczbie powtórzeń  $p_i$  wynoszą odpowiednio (Zieliński, 1972):

$$k_1(0.05; 4) = 1.689 ; k_1(0.05; 7) = 2.093 ; k_1(0.05; 8) = 2.172 ;$$

$$k_1(0.05; 9) = 2.237 ; k_1(0.05; 10) = 2.294 .$$

### 3.2. Analiza wyników

Kryterium Tsai-Wu zgodnie z pracą (Tsai, Wu, 1971) dla jednoosiowego rozciągania ma postać

$$P'_{11}R' + P'_{1111}R'^2 = 1 \tag{1}$$

gdzie:  $P'_{11}$ ,  $P'_{1111}$  – współrzędna tensorów wytrzymałości w układzie obróconym,  $R'$  – wytrzymałość w układzie obróconym.

Współrzędne tensorów wytrzymałości we wzorze (1) podlegają transformacji następująco:

$$P'_{11} = \alpha_{1m}\alpha_{1n}P_{mn} , \tag{2}$$

$$P'_{1111} = \alpha_{1m}\alpha_{1n}\alpha_{1o}\alpha_{1p}P_{mnop} ,$$

gdzie współczynniki  $\alpha_{ij}$  (kosinusy kierunkowe między osiami nowego i starego układu przy obrocie dookoła osi  $x_3$ ), zgodnie z Tab. 2.

Tab. 2. Kosinusy kątów między osiami przy obrocie dookoła osi  $x_3$

	$x_1$	$x_2$	$x_3$
$x'_1$	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	0
$x'_2$	$-\sin \alpha$	$\cos \alpha$	0
$x'_3$	0	0	1

Uwzględniając wzory (2) i tablicę 2 otrzymujemy:

$$\begin{aligned} P'_{11} &= P_{11} \cos^2 \alpha + P_{22} \sin^2 \alpha = a \cos^2 \alpha + b \sin^2 \alpha, \\ P'_{1111} &= P_{11} \cos^4 \alpha + (0,5P_{1122} + P_{1212}) \sin^2 2\alpha + P_{2222} \sin^4 \alpha = \\ &= c \cos^4 \alpha + d \sin^2 2\alpha + e \sin^4 \alpha. \end{aligned} \quad (3)$$

Zakładając, że krzywa wytrzymałości przechodzi przez punkty dla  $\alpha = 0^\circ$  i  $90^\circ$  z równań (3) i (1) otrzymujemy:

$$\begin{aligned} aR_0 + cR_0^2 &= 1, \\ bR_{90} + eR_{90}^2 &= 1. \end{aligned} \quad (4)$$

Uwzględniając (3) i (4) w (1) mamy

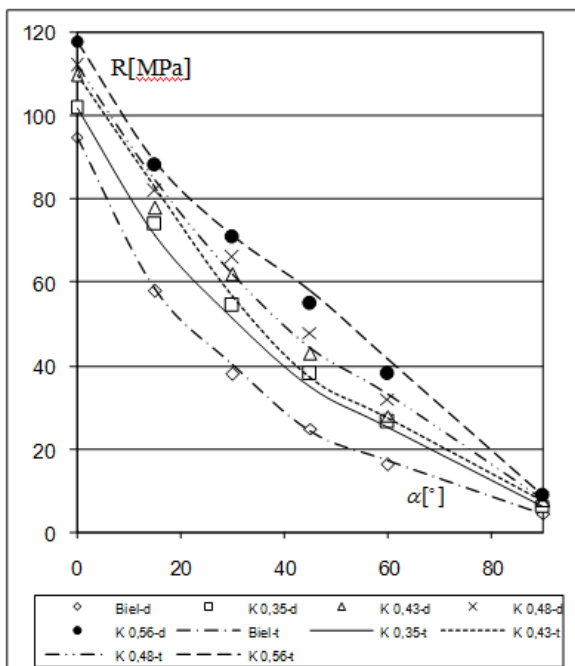
$$cx + dy + ez = w \quad (5)$$

gdzie:

$$\begin{aligned} x &= R_\alpha^2 \cos^4 \alpha - R_0 R_\alpha \cos^2 \alpha, \\ y &= R_\alpha^2 \sin^2 2\alpha, \\ z &= R_\alpha^2 \sin^4 \alpha - R_\alpha R_{90} \sin^2 \alpha, \\ w &= 1 - \frac{R_\alpha}{R_0} \cos^2 \alpha - \frac{R_\alpha}{R_{90}} \sin^2 \alpha. \end{aligned} \quad (6)$$

Tab. 3. Wytrzymałość teoretyczna bieli i kompozytu D-PMM

Materiał	$R_m$ [MPa] dla $\alpha$ [°]					
	0	15	30	45	60	90
Biel	95	58,3	40,4	24,3	17,4	4,5
K 0,35	102	71,4	51,3	34,8	25,4	6,3
K 0,43	110	82,9	56,6	37,0	27,6	7,6
K 0,48	112	84,5	62,1	44,4	33,2	7,9
K 0,56	118	89,2	71,3	58,2	41,7	8,9



Rys. 3. Zestawienie wytrzymałości na rozciąganie: punkty – dane doświadczalne, linie – krzywe teoretyczne

Stałe  $c, d, e$ , we wzorze (5) wyznaczono metodą najmniejszych kwadratów (MNK) przy wykorzystaniu wzoru (6) i Tab. 1.

Następnie stałe uzależniono od zawartości polimeru ( $p$ ) w postaci:

$$\begin{aligned} c &= 4,186 \cdot 10^{-5} + 9,643 \cdot 10^{-5} p - 20,796 \cdot 10^{-5} p^2, \\ d &= 4,535 \cdot 10^{-4} + 5,073 \cdot 10^{-4} p, \quad r = 0,9819, \\ e &= -16,353 \cdot 10^{-3} + 24,127 \cdot 10^{-3} p, \quad r = 0,9954. \end{aligned} \quad (7)$$

Stałe we wzorze (7) wyznaczono MNK i wartości stałych  $c, d, e$ , wyliczonych poprzednio.

Na podstawie stałych wyliczonych ze wzoru (7) wyliczamy stałe  $a, b$  ze wzoru (4) oraz  $P'_{11}$  i  $P'_{1111}$  ze wzoru (3). Wytrzymałość teoretyczną  $R'_m$  wyliczoną ze wzoru (1) zestawiono w Tab. 3.

Natomiast na Rys. 3 zestawiono średnie wyniki badań doświadczalnych wzięte z tablicy 1 oraz krzywe teoretyczne zgodnie z Tab. 3.

#### 4. WERYFIKACJA STATYSTYCZNA OPISU

Weryfikacja adekwatności opisu wytrzymałości przeprowadzono testem F-Snedocora (Zieliński, 1972)

$$F = \frac{\frac{\sum_{i=1}^m (\bar{R}_i^e - R'_i)^2}{f_1}}{\frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^{p_i} (R_{ij}^e - \bar{R}_i^e)^2}{f_2}}, \quad (8)$$

gdzie:  $\bar{R}_i^e$  – średnia wytrzymałość eksperymentalna dla  $i$ -tego kąta (Tab. 1),  $R'_i$  – wytrzymałość obliczeniowa dla  $i$ -tego kąta,  $R_{ij}^e$  – wytrzymałość eksperymentalna dla  $i$ -tego kąta i  $j$ -tego powtórzenia,  $m = 6$  – liczba kątów wycięcie próbek (Tab. 1),  $p_i$  – liczba powtórzeń dla  $i$ -tego kąta (Tab. 1),  $f_1 = m - M$  – stopnie swobody licznika,  $M = 3$  – liczba stałych w równaniu (5),  $f_2 = \sum_{i=1}^m (p_i - 1)$  – stopnie swobody mianownika.

Wartości  $F$  wyliczone ze wzoru (8) zestawiono w Tab. 4.

Tab. 4. Wartość  $F$  ze wzoru (8)

Materiał	$F$	$F_{0,05;f_1;f_2}$
Biel	0,192	2,815
K 0,35	0,715	2,79
K 0,43	1,535	2,785
K 0,48	1,161	2,79
K 0,56	1,869	2,785

W tablicy tej podano również wartości krytyczne dla poziomu istotności  $\alpha = 0,05$ .

## 5. WNIOSKI

Z Rys. 3 i Tab. 4 ( $F < F_{0,05;f_1;f_2}$ ) widać poprawny opis wytrzymałości na rozciąganie.

### LITERATURA

1. **Kyzioł L.** (1999), Mechanical properties of modified wood- *IUTAM symposium on Theoretical and Numerical Methods in Continuum Mechanics of Porous Materials*, University of Stuttgart, Germany, September 5-15, 221-227.
2. **Kyzioł L.** (2004), Analiza własności drewna konstrukcyjnego nasyconego powierzchniowo polimerem MM, *Zeszyty Naukowe AMW w Gdyni*, Rok XLV, Nr 156 A, 150.
3. **Noah J. N., Foudjet A.** (1998), Wood-polymer composites from some typical hardwoods, *Wood Science and Technology*, Vol.22, 115-119.
4. **Tsai S. W., Wu E. M.** (1971), A general theory of strength for anisotropic materials, *J. Composite Materials*, Vol. 5, No 7, 125-143.
5. **Wójtowicz A., Jabłoński M.** (1981), Niektóre własności fizykomechaniczne drewna zmodyfikowanego polimetakrylanem metylu jako funkcje jego zawartości w kompozycie, „*Zeszyty problemowe postępów nauk rolniczych*”. *Materiały konferencyjne „Modyfikacja Drewna”*, Z. 299, 179-185.
6. **Zieliński R.**, (1972), *Tablice Statystyczne*, PWN, Warszawa.

## INFLUENCE OF THE CONTENT OF THE POLYMER FOR ANISOTROPY OF THE WOOD STRENGTH FOR TENSILE

**Abstract:** The criterion Tsai-Wu for anisotropy materials in description of the wood and the composite strengths D-PMM related to the cutting angle of the specimens was applied. It was assumed that the strength curves run through the points denoting the strength in the principal axes of orthotropy. The coefficients were determined by the least square method. Verification of the accuracy of the description was made on the base of the test F-Snedocor'a.

Pracę wykonano w ramach pracy statutowej S/WM/2/2008.