

Lesław Kyzioł

ZASTĘPCZE STAŁE MATERIAŁOWE DREWNA KONSTRUKCYJNEGO MODYFIKOWANEGO POWIERZCHNIOWO PMM

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono metodę wyznaczania stałych materiałowych warstw wczesnych i późnych drewna modyfikowanego powierzchniowo polimetakrylanem metylu. Na podstawie badań eksperymentalnych wyznaczono stałe materiałowe drewna jako kompozytu. Wykorzystując metodę homogenizacji, określono zastępcze stałe materiałowe drewna naturalnego i modyfikowanego.

WSTĘP

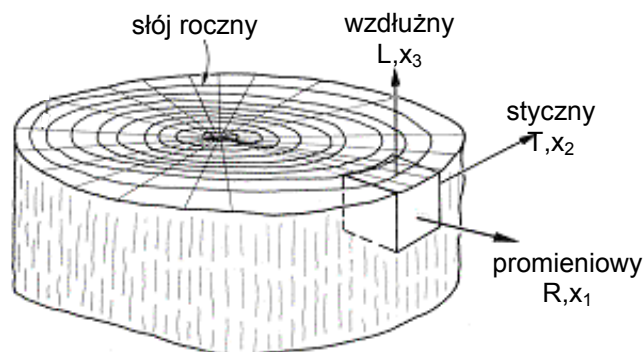
Parametry charakteryzujące składniki wchodzące w skład kompozytów sztucznych są zazwyczaj znane. Parametrami poszukiwanymi są zastępcze współczynniki charakteryzujące kompozyt.

W literaturze podane są parametry materiałowe drewna naturalnego jako kompozytu złożonego z warstw wczesnych i późnych, natomiast brakuje zastępczych stałych materiałowych drewna modyfikowanego powierzchniowo oraz stałych warstw drewna wczesnego i późnego o różnej zawartości polimeru.

W artykule podjęto próbę określenia parametrów zastępczych dla kompozytu będącego drewnem powierzchniowo modyfikowanym. Do wyznaczenia tych parametrów wykorzystano metodę homogenizacji, którą weryfikowano eksperymentalnie.

MATEMATYCZNY OPIS WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNYCH

Przy opisie właściwości mechanicznych drewna rozważany jest zakres odkształceń sprężystych.



Rys. 1. Pień drzewa z naniesionymi kierunkami anatomicznymi

W drewnie, w zależności od słojów rocznego przyrostu, wyróżnia się kierunki anatomiczne. W literaturze dotyczącej opisu właściwości drewna stosuje się zapis literowy, oznaczający kierunki anatomiczne drewna: R – kierunek promieniowy, T – styczny, L – wzdłużny do powierzchni poszczególnych warstw włókien. Natomiast w teorii sprężystości używa się zapisu wskaźnikowego 1, 2, 3, a w szczególności: x_1 – kierunek promieniowy, x_2 – styczny, x_3 – wzdłużny. Właściwości drewna, zwłaszcza właściwości mechaniczne, są różne w wybranych kierunkach [2, 4, 10, 11]. Dla uproszczenia obliczeń przyjmuje się materiałową anizotropię ortogonalną, w której wyróżnia się trzy wzajemnie prostopadłe płaszczyzny symetrii, względem których zachodzi symetria właściwości drewna.

W uogólnionym prawie Hooke'a, wyrażającym zależność pomiędzy stanem odkształcenia a naprężenia, występuje macierz podatności zawierająca dwie stałe materiałowe dla ciał izotropowych (E , ν). Natomiast w rozpatrywanym przypadku, dla ciał ortotropowych, występuje dwanaście stałych materiałowych [4, 5, 10]. Ze względu na ich symetrię względem głównej przekątnej zachodzą relacje:

$$\frac{\nu_{ij}}{E_i} = \frac{\nu_{ji}}{E_j}, \text{ gdzie } (i, j = 1, 2, 3)$$

i na tej podstawie liczba niezależnych wyrazów macierzy podatności redukuje się do dziewięciu.

Uogólnioną postać prawa Hooke'a dla materiału anizotropowego można wyrazić za pomocą modułów Younga (E_L , E_R , E_T), modułów odkształcenia postaciowego (G_{LR} , G_{RT} , G_{TL}) i liczb Poissona:

– elementy na głównej przekątnej

$$E_1 = E_R = \frac{1}{S_{11}}; \quad E_2 = E_T = \frac{1}{S_{22}}; \quad E_3 = E_L = \frac{1}{S_{33}}; \quad (1)$$

$$G_{32} = G_{LT} = C_{44} = \frac{1}{S_{44}}; \quad G_{13} = G_{RL} = C_{55} = \frac{1}{S_{55}}; \quad G_{12} = G_{RT} = C_{66} = \frac{1}{S_{66}}; \quad (2)$$

– pozostałe elementy

$$v_{12} = v_{RT} = -\frac{S_{21}}{S_{11}} \rightarrow v_{21} = v_{TR} = -\frac{S_{12}}{S_{22}}, \quad v_{31} = v_{LR} = -\frac{S_{13}}{S_{33}} \rightarrow v_{13} = v_{RL} = -\frac{S_{31}}{S_{11}} \quad (3)$$

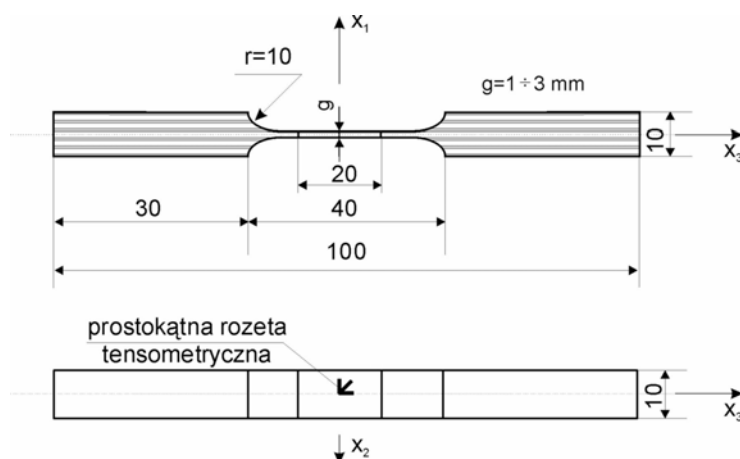
$$v_{23} = v_{TL} = -\frac{S_{32}}{S_{22}} \rightarrow v_{32} = v_{LT} = -\frac{S_{23}}{S_{33}}$$

STAŁE MATERIAŁOWE WARSTW DREWNA

Powierzchniowa modyfikacja drewna powoduje umocnienie głównie warstw wierzchnich, warstwy położone głębiej mniej się umacniają. Ważna jest przy projektowaniu konstrukcji znajomość danych składowych kompozytu, a w tym przypadku stałych materiałowych pojedynczych warstw drewna wczesnego i późnego. W dostępnej literaturze brakuje danych dotyczących wartości stałych materiałowych pojedynczych warstw drewna modyfikowanego oraz sposobu ich wyznaczenia.

Drewno jako kompozyt jest materiałem ortotropowym. W pojedynczych warstwach drewna przyjmuje się, że poszczególne włókna są do siebie równoległe. Dlatego przyjęto, że pojedyncze warstwy drewna wykazują właściwości materiału transwersalno-izotropowego, tzn. materiału, w którym wyróżnia się jedną płaszczyznę, gdzie własności materiału są identyczne we wszystkich kierunkach równoległych do niej. Materiał transwersalnie izotropowy jest opisany przez pięć stałych niezależnych.

W badaniach zastosowano drewno sosnowe ze względu na największy udział tego gatunku drewna w budownictwie okrętowym, powszechną dostępność, łatwość nasycania i cenę. W celu określenia stałych materiałowych warstw przygotowano próbki z części bielastej drewna wczesnego i późnego.



Rys. 2. Geometria próbki wyciętej w kierunku osi x_3

Na rysunku 2. przedstawiono kształt i wymiary próbek do badań właściwości mechanicznych pojedynczej warstwy drewna. Ponadto pokazano umiejscowienie prostokątnej rozety tensometrycznej na płaszczyźnie (x_2, x_3) , za pomocą której mierzono odkształcenia. Część pomiarową próbki stanowiła pojedyncza warstwa drewna (wczesnego lub późnego).

Badania warstw drewna naturalnego i modyfikowanego były prowadzone równolegle. Oznacza to, że z pnia drewna w bezpośrednim sąsiedztwie były wyrabiane próbki do badań drewna naturalnego i modyfikowanego. Miało to na celu określenie wpływu modyfikacji drewna na jego właściwości. Zasadniczą trudność stanowiło wykonanie próbek dla kierunku x_2 . Dlatego badania przeprowadzono na próbkach o wymiarach mniejszych od przyjętych w normie. Warstwy na przekroju poprzecznym pnia mają kształt zbliżony do okręgu lub owalu. Należy wybrać takie miejsca, w których warstwy są proste.

Z pojedynczych warstw drewna wczesnego i późnego wykonano po dwie próbki. Jedna próbka z każdej warstwy została przeznaczona do określenia stałych materiałowych drewna naturalnego, natomiast drugą poddano modyfikacji. Przeprowadzono pięć powtórzeń dla każdej próby.

Próbka do badań składa się z części pomiarowej o długości 20 mm i przekroju 10×2 [mm²] oraz części uchwytowych (rys. 2.). Modyfikowano tylko części pomiarowe próbek [6 – 8].

W połowie długości próbek naklejono prostokątne rozety tensometryczne na płaszczyźnie (x_2, x_3) oraz tensometr na płaszczyźnie (x_1, x_2) . Tak przygotowane próbki poddano próbie statycznego rozciągania wzdłuż włókien.

Pojedyncze warstwy drewna wykazują właściwości materiału transwersalno-izotropowego i liczba niezależnych współczynników macierzy podatności redukuje się do pięciu.

Dla izotropii transwersalnej zachodzą następujące związki [3 – 5, 9, 12]:

$$S_{11} = S_{22}$$

$$S_{23} = S_{13} = S_{31} = S_{32} = -\frac{\nu_{32}}{E_3} = -\frac{\nu_{31}}{E_3} = -\frac{\nu_{13}}{E_1} = -\frac{\nu_{23}}{E_2}, \quad (4)$$

$$\text{ponieważ } E_1 = E_2 \Rightarrow \nu_{13} = \nu_{23} \text{ oraz } \nu_{32} = \nu_{31}; \quad (5)$$

$$S_{12} = S_{21} = -\frac{\nu_{21}}{E_2} = -\frac{\nu_{12}}{E_1} \Rightarrow \nu_{21} = \nu_{12}. \quad (6)$$

Uogólnione prawo Hooke'a dla pojedynczej warstwy można wyrazić następująco:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} \\ \varepsilon_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{22} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{12} & S_{22} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{13} & S_{13} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 2(S_{22} - S_{12}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \end{Bmatrix}. \quad (7)$$

Wyznaczenie współczynników macierzy podatności przeprowadzono na zasadzie superpozycji wyników dla dwóch zagadnień płaskich odpowiadających płaszczyznom (x_2, x_3) i (x_1, x_2) .

Dla zagadnienia płaskiego w płaszczyźnie (x_2, x_3) postać zależności (7) przedstawia się następująco:

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{23} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{22} & S_{23} & 0 \\ S_{32} & S_{33} & 0 \\ 0 & 0 & S_{44} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \end{Bmatrix}, \quad (8)$$

natomiast w płaszczyźnie (x_1, x_2)

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{22} & S_{12} & 0 \\ S_{21} & S_{22} & 0 \\ 0 & 0 & 2(S_{22} - S_{22}) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{12} \end{Bmatrix}. \quad (9)$$

Przez pomiar odkształceń za pomocą prostokątnej rozety tensometrycznej w płaszczyźnie (x_2, x_3) uzyskuje się składowe odkształcenia ε_{22} , ε_{33} , natomiast odkształcenia postaciowe ε_{23} wyznacza się ze wzoru transformacyjnego [3, 12]:

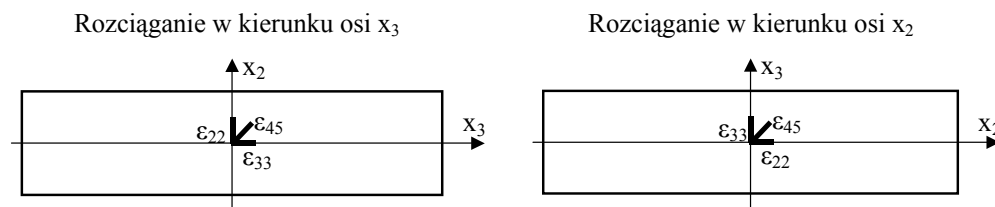
$$\varepsilon_{45^0} = \frac{1}{2}(\varepsilon_{22} + \varepsilon_{33}) + \frac{1}{2}(\varepsilon_{22} - \varepsilon_{33})\cos(90^0) + \frac{1}{2}\varepsilon_{23}\sin(90^0), \quad (10)$$

$$\text{stad } \varepsilon_{23} = 2\varepsilon_{45^0} - \varepsilon_{22} - \varepsilon_{33};$$

$$S_{44} = \frac{\varepsilon_{23}}{\sigma_{23}} = \frac{2\varepsilon_{45^0} - \varepsilon_{22} - \varepsilon_{33}}{\sigma_{23}}. \quad (11)$$

Na rysunkach 3 – 5 przedstawiono część pomiarową próbki z rysunku 2., na której umiejscowiono rozetę tensometryczną. Rejestrowała ona odkształcenia ε_{33} , ε_{22} , ε_{45^0} w funkcji obciążenia.

Sposób określania stałych materiałowych przedstawiono na przykładzie próbki o przekroju A, wyrobionej z warstwy bielastego drewna naturalnego rozciąganej siłą F .

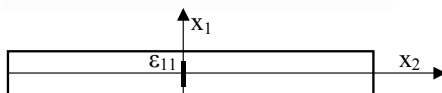


Rys. 3. Pomiar odkształceń próbki poddanej obciążeniu w kierunku osi x_3

Rys. 4. Pomiar odkształceń próbki poddanej obciążeniu w kierunku osi x_2

Korzystając z zależności (4) i (5), wyznaczono $E_1 = E_2$, $\nu_{13} = \nu_{23}$, $\nu_{31} = \nu_{32}$.

Przez pomiar odkształceń próbki poddanej rozciąganiu w kierunku osi x_2 (rys. 5.) za pomocą tensometru uzyskano składową odkształcenia ε_{11} .



Rys. 5. Pomiar odkształceń próbki poddanej obciążeniu w kierunku osi x_2

Z badań wyznaczono współczynniki macierzy podatności (7) dla naturalnych i modyfikowanych warstw drewna wczesnego i późnego. Wykorzystując prawo Hooke’a, określono stałe materiałowe warstw wczesnych i późnych, których wartości przedstawiono w tabelach 1. i 2.

Tabela 1. Stałe sprężystości warstwy drewna wczesnego i późnego

Warstwy	$E_1 = E_2$ $E_R = E_T$ [GPa]	E_3 E_L [GPa]	$G_{23} = G_{13}$ $G_{TL} = G_{RL}$ [GPa]	G_{12} G_{RT} [GPa]	$\nu_{21} = \nu_{12}$ $\nu_{TR} = \nu_{RT}$	$\nu_{32} = \nu_{31}$ $\nu_{LT} = \nu_{LR}$	$\nu_{23} = \nu_{13}$ $\nu_{TL} = \nu_{RL}$
Wczesne	1.63	8.60	0.45	0.72	0.13	0.30	0.05
Późne	3.50	16.0	2.10	1.43	0.20	0.35	0.076

Tabela 2. Stałe sprężystości modyfikowanych warstw drewna wczesnego późnych i późnego

Warstwy	$E_R = E_T$ $E_1 = E_2$ [GPa]	E_L E_3 [GPa]	$G_{TL} = G_{RL}$ $G_{23} = G_{13}$ [GPa]	G_{RT} G_{12} [GPa]	$\nu_{TR} = \nu_{RT}$ $\nu_{21} = \nu_{12}$	$\nu_{LT} = \nu_{LR}$ $\nu_{32} = \nu_{31}$	$\nu_{TL} = \nu_{RL}$ $\nu_{23} = \nu_{13}$
Wczesne W0.56	5.69	17.26	2.31	1.73	0.05	0.21	0.07
Późne P0.08	4.01	16.06	2.25	1.68	0.18	0.29	0.086

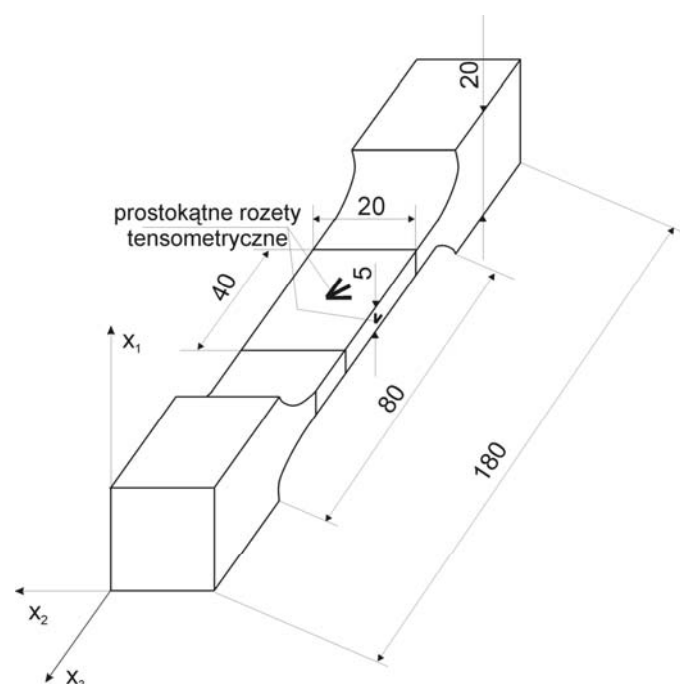
gdzie: **W0.58**, **P0.08** – cyfry oznaczające zawartość polimeru w kg/kg drewna suchego.

Zawartość polimeru wpływa na umocnienie tylko warstw drewna wczesnego. Warstwy drewna późnego wykazują niewielką modyfikację.

Wykonane próbki z pojedynczych warstw drewna wczesnego i późnego pozwoliły na określenie po pięć niezależnych stałych materiałowych każdej warstwy, odpowiadających materiałowi monotropowemu (transwersalno-izotropowemu).

STAŁE MATERIAŁOWE DREWNA JAKO KOMPOZYTU

Próbki przygotowane do badań z części przyobwodowej pnia miały kształt i wymiary przedstawione na rysunku 6. Osie próbek pokrywały się z kierunkiem włókien oraz biegiły w kierunku prostopadłym do włókien. Tak więc, oś próbki pokrywała się kolejno z osią x_3 , x_2 oraz x_1 . Dla każdego kierunku z danego miejsca wyrobiono po 25 próbek (pięć powtórzeń po pięć próbek). Ze względu na ograniczone wymiary poprzeczne pnia wykonano oddzielnie części pomiarowe próbek, które doklejało do części uchwytych. Grubość pomiarowa próbki zawierała przynajmniej cztery warstwy.



Rys. 6. Geometria próbki

W środkowym punkcie części pomiarowej próbki naklejono prostokątne rozety tensometryczne. Poddając próbki próbie statycznego rozciągania, rejestrowano w trzech kierunkach odkształcenia sprężyste drewna.

W uogólnionym prawie Hooke'a dla ciała ortotropowego, wyrażającym zależność pomiędzy stanem odkształcenia a naprężenia, liczba niezależnych współczynników macierzy podatności wynosi dziewięć.

$$\begin{Bmatrix} \varepsilon_{11} \\ \varepsilon_{22} \\ \varepsilon_{33} \\ \varepsilon_{23} \\ \varepsilon_{31} \\ \varepsilon_{12} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & S_{13} & 0 & 0 & 0 \\ S_{21} & S_{22} & S_{23} & 0 & 0 & 0 \\ S_{31} & S_{32} & S_{33} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & S_{44} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & S_{55} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{66} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \sigma_{11} \\ \sigma_{22} \\ \sigma_{33} \\ \sigma_{23} \\ \sigma_{31} \\ \sigma_{12} \end{Bmatrix}. \quad (12)$$

Wyznaczenie współczynników macierzy podatności przeprowadzono na zasadzie superpozycji wyników dla trzech zagadnień płaskich, odpowiadających płaszczyznom (x_2, x_3) , (x_1, x_3) , (x_1, x_2) .

Sposób określania stałych materiałowych na podstawie wyników pomiarów jest taki sam jak w przypadku warstw. Z pomiaru odkształceń za pomocą rozet tensometrycznych, przy wykorzystaniu wzorów transformacyjnych, wyznaczono stałe materiałowe naturalnego i modyfikowanego drewna, których wartości przedstawiono w tabeli 3.

W przeprowadzonych badaniach określono współczynniki macierzy podatności drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego powierzchniowo K0.56 PMM [6 – 8].

Tabela 3. Stałe materiałowe drewna naturalnego i modyfikowanego

Stała materiałowa	K0.0	K0.56
$E_R = E_1 [GPa]$	2.15	5.09
$E_T = E_2 [GPa]$	2.35	5.12
$E_L = E_3 [GPa]$	11.85	16.45
$G_{TL} = G_{23} [GPa]$	0.72	2.57
$G_{LR} = G_{31} [GPa]$	1.04	2.34
$G_{RT} = G_{12} [GPa]$	0.91	1.94
$\nu_{RL} = \nu_{13}$	0.06	0.08
$\nu_{TL} = \nu_{23}$	0.07	0.05
$\nu_{LT} = \nu_{32}$	0.35	0.18
$\nu_{RT} = \nu_{12}$	0.58	0.34
$\nu_{TR} = \nu_{21}$	0.66	0.35
$\nu_{LR} = \nu_{31}$	0.32	0.28

ZASTĘPCZE STAŁE MATERIAŁOWE DREWNA

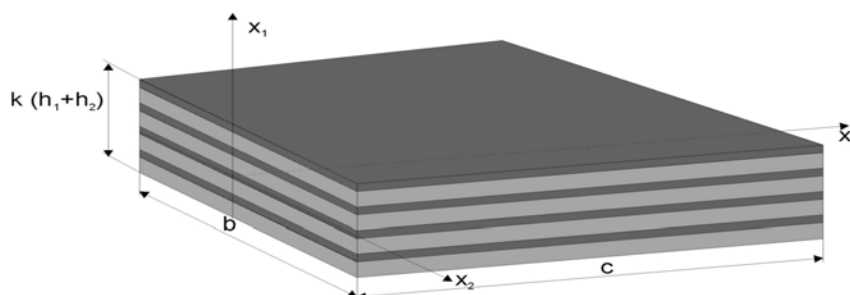
Każdy materiał ma strukturę nieciągłą, jednak w opisie matematycznym zakłada się, że stanowi on ośrodek ciągły. Jest to dopuszczalne, ponieważ rozmiary nawet najmniejszego obiektu technicznego zdecydowanie przewyższają rozmiary elementów mikrostruktury.

Badań drewna nie prowadzono dotychczas na poziomie budowy komórkowej, lecz na poziomie skali obserwacji, gdzie drewno wykazuje strukturę warstwową w postaci naprzemiennie ułożonych warstw drewna wczesnego i późnego. Od tej skali obserwacji rozpoczęto rozważania, przyjmując ją jako skalę mikro.

Przejście z poziomu niejednorodności mikroskopowej do poziomu makroskopowego jednorodnego nosi nazwę *h o m o g e n i z a c j i*. Formułuje ona opis makroskopowy poprzez ujednorodnienie właściwości mikroskopowych [5].

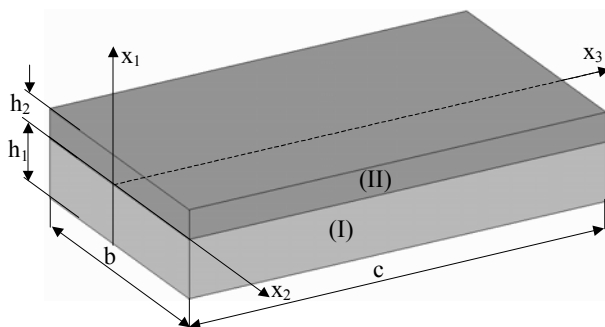
Po wyznaczeniu stałych materiałowych warstw wczesnych i późnych wzmocnionych polimetakrylanem metylu oraz stałych materiałowych drewna modyfikowanego powierzchniowo powstało pytanie: Czy na podstawie znajomości wartości stałych materiałowych pojedynczych warstw można określić stałe materiałowe drewna jako kompozytu? W technice powszechnie stosowana do opisu właściwości skał, betonów zbrojonych, a także ludzkich tkanek kostnych stosowana jest metoda homogenizacji [9]. W dostępnej literaturze brak jest pozycji dotyczących określenia parametrów zastępczych sprężystości dla drewna z wykorzystaniem metody homogenizacji.

Metodykę określenia zastępczych stałych materiałowych drewna oparto na teorii sprężystości.



Rys. 7. Geometria części pomiarowej próbki:
 c – długość części pomiarowej; b – szerokość części pomiarowej;
 k – grubość części pomiarowej (rys. 6.)

W tym celu z części pomiarowej próbki o grubości k (rys. 7.) wyodrębniono reprezentatywną komórkę składającą się z warstwy drewna wczesnego i późnego (rys. 8.), na podstawie której opracowano model matematyczny zastępczych stałych materiałowych.



Rys. 8. Część pomiarowa próbki zorientowana w układzie współrzędnych prostokątnych:
I – warstwa drewna wczesnego; II – warstwa drewna późnego

Biorąc pod uwagę wymiary próbki z rysunku 8, przekrój A, poprzeczny do osi x_3 , można wyrazić: $A = A_1 + A_2$ lub $b(h_1 + h_2) = b h_1 + b h_2$.

Przyjęto stosunek wymiarów:

$$n = \frac{h_2}{h_1} = 0.5 \quad (1)$$

i stąd otrzymano $A = A_1(1 + n)$.

Model obliczeniowy zastępczych stałych materiałowych polegał na tym, że próbkę składającą się z dwóch warstw (jak na rys. 8.) poddano równomiernemu rozciąganiu odpowiednio w kierunku osi x_1 , x_2 oraz x_3 . Wykorzystując warunki równowagi sił, warunki geometryczne oraz uogólnione prawo Hooke'a, określono zastępcze stałe materiałowe.

Uzyskane w wyniku obliczeń wartości parametrów zastępczych zostały zweryfikowane za pomocą stałych materiałowych uzyskanych w badaniach doświadczalnych. Zgodność wyników otrzymanych z pomiarów i obliczonych będzie dowodem poprawności zastosowanej metody homogenizacji. Spełnia ona rolę wspierającego narzędzia laboratoryjnego.

W wyniku zastosowanej metody otrzymano wartości stałych zastępczych dla drewna naturalnego i modyfikowanego zestawione w tabeli 4.

Tabela 4. Zastępcze stałe materiałowe drewna naturalnego i modyfikowanego określone metodą homogenizacji

Stała materiałowa	K0.0	K0.56
$E_R = E_1 [GPa]$	1.98	4.99
$E_T = E_2 [GPa]$	2.25	5.13
$E_L = E_3 [GPa]$	11.06	16.86
$G_{TL} = G_{23} [GPa]$	0.72	2.29
$G_{LR} = G_{31} [GPa]$	1.00	2.29
$G_{RT} = G_{12} [GPa]$	0.86	1.71
$\nu_{RL} = \nu_{13}$	0.05	0.06
$\nu_{TL} = \nu_{23}$	0.06	0.07
$\nu_{LT} = \nu_{32}$	0.30	0.23
$\nu_{RT} = \nu_{12}$	0.66	0.29
$\nu_{TR} = \nu_{21}$	0.75	0.30
$\nu_{LR} = \nu_{31}$	0.30	0.23

Porównując wartości parametrów zastępczych dla drewna naturalnego i modyfikowanego uzyskanych na podstawie badań doświadczalnych (tab. 3.) oraz obliczonych za pomocą metody homogenizacji (tab. 4.), należy stwierdzić, że metoda ta daje zadowalające wyniki. Różnica wartości parametrów wyznaczonych doświadczalnie i obliczonych nie przekracza 15%.

PODSUMOWANIE

Drewno jest kompozytem warstwowym. Opracowano metodę, na podstawie której możliwe było wyznaczenie wartości stałych materiałowych warstw wczesnych i późnych drewna naturalnego i modyfikowanego powierzchniowo. Przyjęto, że pojedyncze warstwy drewna wykazują właściwości materiału transwersalno-izotropowego opisanego przez pięć stałych niezależnych.

Badania wykazały, że w wyniku modyfikacji polimetakrylanem metylu warstwy drewna późnego nieznacznie się umacniają. Materiał ten tylko w części przypowierzchniowej podlega wzmocnieniu i dlatego wartości modułów Younga zwiększają się nieznacznie. Warstwy drewna wczesnego, które zostały wypełnione polimerem, prawie dwukrotnie uległy umocnieniu.

Do określenia zastępczych stałych sprężystości drewna zastosowano metodę homogenizacji. Poprawność metody zweryfikowano wynikami eksperymentalnymi stałych materiałowych drewna naturalnego i modyfikowanego. Różnica stałych materiałowych drewna naturalnego i modyfikowanego uzyskanych na podstawie badań eksperymentalnych i określonych metodą homogenizacji nie przekroczyła 15%. Tak więc, metoda homogenizacji pozwala na uzyskanie zadowalających wyników zastępczych stałych materiałowych. Drewno poddane modyfikacji PMM wykazuje właściwości materiału monotropowego (stałe materiałowe dla kierunku promieniowego i stycznego mają zbliżone wartości). Szczególnie dotyczy to kompozytu drewna o zawartości polimeru powyżej 50%.

Należy przypuszczać, że są to pierwsze próby zastosowania metody homogenizacji do opisu własności drewna.

Słowa kluczowe:

modyfikacja drewna, współczynniki sprężystości, warstwy drewna, metoda homogenizacji, zastępcze stałe materiałowe.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Auriault J. L., Cailleire D., *Quelques remarques sur les méthodes d'homogénéisation*, „Rev. Franç. Geotech.”, 1989, No 49, p. 43 – 50.
- [2] Beliankin N. P., Jacenko V. F., *Deformativnost i soprotivlaemost drevesiny kak uprugo-vjazko-plastičeskovo tela*, Akademia Nauk, Kijev 1957.
- [3] Boding J., Jayne B. A., *Mechanics of wood and wood composites*, Van Nostrand Reinhold, New York 1982.
- [4] Haberkzak A., *Współczynniki sprężystości postaciowej w materiałach anizotropowych*, „Przemysł Drzewny”, 1977, nr 6, s. 18 – 25.
- [5] Jayne B. A., *Theory and design of wood and fiber composite materials*, „Syracuse University Press”, New York – Cincinnati – London – Melbourne 1972.
- [6] Kowalski S. J., Kyzioł L., Rybicki A., *Composite of wood and polymerised methacrylate*, „Composites”, 2002, Part B, Vol. 33, p.77 – 86.
- [7] Kyzioł L., *Ocena stosowania drewna jako materiału konstrukcyjnego w budowie specjalnych jednostek pływających*, „Przemysł Drzewny”, 1996, nr 1, s. 23 – 25.

- [8] Kyzioł L., *Wpływ nasycenia drewna sosnowego metakrylanem metylu na jego własności mechaniczne*, materiały konferencyjne „Polimery i Kompozyty Konstrukcyjne”, Politechnika Śląska, Ustroń 1998, s. 195 – 202.
- [9] Łydźba D., *Zastosowanie metody asymptotycznej homogenizacji w mechanice gruntów i skał*, Politechnika Wroclawska, Wrocław 2002.
- [10] Rocens K. A., *Technologičeskije regulirovanie svojstv dreviesiny. Zinatyje*, Riga 1979.
- [11] Rybarczyk W., *Studia nad opracowaniem matematycznego modelu mechaniczno-wilgotnościowych właściwości niektórych materiałów drzewnych*, „Prace Instytutu Technologii Drewna”, 1973, t. 2, nr 66, s. 97 – 138.
- [12] Timoszenko S., Goodier J. N., *Teoria sprężystości*, Arkady, Warszawa 1951.

ABSTRACT

The article describes a method of setting constant parameters of sapwood and hardwood modified by composite methylmetacrylate. Based on experimental research constant parameters of composite wood have been determined. Replaceable constant parameters of natural and modified wood have been determined on the basis of an homogenization method.

Recenzent dr hab. inż. Zbigniew Powierża, prof. nadzw. Akademii Morskiej w Gdyni