

Lesław Kyzioł
Akademia Marynarki Wojennej

ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ W PŁYCCIE Z DREWNA MODYFIKOWANEGO PODDANEJ ZGINANIU

STRESZCZENIE

Na podstawie przeprowadzonych badań i obliczeń zaprezentowano wpływ powierzchniowej modyfikacji drewna sosnowego na rozkład naprężeń w elementach konstrukcyjnych poddanych zginaniu. Umacnianie miękkich warstw drewna modyfikowanego powoduje odciążenie twardych warstw drewna i w rezultacie równomierny rozkład naprężeń. Dotyczy to zwłaszcza konstrukcji zginanych i skręcanych.

Słowa kluczowe:

drewno modyfikowane powierzchniowo, płyta, badania laboratoryjne, obliczenia numeryczne rozkładu naprężeń w płycie.

WSTĘP

Drewno jest materiałem, który ze względu na swoje podstawowe zalety ma zastosowanie niemalże we wszystkich działach gospodarczych. **Podstawowe zalety** drewna konstrukcyjnego przemawiające za stosowaniem go na konstrukcje, także morskie, to: mały ciężar właściwy w stosunku do materiałów metalicznych, dobra izolacja termiczna, tłumienie drgań i dźwięków, amagnetyczność, odnawialność. Natomiast **zasadnicze jego wady** to: porowatość, czyli duża nasiąkliwość, a stąd zmienne w czasie pęcznienie. **Porowatość**, która z jednej strony jest poważną wadą drewna, może być jednocześnie jego zaletą [2].

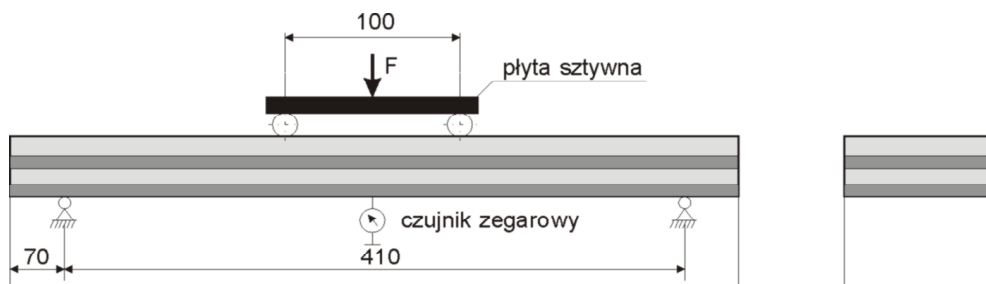
Przez wypełnienie porów drewna odpowiednim monomerem otrzymuje się kompozyt (drewno-polimer) [3 – 8, 11]. Uzyskuje się w ten sposób skuteczne zabezpieczenie przed degradacją oraz przedłużenie trwałości użytkowania i poprawę własności mechanicznych drewna.

Przy zginaniu, skręcaniu konstrukcji najbardziej wyężone są powierzchnie zewnętrzne. Aby je wzmocnić, nie ma jednak potrzeby dokonywania modyfikacji na wskroś. W wyniku modyfikacji powierzchniowej wzmocnieniu ulegają **warstwy zewnętrzne**, a jednocześnie następuje obniżenie ciężaru i kosztu konstrukcji.

Celem pracy jest zaprezentowanie wpływu powierzchniowej modyfikacji drewna sosnowego na rozkład naprężeń w elementach konstrukcyjnych poddanych zginaniu.

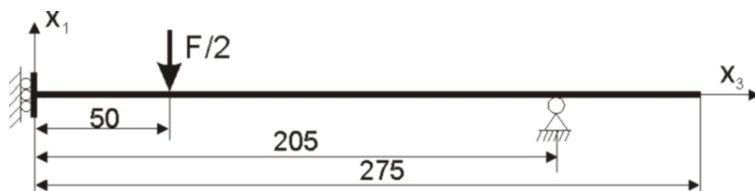
ROZKŁAD NAPRĘŻEŃ W PŁYTCIE PODDANEJ WALCOWEMU UGIĘCIU

Badania przeprowadzono na płytach o wymiarach 550x100x16 mm ($L \times T \times R$) z drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego K0.56 [3] poddanych zginaniu siłą F . Schemat obciążenia i podparcia płyty przedstawiono na rysunku 1. Siła obciążająca F była skierowana prostopadłe do kierunku warstw. Belka składała się z 11 naprzemiennie ułożonych warstw drewna miękkiego i twardego. Stosunek grubości warstw twardych do miękkich wynosił 0.5.



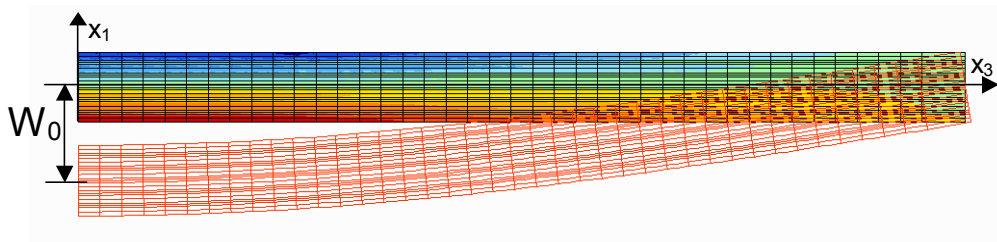
Rys. 1. Schemat podparcia i obciążenia płyt z drewna naturalnego i modyfikowanego

Model obliczeniowy symetrycznej połowy rozważanej płyty przedstawiono na rysunku 2. Sposób podparcia i obciążenia płyty zapewnia stały moment gnący w jej środkowej części.

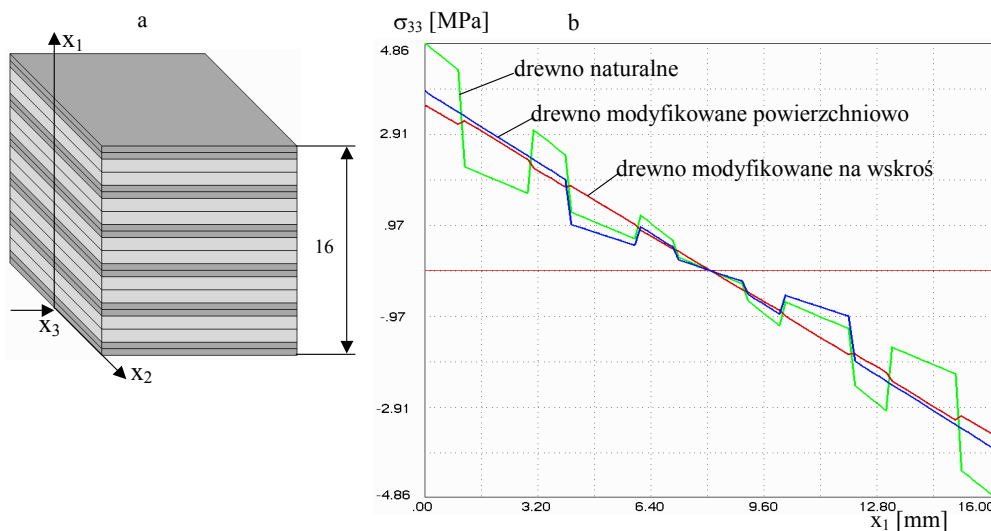


Rys. 2. Schemat podparcia i obciążenia płyty zginanej

Obliczenia rozkładu naprężeń po grubości płyty przeprowadzono metodą elementów skończonych, jak dla tarczy znajdującej się w płaskim stanie naprężenia. Przyjęto, że składowe naprężenia w kierunku osi x_2 są pomijalnie małe. Sposób dyskretyzacji przedstawiono na rysunku 3., przy czym każdą z warstw opisano na jej grubości dwoma elementami dziewięciowęzłowymi (rys. 4b).

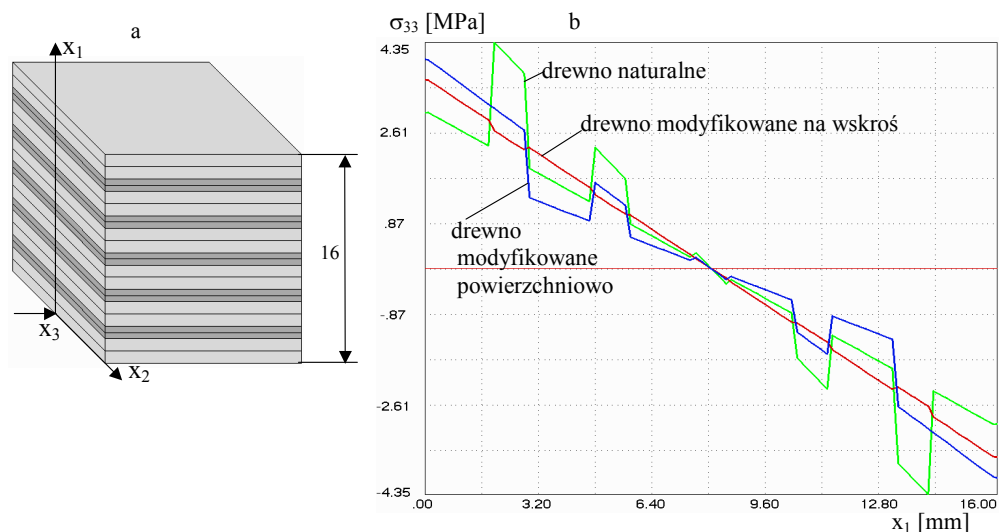


Rys. 3. Przemieszczenia odkształconej płyty (W_0 – strzałka ugięcia)



	$(E I_z)_{zast}$ [MPa·mm ⁴]	W_b [mm]	W_t [mm]	W_z [mm]
Naturalne	$4.105 \cdot 10^6$	0.642	0.641	0.638
modyfikowane na wskroś	$5.702 \cdot 10^6$	0.462	0.451	0.460
modyfikowane powierzchniowo	$5.180 \cdot 10^6$	0.509	0.506	–

Rys. 4.: a – występowanie warstw na grubości płyty;
b – rozkład naprężenia σ_{33} po grubości płyty, warstwę wierzchnią stanowi drewno późne



	$(E I_z)_{zast}$ [MPa·mm ⁴]	W_b [mm]	W_t [mm]	W_z [mm]
Naturalne	$3.493 \cdot 10^6$	0.755	0.754	0.750
modyfikowane na wosk	$5.801 \cdot 10^6$	0.455	0.446	0.450
modyfikowane powierzchniowo	$4.890 \cdot 10^6$	0.530	0.537	–

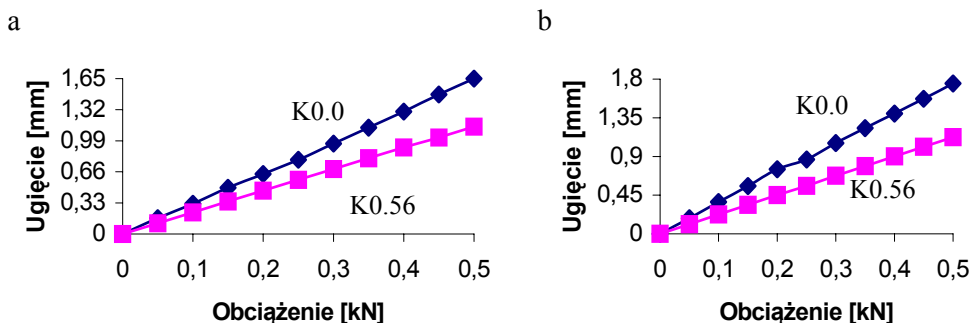
Rys. 5.: a – występowanie warstw na grubości płyty;
b – rozkład naprężenia σ_{33} po grubości płyty, warstwę wierzchnią stanowi drewno wczesne

W obliczeniach rozkładu naprężenia na grubości płyty uwzględniono różną konfigurację warstw drewna miękkiego i twardego (rys. 4a i 5a). Płyty rozważano jako elementy konstrukcyjne wykonane z drewna naturalnego modyfikowanego powierzchniowo i modyfikowanego na wosk.

W przypadku drewna naturalnego występują wyraźne zróżnicowania naprężeń w warstwach drewna miękkiego i twardego [3]. Niezależnie od konfiguracji warstw (rys. 4a i 5a) warstwy drewna twardego podlegają znacznie większemu wyężeniu aniżeli warstwy drewna miękkiego. W płycie z drewna modyfikowanego powierzchniowo na skutek modyfikacji warstw przypowierzchniowych drewna miękkiego wyężenie warstw powierzchniowych miękkich i twardech jest zbliżone. Dla płyty z drewna poddanego modyfikacji na wosk wyężenie zmienia się jak w belce jednorodnej. Dla przypadku, gdy [3]:

1. Powierzchnie wierzchnie stanowią warstwy drewna twardego, wyężenie ich wynosi:
 - dla drewna naturalnego – 4.85 MPa;
 - dla drewna modyfikowanego na wosk – 3.52 MPa;
 - dla drewna modyfikowanego powierzchniowo – 3.85 MPa.

2. Powierzchnie wierzchnie stanowią warstwy drewna miękkiego, wyężenie ich wynosi:
- dla drewna naturalnego – 3.00 MPa;
 - dla drewna modyfikowanego na wskroś – 3.63 MPa;
 - dla drewna modyfikowanego powierzchniowo – 4.03 MPa.



Rys. 6. Strzałka ugięcia belki z drewna naturalnego K0.0 i modyfikowanego K0.56 w funkcji obciążenia: a – warstwy zewnętrzne, drewno twarde; b – warstwy zewnętrzne, drewno miękkie

Wykorzystując wartości stałych sprężystości warstw miękkich i twardych drewna naturalnego i modyfikowanego [3], obliczono strzałki ugięcia (w zakresie sprężystym) w zależności od siły F .

Przeprowadzono badania laboratoryjne zginania belki w zakresie sprężystości materiału drewna naturalnego i modyfikowanego. Polegały one na pomiarze strzałki ugięcia pod wpływem zewnętrznej siły F . Strzałki ugięcia mierzono za pomocą czujnika zegarowego. Na rysunku 6. przedstawiono wyniki badań. Zdeformowaną postać płyty (skala przemieszczeń 20:1) przedstawiono na rysunku 3.

Po przekroczeniu granicy sprężystości drewna w próbie zginania obserwuje się zjawiska typowe dla drewna. Słyszalne są trzaski wydobywające się z próbki, a dopiero po pewnym czasie obserwuje się powolne niszczenie warstw wierzchnich przemieszczające się w głąb materiału. Następuje przy tym ciągła zmiana geometrii próbki.

Cechą odróżniającą drewno naturalne od modyfikowanego jest efekt akustyczny. W przypadku drewna naturalnego występują trzaski słyszalne od momentu przekroczenia granicy sprężystości aż do zniszczenia. Cecha ta jest niejednokrotnie zaletą drewna jako materiału konstrukcyjnego.

W przypadku drewna modyfikowanego efekty akustyczne w postaci trzasków występują wówczas, gdy zniszczeniu podlegają włókna o mniejszej zawartości polimeru, a więc na większej głębokości. Jednakże efekty te występują, czyli zachowana jest podstawowa cecha materiału przy modyfikacji powierzchniowej.

Pod rysunkami 4. i 5. zestawiono zmierzone strzałki ugięcia W_z , obliczone dla siły $F = 200[\text{N}]$, oraz dla belki (W_b) i dla tarczy (W_d). Wartości strzałek ugięcia z pomiarów i obliczeń są bardzo zbliżone. Mieszczą się w granicy 2% błędu. Istniejące różnice mogą wynikać z geometrii modelu obliczeniowego i badanych próbek. Ponadto na rysunkach 4a i 5a przedstawiono zmianę składowej σ_{33} na grubości płyty, czyli w kierunku osi x_1 . Na rysunkach tych zestawiono wartości występujące w drewnie naturalnym oraz modyfikowanym na wskroś i powierzchniowo. W drewnie naturalnym występują wyraźne różnice wartości w warstwach twardych i miękkich. W przypadku drewna modyfikowanego powierzchniowo rozkład naprężeń w warstwach przypowierzchniowych jest jednakowy dla warstw miękkich i twardych. Dla drewna modyfikowanego na wskroś jest prawie identyczny jak dla ciała jednorodnego.

W elementach zginanych maksymalne naprężenia występują w warstwach skrajnych, dlatego wystarczy modyfikować drewno tylko powierzchniowo. Zwiększenie zawartości polimeru podnosi wytrzymałość oraz znacznie zmniejsza anizotropię wytrzymałości drewna.

Wpływ modyfikacji na przykładzie walcowego ugięcia płyty dobrze oddaje nierównomierny rozkład naprężeń w materiale kompozytowym, jakim jest drewno składające się z warstw „słabych” i „mocnych”. Wzmocnieniu ulegają warstwy drewna miękkiego, przejmując częściowe obciążenia od warstw twardych drewna. Następuje wyrównanie rozkładu naprężeń.

PODSUMOWANIE

Przykładem świadczącym o korzyści wynikającej z powierzchniowej modyfikacji drewna jest porównanie rozkładu naprężeń w poddanej walcowemu ugięciu płycie z drewna naturalnego, modyfikowanego powierzchniowo oraz modyfikowanego na wskroś.

Na podstawie zweryfikowanych przemieszczeń przyjęto, że model obliczeniowy jest adekwatny rzeczywistości. Obliczone naprężenia odpowiadają naprężeniom występującym w badanej płycie. Tak więc, w przypadku płyt poddanych zginaniu i wykonanych z:

- drewna naturalnego – występują wyraźne różnice wyteżenia w warstwach twardych i miękkich;

- drewna modyfikowanego powierzchniowo – rozkład naprężeń w warstwach przypowierzchniowych jest jednakowy dla warstw miękkich i twardych;
- drewna modyfikowanego na wskroś – wyężenie warstw jest takie jak w materiale jednorodnym.

W konstrukcjach zginanych i/lub skręcanych maksymalne naprężenia występują w warstwach skrajnych, wystarczy zatem modyfikować drewno tylko powierzchniowo. Wzmocnieniu ulegają warstwy drewna miękkiego i przejmują częściowe obciążenia od warstw twardych drewna. W ten sposób następuje wyrównanie rozkładu naprężeń. Modyfikacja powierzchniowa znacznie zwiększa wytrzymałość, a nieznacznie zmniejsza sztywność drewna.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dobrociński S., Kyzioł L., *Wpływ modyfikacji drewna na rozkład naprężeń*, materiały konferencyjne, XXIV Konferencja „Zimowa szkoła mechaniki górotworu”, Łądek Zdrój 2001, s.127 – 134.
- [2] Krzysik F., *Nauka o drewnie*, wyd. II, PWN, Warszawa 1978.
- [3] Kyzioł L., *Analiza właściwości drewna konstrukcyjnego nasyconego powierzchniowo MM*, Akademia Marynarki Wojennej, Gdynia 2004.
- [4] Kyzioł L., *Anisotropy of ultimate tensile strength of modified wood – theory and experiment*, „Marine Technology Transaction”, 2005, Vol. 16, pp. 111 – 126.
- [5] Kyzioł L., *Distribution of Methylmethacrylate concentration in a porous material*, „Marine Technology Transactions”, 1999, Vol. 10, pp. 175 – 190.
- [6] Kyzioł L., *Influence of polymethylmethacrylate content in wood composite on the anisotropy of elasticity properties*, „Marine Technology Transaction”, 2002, Vol. 13, pp. 127 – 139.
- [7] Kyzioł L., Kowalski S. J., Musielak G., *Non-linear for Wood Saturation*, „Transport in porous Media”, 2002, 46, pp.77 – 89.
- [8] Kyzioł L., Kowalski S. J., Rybicki A., *Composite of wood and polymerised methacrylate*, „Composites”, 2002, Part B, Vol. 33, pp.77 – 86.
- [9] Kyzioł L., *Modified wood – a promising material for shipbuilding*, „Polish Maritime Resercg”, 1999, Vol. 2, pp. 6 – 10.

- [10] Kyzioł L., *Strenght of porous materials as a function of saturation*, „Marine Technology Transaction”, 2005, Vol. 16, pp. 101 – 109.
- [11] Ławniczak M., Uliszak J., Waloryzacja właściwości drewna zwłaszcza o krótkim okresie reprodukcji, materiały konferencyjne, I Krajowa Konferencja Naukowa „Las – drewno – ekologia ’93”, Poznań – Kórnik, AR Poznań 1993.

ABSTRACT

The paper presents the effect of surface-modified pine wood on the distribution of strain in construction elements subject to bending based on investigations and calculations conducted. Strengthening of soft layers of modified wood leads to taking the strain off hard layers of wood which results in even strain distribution.

Recenzent prof. dr hab. inż. Waclaw Borkowski