

Konstrukcje drewniane klejone – wzmacnianie matami aramidowymi

Mgr inż. Ewa Stępień, Politechnika Świętokrzyska, dr inż. Barbara Ksit,
Politechnika Poznańska

1. Wprowadzenie

Budownictwo drewniane wraz z rozwojem technologii obróbki drewna oraz wytwarzania konstrukcji drewnianych klejonych jest istotnym elementem rynku budowlanego zarówno w części budownictwa mieszkaniowego (budynki indywidualne), jak i obiektów przemysłowych i o charakterze publicznym. Dużą część rynku konstrukcji drewnianych stanowią współcześnie obiekty inwentarskie, w których drewno jako materiał naturalny, w odpowiedni sposób zabezpieczony, jest odporny na oddziaływania środowiskowe, głównie czynniki chemiczne, na jakie nie są odporne konstrukcje stalowe i żelbetowe. Na ożywienie rynku konstrukcji drewnianych miała w latach końca XX wieku wpływ prefabrykacja będąca wynikiem automatyzacji sposobów wytwarzania i montażu konstrukcji. Niejednorodność, anizotropia, wady oraz podatność na korozję biologiczną materiału, jakim jest drewno, powoduje, iż problematyka konstrukcji drewnianych w aspekcie ich napraw i wzmocnień to temat wciąż aktualny i badany przez szereg naukowców.

2. Wzmocnianie konstrukcji drewnianych za pomocą materiałów kompozytowych FRP

Różnorodność materiałów oraz prowadzone prace badawcze połączeń drewna z dostępnymi materiałami dają nowe możliwości wzmocnienia istniejących konstrukcji drewnianych. Coraz częściej konstrukcyjne elementy drewniane wzmocnia się za pomocą materiałów kompozytowych. Są to tworzywa sztuczne zbrojone różnego rodzaju włóknami:

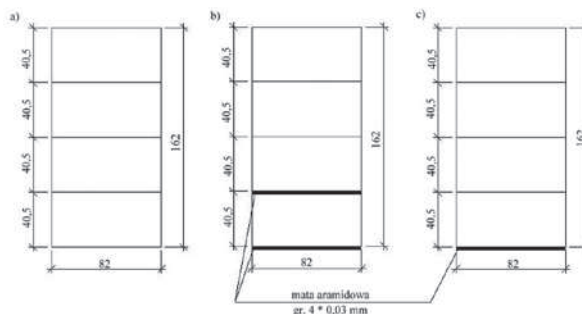
- zbrojone włóknami węglowymi (CFRP – *Carbon Fibre Reinforced Plastic*),
- zbrojone włóknami szklanymi (GFRP – *Glass Fibre Reinforced Plastic*),
- zbrojone włóknami aramidowymi (AFRP – *Aramid Fibre Reinforced Plastic*) [1, 2].

Zainteresowanie kompozytami wynika przede wszystkim z ich dobrych parametrów sprężysto-wytrzymałościowych oraz niewielkiego ciężaru. Własności sprężyste kompozytów włóknistych FRP (*Fibre Reinforced Polimers/Plastics*) są porównywalne ze stałą, natomiast ich wytrzymałość charakterystyczna na rozciąganie przy zginaniu jest kilkakrotnie wyższa.

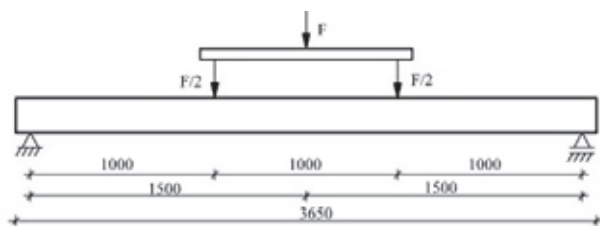
Włókna aramidowe to jedno z ważniejszych włókien organicznych, jakie kiedykolwiek wyprodukowano. Cechuje je duża sztywność, dobry stosunek wytrzymałości do gęstości – wytrzymałość właściwa pojedynczych włókien przekracza 200 cN/tex. Mają one także bardzo dobrą wytrzymałość zmęczeniową i odporność na ścieranie, nie topią się, nie palą, cechują się niewielkim współczynnikiem rozszerzalności cieplnej oraz dużą odpornością chemiczną. Badania toksykologiczne wykazały brak zagrożeń zdrowotnych przy wytwarzaniu tych włókien, nie dają one przy tym pyłu, w odróżnieniu od włókien szklanych i węglowych [3].

3. Materiał badawczy oraz badania

Materiał badawczy stanowiły sosnowe belki drewniane o długości 3650 mm i wymiarach przekroju poprzecznego 82 × 162 mm uzyskane z połączenia czterech lameli, każdej o wymiarach 82 × 40,5 mm. Do łączenia lamel wykorzystano żywicę epoksydową LG 385 o następujących właściwościach: gęstość 1,18–1,23 g/cm³ (25°C), lepkość 50–100 mPa/s (25°C), równoważnik epoksydowy 165–170 mol/kg oraz utwardzacz HG 385 o gęstości 0,94 g/cm³ (25°C) i lepkości 50–100 mPa/s (25°C). Połączenie obu składników dało warstwę adhezyjną o wytrzymałości na zginanie równej 120 MPa. Do wzmocnienia belek użyto maty aramidowe o gęstości 1,44 g/cm³, wytrzymałości na rozciąganie 2900 MPa i module sprężystości E = 59 GPa. Sposób wzmocnienia – rozmieszczenie mat aramidowych przedstawiono na rysunku 1.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny badanych belek z rozmieszczeniem wzmocnienia w postaci mat aramidowych pomiędzy poszczególnymi lamelami a) model 1, b) model 2, c) model 3



Rys. 2. Schemat obciążenia belek [mm]

Badania przeprowadzono w Laboratorium Katedry Wytrzymałości Materiałów, Konstrukcji Betonowych i Mostowych Politechniki Świętokrzyskiej w Kielcach. Podstawę prowadzonych badań fizycznych i mechanicznych stanowiła norma PN-EN 408+A1:2012 Konstrukcje drewniane. Drewno konstrukcyjne lite i klejone warstwowo. Oznaczanie niektórych właściwości fizycznych i mechanicznych.

Belki umieszczone na podporach przegubowo-nieprzesuwnych poddano czteropunktowemu zginaniu (rysunek 2) w maszynie wytrzymałościowej. Badania prowadzone były do zniszczenia próbki. W trakcie badania rejestrowano:

- wartości siły obciążającej,
- wartość siły niszczącej,
- wartości ugięć belek w środku rozpiętości oraz w miejscu przyłożenia sił (w osi siłowników),
- odkształcenia drewna za pomocą ekstensometru zegarowego, nasadowego,
- sposób zniszczenia – opis i dokumentacja fotograficzna.

4. Wybrane wyniki badań laboratoryjnych oraz wnioski

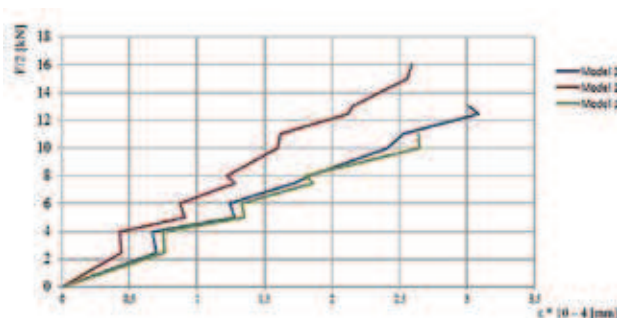
Dla przygotowanych do badań modeli uzyskano następujące średnie wartości sił niszczących:

- model 1 – 25 kN,
- model 2 – 32 kN,
- model 3 – 30 kN.

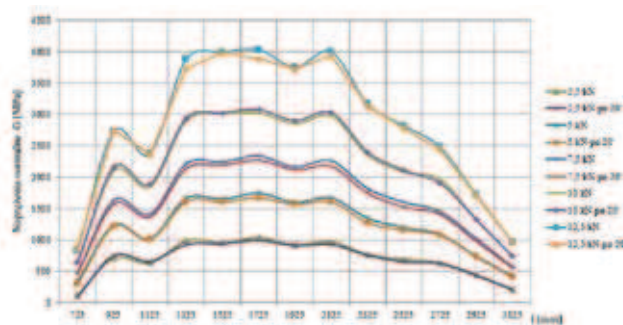
Przyjmując nośność modelu porównawczego jako wartość odniesienia 100% stwierdzono, iż nośność modeli wzmocnionych wzrosła dla modelu 2 o 28%, a dla modelu 3 o 20%.

Na rysunku 3 przedstawiono wykres zależności odkształceń ε w drewnie w włóknach rozciąganych w zależności od siły F . Analizując przedstawiony wykres, stwierdzono, iż w modelach wzmocnionych zaobserwowano ograniczenie odkształceń w drewnie, a tym samym i naprężeń w drewnie, dla odpowiednich poziomów obciążenia.

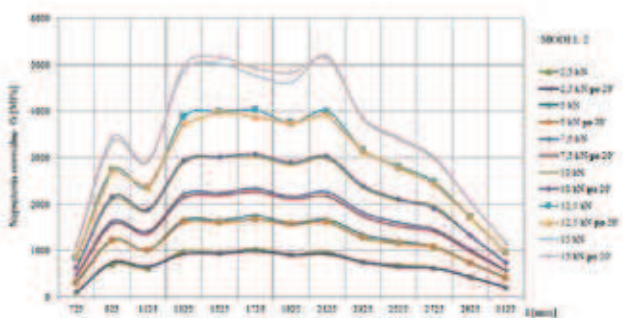
Na rysunkach 4–6 przedstawiono rozkład naprężeń w drewnie na długości elementu. Analizując wykresy rozkładu naprężeń w drewnie, stwierdzono, iż wady drewna zlokalizowane w strefie włókien rozciąganych znacząco wpływają na rozkład naprężeń. Widać to zwłaszcza



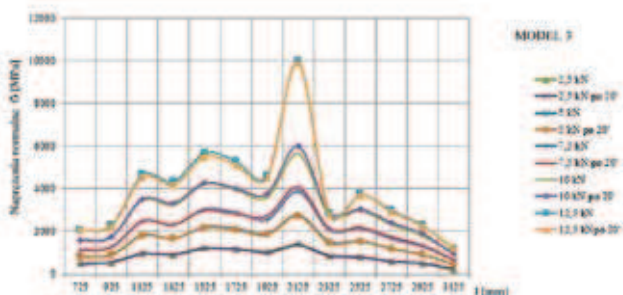
Rys. 3. Wykres zależności $F - \varepsilon$ w włóknach rozciąganych dla wszystkich modeli



Rys. 4. Rozkład naprężeń w drewnie na długości belki σ – model 1



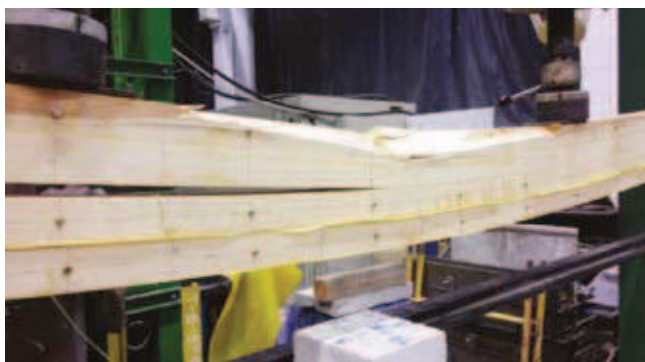
Rys. 5. Rozkład naprężeń w drewnie na długości belki σ – model 2



Rys. 6. Rozkład naprężeń w drewnie na długości belki σ – model 3



Rys. 7. Postać zniszczenia belki modelu 1



Rys. 8. Postać zniszczenia belki modelu 2



Rys. 9. Postać zniszczenia belki modelu 3

w przypadku modelu 3, gdzie odnotowano duży wzrost naprężeń. Mimo tego, dzięki zastosowaniu wzmocnienia w strefie rozciąganej belki, mata zabezpieczyła występującą w drewnie nieciągłość i uzyskano zarówno wzrost nośności wzmocnionego elementu, ale także sztywności.

Zniszczenie belek modelu 1 (belek niewzmocnionych) następowało poprzez pęknięcie włókien drewna w dolnej części elementu, w włóknach rozciąganych. Zniszczenie zapoczątkowane było w bezpośrednim sąsiedztwie wad drewna (sęków). Rozwarstwienie elementów przebiegało zgodnie z ustojeniem elementu (rys. 7.). Wykonanie wzmocnienia z mat aramidowych zmieniło postać zniszczenia elementów. W przypadku modelu 2, gdzie odnotowano największe zwiększenie nośności,

zniszczenie nastąpiło poprzez zmiżdżenie włókien drewna w strefie ściskanej belki. W tym przypadku nie nastąpiło odspojenie, zerwanie maty. Wzmocnienie zapobiegło zerwaniu włókien drewna i nie zaobserwowano zniszczenia w obrębie strefy rozciąganej belki. Nastąpiło rozwarstwienie lameli na styku ich połączenia (między 2 a trzecią lamelą – rysunek 8).

W modelu 3 początkowo zaobserwowano drobne pęknięcia włókien drewna, w strefie rozciąganej belki, a następnie zniszczenie nastąpiło poprzez odspojenie, zerwanie maty i złamanie belki. Po zniszczeniu okazało się, iż w belce, w środkowej części, była ukryta wada – sęk (rys. 9). Po zniszczeniu okazało się, iż w belce, w środkowej części była ukryta wada (sęk).

5. Podsumowanie

Przeprowadzone badania miały charakter rozpoznawczy. Zastosowane wzmocnienie w postaci doklejenia i wklejenia pomiędzy poszczególne lamele mat z włókien aramidowych skutecznie zabezpieczyło strefę rozciąganą belek. Zarówno dla belek modelu 2 i 3 uzyskano znaczący wzrost nośności, odpowiednio 28% i 20%. Zastosowane wzmocnienie spowodowało zredukowanie wartości odkształceń w drewnie w strefie włókien rozciąganych. Także wartości ugięć dla poszczególnych poziomów obciążenia były mniejsze w przypadku belek z zastosowanym wzmocnieniem niż belek wzorcowych (bez wzmocnienia). Zginane elementy niemal do zniszczenia pracowały w zakresie liniowo-sprężystym.

Wzmocnienie za pomocą włókien aramidowych może być alternatywą dla stosowanych wzmocnień węglowych. Materiały na bazie włókien aramidowych (AFRP) są najrzadziej wykorzystywanymi w budownictwie na terenie Europy. W USA natomiast włókna te cieszą się nie małym zainteresowaniem. Kompozyty AFRP są tam powszechnie stosowane do wzmocnienia strefy rozciąganej w belkach klejonych warstwowo. Szacuje się, że aplikacja materiałów z włókien aramidowych pod ostatnią warstwę drewna klejonego lub na jego powierzchni zewnętrznej umożliwi oszczędności drewna w ilości od 25 do 40% jego objętości [4].

BIBLIOGRAFIA

- [1] Jasięko J., Pietraszek P., Nowak T., Taśmy CFRP we wzmocnianiu elementów konstrukcyjnych drewna, VI Konferencja Naukowa Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych, Międzydroje 2004, str. 309–322
- [2] Broł J., Wzmocnianie elementów drewnianych taśmami lub matami z włókien, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, seria: Budownictwo, zeszyt 93, Gliwice 2001
- [3] Fejdyś M., Łandwajt M., Włókna techniczne wzmocniające materiały kompozytowe, Techniczne Wyroby Włókiennicze 2010, str.12–22
- [4] Burawska I., Lokalne wzmocnienie drewna konstrukcyjnego sosnowego, Praca doktorska, SGGW, Warszawa 2015