

dr inż. Justyna Sobczak-Piąstka^{1)*}
 ORCID: 0000-0002-5052-9362
 prof. dr inż. Svyatoslav S. Gomon²⁾
 ORCID: 0000-0003-2080-5650
 dr inż. Mykola Polishchuk²⁾
 ORCID: 0000-0002-1218-5925
 dr inż. Sviatoslav Homon²⁾
 dr inż. Petro Gomon²⁾
 ORCID: 0000-0002-5312-0351
 dr inż. Victor Karavan²⁾
 ORCID: 0000-0002-8261-692X

Metoda badania belki zginanej wykonanej z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym

The test method for a bending beam made of glued laminated timber with combined reinforcement

DOI: 10.15199/33.2021.11.04

Streszczenie. Konstrukcje z drewna klejonego warstwowo wykazują wiele zalet, m.in. małą masę, dużą odporność na działanie środowiska agresywnego chemicznie, dużą ognioodporność oraz są estetyczne i przyjazne dla środowiska. Mimo to naukowcy nadal poszukują nowych sposobów na poprawę właściwości drewna. W artykule zaproponowano metodę zbrojenia belek klejonych polegającą na umieszczeniu prętów stalowych w strefie ściskanej, a w strefie rozciąganej zbrojenia wykonanego z wykorzystaniem zewnętrznej taśmy kompozytowej z włókna węglowego. Celem artykułu jest opracowanie i przedstawienie dokładnej metody badania tego typu konstrukcji.

Słowa kluczowe: drewno klejone; badanie belek z drewna klejonego.

Abstract. Structures of glued wood have significant advantages among others less mass, better resistance to the action of chemically aggressive environments, high fire resistance, aesthetic attractiveness, eco-friendliness. Despite that scientists are looking for new ways to improve the characteristics of such wood. In this article proposed a method of combined reinforcement of glued beams in which the steel bar reinforcement was arranged in the grooves of the compressed zone, and in the stretched zone reinforcement was carried out with the external composite tape made of carbon fiber. The aim of the article is the method of experimental research on the transverse bend of a construction of glued beams with combined reinforcement was developed.

Keywords: glued wood; the research of glued wood beams.

Drewno w stanie naturalnym jest obecnie zastępowane drewnem klejonym warstwowo, które uzyskuje większą trwałość niż drewno lite i nie zmienia wymiarów geometrycznych z upływem czasu i pod wpływem wahań wilgotności oraz nie wykazuje znacznego skurczu i pęcznienia. Konstrukcje z drewna klejonego [1 – 5] mają małą masę, dużą odporność na działanie czynników agresywnych chemicznie, dużą ognioodporność, są estetyczne i przyjazne dla środowiska.

Drewno klejone jest wytwarzane w specjalnych zakładach prefabrykacji, gdzie odbywa się suszenie surowca, obróbka, proces klejenia, a następnie impregnacja elementów oraz łączenie mechaniczne, co daje gotowy wyrób do montażu. Z takiego drewna można wykonywać konstrukcje o różnym kształcie i wymiarach. Mimo wielu zalet drewna naukowcy nadal poszukują nowych sposobów poprawy jego właściwości. Zaproponowano różne metody wzmacniania konstrukcji z drewna klejonego w celu zwiększenia ich nośności, sztywności itp. [1 ÷ 7]. Pozwoliło to na zmniejszenie przekroju poprzecznego elementu oraz zwiększenie rozpiętości.

W artykule przedstawiono zespolone zbrojenie belek wytwarzanych z drewna klejonego warstwowo. Zbrojenie z prętów

stalowych zostało umieszczone w specjalnych rowkach w strefie ściskanej, a w strefie rozciąganej wykonano wzmocnienie w postaci taśmy kompozytowej z włókna węglowego umieszczonej na zewnątrz belki. Takie rozwiązanie zwiększa zarówno sztywność, jak i nośność elementów przy zginaniu poprzecznym. W artykule omówiono metodę badania tego typu konstrukcji.

Opis metody badania

W celu przeprowadzenia badań wyprodukowano trzy serie belek klejonych o przekroju poprzecznym 100 x 150 mm i długości 3000 mm, wykonanych z desek sosnowych o grubości 25 mm. Pierwsza seria składała się z dwóch niewzmocnionych belek, które zostały przetestowane pod działaniem krótkotrwałego obciążenia w celu określenia nośności. Wszystkie elementy drugiej i trzeciej serii wzmocniono. Różniły się one sposobem zakotwienia taśmy kompozytowej. Podczas formowania belki przez klejenie pakietu desek umieszczono we wcześniej wykonanych rowkach, w przedostatniej płycie górnej strefy ściskanej, dwa pręty o średnicy 12 mm ze stali klasy A500S, na kleju epoksydowym EDP z wypełniaczem z piasku kwarcowego w stosunku 1 : 2. Klejenie odbywało się na specjalnym stojaku, który zapewniał prawidłowe ułożenie elementów oraz ich ściśnięcie i unieruchomienie. Po trzydniowym sezonowaniu elementów w temperaturze ok. 20°C i wilgotności powietrza 65% oraz całkowitym utwardzeniu kleju przystąpiono do strugania belek do wymiarów projek-

¹⁾ Politechnika Bydgoska im. Jana i Jędrzeja Śniadeckich; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

²⁾ Narodowy Uniwersytet Gospodarki Wodnej i Środowiska; Instytut Budownictwa i Architektury, Ukraina

^{*}) Adres do korespondencji: justynas@pbs.edu.pl

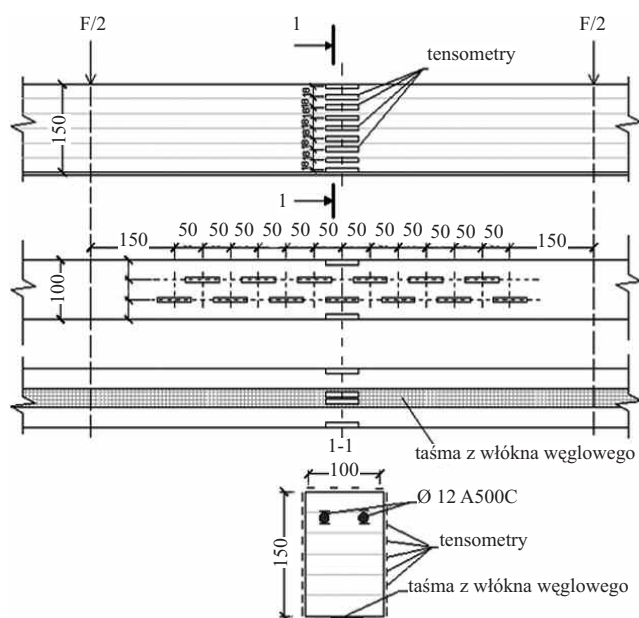
owanego przekroju poprzecznego 100 x 150 mm. Następnie element został wzmocniony w strefie rozciąganej przez naklejenie taśmy z włókna węglowego o grubości 1,2 mm i szerokości 25 mm.

W celu określenia odkształceń względnych drewna przyklejono tensometry, o długości bazy pomiarowej 20 mm i rezystancji $201 \pm 0,7$ Ohm, po obwodzie przekroju poprzecznego belki w środku rozpiętości przęsła. Powierzchnię w miejscu czujników wypolerowano papierem ściernym i odtłuszczono. Dane z czujnika odczytywano za pomocą systemu pomiaru tensometrycznego CIIT i rejestrowano na komputerze PC. Tensometry na zbrojeniu metalowym nakleiono w środku rozpiętości przęsła przed wklejeniem prętów we wstępnie uformowane rowki, które były większe o 1 – 2 mm od średnicy prętów zbrojeniowych (fotografia 1). Tensometry nakleiono także na taśmie kompozytowej w środku rozpiętości przęsła, po uprzednim jej przyklejeniu do belek drewnianych (rysunek 1).



Fot. 1. Rozmieszczenie czujników tensometrycznych na zbrojeniu

Photo 1. Placement of strain gauge sensors on metal reinforcement

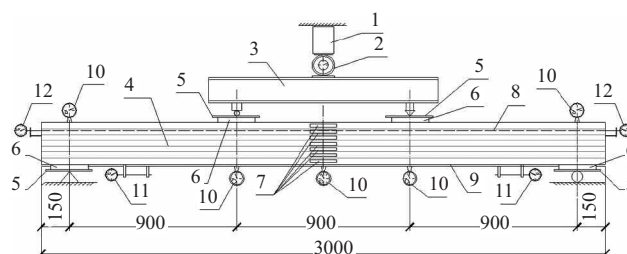


Rys. 1. Schemat rozmieszczenia tensometrów na badanej belce

Fig. 1. Scheme of location of strain gauges on the studied beam

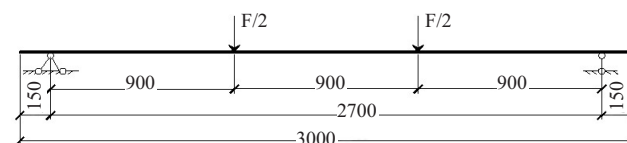
Przed rozpoczęciem badań eksperymentalnych określono wymiary wszystkich próbek i zapisano w dzienniku. Obciążanie belek realizowano w maszynie wytrzymałościowej z napędem hydraulicznym, a jego poziom mierzono za pomocą dynamometru pierścieniowego. Obciążenie z maszyny, w postaci dwóch symetrycznie rozmieszczonych sił skupionych, zostało przeniesione na konstrukcję przez metalową poprzeczkę (beleczkę). Badania przeprowadzono przy obciążeniu przykładanym w krokach co 10% przewidywanego obciążenia niszczonego. Czas między kolejnym przyrostem obciążenia wynosił 5 – 7 min i wtedy dokonywano odczytów ze wszystkich urządzeń zainstalowanych na belce.

Dodatkowo na obu końcach belek zamocowano specjalne wskaźniki pomiarowe MIG-2 (rysunek 2) do rejestrowania poślizgu zbrojenia metalowego w rowkach, podczas przykładania obciążenia zewnętrznego. Do wyznaczenia ugięcia belek wykorzystano mierniki ugięcia 6-PAO, znajdujące się nad podporami, pod badaną belką w miejscu przyłożenia sił skupionych i w środku rozpiętości belki. Schemat instalacji doświadczalnej wraz z rozmieszczeniem wszystkich urządzeń pomiarowych przedstawiono na rysunku 2, a schemat statyczny zginania poprzecznego belki z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym na rysunku 3.



Rys. 2. Schemat instalacji doświadczalnej do badania belek zginanych wykonanych z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym: 1) element obciążający; 2) dynamometr; 3) trawers metalowy; 4) badana belka z drewna klejonego; 5) metalowa przekładka; 6) podkładka drewniana; 7) tensometry; 8) zbrojenie z prętów A500C, 2 Ø 12 mm; 9) wzmocnienie taśmą kompozytową; 10) miernik ugięcia 6-PAO; 11) wskaźnik ICH-10; 12) wskaźnik MIG-2

Fig. 2. Scheme of the experimental installation when testing the beams of laminated wood with combined reinforcement on the bend: 1) jack; 2) dynamometer; 3) metal traverse; 4) the beam being studied; 5) metal substrate; 6) wooden lining; 7) strain gauges; 8) steel fittings A500C, 2 Ø 12 mm; 9) composite tape reinforcement; 10) deflection meter 6-PAO; 11) indicator ICH-10; 12) MIG-2 indicator



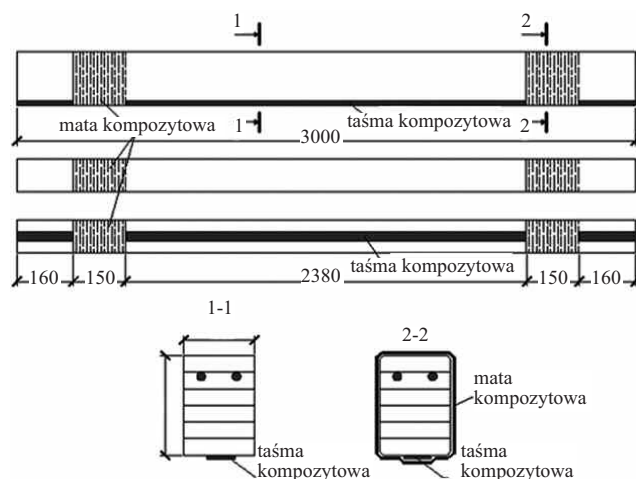
Rys. 3. Schemat statyczny belki zginanej wykonanej z drewna klejonego ze zbrojeniem mieszanym

Fig. 3. Scheme for testing bending of beam made of laminated wood with combined reinforcement

Belki z drewna klejonego warstwowo zostały umieszczone w maszynie wytrzymałościowej na dwóch podporach, z których jedna była nieruchoma, a druga pozwalała na przesuw. Zainstalowano podkładki drewniane, lokalizując je pod

siłami skupionymi, między płytkami metalowymi a elementem badanym. Praca belki drewnianej wykonanej z drewna klejonego warstwowo i zbrojenia taśmą kompozytową była rejestrowana za pomocą tensometrów naklejonych na taśmie w środku rozpiętości. Na wszystkich etapach obciążania belki przeprowadzono również obserwacje przemieszczenia (poślizgu) taśmy kompozytowej względem drewna w strefie rozciąganej. W tym celu wykorzystano wskaźniki zegarowe typu IR-10n o zakresie 0,22 mm, zamocowane do specjalnie zaprojektowanych uchwytów przy obu podporach: jeden do taśmy, a drugi do drewna w określonym przekroju belki.

W belkach drugiej serii wzmocnienie taśmą kompozytową wykonano przez przyklejenie jej do drewna strefy rozciąganej, a w belkach trzeciej serii umieszczono dodatkowo maty z włókien węglowych w obszarze podparcia (rysunek 4). Widok belki wykonanej z drewna klejonego warstwowo ze zbrojeniem mieszanym pokazano na fotografii 2.



Rys. 4. Schemat zbrojenia drewnianych belek klejonych warstwowo za pomocą taśm kompozytowych mocowanych dodatkowo matą kompozytową z włókien węglowych

Fig. 4. Scheme of reinforcement of glued laminated wood beams with the use of composite tapes additionally fastened with a composite mat made of carbon fibers



Fot. 2. Belka wykonana z drewna klejonego warstwowo ze zbrojeniem mieszanym pod obciążeniem

Photo 2. The beam of laminated wood with combined reinforcement under load

Podczas badań eksperymentalnych będzie można odczytać wartości odkształceń względnych drewna w wybranym przekroju w strefie czystego zginania poprzecznego, zarówno w belkach niezbrojonych, jak i zbrojonych. Analizie poddana zostanie również transformacja odkształceń strefy ściskanej i rozciąganej oraz kompatybilność ich współpracy. Ustalona zostanie zależność naprężenie-odkształcenie na wszystkich etapach przyrostu obciążenia zewnętrznego. Ponadto będą mierzone przemieszczenia belki nad podporami, a także ugięcie w miejscu przyłożenia siły skupionej oraz w środku rozpiętości belki.

Podsumowanie

Opracowano metodę badań eksperymentalnych zginania poprzecznego belek wykonanych z drewna klejonego warstwowo ze zbrojeniem mieszanym, w których umieszczono zbrojenie prętami stalowymi o średnicy przekroju poprzecznego $\varnothing 12$ mm w rowkach strefy ściskanej, a strefę rozciągającą wzmocniono zewnętrzną taśmą kompozytową wykonaną z włókna węglowego.

Zaproponowana metoda umożliwia eksperymentalne zbadanie stanu naprężenie-odkształcenie, pod wpływem obciążenia belek na różnych etapach ich pracy. Przeprowadzone pomiary pozwolą na określenie odkształcenia względnego różnych warstw drewna w wybranym przekroju poprzecznym oraz odkształcenia zbrojenia z prętów metalowych $\varnothing 12$ mm i taśmy kompozytowej. Ponadto możliwe jest określenie ugięcia belek, a także analiza współpracy zbrojenia stalowego i kompozytowego z odpowiednimi warstwami drewna.

Literatura

- [1] Gomon S., S. Gomon, V. Karavan, P. Gomon, A. Podhorecki. 2019. „Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending”. *AIP Conference Proceedings*, 020019, 2019; <https://doi.org/10.1063/1.5091880>.
- [2] Gomon S., A. Pavluk. 2017. „Study on working peculiarities of glue laminated beams under conditions of slanting bending”. *Underwater technologies*, 7, pp. 42 – 48. Doi: 10.26884/1707.1801.
- [3] Gomon S., S. Gomon, V. Karavan, P. Gomon, J. Sobczak-Piastka. 2019. „Investigation of solid and glued wood on the effect of variables of low-cycle repeated loads”. *AIP Conference Proceedings* 2077, 020020; <https://doi.org/10.1063/1.5091881>.
- [4] Gomon S., S. Gomon, V. Karavan, P. Gomon, Justyna Sobczak-Piastka. 2019. „Complete deflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads”. *AIP Conference Proceedings* 2077, 020021; <https://doi.org/10.1063/1.5091882>.
- [5] Pogoreltsev A. A., S. B. Turkovskiy, V. O. Stoitinov. 2015. „High-modulus materials used in massive glued wood constructions”. *Modern constructions from metal and wood, Collection Scientific Works*, No 19, pp. 106-109.
- [6] Sobczak-Piastka Justyna, Svyatoslav Gomon, Mykola Polishchuk, Svyatoslav Homon, Petro Gomon, Victor Karavan. 2020. „Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement”. *Buildings*, 10-5, 92, 1-9, e-ISSN: 2075-5309; DOI: 10.3390/buildings10050092.
- [7] Surmai M. I 2015. „Strength and deformability of rain-fed beams reinforced with fiberglass and basalt reinforcement”. *Dis. Cand. Techn. Sciences*: 05.23.01, National University Lviv Polytechnic, p. 185.

Przyjęto do druku: 28.09.2021 r.