

dr inż. Tomasz Nowak^{1)*}
mgr inż. Filip Patalas

Zastosowanie materiałów kompozytowych do wzmocnienia konstrukcyjnych elementów drewnianych

Application of composite materials for strengthening structural timber elements

DOI: 10.15199/33.2019.03.06

Streszczenie. W artykule omówiono sposoby wzmocnienia konstrukcyjnych elementów drewnianych za pomocą materiałów kompozytowych. Wskazano główne przyczyny wykonywania wzmocnień i podano podstawowe informacje o wzmocnieniach kompozytowych FRP (*Fiber Reinforced Polymer*). Przedstawiono też przykłady badań i realizacji wzmocnień z wykorzystaniem materiałów kompozytowych oraz wybrane metody szacowania nośności wzmocnianych elementów. Omówiono wyniki badań własnych dotyczące stosowania taśm CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) do wzmocniania zginanych belek z drewna litego w obiektach zabytkowych.

Słowa kluczowe: wzmocnianie; elementy drewniane; FRP; konstrukcje drewniane.

Abstract. The article describes methods of strengthening structural timber elements using composite materials. The main reasons for strengthening are presented. The basic information about FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) is provided. The article presents examples of tests and reinforcements with composite materials. Chosen methods of assessing the strength of reinforced elements are described. The authors present the results of their tests concerning the usage of CFRP (*Carbon Fiber Reinforced Polymer*) tapes for reinforcing bent solid timber beams in historical buildings.

Keywords: strengthening; timber elements; FRP; timber structures.

Istota stosowania wzmocnień drewnianych elementów konstrukcyjnych dotyczy: konieczności wzmocnienia istniejących konstrukcji, które wymagają podjęcia takiego działania z uwagi na różne przyczyny, w tym m.in.: uszkodzenia, zmiana sposobu użytkowania, działanie czynników środowiskowych, błędy popełnione przy projektowaniu i wykonawstwie, nieodpowiedzialne działanie człowieka; chęć poprawienia parametrów materiałowych drewna na etapie projektowania i produkcji; poszukiwania nowatorskich zabiegów ograniczania i przeciwdziałania naturalnym wadom drewna.

Jakość konstrukcji drewnianych poprawiła się wraz z pojawieniem się drewna klejonego warstwowo pozbawionego wielu ograniczeń drewna litego. Głównymi argumentami przemawiającymi na korzyść drewna klejonego warstwowo w stosunku do drewna litego są m.in.: swoboda geometryczna w kształtowaniu formy, duża jednorodność materiałowa i odporność na wilgoć. nierozwiązanym problemem pozostały ograniczone parametry wytrzymałości i sztywności w równej mierze dotyczące drewno klejone warstwowo, jak i drewno lite.

Podejmowane próby wzmocniania istniejących konstrukcji i poprawienia cech materiałowych drewna na etapie projektowania skłaniają do wykorzystania materiałów o dużych parametrach wytrzymałościowych, w tym kompozytów, najczęściej włóknistych o osnowach polimerowych – FRP.

Materiały FRP

Najczęściej stosowanymi kompozytami do wzmocniania konstrukcji inżynierskich są kompozyty polimerowe zbrojone włóknami, które dzieli się głównie na:

- CFRP (ang. *Carbon Fiber Reinforced Polymer*) – zbrojone włóknami węglowymi;
- GFRP (ang. *Glass Fiber Reinforced Polymer*) – zbrojone włóknami szklanymi;
- AFRP (ang. *Aramid Fiber Reinforced Polymer*) – zbrojone włóknami aramidowymi;
- BFRP (ang. *Basalt Fiber Reinforced Polymer*) – zbrojone włóknami bazaltowymi.

Rolę matrycy w kompozytach FRP pełnią zwykle żywice epoksydowe. Przykładowe parametry kompozytów przedstawiono w tabeli. **Do głównych zalet materiałów FRP** należą: mała gęstość, duża sztywność i wytrzymałość oraz odporność na korozję. Pozwalają na wzmocnianie elementów w sposób dyskretny, nie zmniejszając walorów estetycznych. Wiele badań potwierdziło, że podatność połączeń klejowych wykonywanych za pomocą żywic epoksydowych pomiędzy materiałem FRP a drewnem jest znacząco mniejsza niż połączeń na łączniki mechaniczne, co dodatkowo zwiększa skuteczność wzmocnień kompozytowych.

Przykładowe parametry wzmocnień FRP

Mechanical properties of FRP

Parametr	Stal	AFRP	CFRP	GFRP	BFRP
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	300 – 600	1720 – 2540	600 – 3690	480 – 1600	~1200
Moduł Younga [GPa]	200	41 – 125	120 – 580	35 – 51	~70

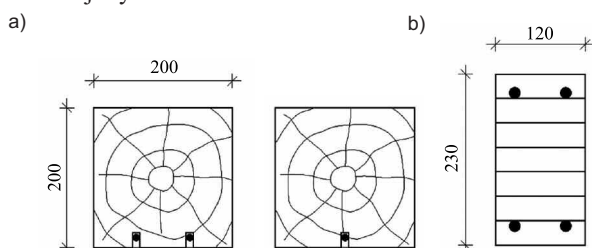
¹⁾ Politechnika Wrocławska; Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
*) Adres do korespondencji: tomasz.nowak@pwr.edu.pl

Wzmocnienia kompozytowe można umieszczać w dowolnym miejscu przekroju. Z konserwatorskiego punktu widzenia szczególnie pożądane są wzmocnienia, które pozostają niewidoczne i nie naruszają walorów estetycznych elementu.

Wybrane badania i realizacje

Przykładów zastosowania materiałów FRP do wzmocniania konstrukcji drewnianych nadal nie ma zbyt wiele. Wzmocnienie konstrukcji drewnianych przy użyciu FRP jest zagadnieniem stosunkowo słabo rozpoznany, w odróżnieniu od wzmocniania konstrukcji betonowych, gdzie istnieje wiele przykładów zastosowania materiałów kompozytowych, również w Polsce.

Jednym z pierwszych zastosowań było wzmocnienie za pomocą materiałów CFRP zabytkowego mostu drewnianego z 1807 r., w pobliżu Sins w Szwajcarii. Inwestycję zrealizowano w 1991 r. Badania litych belek wzmocnianych prętami CFRP przeprowadzili m.in. Borri i in. [2]. Testowano elementy o przekroju jak na rysunku 1a o długości 4 m w próbie czteropunktowego zginania. Nośność belek zwiększyła się o 52 i 29%, a sztywność – o 25 i 22%. Koncepcję wklejania prętów CFRP wykorzystano również we włoskim systemie Armalam – zbrojonych belkach prefabrykowanych z drewna klejonego (rysunek 1b). Zbrojenie umieszcza się we wcześniej przygotowanych lamelach z wykonanym frezowaniem. Producent deklaruje, że istnieje możliwość wykonania belek o nośności i sztywności 2,5 razy większej niż elementów niezbrojonych.

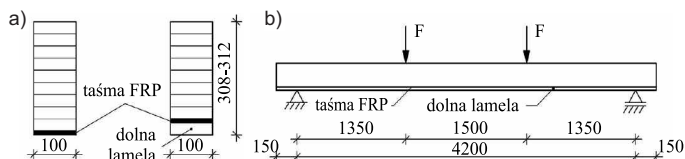


Rys. 1. Przekroje belek wzmocnianych prętami CFRP: a) drewno lite, m.in. [2]; b) belka Armalam

Fig. 1. Cross-sections of beams: a) solid members tested in [2]; b) Armalam beam

Możliwość zastosowania taśm AFRP badali Greenland i in. w [5]. Przeprowadzono próby zginania elementów o wymiarach 45 x 140 x 2500 mm, do których doklejkono taśmy o grubościach 1,6 i 3,5 mm. Wykazano, że zastosowanie taśmy o grubości 1,6 mm zamocowanej wyłącznie w strefie rozciąganej spowodowało zwiększenie sztywności o 20%. W przypadku taśmy 3,5 mm wyłącznie w strefie rozciąganej wzrost wyniósł 60%, a w przypadku taśmy 1,6 mm w strefie ściskanej i rozciąganej – 40%. Nośność modeli zwiększyła się prawie dwukrotnie. Taśmy AFRP zostały zastosowane do zbrojenia podciągów wiaty targowiska w Rudzie Śląskiej – jednej z pierwszych konstrukcji drewniano-kompozytowych w Polsce.

Badania belek z drewna klejonego warstwowo wzmocnianych za pomocą taśm CFRP i AFRP, przedstawili Blass i Romani [1]. Ideowy przekrój elementów i schemat statyczny pokazano na rysunku 2. W badaniach zaobserwowano, że belki bez dolnej lameli osłaniającej zbrojenie ulegały nagłemu



Rys. 2. Przekroje (a) i schemat statyczny (b) badanych belek [1]
Fig. 2. Cross-section (a) and static scheme (b) of the tested beams [1]

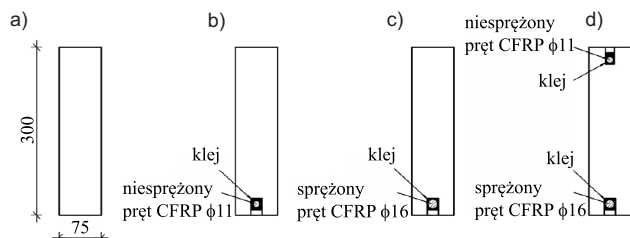
zniszczeniu. W przypadku belek posiadających lamelę osłaniającą zbrojenie to ona ulegała uszkodzeniu w pierwszej kolejności, a element zachowywał możliwość dalszej pracy. Wzrastające obciążenie powodowało w dalszej kolejności odspojenie dolnej lameli (bardziej widoczne w przypadku belek wzmocnianych CFRP niż AFRP). Główną przyczyną całkowitego zniszczenia było uszkodzenie strefy ponad zbrojeniem – w kilku przypadkach skutkujące także pojawieniem się przegubu plastycznego. Do momentu zniszczenia drewna, zbrojenie pracowało w zakresie sprężystym. W żadnej z badanych belek zniszczenie nie nastąpiło na skutek uszkodzenia taśmy. Badania wykazały znaczące zwiększenie sztywności i nośności. Badane elementy wykonano z lameli niskich klas, co dodatkowo potwierdza zasadność zbrojenia belek z drewna klejonego warstwowo wykonanych z surowca o małych parametrach materiałowych.

Brol przedstawił wyniki badań belek z drewna klejonego wzmocnianych taśmami GARP (szkłano-aramidowymi) [4]. Badane elementy, o przekroju prostokątnym, miały długość 6,2 m i zostały poddane próbie czteropunktowego zginania. Belki niezbrojone ulegały zniszczeniu przez pęknięcie drewna w strefie rozciąganej. W przypadku belek ze zbrojeniem umieszczonym wewnątrz przekroju w odległości 40 mm od dolnej krawędzi, najpierw następowało uplastycznienie strefy ściskanej, następnie odspojenie taśmy od belki i zniszczenie. Belki z taśmą przyklejoną od spodu niszczyły się przez uplastycznienie strefy ściskanej lub odspojenie taśmy od drewna. Średni wzrost nośności belek ze zbrojeniem wewnątrz wynosił 54%, natomiast belek ze zbrojeniem przyklejonym od spodu 68%. Zaobserwowano także niewielkie zwiększenie sztywności.

Brol przeprowadził również obszerne badania ściskanych słupów o przekroju 12 x 12 cm wzmocnianych materiałami CFRP [3]. W grupie słupów o średniej smukłości największy wzrost nośności wyniósł 21%. Zniszczenie tego słupa nastąpiło przez odspojenie taśmy od drewna, wyboczenie jej, a następnie zmiążdżenie drewna. Naprężenia w zbrojeniu nie przekroczyły 650 MPa. Autor badań zaznaczył, że szczególnie korzystne jest wykonanie obwodowej opaski z maty FRP na wysokości występowania wad drewna, która ogranicza negatywny wpływ wad na nośność przy ściskaniu wzdłuż włókien.

Badania wzmocnień FRP wskazują zwykle na niski stopień wykorzystania zbrojenia. Coraz częściej wprowadza się w materiały kompozytowe siłę sprężającą. Badania nad wzmocnianiem drewna sprężanymi taśmami przeprowadzili m.in. Triantafyllou i Deskovic [12]. Badali oni elementy (niezbrojony; zbrojony taśmą CFRP; zbrojony taśmą CFRP sprężoną do 620 MPa) o długości 800 mm w próbie trzypunktowego zginania. Wykazano zwiększenie nośności elementu z taśmą

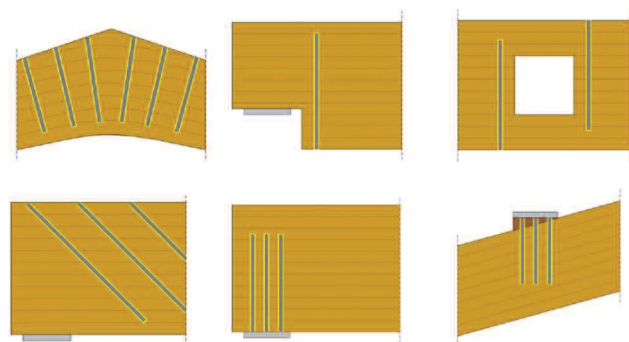
CFRP o ok. 17%, natomiast ze sprężoną taśmą o ok. 40%. Badania belek drewnianych zbrojonych sprężonymi prętami CFRP przedstawił także Yang i in. [13]. W próbie czteropunktowego zginania badano sześciometrowe elementy o przekrojach jak na rysunku 3. Zaobserwowano wzrost sztywności belek b, c, d z rysunku 3 kolejno o 19, 33, 42% oraz zwiększenie nośności odpowiednio o 64, 93 i 131% względem belek niezbrojonych.



Rys. 3. Przekroje belek badanych przez Yanga [13]: a) belka niezbrojona; b, c, d) belki zbrojone

Fig. 3. Cross-sections of tested beams Yang [13]: a) reference beam; b, c, d) reinforced and prestressed beams

Wytrzymałość drewna na rozciąganie w kierunku prostopadłym do włókien jest wielokrotnie mniejsza niż w równoległym. W strefach kalenicowych wysokich dźwigarów z drewna klejonego warstwowo pojawiają się duże koncentracje prostopadłych naprężeń rozciągających, przyczyniające się do ich awarii. Doraźne wzmocnienia takich elementów przeprowadza się m.in. za pomocą wklejanych prętów stalowych i kompozytowych (GiR: glued-in rods) – rysunek 4. Pręty wklejane można także z powodzeniem uwzględnić na etapie projektowania nowych dźwigarów – szczególnie pożądane jest to w przypadku belek o osi zakrzywionej i bumerangowych.



Rys. 4. Przykładowe zastosowanie prętów wklejanych [6]

Fig. 4. Application of GiR to strengthen timber structural elements [6]

Interesujący sposób renowacji elementów zabytkowego stropu drewnianego przedstawił Schober [11]. Do odbudowania zniszczonych części użyto taśm i prętów FRP oraz polimerobetonu. W rezultacie powstał wielowarstwowy, złożony element kompozytowy. Badania przeprowadzone przez Schobera wskazują na duże możliwości zastosowania kompozytów włóknistych i polimerobetonu we wzmocnieniach elementów drewnianych. Niewielkie zwiększenie wysokości przekroju może skutkować zwiększeniem nośności nawet o 100%.

Metody szacowania nośności

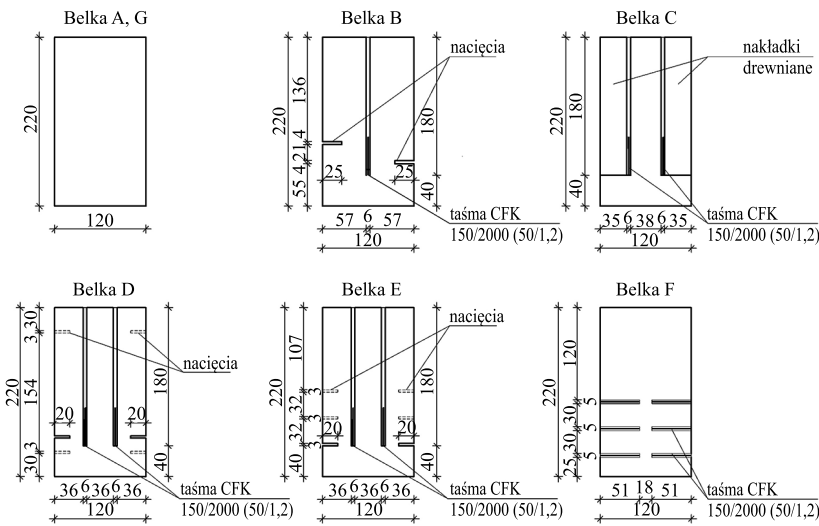
Za najbardziej wiarygodne uważa się podejścia obliczeniowe proponowane w dokumencie amerykańskim US standard ICBO/Uniform Building Code PFC-5100 oraz włoskiej instrukcji CNR-DT 201/2005. W normie amerykańskiej opisano sposób projektowania belek z drewna klejonego wzmocnianych kompozytami FRP. Obliczenia mogą dotyczyć elementów o przekrojach prostokątnych ze stałą lub zmienną wysokością. Minimalny procent zbrojenia wynosi 0,25%, natomiast maksymalny 2% w przypadku stosowania zbrojenia pojedynczego i 4% gdy zbrojenie jest podwójne. Jako wzmocnienie można stosować materiały GFRP, CFRP i AFRP, przy czym ostatnie wykorzystuje się wyłącznie w zbrojeniu strefy rozciąganej. Pewną komplikacją może być używanie innego systemu jednostek niż w Europie oraz amerykańskich oznaczeń materiałowych.

Alternatywny sposób obliczeń przedstawiono we włoskiej instrukcji CNR-DT 201/2005. Dokument obszernie opisuje możliwość bezpiecznego i właściwego stosowania materiałów FRP na podstawie bieżącego stanu wiedzy. Opisano w nim sposób wzmocnienia eksploatowanych elementów, wymagających zwiększenia nośności z uwagi na dostosowanie do przenoszenia zwiększonych obciążeń, przeciwdziałanie nadmiernym ugięciom oraz naprawę. Przyjmuje się, że elementy mogą ulec zniszczeniu na jeden z pięciu sposobów, którym odpowiadają odpowiednie obszary odkształceń w rozpatrywanym przekroju.

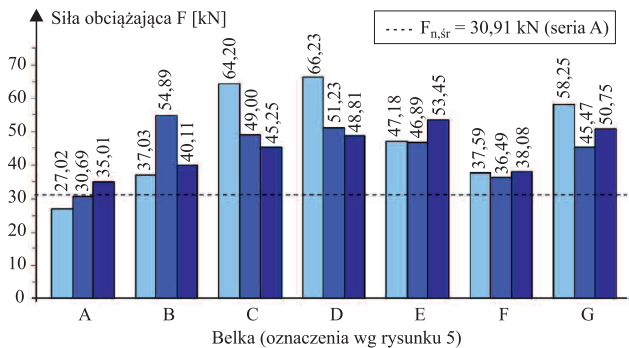
Obok metod analitycznych do badania pracy statycznej wzmocnianych elementów z powodzeniem wykorzystuje się metody numeryczne, np. metodę elementów skończonych (MES). Pozwalają one m.in. na analizę naprężeń w miejscach, w których w badaniach laboratoryjnych jest to niemożliwe. Ponadto w przeciwieństwie do badań laboratoryjnych nie wymagają nakładów finansowych związanych z przygotowaniem próbek i redukują koszty prowadzenia eksperymentów badawczych. Z uwagi na fakt, że drewno jest materiałem anizotropowym i silnie niejednorodnym zastosowanie metod numerycznych wymaga skrupulatnego dostosowania wyjściowych założeń analizy, przyjęcia odpowiednich parametrów materiałowych i wykorzystania np. kryteriów plastyczności uwzględniających anizotropowy charakter materiału. Często stosowanym kryterium plastyczności jest w tym wypadku kryterium Hilla. Metody szacowania nośności szerzej omówiono m.in. w [8, 10].

Badania własne i analiza numeryczna

Badania przeprowadzono w celu weryfikacji użyteczności zastosowania taśm CFRP do wzmocniania zginanych belek z drewna litego w obiektach historycznych [8]. W próbie czteropunktowego zginania przebadano 5 typów belek wykonanych ze 100-letniego drewna, w których defekty takie jak inkluzje, skręt włókien, pęknięcia i skutki korozji biologicznej symulowano różnego rodzaju nacięciami (rysunek 5). Belki A i G były elementami referencyjnymi wykonanymi ze starego i nowego drewna. W belce F dodatkowo osłabiono strefę rozciąganą przez wycięcie otworu o średnicy 25 mm w środku rozpiętości. Długość elementów wynosiła 4 m (3,8 m w osiach podpór). Na rysunku 6 porównano wartości uzyska-



Rys. 5. Przekroje badanych belek [8] (opis w artykule)
Fig. 5. Cross-sections of tested beams [8] (descriptions in article)

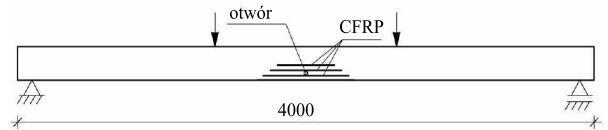


Rys. 6. Porównanie wartości sił niszczeniowych badanych belek [8]
Fig. 6. Ultimate forces of tested beams [8]

nych sił niszczeniowych. Modele przygotowano w taki sposób, by jak najwierniej odzwierciedlić występujące w drewnie wady. Zbrojenie w postaci taśm CFRP wprowadzono do przekroju od strony strefy ściskanej lub płaszczyzn bocznych. Pozwala to zachować (w stanie nienaruszonym) ewentualne polichromie i zdobienia na widocznych płaszczyznach.

Maksymalne zwiększenie nośności i sztywności zaobserwowano w przypadku belek C i D. Ponadto nośność belek C i D po wzmocnieniu była większa niż belek referencyjnych wykonanych z nowego drewna (G), co potwierdza możliwość odtworzenia pierwotnej nośności elementu. Efektywność wzmocniania elementów za pomocą wkładek CFRP jakościowo jest zbliżona do technik, z wykorzystaniem prętów i blach stalowych [7], jednak stopień wykorzystania zbrojenia w przypadku wzmocnień stalowych jest bliski 100%, podczas gdy w przypadku wzmocnień kompozytowych nie przekracza kilkunastu procent. Z uwagi na niewielki stopień wykorzystania zbrojenia kompozytowego wskazane jest jego sprężenie. W przypadku wzmocniania zabytkowych belek stropowych zabieg ten jest jednak niemal niemożliwy do zrealizowania.

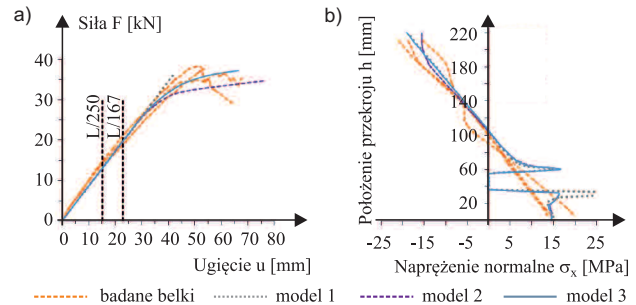
Poza badaniami laboratoryjnymi przeprowadzono także analizy numeryczne z wykorzystaniem MES [8, 9]. Widok analizowanej belki F (rysunek 5) przedstawiono na rysunku 7.



Rys. 7. Bełka F – widok z boku [9]
Fig. 7. Beam F – side view [9]

- Drewno modelowano jako:
- ortotropowy materiał sprężysty (model 1);
 - ortotropowy materiał sprężysto-plastyczny, którego uplastycznienie następowało zgodnie z kryterium anizotropowej plastyczności Hilla (model 2);
 - ortotropowy materiał sprężysto-plastyczny, którego uplastycznienie następowało zgodnie z uogólnionym kryterium anizotropowej plastyczności Hilla (model 3).
- Za każdym razem wzmocnienie CFRP i klej definiowano jako materiały sprężyste.

Wyznaczone w analizie numerycznej wartości ugięcia wszystkich rozpatrywanych modeli są zbliżone do rezultatów uzyskanych w badaniach doświadczalnych. Zgodność z wynikami badań laboratoryjnych (różnica ok. 1%) uzyskano dla wyznaczonej siły niszczeniowej w modelu 3 (rysunek 8a). Wartości naprężeń w środkowym przekroju otrzymane w symulacji numerycznej pokrywają się z wartościami uzyskanymi na podstawie odczytów odkształceń z tensometrów (rysunek 8b).



Rys. 8. Porównanie wyników badań doświadczalnych z analizą numeryczną: a) zależność siła-ugięcie; b) naprężenia w środkowym przekroju belki przy sile 30 kN [9]

Fig. 8. Comparison of experimental results with numerical analysis: a) load – deflection curves; b) stress in the middle cross-section at the force 30 kN [9]

Podsumowanie

Zbrojenie w postaci taśm i prętów kompozytowych użyte do wzmocniania dźwigarów z drewna klejonego redukuje ich ciężar i pozwala na uzyskanie większej rozpiętości. Stosowanie wzmocnień FRP w elementach drewnianych skutkuje nie tylko zwiększeniem sztywności i nośności, ale także zmianą sposobu zniszczenia, zapobieganiem gwałtownemu zniszczeniu i zapewnieniem nośności poawaryjnej. W przypadku zbrojonych przekrojów drewnianych zauważa się także zmniejszenie współczynników zmienności dla nośności. Wzmocnianie elementów zabytkowych często wymaga wklejenia zbrojenia do wnętrza przekroju (w celu ochrony zdobień zewnętrznych powierzchni elementu). Ta-

kie rozwiązanie skutkuje również zmniejszeniem ryzyka delaminacji połączenia „zbrojenie-drewno” oraz lepszą ochroną przed ogniem.

Istotnym czynnikiem ograniczającym zastosowanie materiałów FRP do wzmacniania elementów drewnianych jest brak wiarygodnych algorytmów szacowania nośności przekrojów wzmocnionych. Konieczne jest opracowanie kompleksowych procedur normowych wskazujących właściwe podejście do projektowania wzmacnianych elementów przy użyciu FRP. W ramach trwających obecnie prac komitetu odpowiedzialnego za opracowanie nowej wersji Eurokodu 5 (CEN/TC 250/SC 5) powołano grupę roboczą pod kierownictwem Philipa Dietscha z Uniwersytetu Technicznego w Monachium, zajmującą się zagadnieniem wzmacniania konstrukcji drewnianych.

Stosowanie metod numerycznych pozwala dokładniej poznać rozkład naprężeń w rozpatrywanych przekrojach. Należy jednak pamiętać, że modelowanie drewna jest procesem uproszczonym, w którym trudno uwzględnić m.in. niejednorodność materiałową i naturalne, losowo rozłożone wady drewna.

Literatura

- [1] Blass Hans, Markus Romani. 2001. „Design model for FRP reinforced glulam beams”. [In:] *Proceedings of the International Council for Research and Innovation in Building and Construction (CIB), Working Commission W18 Timber Structures*, Meeting 34, Venice, Italy, paper CIB-W18/34-12-3.
- [2] Borri Antonio, Marco Corradi, Andrea Grazini. 2005. „A method for flexural reinforcement of old wood beams with CFRP materials”. *Composites Part B: Engineering* 36 (2): 143 – 153. DOI: 10.1016/j.compositesb.2004.04.013.
- [3] Brol Janusz. 2005. *Analiza doświadczalno-teoretyczna wzmacniania konstrukcji drewnianych kompozytami polimerowo-węglowymi*. Rozprawa doktorska. Gliwice. Politechnika Śląska.

[4] Brol Janusz. 2009. „Wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami GARP na etapie produkcji”. *Wiadomości Konserwatorskie – Journal of Heritage Conservation* 26: 345 – 353.

[5] Greenland A., Keith Crews, S. Bakkos. 1998. „Enhancing timber structures with advanced Fibre Reinforced Plastic composite reinforcements”. [In:] *Proceedings of the 5-th World Conference on Timber Engineering*, Montreux, Switzerland, 608 – 615.

[6] Harte Anette, Philip Dietsch (eds). 2015. *Reinforcement of timber structures – a state-of-the-art report*. Aachen, Shaker Verlag.

[7] Jasieńko Jerzy. 2002. *Połączenia klejowe w rehabilitacji i wzmacnianiu zginanych belek drewnianych*. Wrocław. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej.

[8] Nowak Tomasz. 2007. *Analiza pracy statycznej zginanych belek drewnianych wzmacnianych przy użyciu CFRP*. Rozprawa doktorska. Wrocław. Politechnika Wroclawska.

[9] Nowak Tomasz, Filip Patalas, Janusz Brol. 2018. „The use of Hill anisotropic yield criterion in numerical analysis of bent timber elements reinforced with CFRP strips”. *Annals of Warsaw University of Life Sciences – SGGW Forestry and Wood Technology* 104: 219 – 227.

[10] Nowak Tomasz, Filip Patalas, Mateusz Hryniewiecki. 2019. *Konstrukcje drewniano-kompozytowe*. [In:] *Ogólnopolskie Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji: Innowacyjne i współczesne rozwiązania w budownictwie*, tom II, PZITB, Oddział w Bielsku-Białej, 411 – 452.

[11] Schober Kay. 2010. *Hybrid timber-composite beams – an innovative solution for strengthening of timber structures in reconstruction*. [In:] *Proceedings of the JEC Composites Show Paris: Composites Simulation Conference, optimizing the design and manufacturing simulation processes*, Paris 13-15 April, CD-Rom.

[12] Triantafyllou Thanasis, Nikola Deskovic. 1992. „Prestressed FRP sheets as external reinforcement of wood members”. *Journal of Structural Engineering* 118: 1270 – 1284.

[13] Yang Huifeng, Dongdong Ju, Weiqing Liu, Weidong Lu. 2016. „Prestressed glulam beams reinforced with CFRP bars”. *Construction and Building Materials* 109: 73 – 83. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.02.008.

Przyjęto do druku: 28.02.2019 r.

XXIX Międzynarodowa Konferencja Naukowo-Techniczna Awary Budowlane – ICSF 2019

Wydział Budownictwa i Architektury Zachodniopomorskiego Uniwersytetu Technologicznego w Szczecinie oraz Komitet Nauki Polskiego Związku Inżynierów i Techników Budownictwa we współpracy z Komitetem Inżynierii Lądowej i Wodnej Polskiej Akademii Nauk oraz Instytutem Techniki Budowlanej zapraszają na **XXIX Międzynarodową Konferencję Naukowo-Techniczną Awary Budowlane – ICSF 2019, która odbędzie się 20 – 24 maja 2019 r. w Międzyzdrojach**.

Konferencja stanowi forum wymiany poglądów i doświadczeń wszystkich uczestników procesu inwestycyjnego, m.in. inwestorów, projektantów, wykonawców, przedstawicieli administracji

samorządowej, ekspertów budowlanych, pracowników firm konsultingowych, osób związanych z nadzorem budowlanym w zakresie szeroko pojętego bezpieczeństwa konstrukcji budowlanych, a także pracowników naukowych. Składać się będzie z sesji problemowych, w których prezentowane będą referaty zamówione przez Organizatorów Konferencji oraz z sesji tematycznych obejmujących referaty zgłoszone przez uczestników i zakwalifikowane przez Komitet Naukowy Konferencji.

Tematyka konferencji:

- diagnostyka konstrukcji i zapobieganie awariom budowlanym;
- analiza przyczyn katastrof i awarii budowlanych;

- sposoby naprawy poawaryjnej i rekonstrukcji;

- ocena i analiza procesów projektowania, wykonawstwa oraz aktów prawnych dotyczących bezpiecznej eksploatacji obiektów budowlanych;

- problemy rewitalizacji obiektów zabytkowych i rekonstrukcja historycznych zespołów architektury.

Podczas konferencji odbędzie się prezentacja produktów i technologii do diagnostyki budowli oraz do zabezpieczania i naprawy konstrukcji, a także wystawy firm. Przewodniczącą Komitetu Organizacyjnego konferencji jest **prof. dr hab. inż. Maria Kaszyńska**.

Więcej na:

<http://www.awarye.zut.edu.pl/>