

Marlena Rajczyk, Damian Jończyk

PRZEGLĄD METOD WZMACNIANIA KONSTRUKCJI DREWNIANYCH

Wprowadzenie

Najbardziej znanym sposobem wzmocnienia konstrukcji jest zastosowanie prętów stalowych do zbrojenia betonu, dzięki czemu możemy uzyskać materiał łączący w sobie zalety betonu i stali. W konstrukcjach drewnianych również stosuje się różne sposoby wzmocnienia tak, aby uzyskać element zachowujący zalety drewna, lecz o lepszych parametrach wytrzymałościowych.

Wzmocnianie elementów konstrukcyjnych jest często niezbędne w celu naprawy lub polepszenia pracy statycznej konstrukcji już istniejących. Często te budowle to obiekty zabytkowe, w których - oprócz wymagań poprawy nośności oraz sztywności - muszą być spełnione wymagania dotyczące zachowania estetyki. Problem ten szeroko przedstawili Jasiénko [1] oraz Nowak [2].

W prowadzonych badaniach analizowane są różne sposoby wzmocnienia elementów drewnianych tak, aby połączenie dwóch, a czasem nawet większej ilości materiałów pozwalało otrzymać element o jak najlepszych właściwościach. Rozwój metod wzmocnienia konstrukcji drewnianych nastąpił w latach 70. dzięki postępowi w dziedzinie klejów epoksydowych, używanych do mocowania elementów wzmocniających. Bardzo popularnym materiałem do zbrojenia konstrukcji drewnianych jest stal (w formie prętów oraz blach), używana zarówno do biernych, jak i czynnych sposobów wzmocnienia.

Obecnie można zauważyć duże zainteresowanie użyciem kompozytów włóknistych w celu wzmocnienia zarówno konstrukcji drewnianych, żelbetowych, murenych, jak i stalowych [3]. Badane są także bardziej niekonwencjonalne sposoby wzmocnienia, np. skompresowanym drewnem [4] czy metalowymi wkrętami [5].

W artykule przedstawiono przegląd różnych sposobów wzmocnienia konstrukcji drewnianych wraz z analizą wyników badań oraz uwzględnieniem najnowszych trendów w budownictwie.

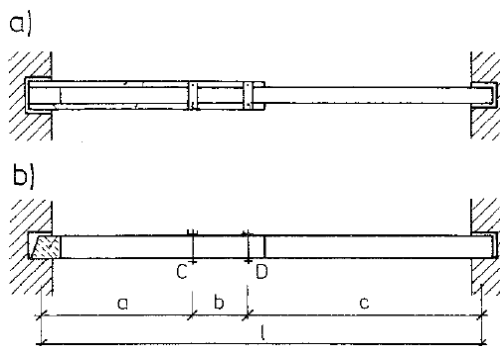
1. Tradycyjne sposoby wzmocniania konstrukcji drewnianych

Tradycyjne metody wzmocniania konstrukcji drewnianych są stosowane głównie w celu naprawy istniejących elementów konstrukcyjnych, w których wystąpiły oznaki awarii budowlanej. W sposobach tych głównie wykorzystywane są kształtowniki stalowe oraz dodatkowe elementy drewniane. Obecnie powoli odchodzi się od tego typu metod ze względu na duży postęp w dziedzinie materiałów budowlanych, dzięki którym możemy uzyskać wzmocnienia o lepszych parametrach.

1.1. Wzmocnienia z użyciem elementów drewnianych

Podstawowym sposobem wzmocniania istniejących elementów drewnianych jest dołączenie do istniejącego elementu dodatkowych części drewnianych, najczęściej mocowanych za pomocą łączników mechanicznych.

Wzmocnienie belek drewnianych za pomocą nakładek wykonuje się poprzez dołączenie do istniejącej belki elementów drewnianych o takiej samej wysokości jak istniejąca belka, dołączonych za pośrednictwem elementów drewnianych oraz metalowych (rys. 1). Tak wzmocnionym elementom często nadaje się odwrotną strzałkę ugięcia, co w przypadku bardzo osłabionych elementów często jest konieczne. Tego typu wzmocnienia mogą być usytuowane w różnych miejscach belki, lecz najczęstszym miejscem są końce belek oparte na murze. Ze względu na dużą wilgoć oraz zagrzybienie w wielu przypadkach końce belek są zgnite i dlatego konieczne jest zastosowanie wzmocnienia.



Rys. 1. Wzmocnienie belek drewnianych za pomocą nakładek: a) widok z góry; b) widok z boku [6]

W przypadku wiązarów mamy do czynienia ze wzmocnianiem prętów ściskanych oraz rozciąganych.

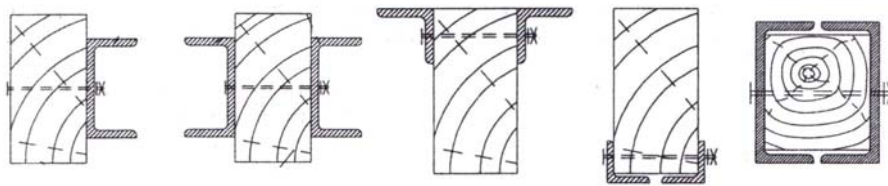
Pręty ściskane przy nadmiernym obciążeniu ulegają wyboczeniu, co może spowodować zniszczenie nawet całej konstrukcji. Jeżeli wyboczenie elementu jest większe od $1/200$ długości wyboczeniowej, należy przed wzmocnieniem elementu wyprostować tak, aby uzyskać pierwotny kształt [6]. Wzmocnienie wyprostowanego elementu następuje poprzez przybicie gwoździami drewnianych nakładek o szeroko-

kości nie mniejszej niż połowa grubości wzmacnianego elementu oraz nie mniejszej niż 4 cm [6].

Elementy rozciągane są wzmacniane również poprzez zastosowanie nakładek zamocowanych za pomocą metalowych łączników.

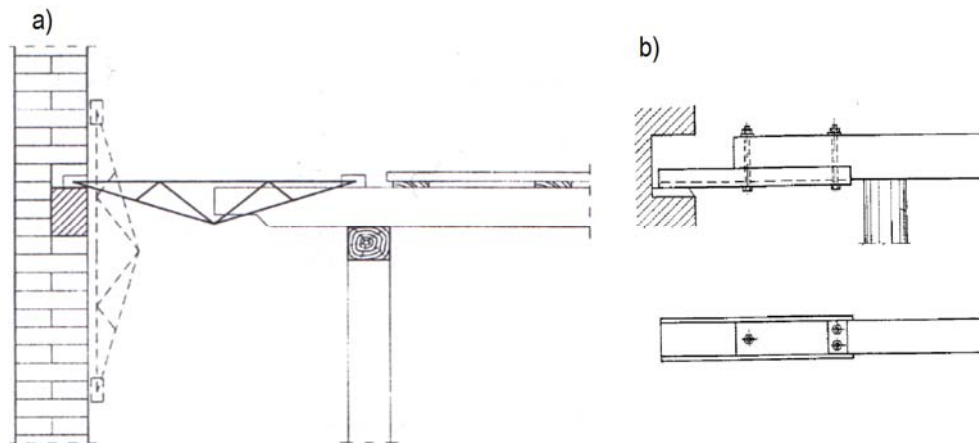
1.2. Wzmocnienia z użyciem elementów stalowych

Wzmocnienia z zastosowaniem elementów stalowych można podzielić na dwie grupy: wzmocnienie na całej długości elementu oraz wzmocnienie tylko w obszarze uszkodzonego fragmentu. W przypadku pierwszej grupy najczęściej kształtowniki stalowe mocuje się na powierzchniach bocznych (jednostronnie lub dwustronnie) lub na krawędziach elementu (rys. 2).

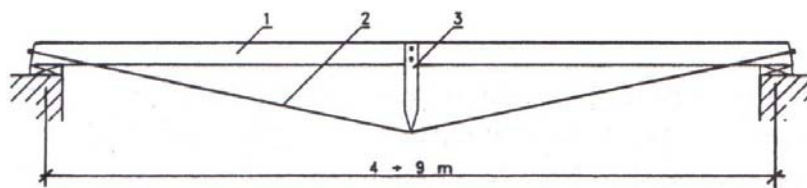


Rys. 2. Sposoby wzmocnienia kształtownikami walcowanymi [1]

W przypadku wzmocnień tylko fragmentów konstrukcji można zastosować zbrojenie w postaci małych kratownic stalowych, którymi zastępuje się zniszczony fragment stropu (rys. 3a). Stosuje się dwa rodzaje kratownic: KP - do wzmacniania przęseł oraz KK - do wzmacniania końców belek. Innym sposobem jest zastosowanie kształtowników walcowanych w sposób, jaki pokazano na rysunku 3b.



Rys. 3. Wzmocnienia belek drewnianych z użyciem elementów stalowych: a) kratownic; b) kształtowników walcowanych [6]

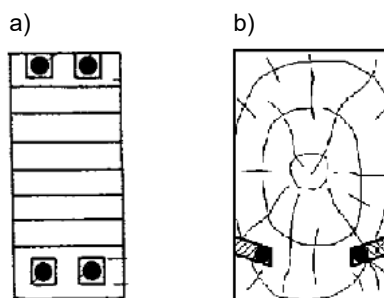


Rys. 4. Belka drewniana wzmocniona zewnętrznym ciągnem stalowym:
1 - wzmocniana belka, 2 - ciągnie, 3 - słupek [1]

Osobną grupę wzmocnień stanowi zazbrojenie belek stropowych zewnętrznymi ciągnami stalowymi (rys. 4). Ze względu na charakter wzmocnienia nadaje się ono jedynie do pomieszczeń o dużych wysokościach w świetle. Na podstawie badań numerycznych przedstawionych w pracy [7] można oszacować kilkakrotny wzrost nośności belki wzmocnionej tym sposobem.

2. Zbrojenie belek drewnianych prętami oraz blachami stalowymi

Obecnie często stosowanym rozwiązaniem dla belek o znacznym stopniu uszkodzenia jest wklejenie w specjalnie przygotowane otwory prętów stalowych (rys. 5). Pręty zbrojeniowe powinny być wykonane ze stali żebrowanej, a procent zbrojenia nie powinien przekraczać 1,5% w przypadku przekroju pojedynczo zbrojonego [1]. Pręty wklejane są w belkę za pomocą klejów epoksydowych, które charakteryzują się dobrą przyczepnością do drewna i stali. Przy współczesnej technice istnieje możliwość zastosowania klejów mało podatnych, dzięki czemu możemy zakładać pełną współpracę drewna oraz prętów. Wadą tego typu zbrojenia jest znaczna różnica rozszerzalności cieplnej stali i drewna. Podczas wykonywania tego typu wzmocnień należy zwrócić szczególną uwagę na długość zakotwienia elementów wzmocniających [8]. Dzięki tego typu wzmocnieniom można uzyskać wzrost nośności oraz sztywności o około 30% [9].

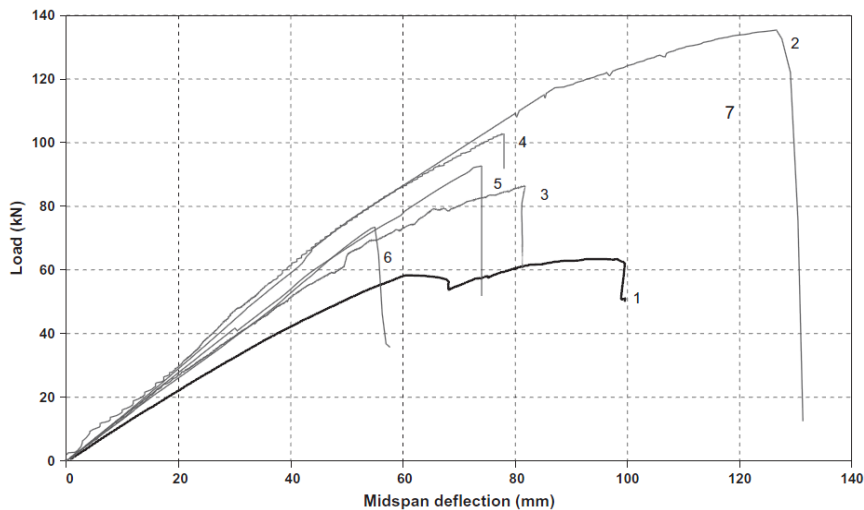


Rys. 5. Zbrojenie belek drewnianych prętami stalowymi: a) z drewna klejonego warstwowo; b) z drewna litego [6, 8]

We Włoszech są prowadzone również badania nad wzmocnianiem belek drewnianych z zastosowaniem taśm z wysokowytrzymałościowego drutu stalowego [10], zamocowanego do elementu poprzez zastosowanie kompozycji epoksydowej, w którą zatapia się taśmę, co przedstawiono na rysunku 6. Zbadany wzrost sztywności belek zbrojonych w porównaniu do belek niezbrojonych wyniósł do 100%. Wykres ugięcia w zależności od siły przedstawiono na rysunku 7.



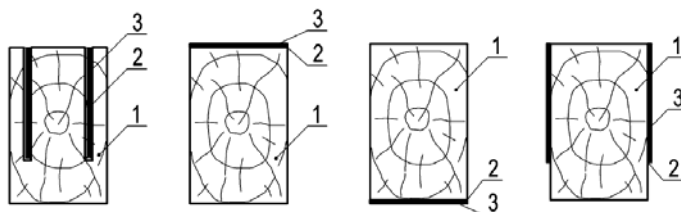
Rys. 6. Mocowanie stalowej taśmy do belki [10]



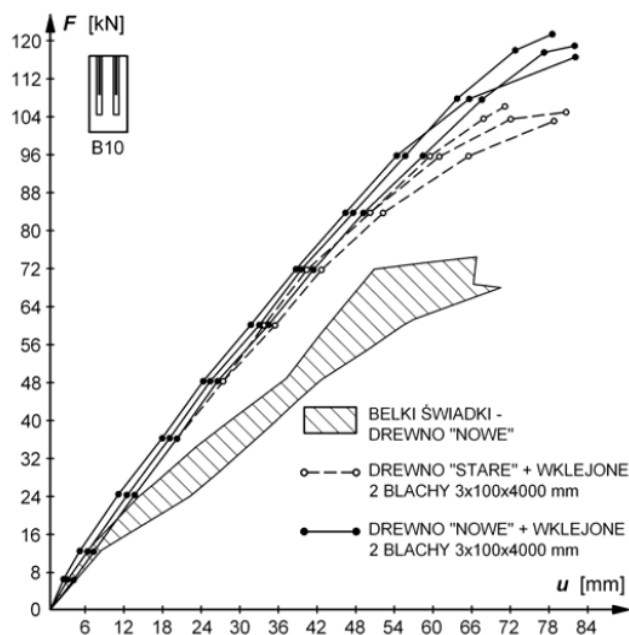
Rys. 7. Wykres ugięcia belek zbrojonych taśmami stalowymi w zależności od obciążenia:
1 - belka niezbrojona, 2-7 - belki zbrojone [10]

Innym sposobem wzmocnień z zastosowaniem elementów stalowych jest wykorzystanie blach stalowych przyklejonych za pomocą kompozycji epoksydowych zarówno do powierzchni bocznych belek, jak i środka przekroju (rys. 8). Obszerne badania tego typu wzmocnień przeprowadził Jasiońko [1].

Badane były różne warianty wklejenia blach zarówno pod obciążeniem doraźnym, jak i długotrwałym. W celu uzyskania bardziej szczegółowych wyników badaniu poddano belki tak „nowe”, jak i „stare”, których wiek określono na około 80-100 lat. Najlepsze wyniki otrzymano dla belek wzmocnionych blachami wklejonymi do wnętrza przekroju. Wzrost nośności dla belek z drewna „nowego” wyniósł 60%, natomiast dla belek z drewna „starego” 115%. W znacznym stopniu zwiększyła się sztywność belki (rys. 9). Na uwagę zasługuje fakt, że tego typu zbrojenie może być wykonane dla belek zabytkowych, w przypadku których ważne jest, aby wzmocnienia były niewidoczne. W przypadku wykonywania belek z blachami przyklejanymi do zewnętrznych powierzchni należy zwrócić uwagę na odpowiedni docisk blach podczas procesu klejenia.



Rys. 8. Przekroje belek wzmocnione blachami stalowymi użyte do badań przez Jasieńkę: 1 - wzmocniana belka drewniana, 2 - kompozycja epoksydowa, 3 - blacha stalowa [8]



Rys. 9. Wykres zależności obciążenie-ugięcie dla belek z wklejonymi w przekrój blachami stalowymi [1]

3. Wzmocnienia z zastosowaniem materiałów kompozytowych

Ze względu na korzystne właściwości kompozytów (niski ciężar, wysoką wytrzymałość na rozciąganie, dużą odporność na korozję chemiczną i biologiczną) można zauważyć duże zainteresowanie nimi w budownictwie. Najszersze zastosowanie znalazły kompozyty włókniste FRP (Fiber Reinforced Polymer), w których żywica epoksydowa, zwana fazą ciągłą lub matrycą, jest zbrojona włóknami, np. szklanymi, węglowymi oraz aramidowymi. Właściwości wytrzymałościowe kompozytów zbrojonych włóknami w dużym stopniu zależą od sposobu wykonania oraz zagęszczenia włókien. Przykładowe porównanie właściwości przedstawiono w tabeli 1. Trwają także badania nad zastosowaniem do zbrojenia kompozytów włókien naturalnych, np. bawełny [11] ze względu na bardziej ekologiczny charakter tego typu włókien.

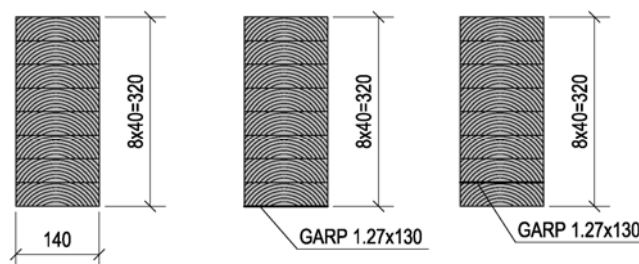
TABELA 1

Porównanie właściwości włókien [12]

Rodzaj włókna	Gęstość g/cm ³	Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	Moduł sprężystości podłużnej, GPa
Szklane E-glass	2,5	2000÷3500	70
Szklane S-glass	2,5	4570	86
Aramidowe	1,4	3000÷3150	63÷67
Węglowe	1,4	4000	230÷240

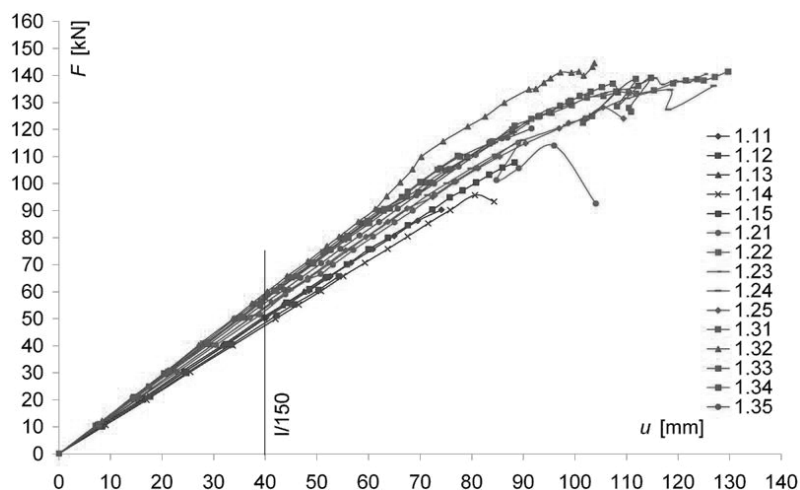
Jednym z pierwszych zastosowań na szeroką skalę belek drewnianych zbrojonych kompozytami włóknistymi jest metoda wynaleziona i opatentowana w USA przez Tingleya pod nazwą FIRP. Metoda ta polega na wklejeniu pomiędzy ostatnią a przedostatnią lamelę taśmy kompozytowej. Wzmocnienie to pozwoliło uzyskać oszczędności w zużyciu drewna o 25÷40% [13].

W Polsce badania tego typu belek zostały przeprowadzone przez Politechnikę Śląską we współpracy z austriacką firmą Buchacher [14]. Badaniu zostało poddanych 15 belek z drewna klejonego o długości 6200 mm oraz rozstawie podpór 5760 mm wzmocnionych taśmami szklano-aramidowymi (GARP), umieszczonymi pomiędzy ostatnią a przedostatnią lamelą oraz od spodu belki (rys. 10).



Rys. 10. Przekroje belek użyte do badań przez Broła [14]

Na podstawie badań określono wzrost nośności odpowiednio o 54% dla zbrojenia przymocowanego do spodu belki oraz 68% dla zbrojenia wklejonego pomiędzy lamele. Wzrost sztywności wyniósł 15%. Wykres zmienności ugięć w zależności od siły przedstawiono na rysunku 11.



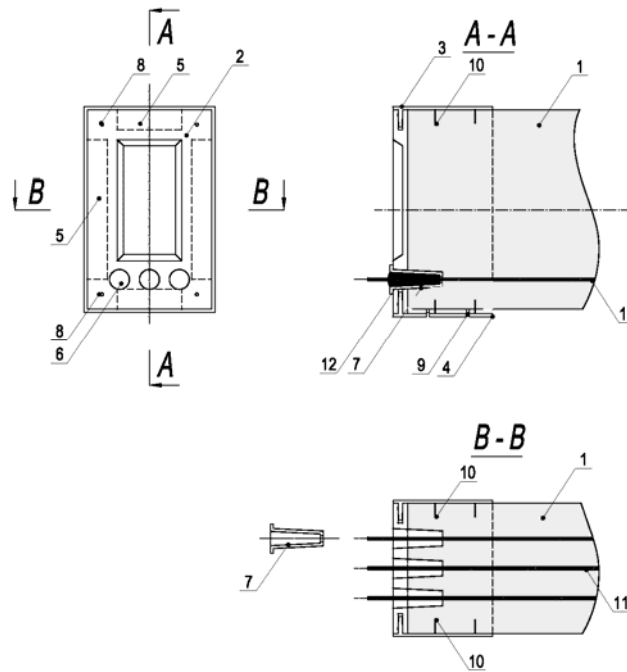
Rys. 11. Wykres zależności ugięcie-siła obciążająca: 1.11-1.15 - belki niewzmocnione, 1.21-1.25 - belki wzmocnione zewnętrznie, 1.31-1.35 - belki wzmocnione wewnętrznie [14]

Opisana powyżej metoda wzmocniania stała się podstawą do dalszych analiz poruszających tematykę połączeń klejowych pomiędzy materiałami FRP a drewnem [15] oraz analiz kosztów wykonania tego typu konstrukcji, które są jeszcze stosunkowo wysokie [16].

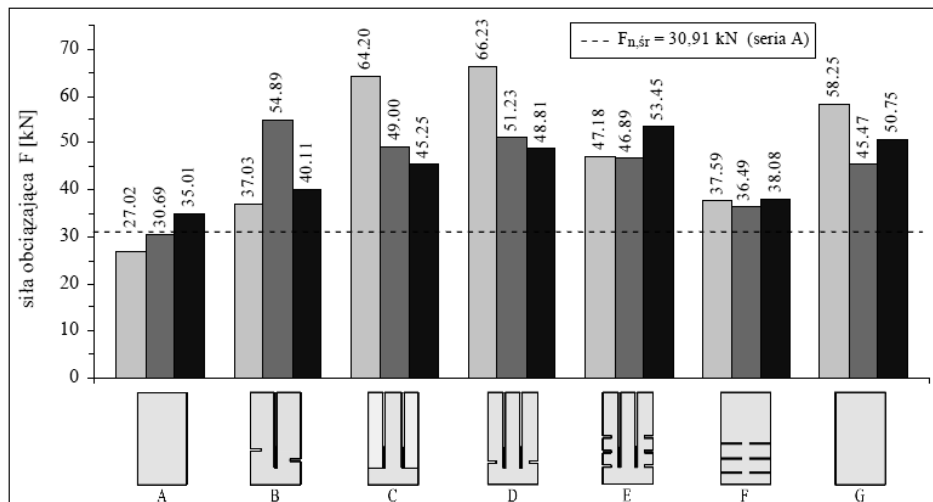
Nowym rozwiązaniem z wykorzystaniem kompozytów włóknistych zaproponowanym w pracy [17] jest zastosowanie sznurów aramidowych wklejonych pomiędzy lamele do wzmocnienia belki z drewna klejonego warstwowo (rys. 12). Powyższy sposób zbrojenia jest w trakcie badań eksperymentalnych oraz numerycznych. Po wstępnych badaniach numerycznych ustalono korzystny wpływ tego typu zbrojenia na charakter pracy statycznej.

Kompozytami włóknistymi wzmocniane są także belki z drewna litego. Obszerne badania tego typu belek z wykorzystaniem taśmy kompozytowej CFRP przeprowadził Nowak [2]. Badane były belki ze zbrojeniem wprowadzonym w przekrój, przez co symulowane były warunki wzmocniania elementów zabytkowych. Badane przekroje wraz z porównaniem wartości sił niszczących dla wszystkich serii badanych belek przedstawiono na rysunku 13. Wzrost nośności badanych belek wyniósł od 21% (seria F) do 69% (seria D) [18].

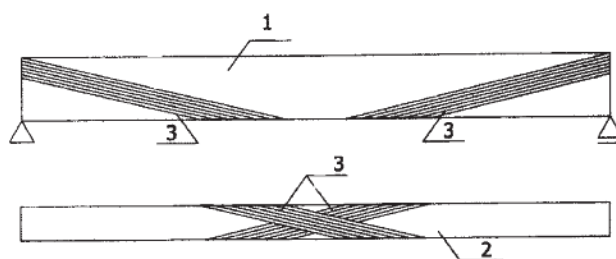
Sposób zbrojenia belek o znacznych uszkodzeniach został zaproponowany na Politechnice Szczecińskiej [19]; zbrojenie taśmami węglowymi przebiega na całej długości belki i obejmuje najbardziej wyťažone miejsca (w środku rozpiętości oraz nad podporami), jak pokazano na rysunku 14.



Rys. 12. Nowa konstrukcja belki drewnianej wzmocnionej sznurami aramidowym:
 1 - belka drewniana, 2 - blacha czołowa, 3, 4 - płytki kolczaste, 5 - gniazda wnekowe,
 6 - otwory w belce drewnianej, 7 - metalowe tuleje, 8 - wkręty mocujące,
 9 - otwory poprawiające mikrowentylację, 10 - mocowanie płytki kolczastej,
 11 - sznury aramidowe, 12 - klej epoksydowy [17]

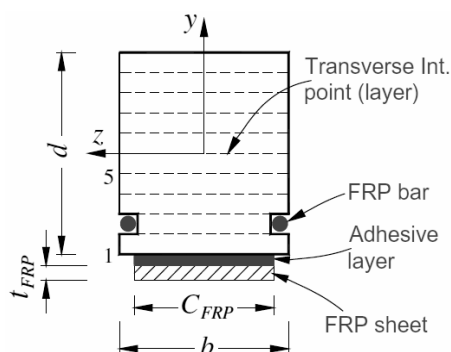


Rys. 13. Siły niszczące i przekroje belek badanych przez Nowaka [2]



Rys. 14. Belka zbrojona dwoma taśmami węglowymi [19]

Spotkać można również metody zbrojenia z wykorzystaniem prętów kompozytowych stosowanych w podobny sposób jak pręty stalowe [20] oraz metody mieszane, wykorzystujące zarówno pręty, jak i taśmy kompozytowe (rys. 15), stosowane dla belek o znacznych obciążeniach [21].



Rys. 15. Belka z drewna klejonego warstwowo wzmocniona prętami i taśmami kompozytowymi [21]

Na uwagę zasługują przedstawione w pracy [22] pręty epoksydowo-bazaltowe [23], mogące być korzystną alternatywą dla prętów stalowych.

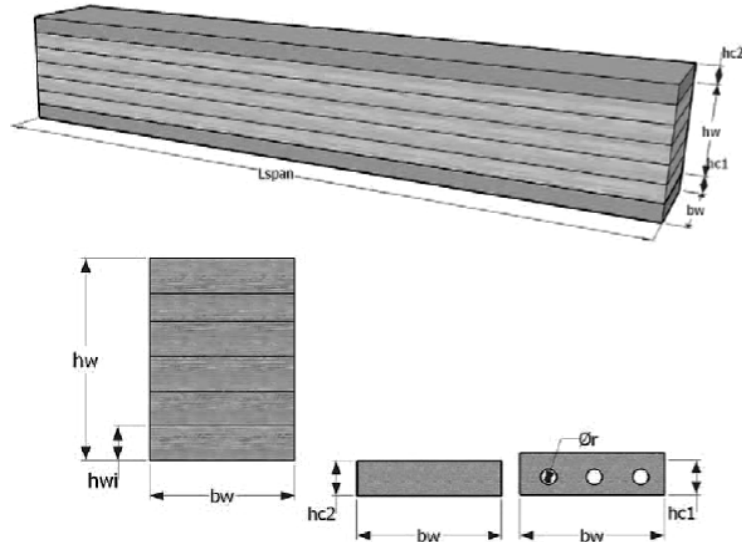
Korzystnym zjawiskiem w przypadku elementów zbrojonych kompozytami jest zwiększenie odporności ogniowej [24], lecz temat ten nie został jeszcze dobrze rozpoznany i konieczne są dalsze badania w tym zakresie.

4. Inne metody wzmocnienia konstrukcji drewnianych

Spośród metod wzmocnienia konstrukcji można wyróżnić również takie, które nie zyskały dużej popularności, lecz cały czas trwają nad nimi badania.

Jednym ze starszych sposobów wzmocnienia jest połączenie belek drewnianych z betonem. W pracy [6] przedstawiono przykład stropu betonowego opartego na belkach drewnianych, w którym naprężenia rozciągające przenoszą belki drewniane, a naprężenia ściskające beton. Efekt zespolenia w tym przypadku został uzyskany poprzez gwoździe, wbite w belkę drewnianą. Nad połączeniem drewna i be-

tonu nadal trwają badania, o czym mogą świadczyć liczne publikacje poruszające różnorodną tematykę: pracy strefy łączenia pomiędzy drewnem a betonem ultrawysokowytrzymałościowym [25], łączników do zespolenia betonu z belką drewnianą, które mogłyby zastąpić gwoździe [26] oraz prób stworzenia belki hybrydowej złożonej z drewna klejonego warstwowo, betonu i zbrojenia w postaci kompozytu włóknistego [27]. Schemat powyżej opisanej belki przedstawiono na rysunku 16.



Rys. 16. Schemat belki hybrydowej drewniano-betonowo-kompozytowej [27]

Inną metodą, która również jest przedmiotem wielu badań [1, 28], jest wzmocnienie belek drewnianych poprzez uzupełnienie miejsc zniszczonych kompozycją epoksydową. Wzmocnienie takie może polegać na iniekcji ciśnieniowej kompozycji epoksydowej lub wypełnieniu nią części elementu, która została usunięta. Nośność belek uzupełnionych kompozycją epoksydową jest jednak niższa o około 15% niż belek pełnych. Połączenie kompozycji z drewnem za pomocą gwoździ jeszcze bardziej zmniejsza nośność elementu. Jest to jednak metoda warta uwagi w przypadku renowacji mało obciążonych elementów.

Można spotkać także bardziej niekonwencjonalne metody zbrojenia, np. poprzez zastosowanie wkrętów zamocowanych w elemencie [5], co przedstawiono na rysunku 17. Badania wykazały, że tego typu wzmocnienie zwiększa nośność o około 10%, lecz autor zwraca uwagę na konieczność sprawdzenia właściwości z uwzględnieniem wpływu obciążeń długotrwałych oraz zmiany temperatury mogącej skutkować wysychaniem drewna i osłabieniem połączenia pomiędzy drewnem a wkrętami.

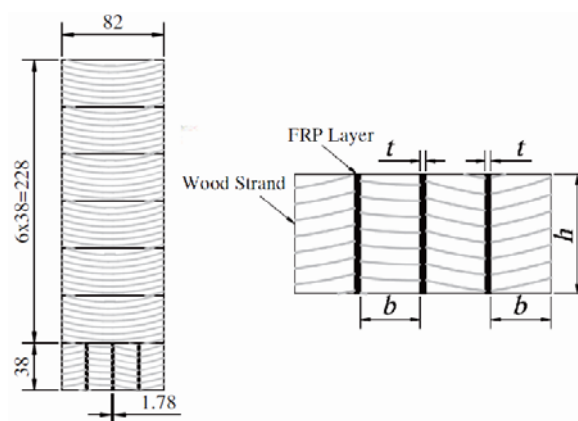
Osobną grupę wzmocnień stanowi wykorzystanie sprężania i rozprężania. Sprężać lub rozprężać elementy można z użyciem: prętów, cięgien stalowych, materiałów kompozytowych oraz innych materiałów, np. skompresowanego drewna.



Rys. 17. Wzmocnienie elementu drewnianego wkrętami stalowymi [5]

Wstępne badania dotyczące sprężania drewna zostały podjęte już w latach 60. XX wieku. Badaniu poddawano belki z drewna klejonego sprężane stalowymi strunami umieszczonymi w strefie rozciąganej. Otrzymano dobre wyniki w przypadku wzmocnienia tarcicy o niskich parametrach, natomiast w przypadku zwykłych belek wzrost nośności był nieznaczny. Poddano również badaniu elementy sprężane taśmami stalowymi, w których wzrost wytrzymałości wyniósł 76%, a sztywności 26% [9]. Badania z użyciem cięgien stalowych przeprowadził Cyruliński [29]. Analizował on belki sprężane, rozprężane oraz sprężano-rozprężane. Najlepsze wyniki otrzymano dla belek sprężano-rozprężanych. Ponieważ jest to obszerny temat ze względu na właściwości reologiczne drewna oraz stali, które są istotnym elementem sprężania, nadal są prowadzone badania w tym zakresie [30].

Podczas wzmocniania belek drewnianych wykorzystuje się również sprężenie zbrojenia w postaci kompozytów włóknistych. Pierwsze próby sprężania wykorzystywały szklane taśmy kompozytowe wklejane pomiędzy ostatnią a przedostatnią lamelę [31], natomiast aby zwiększyć efekt sprężania, została skonstruowana belka sprężana kilkoma taśmami aramidowymi wklejonymi poprzecznie w ostatnią lamelę (rys. 18) [32].



Rys. 18. Belka z drewna klejonego warstwowo wzmocniona sprężonymi taśmami aramidowymi [32]

Nowatorskim sposobem sprężania belek drewnianych jest użycie bloków skompresowanego drewna (poddanych działaniu podwyższonego ciśnienia) umieszczanych we wcześniej do tego przygotowanych otworach. Drewno, pęczniąc, powoduje sprężenie belki [4].

Podsumowanie

Metod wzmocnienia konstrukcji drewnianych jest wiele i są one bardzo różnorodne. Najczęściej wykorzystywanymi materiałami są: drewno, stal oraz kompozyty włókniste. Tradycyjne sposoby są wypierane przez nowsze, bardziej efektywne, często mniej pracochłonne. Obecnie największym zainteresowaniem, przejawiającym się w dużej liczbie publikacji, cieszą się kompozyty włókniste, które są stosowane jako zbrojenie bierne i czynne. Dzięki wykorzystaniu sprężania można uzyskać znaczny wzrost nośności wzmocnianego elementu, jednak konieczne są dalsze badania w tym zakresie w celu dokładniejszego poznania wpływu właściwości reologicznych drewna oraz materiałów zbrojeniowych.

Literatura

- [1] Jasińko J., Połączenia klejowe w rehabilitacji i wzmocnianiu zginanych belek drewnianych, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław 2002.
- [2] Nowak T., Analiza pracy statycznej zginanych belek drewnianych wzmocnianych przy użyciu CFRP, Rozprawa doktorska, Wrocław 2007.
- [3] Triantafillou T.C., Composites: A new possibility for the shear strengthening of concrete, masonry and wood, *Composites Science and Technology* 1998, 58, 1285-1295.
- [4] Ashari B., Guan Z.W., Kitamori A., Jung K., Komatsu K., Structural behaviour of glued laminated timber beams pre-stressed by compressed wood, *Construction and Building Materials* 2012, 29, 24-32.
- [5] Trautz M., Koj Ch., Self-tapping screws as reinforcement for timber structures, *Proceedings of the International Association for Shell and Spatial Structures Symposium*, Valencia, Spain, 28 September-2 October 2009.
- [6] Masłowski E., Spirzewska D., Wzmocnienie konstrukcji budowlanych, Arkady, Warszawa 2000.
- [7] Major M., Major I., Wzmocnienie belek z drewna litego ciągniami stalowymi, [w:] *Tradycyjne i współczesne budownictwo drewniane*, red. nauk. J. Rajczyk, M. Rajczyk, T. Bobko, N. Kazhar, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2008, 124-128.
- [8] Jasińko J., Nowak T., Bednarz Ł., Wzmocnienie zginanych litych belek drewnianych prętami i blachami stalowymi oraz materiałami CFRP, [w:] *Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych*, Praca zbiorowa pod red. Z. Mieleczarka, PPH ZAPOL, Szczecin 2009, 73-85.
- [9] Socha T., Ocena wpływu obciążeń długotrwałych na naprężenia i odkształcenia w drewnianych belkach z wklejonym zbrojeniem kompozytowym, *Rozprawa doktorska*, Zielona Góra 2005.
- [10] Borri A., Corradi M., Strengthening of timber beams with high strength steel cords, *Composites: Part B* 2011, 42, 1480-1491.
- [11] Ku H., Wang H., Pattarachaiyakoo N., Trada M., A review on the tensile properties of natural fiber reinforced polymer composites, *Composites: Part B* 2011, 42, 856-873.

- [12] Hajnalka H., Racz I., Anandjiwala R.D., Development of HEMP fibre reinforced polypropylene composites, *Thermoplastic Composite Materials* 2008, 21, 165-174.
- [13] Martin Z.A., Stith J.K., Tingley D.A., Commercialization of FRP reinforced glulam beam technology, *Proceedings of 6th World Conference on Timber Engineering*, Whistler Resort, British Columbia, Canada, July 31-August 3, 2000.
- [14] Brol J., Wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami GARP na etapie produkcji, *Wiadomości Konserwatorskie* 2009, 26, 345-353.
- [15] Raftery G.M., Harte A.M., Rodd P.D., Bonding of FRP materials to wood using thin epoxy gluelines, *International Journal of Adhesion & Adhesives* 2009, 29, 580-588.
- [16] Stevens N.D., Criner G.K., Economic Analysis of Fiber-Reinforced Polymer Wood Beams, *Bulletin 848*, Maine Agricultural and Forest Experiment Station, 2000.
- [17] Rajczyk M., Jończyk D., Numerical study of glued laminated timber beams with aramid fibers reinforcements, *Proceedings of 3rd International Conference on Contemporary Problems in Architecture and Construction*, Beijing, China, November 20-24, 2011.
- [18] Jasieńko J., Nowak T., Rapp P., Analiza pracy statycznej belek drewnianych wzmocnionych taśmami CFRP, *Wiadomości Konserwatorskie* 2009, 26, 314-324.
- [19] Orlovich R., Mielczarek Z., Lange M., Sposób zbrojenia belki drewnianej i belka drewniana zbrojona kompozytami włóknistymi, *Biuletyn Urzędu Patentowego* 2006, 11, 21-22.
- [20] Sena-Cruz J., Branco J., Jorge M., Barros J.A.O., Silva C., Cunha V.M.C.F., Bond behavior between glulam and GFRP's by pullout tests, *Composites: Part B* 2011.
- [21] Valipour H.R., Crews K., Efficient finite element modelling of timber beams strengthened with bonded fibre reinforced polymers, *Construction and Building Materials* 2011, 25, 3291-3300.
- [22] Rajczyk M., Stachecki B., Współczesne materiały kompozytowe. Wybrane kierunki rozwoju nowych technologii, [w:] *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, red. nauk. T. Bobko, J. Rajczyk, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2011, 202-211.
- [23] < <http://www.comfibertec.eu/prety.html> > [dostęp 22.02.2012].
- [24] Rajczyk M., Jończyk D., Odporność ogniowa belek z drewna klejonego wzmocnianych kompozytami włóknistymi, [w:] *Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym*, red. nauk. T. Bobko, J. Rajczyk, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa, 2011, 193-201.
- [25] Schäfers M., Seim W., Investigation on bonding between timber and ultra-high performance concrete (UHPC), *Construction and Building Materials* 2011, 25, 3078-3088.
- [26] Fernandez-Cabo J.L., Arriaga F., Majano-Majano A., Iñiguez-González G., Short-term performance of the HSBØ shear plate-type connector for timber-concrete composite beams, *Construction and Building Materials* 2011, 30, 455-462.
- [27] Ferrier E., Labossière P., Neale K.W., Modelling the bending behaviour of a new hybrid glulam beam reinforced with FRP and ultra-high-performance concrete, *Applied Mathematical Modelling* 2011.
- [28] Custódio J., Broughton J., Cruz H., Rehabilitation of timber structures - Preparation and environmental service condition effects on the bulk performance of epoxy adhesives, *Construction and Building Materials* 2011, 25, 3570-3582.
- [29] Cyruliński Z., Ocena celowości wstępnego naprężania cięgnami belek z drewna klejonego, *Rozprawa doktorska*, Częstochowa 2006.
- [30] De Luca V., Marano C., Prestressed glulam timbers reinforced with steel bars, *Construction and Building Materials* 2012, 30, 206-217.
- [31] Guan Z.W., Rodd P.D., Pope D.J., Study of glulam beams pre-stressed with pultruded GRP, *Computers and Structures* 2005, 83, 2476-2487.
- [32] Yahyaei-Moayyed M., Taheri F., Creep response of glued-laminated beam reinforced with pre-stressed sub-laminated composite, *Construction and Building Materials* 2011, 25, 2495-2506.

Streszczenie

W artykule zaprezentowano metody wzmocnienia konstrukcji drewnianych z wykorzystaniem różnych materiałów. Ze względu na popularność kompozytów włóknistych (FRP) przedstawiono ponadto stan badań elementów zbrojonych materiałami FRP.

A review of strengthening methods of timber structures**Abstract**

This paper presents a review of methods of strengthening timber structures with various materials. Because of the popularity of fiber reinforced polymers (FRP) composites research of elements with FRP reinforcement is also shown.