

Janusz Broł*

Wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami GARP na etapie produkcji

Strengthening of bent glued laminated (glulam) beams with GARP tapes at the stage of production

1. Wstęp

Dążenie do jak najbardziej efektywnego wykorzystania materiału jest zjawiskiem dosyć powszechnym. Zagadnienie to nie ominęło także konstrukcji wykonywanych z naturalnego materiału, jakim jest drewno. Pierwotnie do budowy obiektów o konstrukcji drewnianych stosowano drewno lite, często obrabiane w sposób minimalny. Wadą takiego wykorzystania drewna są ograniczenia co do maksymalnych wymiarów przekroju elementów, oraz możliwości wykonywania elementów o znacznych rozpiętościach. Rozwój technologii klejenia drewna spowodował możliwość wykonywania elementów z drewna o znacznych przekrojach i długościach, co umożliwiło wykonywanie np. przekryć o konstrukcji drewnianej o dużych rozpiętościach. Dalszy rozwój technologii klejenia oraz rozwój kompozytów włóknistych spowodował możliwość bardziej efektywnego wykorzystywania drewna.

Wykorzystanie kompozytów włóknistych takich jak włókna węglowe, aramidowe lub szklane do wzmacniania konstrukcji drewnianych już na etapie produkcji skutecznie ogranicza zużycie drewna w elementach belkowych.

Wykonywanie wzmocnień konstrukcji włóknami aramidowo-szklanymi jest z praktycznego punktu widzenia analogiczne do wzmocnień wykonywanych innymi kompozytami włóknistymi. Jest to zagadnienie stosunkowo nowe, i słabo opisane w literaturze europejskiej. W dostępnej literaturze zazwyczaj jest tylko wzmiankowana możli-

1. Introduction

The endeavor to have the material as effectively utilized as it is possible is a general practice. This approach has found its place also when the constructions executed from such natural material as timber are concerned. Originally for building objects of wooden construction solid timber was applied often with possibly little working done on the wooden elements. The disadvantage of such utilization of timber are limitations as to maximum dimensions of the cross-section of elements, lack of possibility of making the elements of considerable span. Development of technology of gluing timber brought about the possibility of making elements from timber with considerable cross-section and length, which made possible constructing e.g. wooden construction roofing of large span. Further development of gluing technology and development of fibrous composite materials caused the possibility of more effective using of timber.

Utilization of such fibrous composite materials as: carbon fibers, aramid or glass fibers for strengthening wooden constructions already at the stage of production effectively cuts down consumption of timber in beam elements.

Making construction strengthening with the help of aramid-glass fibers is from the practical point of view analogous to strengthening made with the help of other types of fibrous composites. This is a comparatively new question, and in the European literature it is not much described. In the accessible literature it is usually only mentioned

wość wykonywania wzmocnień przy wykorzystaniu włókien aramidowych. Pomimo sporadycznych przykładów literaturowych, obecnie w Europie, w tym również od jesieni 2004 r. w Polsce (rys. 1), powstają nowo wznoszone obiekty z drewna klejonego warstwowo z elementami belkowymi wzmocnionymi, już na etapie produkcji, taśmami AFRP lub GARP.



Rys. 1. Pierwszy obiekt w Polsce z podciągami wzmocnionymi taśmami AFRP

Fig. 1 The first building in Poland with beams strengthened with AFRP bands

Sposób wzmocnienia polega na wklejeniu taśmy z włóknami aramidowymi (ale także aramidowo-węglowych lub szklano-węglowych) pod ostatnią warstwę drewna klejonego lub jako warstwę zewnętrzną, głównie w strefie włókien rozciąganych, ale także w strefie włókien ściskanych. Technologia wykonywania tego typu wzmocnień została opatentowana w USA przez D.A. Tingley'a z Wood Science & Technology Institute, LLC, Corvallis, Oregon U.S.A., oraz doczekała się opracowań normowych w postaci norm amerykańskich [6] i [7]. Według tych autorów to rozwiązanie pozwala zaoszczędzić od 25 do 40% drewna.

W artykule przedstawiono wyniki badań zginanych belek z drewna klejonego, w skali naturalnej, wzmacnianych taśmami zbrojonymi włóknami szklano-aramidowymi (GARP), nie dochodzącymi do podpór. Badania przeprowadzone w Katedrze Inżynierii Budowlanej Politechniki Śląskiej w Gliwicach w warunkach laboratoryjnych w końcowej części zostały rozszerzone o symulacje numeryczne zginanych belek [4].

2. Opis i wyniki badań

2.1. Opis badań

Badania skuteczności wzmocnień taśmami z włókien szklano-aramidowych zginanych belek z drewna klejonego warstwowo wykonano na modelach o wymiarach przekroju 140*320 mm oraz długości 6200 mm, przy rozstawie podpór $18h = 5760$ mm. W badaniach wykorzystano trzy rodzaje modeli:

- 5 modeli niewzmocnionych – oznaczonych w badaniach jako belki nr 1.11 do 1.15, wykonanych z drewna świerkowego klasy GL28 (rys 2a),
- 5 modeli wzmocnionych wewnętrznie – oznaczonych w badaniach jako belki nr 1.21 do 1.25,

that there exists a possibility of making strengthening with the use of aramid fibers. In spite of only sporadic literature examples, at present in Europe, including also Poland since autumn 2004 (fig. 1), new objects are raised, made from timber glued in layers with beam elements strengthened, already at the stage of production, with AFRP or GARP tapes. The way

of strengthening consists in inserting the tape made from aramid fibers (but also aramid-carbon or glass-carbon) under the last layer of the glued timber or as the external shell, mainly in the zone of stretched fibers, but also in the zone of compressed fibers. The technology of executing this type of strengthening was patented in the USA by D.A. Tingley from Wood Science & Technology Institute, LLC, Corvallis, Oregon U.S.A., and it has become the object of normative studies in the form of American Standards [6] and [7]. According to these authors, this solution allows to save from 25 to 40% timber.

The results of investigations in the natural scale of bent beams made from glued timber, strengthened with reinforcing tapes made from glass-aramid fibers (GARP), not coming up to the points of supporting, have been presented in this article. Investigations were carried out in laboratory conditions in the Building Engineering Department of Silesian Technical University in Gliwice, and in the final part become extended onto numeric simulations of bent beams [4].

2. Description and results of investigations

2.1. Description of the investigations

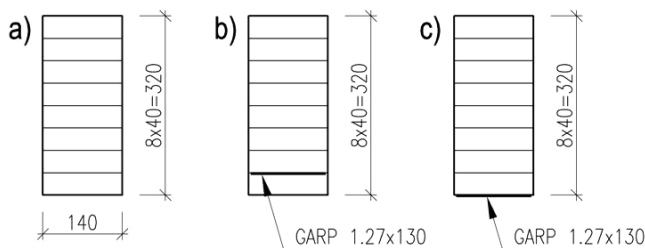
The investigation of strengthening effectiveness of bent beams made from layer glued timber strengthened with glass-aramid tapes has been made on models. Beams of the cross-section dimensions 140 * 320 mm and of 6200 mm in length, with the spacing of supports $18 h = 5760$ mm were used as models. Three kinds of models were used in the investigations:

- 5 models – not strengthened – designed in the investigations as beams nos. 1.11 to 1.15, made from the spruce wood of the class GL28 (fig. 2a),
- 5 models – strengthened internally – designed in the investigations as beams nos. 1.21 to 1.25,

wykonanych z drewna świerkowego klasy GL28 oraz wzmocnionych taśmą z włókien aramidowych wklejoną w przekrój belki w strefie środkowej (patrz rys 2b), wymiary taśmy GARP 1,27*130*3500 mm,

– 5 modeli wzmocnionych zewnętrznie – oznaczonych w badaniach jako belki nr 1.31 do 1.35. wykonanych z drewna świerkowego klasy GL28 oraz wzmocnionych taśmą z włókien aramidowych doklejoną do dolnej powierzchni belki w strefie środkowej (rys 2c), wymiary taśmy GARP 1,27*130*3500 mm.

Łącznie przebadano 15 modeli przygotowanych w warunkach przemysłowych przez firmę z Austrii. W trakcie badania dokonywano pomiaru wielkości ugięć dla poszczególnych poziomów obciążenia oraz wielkości siły niszczącej. Dodatkowo po dwa modele w poszczególnych grupach badano z tensometrycznym pomiarem odkształceń drewna w strefie środkowej belek, w celu określenia wpływu wzmocnienia na położenie osi obojętnej. W dwóch modelach ze wzmocnieniem doklejonym od dołu dokonano również pomiaru odkształceń taśmy. Wyników z pomiarów tensometrycznych nie zamieszczono w tym artykule, było one potrzebne do porównań z badaniami numerycznymi zamieszczonymi w [4]. Schemat badania modeli przedstawiano na rys. 3.

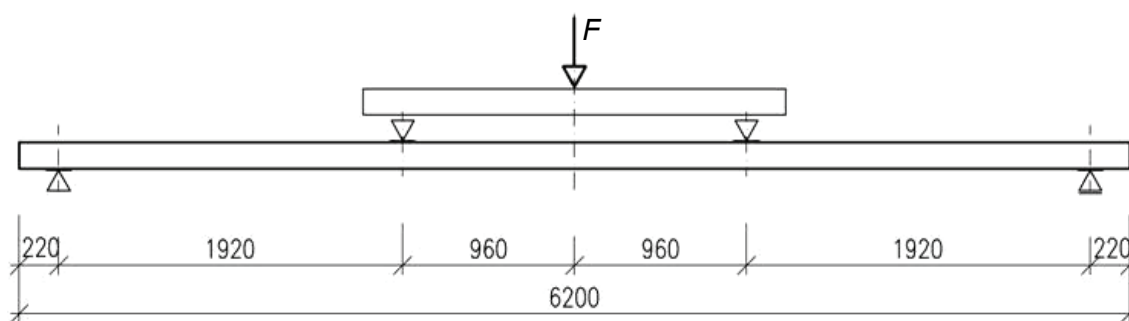


Rys. 2. Przekroje belek: a) niewzmocnionych; b) wzmocnionych wewnątrz; c) wzmocnionych zewnętrznie
 Fig. 2. Cross-sections of the beams: a) non-strengthened; b) strengthened internally; c) strengthened externally

made from spruce wood of the class GL28 and strengthened with the tape from aramid fibers inserted in the cross-section of the beam in the central zone (see fig. 2b), dimensions of the tape GARP 1.27*130*3500 mm,

– 5 models – strengthened from outside – designed in the investigations as beams nos. 1.31 to 1.35, made from spruce wood of the class GL28, strengthened with the tape from aramid fibers glued on the bottom surface of the beam in the central zone (fig. 2c), dimensions of the tape GARP 1.27*130*3500 mm.

Altogether 15 models prepared in industrial conditions by a firm from Austria underwent testing. During the tests the magnitude of deflection for individual levels of load and the magnitude of destructive force were measured. Moreover, two models from each group were studied with tensometric measurement of the strains of the wood in the central zone of beams, in order to determine the influence of strengthening on the positioning of the neutral axis. The measurement of strains of the tape were also executed in two models with strengthening glued on from the bottom side. The results of tensometric measurements have not been put in this article, they were necessary for comparisons with numeric investigations presented in [4]. The pattern of investigation of models has been presented in fig. 3.



Rys. 3. Schemat obciążenia
 Fig. 3. Scheme of applying the load

2.2. Wyniki badań laboratoryjnych i opis postaci zniszczenia

Wielkości sił niszczących uzyskanych w trakcie badań laboratoryjnych, poszczególnych belek z drewna klejonego warstwowo, niewzmocnionych oraz wzmocnionych, przedstawiono w tab. 1.

2.2. Results of laboratory investigations and description of the form of destruction

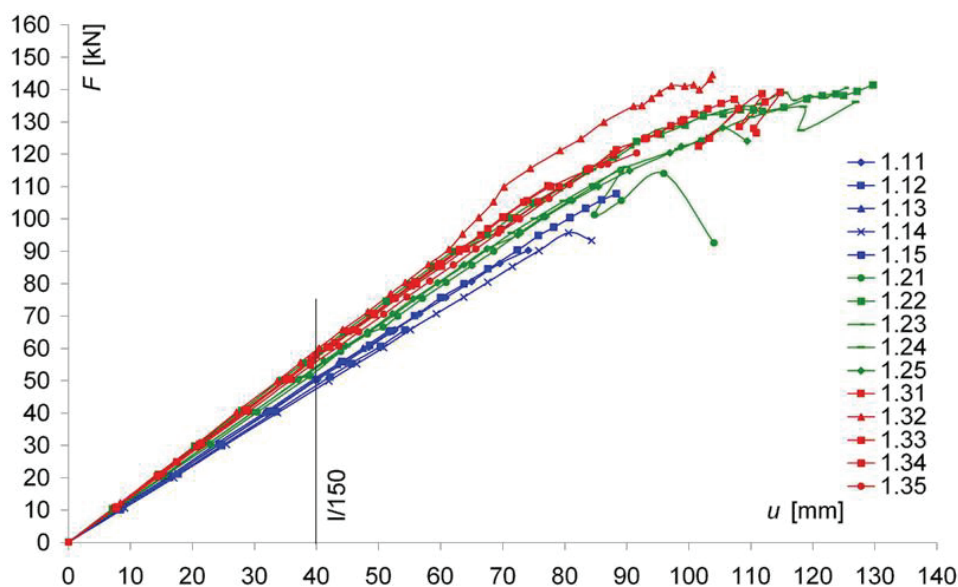
The magnitude of destructive forces obtained during the laboratory investigations, for individual beams made from timber glued in layers, not strengthened and strengthened, have been presented in table 1.

Tab. 1.

Nr belki <i>Beam No.</i>	Siła niszcząca [kN] <i>Destructive force [kN]</i>	Nr belki <i>Beam No.</i>	Siła niszcząca [kN] <i>Destructive force [kN]</i>	Nr belki <i>Beam No.</i>	Siła niszcząca [kN] <i>Destructive force [kN]</i>
1.11	90,3	1.21	117,0	1.31	138,0
1.12	107,7	1.22	141,3	1.32	144,6
1.13	67,0	1.23	140,5	1.33	130,1
1.14	95,7	1.24	136,1	1.34	176,0
1.15	67,0	1.25	124,1	1.35	130,0
Wartość średnia [kN] <i>Average value [kN]</i>	85,5		131,8		143,7
Odch. standardowe <i>Standard deviation</i>	18,1		10,8		19,0
Wytrzymałość [%] <i>Strength [%]</i>	100		154		168

Zależność ugięć od siły obciążającej przedstawiono na rys 4. Pomiaru wielkości ugięć nie prowadzono do pełnego zniszczenia. Z uwagi na badania elementów w skali naturalnej i niebezpieczeństwo uszkodzenia czujników, były one zdemontowywane po pojawieniu się pierwszych oznak zniszczenia. W tabelicy 1 oprócz wielkości sił niszczących dla poszczególnych belek, podano również wielkości średnie oraz odchylenie standardowe dla poszczególnych typów belek. Jak widać wzmocnianie elementów zginanych taśmami GARP wpływa korzystnie na nośność i sztywność belek zginanych, z tym, że wzrost sztywności jest niewielki, natomiast wzrost nośności jest istotny.

Dependence of deflection from the applied loading force has been presented in fig. 4. The measurement of the magnitude of deflection was not carried out to the point of complete destruction. Regarding the natural scale of tested elements and the danger of damage of sensors, they were taken off after the first signs of the destruction had appeared. In table 1 in addition to the magnitude of destructive forces for individual beams, average value and standard deviation have been also presented for individual types of beams. What can be seen from the results is that strengthening of bent elements with tapes GARP profitably influences on carrying capacity and the rigidity of the beams bent, with the provision that the growth of rigidity is little, but the growth of carrying capacity is essential.



Rys. 4. Wykres zależność $F - u$ dla wszystkich modeli
Fig. 4. Relationship $F - u$ for all models

Zniszczenie belek nie wzmocnionych z drewna klejonego następowało zawsze poprzez pęknięcie włókien drewna w strefie włókien rozciąganych. Zastosowanie wzmocnienie w postaci taśmy GARP wklejonych w przekrój (rys. 2b) istotnie

The destruction of not strengthened beams made from glued timber always occurred by disrupting the fibers of wood in the zone of stretching the fibers. The applied strengthening in the form of the GARP tape inserted in the cross-section (fig. 2b) indeed

zmienia postać zniszczenia. W pierwszej kolejności zniszczenie następuje w strefie włókien ścisanych (uplastycznienie drewna) o wysokości ok. 40 do 80 mm, w dalszej kolejności następuje odspojenie się taśmy od drewna i zniszczenie belki. Belki ze wzmocnieniem doklejonym od spodu (rys. 2c) niszczą się głównie poprzez uplastycznienie się strefy ścisanej, w dwóch przypadkach jednak nastąpiło zniszczenie poprzez odspojenie się taśmy od drewna. Przykładowe formy zniszczenia belek wzmocnionych pokazano na rys. 5.



changed the form of destruction. The destruction occurs first of all in the zone of compressed fibers (plastification of the wood), the height is approx. 40 to 80 mm, then comes detaching of the tapes from the wood and destruction of the beam. Beams with strengthening glued on from the bottom side (fig.2c) are damaged mainly by plastification of the zone squeezed, however, in two cases there occurred destruction by detaching of the tapes from the wood. The example forms of destruction of strengthened beams have been shown in fig. 5.



Rys. 5. Przykładowe obrazy zniszczenia belek wzmocnionych
Fig. 5. Exemplary modes of failure of strengthened beams

3. Sposób szacowania nośności belek zginanych wzmocnionych taśmami FRP

Jedynie normy, które uwzględniają problematykę wzmocniania konstrukcji drewnianych (klejonych) za pomocą kompozytów włóknistych są normy amerykańskie [6] i [7]. W normach tych przedstawiono sposób wyznaczania nośności i sztywności wzmocnionych już na etapie produkcji, belek drewnianych z drewna klejonego ze wzmocnieniem w strefie włókien rozciąganych, lub w strefie włókien rozciąganych i ścisanych. W normie uwzględniono również projektowanie wzmocnienia na środkowym odcinku belki – wzmocnienie nie doprowadzone do podpory.

Minimalny procent zbrojenia powinien być nie mniejszy niż 0,25%, natomiast maksymalny procent zbrojenia powinien być nie większy niż 2% w przypadku zbrojenia pojedynczego oraz 4% w przypadku zbrojenia podwójnego. Taśmy z materiałów kompozytowych mogą być wklejane w przekrój belki (pod ostatnią warstwę – rys. 6), bądź przyklejane do dolnej i górnej powierzchni.

W wyznaczeniu położenia osi bezwładności przekroju przy zginaniu poczyniono następujące założenia (wg [6] [7]):

3. The way of estimating carrying capacity for bent beams strengthened with FRP tapes

American Standards are the only standards which take into account the problems of strengthening of wooden constructions (glued) with the help of fibrous composites [6] and [7]. In these standards the way of determining carrying capacity and rigidity of wooden beams made from glued timber, strengthened already at the stage of production, with strengthening in the zone of stretched fibers or in the zone of fibers stretched and compressed, has been introduced. The standard also includes designing of the strengthening in the central section of the beam – strengthening not brought to the point of support.

Minimum percentage of the reinforcement should be not less than 0.25%, however, the maximum percentage of the reinforcement should be not larger than 2% in the case of single reinforcement and 4% in the case of the double reinforcement. Tapes from composite materials can be inserted in the cross-section of the beam (under the last layer – fig. 6), or glued on the bottom and upper surface.

The following assumptions have been made in order to determine the axis of inertia of the cross-section when bending (according to [6] [7]):

- rozróżniono moduły sprężystości drewna wzdłuż włókien przy ściskaniu i przy rozciąganiu,
- moduł sprężystości drewna przy rozciąganiu sprowadzono do modułu sprężystości drewna wzdłuż włókien przy ściskaniu za pomocą współczynnika

- the modulus of elasticity of the wood along the fibers when stretching has been distinguished from the modulus of elasticity when compressing,
- modulus of elasticity of the wood when stretching has been reduced to the modulus of elasticity of wood along fibers when compressing by using the coefficient

$$n' = \frac{E_{t,0,mean}}{E_{c,0,mean}} \quad (1)$$

- moduł sprężystości taśmy FRP przy rozciąganiu sprowadzono do modułu sprężystości drewna wzdłuż włókien przy ściskaniu za pomocą współczynnika

- the modulus of elasticity of the FRP tape when stretching has been reduced to the modulus of elasticity of wood along fibers when compressing using the coefficient

$$n = \frac{E_f}{E_{c,0,mean}} \quad (2)$$

gdzie: E_f – moduł sprężystości taśmy FRP przy rozciąganiu,

$E_{t,0,mean}$ – średni moduł sprężystości drewna przy rozciąganiu wzdłuż włókien,

$E_{c,0,mean}$ – średni moduł sprężystości drewna przy ściskaniu wzdłuż włókien.

Dla tak sprowadzonych modułów sztywności wysokość strefy ściskanej, w rozwiązaniu ze zbrojeniem tylko strefy rozciąganej, wynosi:

$$a = a' + M_t - N_t \quad (3)$$

gdzie:

wherein:

$$a' = h \frac{\sqrt{n'}}{1 + \sqrt{n'}} \quad (4)$$

$$N_t = n' d_1 (n - 1)^{0,63} \frac{t_f}{a'} \quad (5)$$

$$M_t = n' (n - 1)^{0,63} t_f \quad (6)$$

gdzie (oznaczenia na rys. 6):

h – wysokość belki,

t_f – grubość taśmy FRP,

t_1 – grubość „otuliny” taśmy,

d_1 – środek ciężkości zbrojenia.

Po wyznaczeniu osi obojętnej wzmocnionego elementu, obliczono moment bezwładności I_z sprowadzonego przekroju z wykorzystaniem twierdzenia Steinera:

wherein (designation as in fig. 6):

h – height of the beam,

t_f – thickness of the FRP tape,

t_1 – thickness of ‘cleading’ of the tape,

d_1 – centre of gravity of the reinforcement.

After determining the inert axis of the strengthened element, the moment of inertia I_z was calculated for the reduced cross-section with the use of the Steiner’s theorem:

$$I_z = \frac{b a^3}{3} + \frac{b n' h_t^3}{3} + b n t_1 \left[\frac{t_1^2}{12} + (c - d_1)^2 \right] + b n' t_1 \left[\frac{t_1^2}{12} + \left(c - \frac{t_1}{2} \right)^2 \right] \quad (7)$$

gdzie:

wherein:

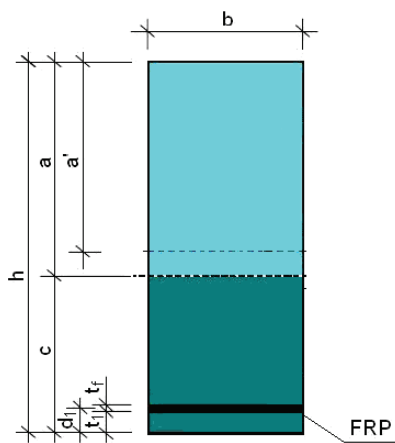
$$h_t = h - a - t_1 - t_f \quad (8)$$

$$c = h - a \quad (9)$$

Dla tak wyznaczonego spowodowanego momentu bezwładności ugięcie obliczane jest ze znanych wzorów z teorii sprężystości, w zależności od schematu obciążenia, z uwzględnieniem spowodowanego momentu bezwładności oraz średniego modułu sprężystości przy zginaniu $E_{0, mean}$.

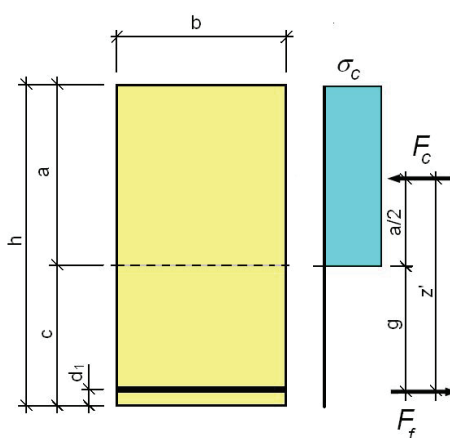
W [6] i [7] nośność przekroju wzmocnionego wyznaczana jest przy założeniu pełnego uplastycznienia strefy ściskanej (rys. 7). O nośności decyduje wyczerpanie nośności strefy ściskanej drewna. W wyznaczeniu nośności pominięto udział drewna w strefie włókien rozciąganych. Zakłada się, że naprężenia rozciągane przenosi taśma FRP, analogia do obliczania przekrojów żelbetowych. Poniżej przedstawiono sposób wyznaczenia nośności dla belek zginanych zbrojonych w strefie włókien rozciąganych.

Dla tak poczynionych założeń dopuszczalny moment przenoszony przez przekrój wynosi:



Rys. 6. Geometria przekroju i sposób wzmocnienia belek wg [7]

Fig. 6. Geometry of the cross-section and the method of strengthening of beams acc. to [7]



Rys. 7. Schemat obliczeniowy wg [7]

Fig. 7. Designing scheme acc. to [7]

For so determined reduced moment of inertia the deflection is calculated from well-known formulae from the theory of elasticity, depending on the pattern of the deflection, taking into consideration the reduced moment of inertia and the average modulus of elasticity for bending $E_{0, mean}$.

In [6] and [7] the carrying capacity of the strengthened cross-section is determined at the assumption of complete plastification of the zone compressed (fig. 7). The carrying capacity is decided upon by exhaustion of the carrying capacity of compressed zone of wood. The part of the wood where the fiber are stretched was neglected in determining of carrying capacity. It is assumed, that the tensile stress is carried by the FRP tape, this is analogical to the calculation of cross-sections for reinforced concrete. The way of determining carrying capacity for the bent beams reinforced in the zone of stretched fibers has been presented below.

For so made assumptions the admissible moment transferred by the cross-section is:

$$M_r = F_c * z', \quad (10)$$

gdzie:

wherein:

$$F_c = \sigma_c * a * b \quad (11)$$

$$z' = \frac{a}{2} + g = \frac{a}{2} + (c - d_1) = h - \frac{a}{2} - d_1 \quad (12)$$

Naprężenia rozciągające w taśmie FRP wyznaczono według wzoru:

Tensile stresses in the FRP tape have been determined according to the formula:

$$\sigma_f = \frac{M_r * (g + \frac{t_f}{2}) * n}{I_z} \quad (13)$$

Dopuszczalne naprężenia ścinające dla belek zbrojonych wyznaczano ze wzoru:

Admissible shearing stress for reinforced beams have been determined from the formula

$$\tau_f = \frac{2}{3} * f_v' * b * h \quad (14)$$

gdzie:

wherein:

$$f_v' = f_v + 20 \ln(x) \quad (15)$$

4. Wnioski

Wzmacnianie belek drewnianych taśmami kompozytowymi może być ciekawą alternatywą podniesienia nośności i sztywności elementów zarówno już istniejących konstrukcji, jak i dopiero projektowanych. Dalszy rozwój technologii klejenia oraz rozwój kompozytów włóknistych spowodował również możliwość bardziej efektywnego wykorzystywania drewna. Wykorzystanie kompozytów włóknistych takich jak: włókna węglowe, aramidowe lub szklane do wzmacniania konstrukcji drewnianych już na etapie produkcji skutecznie ogranicza zużycie drewna w elementach belkowych.

W przedstawionych badaniach, na elementach w skali technicznej, stwierdzono, że sztywność wzrosła w małym zakresie (ugięcia zmalały o ok. 15%), natomiast średni wzrost nośności jest znaczny (o nawet 68%). Jak wynika także z badań [1], [2], [3], [4], [5] wykonywanie wzmocnień zginanych belek drewnianych kompozytami włóknistymi wpływa korzystnie przede wszystkim na nośność. Rozwiązanie to powinno być wykorzystywane szczególnie tam, gdzie o nośności elementu decyduje pierwszy stan graniczny – wytrzymałość materiału. Stosowanie tego rozwiązania w przypadku ograniczenia wielkości ugięć jest rozwiązaniem mniej efektywnym, ale możliwym. Celowym było by wtedy stosowanie taśm o wyższym module sprężystości.

Przedstawiony w punkcie 3 ogólny zarys metody szacowania nośności wg [6] i [7] jest ciekawym podejściem obliczeniowym dającym realne wyniki obliczeń. Jednak jest to metoda bazująca na stałych materiałowych „amerykańskich” i nie jest łatwa do bezpośredniego przełożenia do warunków krajowych, chociażby z uwagi na rozróżnienie modułów sprężystości przy ściskaniu i rozciąganiu a w związku z tym istnieje konieczność przyjmowania pewnych uproszczeń.

Analiza zawarta w pracy może być przydatna w zastosowaniu elementów z drewna klejonego warstwowo w obiektach historycznych w miejsce często stosowanych, nowo projektowanych konstrukcji z profili stalowych.

4. Conclusions

Strengthening of wooden beams with composite tapes may be an interesting alternative for increasing carrying capacity and rigidity of elements both in already existing constructions and in only designed. Further development of the technology of gluing and development of fibrous composites has brought about the possibility of more effective using of timber. Utilization of such fibrous composites as carbon, aramid or glass fibers for strengthening wooden constructions already at the stage of production effectively cuts down consumption of timber in beam elements.

In the introduced investigations, on the elements in technical scale, it was found that rigidity grew up in a small range (the deflections decreased by approx. 15%), however the average growth of carrying capacity was considerable (even about 68%). As it also results from investigations [1], [2], [3], [4], [5] strengthening of bent wooden beams with fibrous composites positively influences first of all on carrying capacity. This solution should be applied especially where the first boundary state – the strength of material - decides about the carrying capacity of the element. Applying this solution in the case of limitation of the magnitude of deflection makes a less effective solution, but still possible. In such a case it would be purposeful applying tapes having higher modulus of elasticity.

Introduced in the point 3 general outline of the method of estimating carrying capacity according to [6] and [7] is an interesting computational approach giving realistic results of calculations. However, this is the method based on ‘American’ constants for material and it is not easy to be directly shifted to our domestic conditions, concerning the distinction between the moduluses of elasticity when stretching and when compressing, and due to this there is the necessity of accepting certain simplifications in the method.

The analysis described in the paper can be used in application of GLULAM timber structures in historical objects instead new designed structural steels profiles.

Literatura • References

- [1] Broł J., *Wzmacnianie stropów drewnianych taśmami z włókien węglowych*, VI Konferencja naukowa „Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych”, Międzyzdroje 27-29 maja 2004.
- [2] Broł J., Grygierek K., *Wzmacnianie zginanych belek drewnianych taśmami CFRP*, Conference on New Trends in Static and Dynamics of Buildings Bratislava, Slovakia, Faculty of Civil Engineering STU Bratislava Slovak Society of Mechanics SAS, October 20-21, 2005.

- [3] Brol J., *Skuteczność wzmacniania belek drewnianych taśmami CFRP*, VII Konferencja naukowa „Drewno i materiały drewnopochodne w konstrukcjach budowlanych”, Międzyzdroje 12-13 maja 2006.
- [4] Brol J., Grygierek K., *Wzmacnianie zginanych belek z drewna klejonego taśmami GARP nie dochodzącymi do podpór*, 5th International Conference “New Trends on Statics and Dynamics of Buildings”, Bratislava Slovakia, 19 – 20 October, 2006, s. 51-54.
- [5] Brol J., *Wzmacnianie konstrukcji drewnianych kompozytami włóknistymi*, Konferencja „Problemy remontowe u budownictwie ogólnym i obiektach zabytkowych” REMO’2006, Wrocław – Kliczków, 6-8 grudnia 2006, stron 8; praca zbiorowa pod red. Jansieński J. i in., Dolnośląskie Wyd. Edukacyjne, Wrocław, 2006, s. 200-207.
- [6] Norma amerykańska US standard ICBO/Uniform Building Code 5100.
- [7] Norma amerykańska US standard ICBO/Uniform Building Code 6046.

* Politechnika Śląska, Gliwice, Polska
Silesian University of Technology, Gliwice, Poland

Streszczenie

Możliwości wzmocnienia belek z laminowanego klejonego drewna (glulam) równoległe do włókien, aby zwiększyć wytrzymałość na zginanie i sztywność osiową i ich obciążenie niszczące, były badane od szeregu lat. Jedną z metod polega na zastosowaniu taśm z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem (FRP) w roli rozciągliwego wzmocnienia. Zastosowano włókno szklane, aramidowe i węglowe. W artykule przedstawiono badania charakterystyk obciążenie – odkształcenie dla wzmocnionych belek glulam. W artykule zostały przedstawione testy w pełnej skali dla elementów wykonanych z laminowanego klejonego drewna wzmocnionych taśmami GARP.

Abstract

The possibilities to reinforce glulam beams parallel to the fibers in order to increase bending and axial stiffness and ultimate load have been investigated for several years. One method consists in using Fiber-Reinforced Plastics (FRP) as tensile reinforcement. The fibers used were glass fibers, aramid fibers and carbon fibers. In the paper the load-deformation performance of reinforced glulam beams was studied. In this paper, full-scale tests of the elements made from glue-laminated timber reinforced with GARP strips have been presented.