

# Propozycja napraw i wzmocnienia konstrukcji drewnianych przy użyciu mat bazaltowych

JANUSZ BROL<sup>1,\*</sup>, AGNIESZKA WDOWIAK-POSTULAK<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Katedra Inżynierii Budowlanej Politechniki Śląskiej

<sup>2</sup>Katedra Wytrzymałości Materiałów i Analiz Konstrukcji Budowlanych Politechniki Świętokrzyskiej

**Streszczenie:** Wykorzystanie kompozytów włóknistych do napraw i wzmocniania drewnianych elementów konstrukcyjnych okazują się skuteczną i efektywną metodą. W pracy przedstawiono sposób wzmocniania zginanych belek z wykorzystaniem mat z włókien bazaltowych (BFRP). W artykule przedstawiono zrealizowane badania doświadczalne dla drewnianych belek w skali technicznej wzmocnionych matą jednokierunkową z włókna bazaltowego (BFRP) oraz zaproponowano algorytm obliczeniowy opracowany na podstawie norm amerykańskich PCF-5100 i PCF-6046. Belki drewniane ze wzmocnieniem BFRP i bez wzmocnienia przebadano w czteropunktowym schemacie zginania w celu uzyskania zależności siła-przemieszczenie dla belek drewnianych. Po wykonanych badaniach doświadczalnych porównano wyniki eksperymentalne dla poszczególnych grup modeli. Celem pracy stanowiło badanie wytrzymałości drewnianych konstrukcji belkowych z uwzględnieniem występujących lokalnie wad drewna. W wyniku przeprowadzonych badań uzyskano wzrost wytrzymałości, modułu sprężystości, ciągliwości po zastosowaniu wzmocnienia w porównaniu do drewna niewzmocnionego. Stwierdzono, że największy efekt można osiągnąć stosując zewnętrzne systemy zbrojeniowe głównie w rozciągniętej strefie poprzez zmniejszenie wpływu defektów w konstrukcjach belkowych.

**Słowa kluczowe:** drewno, belki klejone warstwowo, wzmocnienie, maty bazaltowe, wytrzymałość na zginanie, ciągliwość, analiza teoretyczna

## 1. Wprowadzenie

Przystępując do naprawy lub wzmocnienia konstrukcji drewnianych, należy pamiętać, że w drewnie występują naturalne wady, które zmniejszają wytrzymałość materiału, w szczególności, jeżeli zlokalizowane są w strefie rozciąganej belek. Aby poprawić właściwości mechaniczne belek drewnianych można zastosować wzmocnienie włóknem sztucznym czy naturalnym. Przy dłuższej eksploatacji elementy konstrukcyjne poddawane są stałym i zmiennym obciążeniom lub czynnikom chemicznym i biologicznym oraz zwiększeniem obciążenia projektowego. Dlatego też konstrukcja mogę nie być już w stanie utrzymać początkowej wytrzymałości projektowej i konieczna jest ich naprawa lub wzmocnienie. Możliwą metodą poprawy nośności uszkodzonych elementów konstrukcji drewnianej stanowi wymiana uszkodzonych fragmentów konstrukcji lub wykorzystanie zbrojenia, w tym kompozytowego, które poprawia właściwości mechaniczne tych elementów konstrukcyjnych. Niestety, może

---

\*Autor do korespondencji: janusz.brol@polsl.pl; awdowiak@tu.kielce.pl

się zdarzyć, że podczas wymiany tych elementów można napotkać na różne ograniczenia związane z wysokimi kosztami czy wpływem na środowisko, albo niezgodnością wymaganych gatunków drewna. Wszystkie te czynniki powodują konieczność wykorzystania innych metod, takich jak stosowanie materiałów FRP (Fibre Reinforced Polymers) [1, 2]. Należy pamiętać, że belki z drewna klejonego warstwowo mogą posiadać naturalne wady, takie jak sęki czy skośne ułożenie włókien, obniżając właściwości mechaniczne [1, 3]. Co prawda, zwiększenie wartości mechanicznej tarcicy stanowi technika drewna klejonego warstwowo poprzez minimalizowanie wpływu takich efektów jak: sęki, skręt włókien, jednak nie powoduje to eliminacji czynników obniżających w czasie właściwości drewna. Dlatego w trakcie eksploatacji obiektu często konieczne są naprawy czy wzmocnienia. Wszystkie czynniki, czy to degradacja, starzenie się, zmiany w normach, błędy projektowe lub konstrukcyjne, spowodowały rozwój nowych technik i materiałów do napraw. Coraz powszechniej stosowane są kompozyty włókniste w przypadku naprawy belek konstrukcyjnych celem uzyskania wysokiej odporności na korozję, wytrzymałości czy z powodu prostej techniki aplikacji [4]. W ostatnich latach przeprowadzono znaczną ilość badań poprzez stosowanie włókien węglowych, aramidowych lub szklanych do wzmacniania belek drewnianych lub klejonych. Włókna te są sztywne o niskiej gęstości i wysokiej odporności na korozję. Natomiast mało popularne jest wykorzystanie włókien bazaltowych do wzmacniania elementów konstrukcji drewnianych. Materiały na bazie bazaltu są przyjazne dla środowiska i nieszkodliwe. Włókno bazaltowe jest wykonane w wyniku topienia skał bazaltowych, co w konsekwencji jest korzystne pod względem kosztów. W ostatnim czasie przeprowadzono wiele badań wzmocnienia FRP, m.in. włóknem bazaltowym [5–18].

Klejenie mat do poboczniczy elementu, jest także rozwiązaniem bazującym na analogicznych powszechnie już stosowanych rozwiązaniach w konstrukcjach żelbetowych. W przypadku takich konstrukcji żelbetowych istnieje już wiele sprawdzonych algorytmów do określania skuteczności wzmocnienia. Natomiast w przypadku konstrukcji drewnianych jest to zagadnienie rzadko wykorzystywane i raczej mało opisane w literaturze europejskiej. Dlatego w artykule zaproponowano metodę obliczeń bazującą na normach amerykańskich PCF-5100 i PCF-6046, które to normy są jedynymi uwzględniającymi problematykę wzmacniania konstrukcji drewnianych (klejonych) za pomocą kompozytów włóknistych. W normach tych przedstawiono sposób wyznaczania nośności i sztywności także elementów wzmocnionych już na etapie produkcji, belek drewnianych z drewna klejonego ze wzmocnieniem w strefie włókien rozciąganych, lub w strefie włókien rozciąganych i ściskanych. Dlatego też w artykule dodatkowo zaproponowano skrócony algorytm obliczeniowy do wyznaczania nośności wzmocnianych belek drewnianych kompozytami włóknistymi, w tym z pomocą mat bazaltowych.

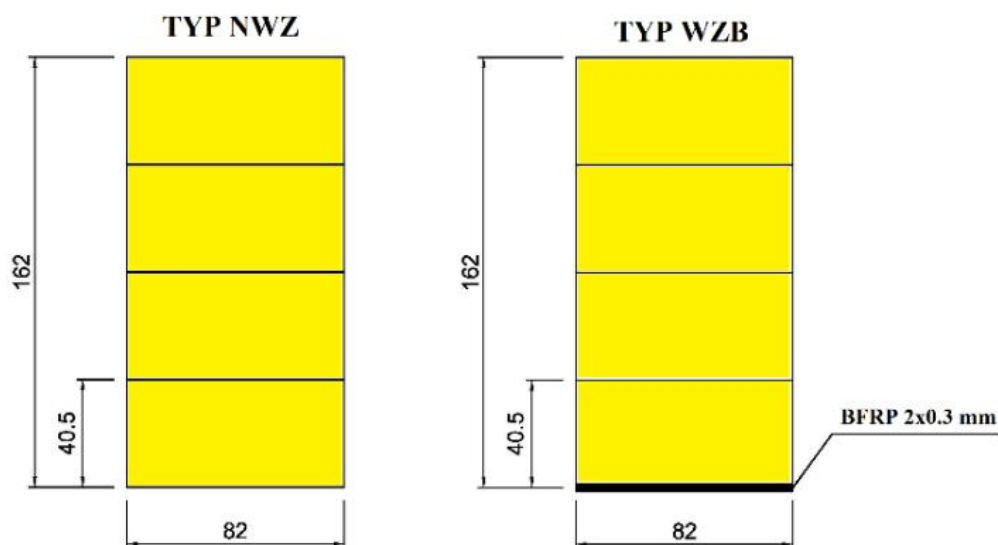
## **2. Opis badania, metody wzmocnienia i wykorzystanych materiałów**

Badania przeprowadzono wykorzystując wzmocnienia wykonane z mat BFRP przyklejane od spodu belki na całej jej długości. Belki klejone pochodziły z drewna iglastego *Pinus Sylvestris*, przed wzmocnieniem zostały sklasyfikowane zgodnie z normą PN-D-94021:2013-10 [19] dotyczącą wizualnej klasyfikacji drewna. Tarcica konstrukcyjna została przesortowana w celu określenia ich wytrzymałości (klasyfikacja wizualna). Tarcica o najwyższych właściwościach mechanicznych została umieszczona na górze i na dole belki klejonej (KS – klasa średniej jakości), gdzie naprężenia zginające (zarówno ściskające, jak i rozciągające) są największe, natomiast w środkowych warstwach tarcica o najniższych właściwościach mechanicznych (KG – klasa gorszej jakości). Montaż lamel wykonano wtedy, gdy drewno było już w stanie suchym. W następnej kolejności nałożono klej na warstwach lamel. Podczas utwardzania belek klejonych wywierano nacisk na lamele, aby zapewnić dobre wiązanie między warstwami. Potem wykonano

struganie powierzchni, aby uzyskać gładką powierzchnię uzyskanych belek klejonych. Natomiast zastosowane maty bazaltowe stanowiły wzmocnienie powierzchniowe od spodu belki na całej jej długości.

Klej epoksydowy do łączenia wzmocnienia z drewnem mieszano ręcznie w stosunku 100:35 (żywica epoksydowa LG 815 i utwardzacz HG 353). Mieszanka po utwardzeniu uzyskała wytrzymałość na zginanie 110–120 MPa i moduł sprężystości 2700–3300 MPa. Z kolei wartości modułów sprężystości i odkształceń końcowych wykorzystanych mat BFRP wyniosły odpowiednio  $E = 55$  GPa,  $\epsilon_u = 28\%$ .

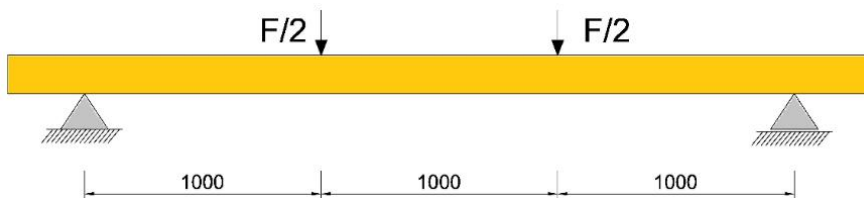
Wzmocnienia zostały wykonane wcześniej w tartaku, następnie gotowe elementy przywieziono do laboratorium Politechniki Świętokrzyskiej. Badanych belek bez wzmocnienia było dziewięć, pozostałe belki zostały wzmocnione jednokierunkowymi matami BFRP (patrz rys. 1). Belki zostały wzmocnione jednokierunkowymi włóknami bazaltowymi ułożonymi w dwóch warstwach o gramaturze  $380 \pm 25$  g/m<sup>2</sup> (BT11/1). Włókno BFRP połączono z matrycą z żywicy epoksydowej. Elementy te zastosowano do naprawy belek drewnianych badanych w próbie zginania czteropunktowego. Zastosowanie zbrojenia do belek drewnianych umożliwiło osiągnięcie wyższych poziomów obciążenia niż w przypadku drewna niezbrojonego.



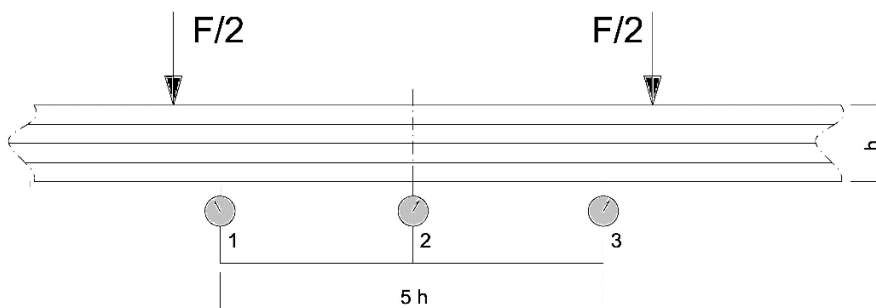
Rys. 1. Schemat wzmocnienia belek klejonych warstwowo.

Przed nałożeniem pierwszej warstwy żywicy powierzchnię drewna oczyszczono, a następnie nałożono pierwszą warstwę kleju epoksydowego, po czym nałożono matę jednokierunkową równoległą do kierunku wzdłużnego belki, a na koniec nałożono kolejną warstwę kleju i matę BFRP. Badania przeprowadzono na elementach belkowych o rozpiętości około 3,65 m i przekroju około  $82 \times 162$  mm. Właściwości mechaniczne wzmocnionych belek z drewna klejonego określono poprzez metodę niszczącą czteropunktowego zginania zgodnie z zaleceniami normy PN-EN 408+A1:2012 [20]. Do badań zastosowano uniwersalną maszynę wytrzymałościową z dwoma punktami obciążenia przy rozstawie między podporami wynoszącymi 1 m (patrz rys. 2). W badaniach zbadano 18 belek, z których dziewięć stanowiły belki bez wzmocnienia.

Dla każdego przyjętego poziomu obciążenia dokonywano odczytu przemieszczeń, a następnie obciążano do kolejnego poziomu siły. Przemieszczenia belki w środku rozpiętości oraz na długości  $5h$  mierzono za pomocą czujników mechanicznych (patrz rys. 3).



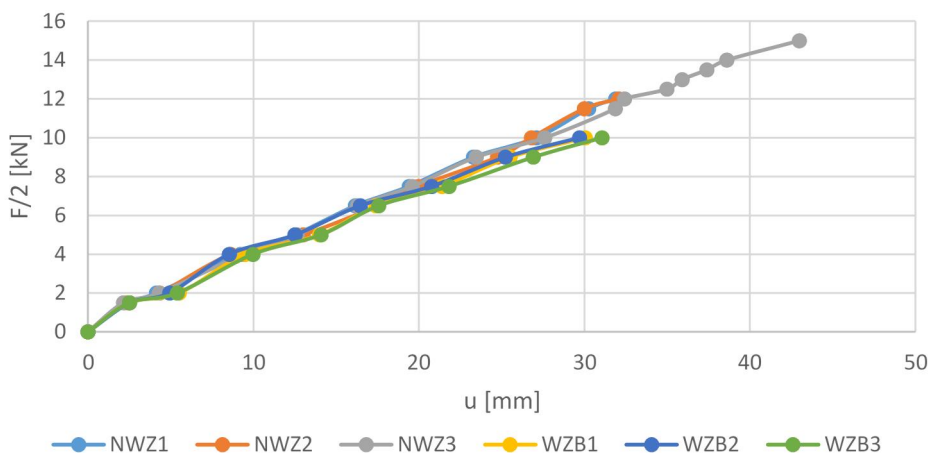
Rys. 2. Schemat badania czteropunktowego.



Rys. 3. Schemat rozmieszczenia czujników mechanicznych.

### 3. Wyniki doświadczalne

W trakcie badań zbadano łącznie 18 belek z drewna klejonego warstwowo. Występujące uszkodzenia w strefie rozciąganej odnotowano głównie dla belek niewzmocnionych. Belki z drewna klejonego warstwowo podczas zginania zwykle niszczyły się w strefie rozciąganej w miejscach sęków, defektów czy połączeń klejonych. Dlatego też, drewno klejone jest głównie wzmocniane w strefie rozciąganej, by zwiększyć wytrzymałość na zginanie i sztywność. Wykres zależności „ $F/2 - u$ ” badanych belek pokazano na rysunku 4.

Rys. 4. Wykres zależności „ $F/2 - u$ ” badanych belek w środku rozpiętości.

Na podstawie otrzymanych wyników, stwierdzono, że dla pięciu belek klejonych warstwowo wzmocnionych matami BFRP uzyskano wzrost od 5 do 8% dla przemieszczeń w stosunku do belek niezbrojonych. Dodatkowo badania doświadczalne ukazało, że

wzmocnione belki matami BFRP wykazały wzrost obciążenia końcowego o nawet 19%. Niewzmocnione belki ulegały przede wszystkim uszkodzeniom w obszarze sprężystym wskutek defektów w strefie rozciąganej dolnych lamel. Belki z drewna klejonego wzmocnione matą bazaltową wykazywały znaczną ciągliwość. Jest ona zależna w belkach zbrojonych od jakości dolnych warstw drewna. W tabelicy 1 pokazano uzyskane wyniki sił niszczących i momentów zginających dla danych grup próbek.

Należy mieć na uwadze, że w zakresie kompozytów włóknistych normy PCF-5100 [21] i PCF-6046 [22] przewidują do stosowania włókna: szklane, aramidowe i węglowe, a 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. Wg norm amerykańskich kompozyty mogą być wklejane w przekrój belki (pod ostatnią warstwę), bądź przyklejane do dolnej i górnej powierzchni.

Tabela 1. Wartość siły niszczącej i odpowiadający jej moment zginający.

Model	$F_{max,(mean)}$ [kN]	$M_{max}$ [kNm]
NWZ1	38,04	15,21
NWZ2	36,21	14,38
NWZ3	44,52	19,55
Średnia	39,59	16,38
Odchylenie standardowe	4,37	2,78
WZB1	48,53	19,25
WZB2	50,78	23,35
WZB3	55,56	26,13
Średnia	51,62	22,91
Odchylenie standardowe	3,59	3,46

#### 4. Algorytm obliczeniowy

W wyznaczeniu położenia osi bezwładności przekroju przy zginaniu określono następujące założenia:

- 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:

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

Z uwagi na brak rozróżnienia w normie Eurokod 5 [23] modułów sprężystości drewna wzdłuż włókien przy ściskaniu i przy rozciąganiu  $n' = 1$ .

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

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

gdzie:

$E_f$  – moduł sprężystości maty 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 z kompozytem tylko w strefie rozciąganej, wynosi:

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

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

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

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

gdzie:  $h$  – wysokość belki,  $t_f$  – grubość maty FRP,  $t_l$  – grubość „otuliny” kompozytu,  $d_1$  – środek ciężkości kompozytu (patrz rys. 5)

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

$$I_z = \frac{b a^3}{3} + \frac{b n' h_t^3}{3} + b n' t_l \frac{é t_l^2}{é 12} + (c - d_1)^2 \frac{ú}{ú} + b n' t_l \frac{é t_l^2}{é 12} + \frac{æ c}{é} - \frac{t_1}{2} \frac{ó^2}{ó} \frac{ú}{ú} \quad (7)$$

$$\text{gdzie: } h_t = h - a - t_l - t_f, \quad (8)$$

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

Dla tak wyznaczonego sprowadzonego momentu bezwładności ugięcie obliczane jest ze znanych wzorów z teorii sprężystości, w zależności od schematu obciążenia, z uwzględnieniem sprowadzonego momentu bezwładności oraz średniego modułu sprężystości przy zginaniu  $E_{0,mean}$ . Z doświadczeń autorów tej pracy wynika, że wyznaczenie ugięć wg powyższego schematu daje dobrą zbieżność wyników ugięć w zakresie sprężystym. By poprawnie wyznaczyć spodziewane wielkości ugięć wzmocnianych elementów, zgodnie z Eurokodem 5 [23], należy wyznaczone wielkości ugięć sprężystych powiększyć o wielkości ugięć opóźnionych związanych z pełzaniem drewna.

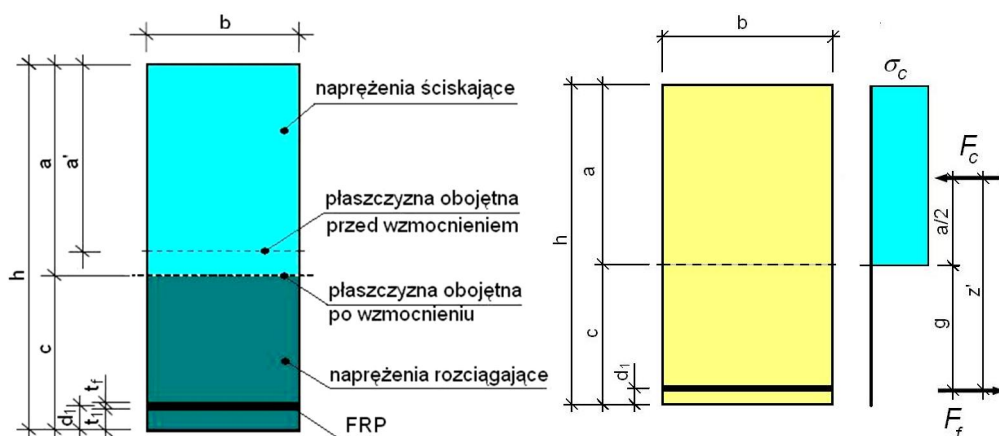
W normach [21, 22] nośność przekroju wzmocnionego wyznaczana jest przy założeniu pełnego uplastycznienia strefy ściskanej. O nośności decyduje wyczerpanie nośności strefy ściskanej drewna lub nośność maty. W wyznaczeniu nośności pominięto udział drewna w strefie włókien rozciąganych. Zakłada się, że naprężenia rozciągane przenosi kompozyt FRP, analogia do obliczania przekrojów żelbetowych.

Dla tak poczynionych założeń dopuszczalny moment przenoszony przez przekrój wynosi:

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

$$\text{gdzie: } F_c = s_c * a * b, \quad (11)$$

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



Rys. 5. Geometria przekroju i schemat obliczeniowy wg [PCF-5100 i PCF-6046].

Naprężenia rozciągające w macie BFRP wyznaczamy wg wzoru:

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

Dopuszczalne naprężenia ścinające dla belek zbrojonych wyznaczamy ze wzoru:

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

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

W celu weryfikacji porównawczej, dla średnich wartości maksymalnych momentów zginających  $M_{max}$ , naprężeń rozciągających maty bazaltowej, uzyskanych w badaniach dla danych modeli niewzmocnionych NWZ i wzmocnionych WZB porównano z wartością maksymalnych momentów średnich  $M_a$ , naprężeń rozciągających maty bazaltowej uzyskanych w analizie teoretycznej. Uzyskano zadowalającą zbieżność wyników. W tablicy 2 porównano wyniki eksperymentalne i teoretyczne.

Tablica 2. Wartość momentów zginających, naprężeń rozciągających maty bazaltowej uzyskanych analizą doświadczalną i teoretyczną.

Model	$M_{max}$ [kNm]	$M_a$ [kNm]	$\sigma_{BFRP}$ [MPa]	$\sigma_a$ [MPa]
NWZ (Średnia)	16,38	19,21	—	—
WZB (Średnia)	22,91	26,48	61,35	69,22

## 5. Wnioski

W artykule ukazano wyniki eksperymentalnych badań belek z drewna klejonego wzmocnionych matami bazaltowymi BFRP wraz z analizą teoretyczną. Na podstawie analizy wyników doświadczalnych i teoretycznych badań na zginanie wyciągnięto następujące wnioski:

- maty z włókien bazaltowych stosowanych do elementów z drewna o niskich właściwościach mechanicznych są skuteczną metodą zbrojenia,
- mogą mieć zastosowanie jako materiał wzmacniający w drewnianych belkach, w szczególności uciążlając strefy rozciągane belek z defektami. Co potwierdzono w badaniach doświadczalnych, gdzie stwierdzono, że wzmocnione belki klejone zachowują się bardziej jednolicie niż belki niezbrojone, poprawiając właściwości projektowe,
- w zrealizowanych badaniach stwierdzono, znaczny wzrost nośności (ok. kilkunastu procent), natomiast nieznacznie wyższe wartości sztywności,
- łatwość implementacji powoduje, że stosowanie mat bazaltowych umożliwia prostą modernizację konstrukcji pod względem uzyskania wyższych dopuszczalnych obciążeń czy przywrócenia pierwotnych wytrzymałości,
- analiza teoretyczna ukazała, że stosowanie normy Uniform Building Code 6046 jest zasadne również podczas wzmacniania zginanych belek drewnianych matami bazaltowymi. W wyniku weryfikacji porównawczej uzyskano zadawalającą zbieżność zarówno w badaniach doświadczalnych jak i teoretycznych.

W artykule przedstawiono badania wzmocnień matami z włókien bazaltowych belek z drewna klejonego warstwowo, jednak wnioski z tych badań będą prawdziwe także do wzmocnień wykonanych dla elementów z drewna litego.

## Literatura

1. Mascia N.T., Donadon B. F., Vilela R.: Glued Laminated Timber Beams Reinforced With Sisal Fibres, *International Journal of Structural and Civil Engineering Research* Vol. 8, No. 4, November 2019.
2. Fiorelli J., Dias A. A.: Fiberglass-reinforced glulam beams: mechanical properties and theoretical model, *Materials Research, São Carlos-SP*, vol. 9, no. 3, pp. 263–269, 2006.
3. Bodig J., Jayne B. A.: *Mechanics of Wood and Wood Composites*, Van Nostrand, New York, 1982.
4. Marques F. A. Z., Silva C. E. G., Christoforo A. L., Lahr F. A. R., Panzera T. H., Canto R. B.: Influence of Portland cement addition in the physical and mechanical properties of epoxy resin, *Advanced Materials Research, Zurich*, v. 1088, p. 411–414, 2015.
5. Wdowiak-Postulak A.: Natural Fibre as Reinforcement for Vintage Wood, *Materials* 2020, 13, 4799.
6. Wdowiak-Postulak A.: Basalt Fibre Reinforcement of Bent Heterogeneous Glued Laminated Beams, *Materials* 2021, 14, 51.
7. Wdowiak-Postulak A, Świt G.: Behavior of Glulam Beams Strengthened in bending with BFRP Fabrics, *Civil and Environmental Engineering Reports* 2021, 31(2), 1–14.
8. Wdowiak-Postulak A, Brol J.: Ductility of the Tensile Zone in Bent Wooden Beams Strengthened with CFRP Materials, *Materials* 2020, 13, 5451.
9. Brol J, Wdowiak-Postulak A.: Old Timber Reinforcement with FRP. *Materials* 2019, 12, 4197.
10. Wdowiak A.: Structural and Strength Properties of Bent Wooden Beams Reinforced with Fibre Composites, Ph.D. Thesis, Kielce University of Technology, Kielce, Poland, 12 April 2019.
11. Wdowiak A, Brol J.: Effectiveness of Reinforcing Bent Non-Uniform Pre-Stressed Glulam Beams with Basalt Fibre Reinforced Polymers Rods, *Materials* 2019, 12, 3141.
12. Yeboah D., Taylor S., McPolin D., Gilfillan R.: Pull-out behaviour of axially loaded basalt fibre reinforced polymer (BFRP) rods bonded perpendicular to the grain of glulam elements, *Construction and Building Materials* 2013, 38, 962–969.



13. Chairman C.A., Kumaresh Babu S.P.: Mechanical and abrasive wear behavior of glass and basalt fabric-reinforced epoxy composites, *J Appl Polym Sci* 2013, 130(1): 120–130, <https://doi.org/10.1002/app.39154>.
14. Colombo C., Vergani L., Burman M.: Static and fatigue characterization of new basalt fibre reinforced composites, *Compos Struct* 2012, 94(3): 1165–1174, <http://dx.doi.org/10.1016/j.compstruct.2011.10.007>.
15. Dorigato A., Pegoretti A.: Fatigue resistance of basalt fibers-reinforced laminates, *J Compos Mater* 2012, 46(15): 1773–1785, <https://doi.org/10.1177/0021998311425620>.
16. Fiore V., Scalici T., Di Bella G., Valenza A.: A review on basalt fibre and its composites, *Compos B Eng* 2015, 74: 74–94, <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2014.12.034>.
17. Monaldo E., Nerilli F., Vairo G.: Basalt-based fiber-reinforced materials and structural applications in civil engineering, *Compos Struct* 2019, 214: 246–263, <https://doi.org/10.1016/j.compstruct.2019.02.002>.
18. Zhou A., Chow C.L., Lau D.: Interfacial performance of aramid, basalt and carbon fiber reinforced polymer bonded concrete exposed to high temperature, *Compos Part A Appl Sci Manuf* 2020, 131: 105802, <https://doi.org/10.1016/j.compositesa.2020.105802>.
19. Softwood Structural Sawn Timber Sorted Using Strength Methods, PN-D-94021:2013-10, Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland, 2013.
20. Timber Structures—Structural Timber and Glued Laminated Timber—Determination of Some Physical and Mechanical Properties, PN-EN 408+A1:2012, Polish Committee for Standardization: Warsaw, Poland, 2012.
21. US standard ICBO/Uniform Building Code 5100.
22. US standard ICBO/Uniform Building Code 6046.
23. PN-EN 1995-1-1: 2010, (EC 5). Projektowanie konstrukcji drewnianych, część 1-1: postanowienia ogólne, Reguły ogólne i reguły dotyczące budynków.

## Proposal for repair and reinforcement of wooden structures using basalt mats

**Abstract:** The use of fibre composites to repair and strengthen timber structural members is proving to be an effective and efficient method. This paper presents a method of strengthening flexural beams using basalt fibre mats (BFRP). The paper presents completed experimental tests for engineered scale wooden beams reinforced with unidirectional basalt fibre mats (BFRP) and proposes a calculation algorithm based on the American standards PCF-5100 and PCF-6046.

**Key words:** wood, glued laminated beams, reinforcement, basalt mats, flexural strength, ductility, theoretical analysis