

**ARTYKUŁY – REPORTS**

**Marek Lechman\***

## **WYBRANE WŁAŚCIWOŚCI WYTRZYMAŁOŚCIOWE TAŚM KOMPOZYTOWYCH Z WŁÓKIEN WĘGLOWYCH**

W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości wytrzymałościowych taśm kompozytowych z włókien węglowych CFRP i kleju epoksydowego przeznaczonego do ich przyklejania do podłoża. Badania obejmowały oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie i modułu sprężystości podłużnej taśm oraz określenie wytrzymałości na ścinanie połączenia klejowego „taśma-beton” i wyznaczenie nośności połączenia taśm „na zakład”. Badania te wykonano z zastosowaniem sterowanych komputerowo maszyn wytrzymałościowych INSTRON 5582 oraz INSTRON serii 8000, umożliwiających ciągłą rejestrację odkształcenia (poślizgu) i siły w spoinie w trakcie obciążenia.

### **1. Wstęp**

Taśmy kompozytowe z włókien węglowych (CFRP) znajdują w ostatnich latach coraz większe zastosowanie w budownictwie ogólnym, mostowym i przemysłowym do wzmocnienia elementów konstrukcji żelbetowych [1], [2], [3]. Tego rodzaju wzmocnienie jest realizowane poprzez przyklejenie taśm CFRP do powierzchni elementów wzmocnianych za pomocą specjalnych klejów na bazie żywic epoksydowych. Obok bardzo dużej wytrzymałości na rozciąganie głównymi zaletami taśm kompozytowych z włókna węglowego jest mały ciężar, odporność na korozję, a także wysoka wytrzymałość zmęczeniowa oraz łatwa i ekonomiczna aplikacja. Za wady, wynikające z anizotropii kompozytów z włókien węglowych, można uznać niską wytrzymałość i moduł sprężystości taśm w kierunku prostopadłym do kierunku włókien, a także wrażliwość na uszkodzenia mechaniczne. Oprócz samych taśm CFRP istotnymi elementami systemu wzmocniania jest specjalny klej na bazie żywic epoksydowych, zapewniający współpracę taśmy z podłożem, oraz zaprawa naprawcza do reprofilacji podłoża wzmocnianych elementów.

W artykule przedstawiono wyniki badań wybranych właściwości wytrzymałościowych taśm CFRP oraz kleju stosowanego do ich przyklejania. Zasadniczym celem tych badań było określenie wytrzymałości na ścinanie połączenia klejowego „taśma-beton” oraz zbadanie wpływu długości zakładu na nośność połączenia taśm „na zakład”.

\* dr inż. – adiunkt w ITB

## 2. Opis i wyniki badań

### 2.1. Zakres badań

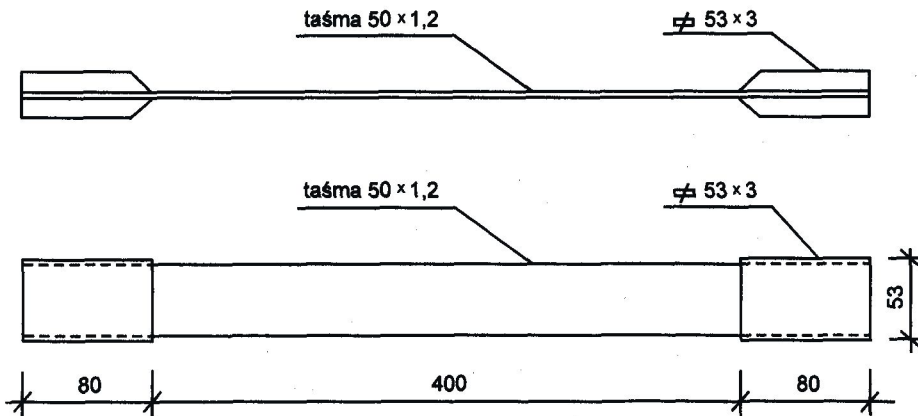
Program badań obejmował oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie i modułu sprężystości podłużnej taśm oraz określenie wytrzymałości na ścinanie połączenia klejowego „taśma-beton” i wyznaczenie nośności połączenia taśm „na zakład”.

Badania wykonano przy zastosowaniu sterowanych komputerowo maszyn wytrzymałościowych INSTRON 5582 oraz INSTRON serii 8000.

### 2.2. Oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie i modułu sprężystości taśm

Przedmiotem badania były taśmy z włókna węglowego o przekrojach:  $(50 \times 1,2)$  mm (seria 1) oraz  $(40 \times 1,4)$  mm (seria 2). Badanie obejmowało określenie wytrzymałości na rozciąganie  $R_m$ , oznaczenie wydłużenia całkowitego procentowego przy zerwaniu  $A_t$  oraz wyznaczenie modułu sprężystości.

Próbki taśm do badań przygotowano poprzez obustronne przyklejenie sfazowanych odcinków płaskownika aluminiowego za pomocą kleju epoksydowego (rys. 1). Wyniki badania przedstawiono w tabelcy 1.



Rys. 1. Próbkę taśmy z włókna węglowego do badań  
Fig. 1. The sample of the CFRP plate

Z danych przedstawionych w tabelcy 1 wynika, że wytrzymałości taśm CFRP na rozciąganie oraz wartości ich modułów sprężystości odpowiadają danym nominalnym.

Podczas próby rozciągania taśmy z włókna węglowego nie wykazywały fazy pracy plastycznej. Przy zwiększaniu obciążenia poszczególne włókna węglowe zaczynały pękać i odszczepiać się – aż do momentu gwałtownego zerwania całej taśmy, któremu towarzyszyło charakterystyczne rozszczepienie wiązki włókien węglowych (rys. 2).

Tablica 1. Wyniki próby rozciągania taśm z włókna węglowego  
Table 1. The results of the tensile test of the CFRP plates

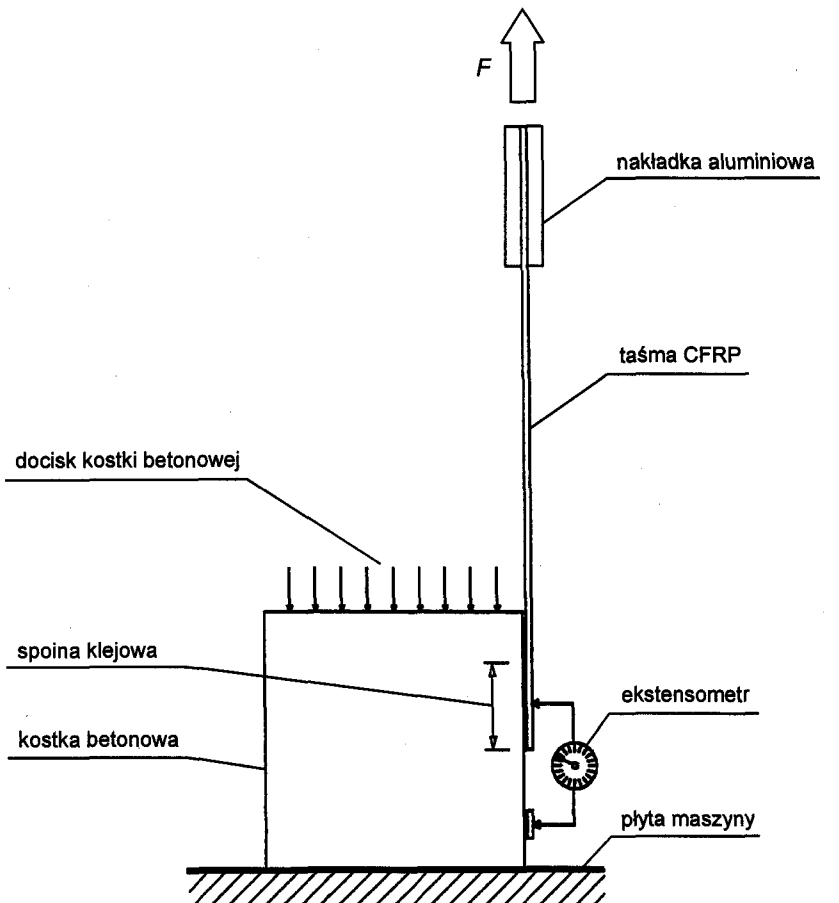
Nr serii próbek	Średni moduł sprężystości taśm $E_L$ MPa	Średnia wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ MPa	Średnie wydłużenie całkowite przy zerwaniu $A_t$ %
1	182450	3123	1,46
Wartości nominalne	>165000	>2800	1,4–1,7
2	117200	2454	0,87
Wartości nominalne	≈120000	2200–2300	0,7–1,2



Rys. 2. Wynik próby rozciągania taśmy  
Fig. 2. The result of the tensile test of the CFRP plate

### 2.3. Określenie wytrzymałości na ścinanie połączenia klejowego „taśma-beton”

Przedmiotem badania były taśmy o przekroju ( $50 \times 1,2$ ) mm. Próbkę taśm przygotowano do badań w ten sposób, że jeden ich koniec był przyklejony do kostki betonowej ( $15 \times 15 \times 15$ ) cm wykonanej z betonu klasy B40, drugi zaś, z naklejonymi odcinkami płaskownika aluminiowego, został umieszczony w szczękach maszyny wytrzymałościowej, analogicznie jak w p. 2.2. Taśmy były przyklejane do ścianki kostki betonowej na długości 5 cm lub 10 cm. Do pomiaru przemieszczeń taśmy zastosowano elektroniczny ekstensometr o bazie pomiarowej 50 mm. Obciążanie odpowiadało stałej prędkości odkształcenia połączenia równej 0,5 mm/min.



Rys. 3. Schemat stanowiska badawczego próby na ścinanie  
Fig. 3. The scheme of the shearing test

Z uwagi na raptowny przebieg próby ścinania, rejestracji danych pomiarowych dokonywano z częstotliwością 50 Hz. Schemat stanowiska badawczego pokazano na rysunku 3. Wyniki badania zestawiono w tabelicy 2.

Próbki serii 1 i 2 były obciążane dynamicznie, natomiast próbki serii 3 i 4 w sposób statyczny. Z danych zestawionych w tabelicy 2 wynika, że wytrzymałość na ścinanie połączenia klejowego „taśma-beton” jest nie mniejsza niż 4,9 MPa, co odpowiada danym nominalnym charakteryzującym badany klej. Uzyskane wartości naprężeń są w przybliżeniu dwukrotnie wyższe od średniej wytrzymałości betonu kostki na rozciąganie ( $f_{ctm} = 2,9$  MPa).

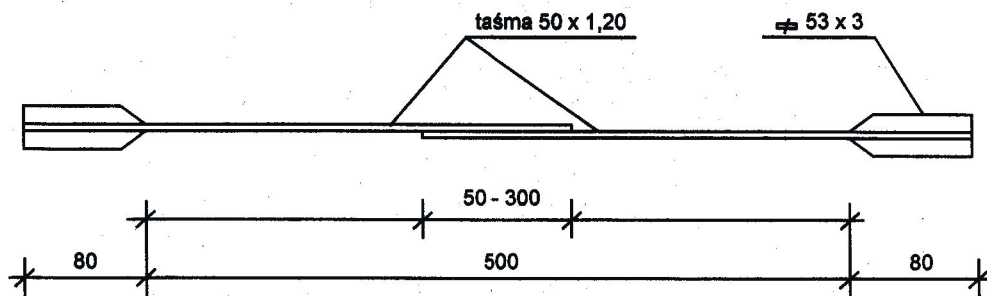
Tablica 2. Wyniki badania wytrzymałości na ścinanie połączenia klejowego „taśma-beton”  
Table 2. The results of the shearing test of the „CFRP plate – concrete” joint

Numer serii próbek	Długość skleiny mm	Maksymalna siła zrywająca kN	Naprężenie średnie przy zerwaniu MPa	Postać zniszczenia
1 2	50 100	16,39 25,67	6,56 5,13	zerwanie na granicy kleju i betonu
3 4	50 100	13,69 24,81	5,47 4,96	zerwanie w betonie

#### 2.4. Wyznaczenie nośności połączenia taśm sklejonych „na zakład”

Odcinki taśm sklejonych „na zakład” poddano próbie rozciągania w maszynie wytrzymałościowej, badając wpływ długości zakładu na nośność połączenia. Próbki do badań przygotowano według wzoru przedstawionego na rysunku 4. Zerwaniu połączeń taśm „na zakład” towarzyszyło odspojenie oraz rozszczepienie obu sklejonych odcinków taśm.

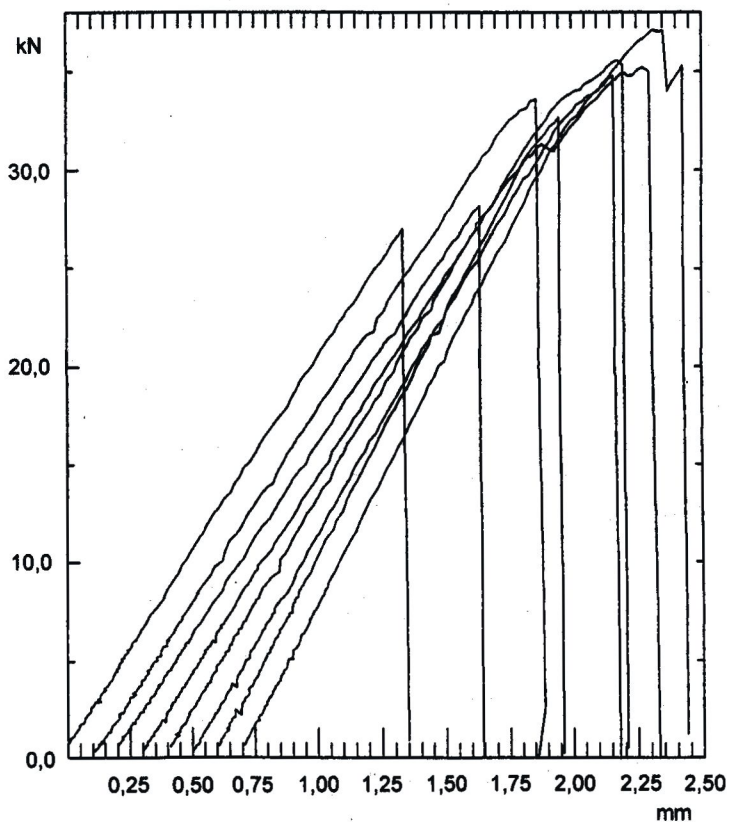
W tabelicy 3 zestawiono wartości maksymalnej siły zrywającej, określającej nośność połączenia klejowego „taśma-taśma”. Na rysunku 5 przedstawiono wykresy zależności siła-przemieszczenie przy różnych długościach zakładów klejonych taśm.



Rys. 4. Próbką taśm sklejonych „na zakład”  
Fig. 4. The sample of the overlapping of the CFRP plates

Tablica 3. Wyniki badania nośności połączenia sklejanego taśm „na zakład”  
 Table 3. The results of the strength test of the overlapping of the CFRP plates

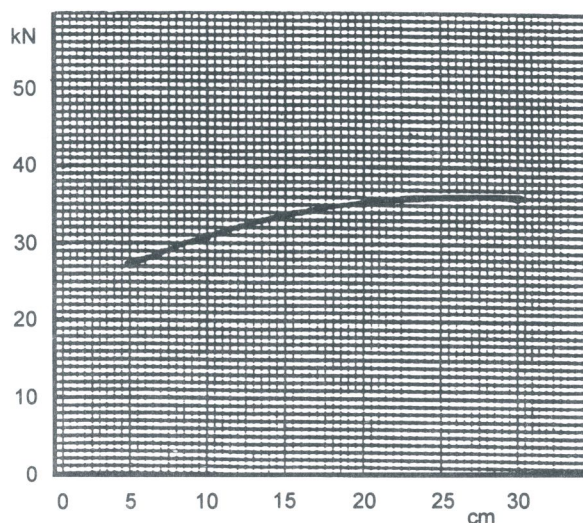
Numer serii próbek	Długość skleiny mm	Wydłużenie przy zerwaniu $A_t$ %	Siła zrywająca kN
1	50	0,78	27,60
2	100	0,39	30,44
3	200	0,43	35,18
4	300	0,41	36,16



Rys. 5. Wykresy siła-przemieszczenie uzyskane w badaniu wytrzymałości połączenia taśm „na zakład”  
 Fig. 5. The force-displacement relationships for the overlapping of the CERP plates

Otrzymane wyniki wskazują na to, iż zwiększanie długości zakładu taśm powyżej 20 cm nie wpływa praktycznie na przyrost nośności połączenia, co obrazuje wykres przedstawiony na rysunku 6.

Rys. 6. Nośność połączenia klejowego taśm „na zakład” w zależności od długości zakładu  
Fig. 6. The strength of the overlapping of the CFRP plates as a function of the bond length



### 3. Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań wynika, że odkształcenia taśm CFRP są liniowo-sprężyste aż do ich kruchego zerwania w sposób gwałtowny. Wytrzymałość na ścinanie połączenia klejowego „taśma-beton” odpowiada w przybliżeniu podwójnej średniej wytrzymałości betonu na rozciąganie. O skuteczności połączenia taśmy ze wzmacnianym elementem decyduje zatem wytrzymałość betonu podłoża na rozciąganie.

Wyniki przeprowadzonych testów wskazują na to, że długość połączenia klejowego taśm „na zakład” powyżej 20 cm nie wpływa praktycznie na nośność połączenia, co jest spowodowane odkształceniami i małą wytrzymałością na rozciąganie taśm w kierunku poprzecznym. Fakt ten powinien być brany pod uwagę przy realizacji wzmocnienia konstrukcji o przekroju kołowym, na przykład zbiorników, kominów.

### Bibliografia

- [1] Siwowski T., Radomski W.: Pierwsze krajowe zastosowanie taśm kompozytowych do wzmocnienia mostu. *Inżynieria i Budownictwo*, 7, 1998, s. 382–388
- [2] Lechman M.: Strengthening of chimney shafts using CFRP composites, CICIND Report, Vol. 18, No 1 (2002)
- [3] Cichocki M.: Odkształcalność i nośność zarysowanych belek żelbetowych. *Inżynieria i Budownictwo*, 12, 1999, s. 698–703

## ON SOME STRENGTH PROPERTIES OF THE CFRP PLATES

### Summary

The paper presents the results of the testing of the externally-bonded CFRP plates and the epoxy adhesive used to the fixing them to the substrate. Besides of the determination of the tensile strength and the modulus of elasticity of the CFRP plates, the range of the examinations included the determination of the shear strength of the adhesive and the strength of the overlapping of the CFRP plates. The tests were carried out using the computationally controlled testing machines INSTRON 5582 and INSTRON 8000 that enable continuous recording the deformation and force.

*Praca wpłynęła do Redakcji 27 VIII 2002*