

mgr inż. Ewelina Kusa<sup>1)</sup>

prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński<sup>1)\*</sup>

# Ugięcia belek żelbetowych wzmocnianych taśmami CFRP

## Deflection of CFRP-strengthened reinforced concrete beams

DOI: 10.15199/33.2015.06.27

(Artykuł przeglądowy)

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono wyniki badań ugięć doraźnych i długotrwałych belek żelbetowych wzmocnionych w strefie rozciąganej taśmami kompozytowymi z włókien węglowych i porównano je z ugięciami belek niewzmocnionych. Belki były wzmocniane przy rozwarości rysy 0,1 mm, aby odwzorować najczęściej spotykane sytuacje eksploatacyjne.

**Słowa kluczowe:** beton, CFRP, wzmocnianie, belki, ugięcia.

**Abstract.** The article presents the results of short-term deflection and long-term deflection of CFRP-strengthened reinforced concrete beams. The results were compared to unstrengthened-reinforced concrete beam deflection. The beams were strengthened at setup under the load (0.1 mm crack width) to reproduce in the laboratory most common cases which occur at construction sites.

**Keywords:** concrete, CFRP, strengthening, beams, deflections

Belki żelbetowe o wymiarach 150 x 250 x 3300 mm i zbrojone dołem i górną dwoma prętami ze stali RB500W #12 mm wykonano z betonu o wytrzymałości  $f_{cm, cube} = 54,07$  MPa. Do badań doraźnych wzmocniono odciążone belki zarysowane, a do badań ugięć długotrwałych belki pod obciążeniem przy rozwarości rysy 0,1 mm. Wzmocnienia wykonano z taśmy z włókien węglowych CFRP (Carbon Fiber Reinforced Polymer) NEOXEPLATE HS 514 [1] o szerokości 50 mm i grubości 1,4 mm (fotografia 1).

Ze względu na duży moduł sprężystości taśm 215 ÷ 780 GPa materiały CFRP są najczęściej używane do wzmocnień spośród innych materiałów FRP z włóknami aramidowymi, szklanymi lub bazaltowymi. Charakteryzują się dużą wytrzymałością na rozciąganie 2400 ÷ 5100 MPa [2], lecz nie mają rezerwy plastycznej. Element wzmocniony niszczy się nagle bez wcześniejszego „ostrzeżenia”.



Fot. 1. Wzmocnienie belki przez doklejenie taśmy CFRP w strefie rozciąganej

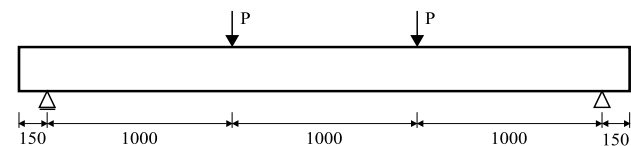
Photo 1. CFRP strengthening on the tensile side of the beam

### Badania ugięć doraźnych

Badania doraźne przeprowadzono na belce niewzmocnionej  $B_0$  i wzmocnionej  $B_n$  taśmą CFRP. Belki obciążono wg schematu statycznego przedstawionego na rysunku 1. Belka żelbetowa niewzmocniona ( $B_0$ ) osiągnęła nośność na zginanie  $M_0 = 25,66$  kNm, a belka żelbetowa wzmocniona taśmą CFRP przez podklejenie

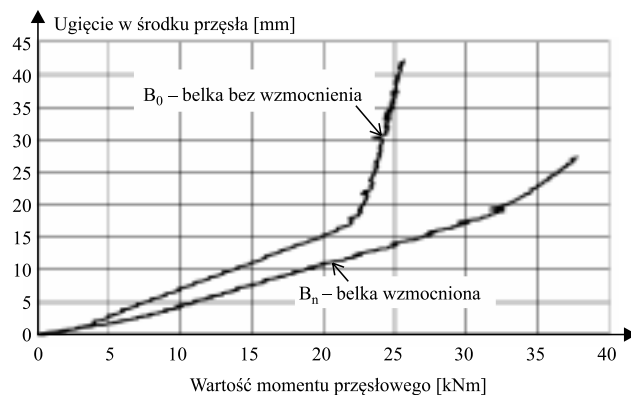
( $B_n$ ) miała nośność  $M_n = 37,76$  kNm (rysunek 2). Ugięcia mierzone za pomocą czujników indukcyjnych umieszczonych w środku przęsła oraz pod miejscami przyłożenia sił.

Belka niewzmocniona uległa zniszczeniu przez uplastycznienie się stali, natomiast belka wzmocniona  $B_n$  w sposób nagły przez odspojenie od betonu taśmy w strefie zakotwienia. Strefa zakotwienia taśmy z kompozytu CFRP jest najczęstszym miejscem zniszczenia wzmocnienia. W związku z tym należy zwrócić szczególną uwagę na zapewnienie odpowiedniej przyczepności taśmy do betonu. Stąd lepszym rozwiązaniem jest zastosowanie mechanicznego zakotwienia taśmy, które gwarantuje osiągnięcie powtarzalnych wyników badań nośności.



Rys. 1. Schemat statyczny badanych belek

Fig. 1. Loading configuration for tested beams



Rys. 2. Ugięcia doraźne żelbetowej belki niewzmocnionej i wzmocnionej

Fig. 2. Deflections of unstrengthened and strengthened beams

### Badania ugięć od obciążeń długotrwałych

Badaniom od obciążeń długotrwałych poddano jedną belkę niewzmocnioną  $B_0$ 2 oraz dwie belki wzmocnione  $B_n$ 2A i  $B_n$ 2B. Belki wzmocnione znajdowały się na jednym stanowisku (belka gór-

<sup>1)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego  
<sup>\*</sup> Autor do korespondencji: e-mail: ewelina.kusa@pwr.edu.pl

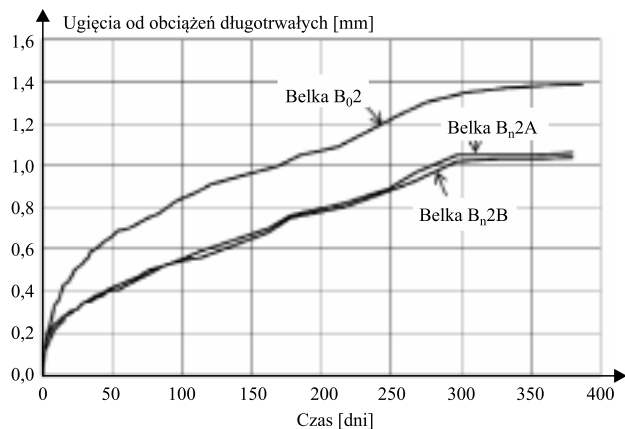
na była obciążona w układzie odwróconym – fotografia 2). Najpierw wzmocniono belkę dolną  $B_n2B$ , a później górną  $B_n2A$ . Wzmocnienie wykonano na stanowisku badawczym pod obciążeniem powodującym rysy rozwarości 0,1 mm. Po 48 godzinach od wykonania wzmocnienia zwiększono obciążenie do wartości 60% nośności. Belkę niewzmocnioną również obciążono siłą odpowiadającą takiej nośności. Wszystkie badane elementy znajdowały się w pomieszczeniu o stałej temperaturze  $20 \pm 22^\circ\text{C}$  i wilgotności. Ugięcia mierzone czujnikami zegarowymi umieszczonymi w środku przęsła oraz pod siłami skupionymi.



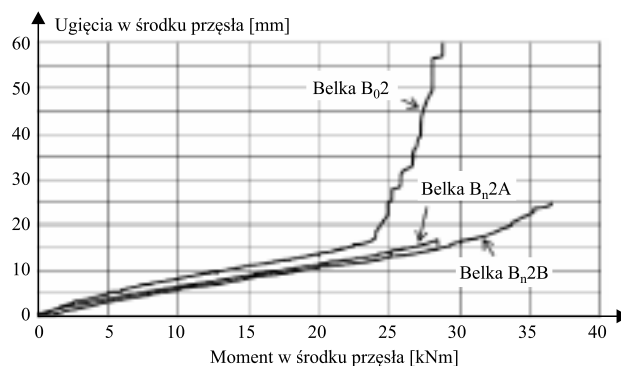
**Fot. 2. Belki na stanowisku do obciążeń długotrwałych**  
Photo 2. Beams on the test setup under sustained load

Z rysunku 3 wynika, że ugięcia belek wzmocnionych  $B_n2A$  i  $B_n2B$  są mniejsze od ugięć belki niewzmocnionej  $B_02$ . Największa różnica występuje w początkowej fazie narastania ugięć pomiędzy pierwszym a setnym dniem obciążenia. Po badaniach trwających 386 dni belki odciążono i przeniesiono na inne stanowisko badawcze do obciążeń doraźnych, gdzie doprowadzono je aż do zniszczenia. Wyniki tych badań w postaci wykresu ugięć w środku przęsła w zależności od momentu przęsłowego pokazano na rysunku 4.

Schemat zniszczenia belki niewzmocnionej  $B_02$  był taki sam jak belki niepoddanej obciążeniom długotrwałym  $B_0$  (nastąpiło uplastycznienie stali). Belka wzmocniona  $B_n2A$  nie osiągnęła nośności takiej jak belka  $B_n$  poddana badaniom doraźnym. Podczas zwiększania obciążenia odspoiła się taśma na całej jej długości, prawdopodobnie w wyniku niewłaściwego przygotowania powierzchni styku między betonem a taśmą (aplikacja taśmy na-



**Rys. 3. Ugięcie długotrwałe belek w środku przęsła**  
Fig. 3. Long-term deflection of beams at mid-span



**Rys. 4. Ugięcie doraźne belek po obciążeniu długotrwałym w zależności od wartości momentu przęsłowego**

Fig. 4. Deflections of beams after sustained load against moment at mid-span

stąpiła za późno od wymieszania kleju z utwardzaczem). Belka  $B_n2B$  osiągnęła podobną nośność jak belka  $B_n$  i miała podobny schemat zniszczenia w postaci odspojenia się taśmy w strefie zakotwienia.

Obie belki wzmocnione charakteryzowały się mniejszymi ugięciami w porównaniu z ugięciem belki niewzmocnionej (podobne zjawisko zaobserwowano w badaniach doraźnych belek  $B_n$  i  $B_0$ ). Niemniej belka  $B_n2B$  wykazała mniejsze ugięcie w porównaniu z belką  $B_n2A$  (prawdopodobnie w wyniku dokładniejszego wykonania wzmocnienia w belce  $B_n2A$ ). W badaniu na zniszczenie niewzmocniona belka żelbetowa ( $B_02$ ) osiągnęła nośność na zginanie  $M_{0,2} = 28,05$  kNm, wzmocniona belka żelbetowa  $B_n2A - M_{n,2A} = 28,45$  kNm, natomiast belka  $B_n2B - M_{n,2B} = 36,53$  kNm, co świadczy pośrednio o wadliwym wykonaniu połączenia taśmy CFRP z betonem belki  $B_n2A$ .

## Podsumowanie

Duży wpływ na efektywność wzmocnienia belek żelbetowych materiałami CFRP ma jakość wykonania połączenia taśmy CFRP z betonem. Bardzo istotne są dokładne przygotowanie powierzchni styku taśmy z betonem (najlepiej przez piaskowanie) oraz czas przydatności kleju do aplikacji po jego wymieszaniu, który zmienia się w zależności od temperatury otoczenia. W przypadku klejenia kilku elementów zaleca się wymieszać mniejsze porcje kleju, aby nie dopuścić do pogorszenia się jego właściwości. W celu zwiększenia parametrów wytrzymałościowych wzmocnienia (a więc lepszego wykorzystania potencjału taśm CFRP) lepiej jest stosować mechaniczne zakotwienie taśm. Dodatkowym czynnikiem zwiększającym nośność belki jest stosowanie aktywnego wzmocnienia taśmą naciągniętą przed aplikacją, w przeciwieństwie do taśmy biernej zastosowanej w badanych belkach.

Zastosowanie taśmy CFRP powoduje zwiększenie sztywności elementu, a w konsekwencji redukcję wartości ugięć, co wykazały badania doraźne i długotrwałe. Zastosowany typ wzmocnienia zwiększył nośność badanego elementu o 47% w przypadku belek wzmocnionych tylko do badań doraźnych i tylko o 30% w przypadku belek badanych po obciążeniu długotrwałym. Spowodowane jest to prawdopodobnie reologią kleju łączącego taśmę z betonem belki.

Fotografie i rysunki: E. Kusa

## Literatura

- [1] Karta techniczna taśm NEOXEPLATE HS 514 – TINES Megachemie S.A.
- [2] Kotynia R.: Wzmacnianie żelbetowych belek na ścinanie za pomocą kompozytów polimerowych. Zeszyty Naukowe Politechniki Łódzkiej nr 1106, Łódź 2011.

Otrzymano 28.04.2015 r.