

# Poszerzenie mostu z wykorzystaniem konstrukcji z kompozytów FRP

tekst: prof. dr hab. inż. TOMASZ SIWOWSKI, dr inż. MACIEJ KULPA, dr inż. MATEUSZ RAJCHEL, Politechnika Rzeszowska, mgr inż. DARIUSZ OBOZA, Promost Consulting, Rzeszów

Od kilku lat popularność mostowych konstrukcji z kompozytów FRP (*fibre reinforced polymers*) systematycznie w Polsce wzrasta. Głównym tego powodem są doskonale własności mechaniczne i wysoka trwałość kompozytów FRP, a także upowszechnienie metod kształtowania i projektowania mostów z kompozytów FRP [1].

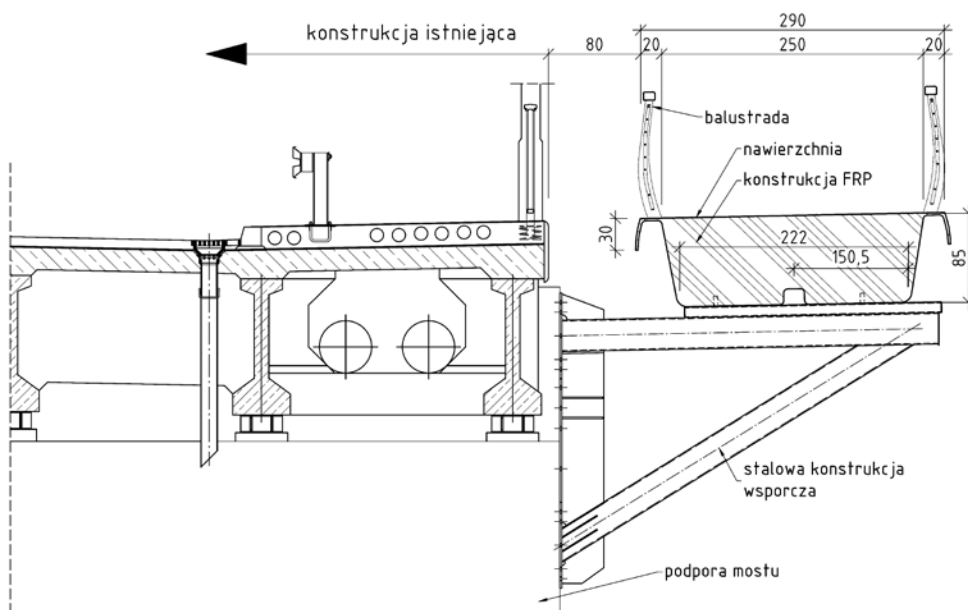
Konstrukcje kompozytowe są stosowane nie tylko w budowie nowych obiektów [2, 3, 4], lecz również w utrzymaniu istniejących mostów, np. przy modernizacji (wymianie) pomostów mostów [5] lub przy poszerzaniu obiektów [6]. W ostatnim z tych zastosowań nie bez znaczenia są także dodatkowe zalety konstrukcji kompozytowych: mała masa (lekkość) i pełna prefabrykacja oraz związane z nimi łatwość i szybkość montażu. Opisana w artykule technologia poszerzenia mostu Karpackiego w Rzeszowie z wykorzystaniem konstrukcji kompozytowej jest jedną z najbardziej efektywnych i najczęściej stosowanych metod zwiększania szerokości użytkowych istniejących mostów [7]. Lekka i trwała konstrukcja kompozytowa jest w takim przypadku optymalnym wyborem techniczno-ekonomicznym.

## Założenia projektowe

Budowa ścieżek rowerowych na lub przy istniejących mostach przez Wisłok (most Lwowski, most Narutowicza i most Karpacki) od dawna była postulatem rzeszowskich rowerzystów. Ponieważ na żadnym z tych obiektów nie ma możliwości poprowadzenia ścieżek rowerowych, miasto podjęło decyzję o budowie kładek rowerowych przy mostach. W przypadku mostu Karpackiego zaproponowano jednostronne poszerzenie obiektu za pomocą konstrukcji kompozytowej, opartej na stalowych wspornikach mocowanych do podpór istniejącego mostu. Most Karpacki jest najbardziej obciążoną ruchem przeprawą w Rzeszowie, położoną w ciągu ul. Powstańców Warszawy, będącej fragmentem drogi krajowej nr 94.

Parametry techniczne nowej konstrukcji kompozytowej wynikały ze sposobu jej podparcia na podporach istniejącego mostu oraz wymagań użytkowych dla kładki rowerowej, sformułowanych przez inwestora. Podstawowe parametry techniczne konstrukcji poszerzającej są następujące:

- schemat statyczny pięcioprzęsłowy, swobodnie podparty;
  - długość całkowita 104,94 m;
  - rozpiętości teoretyczne 23,54 + 23,67 + 23,67 + 23,54 + 3,73 m;
  - szerokość całkowita 3,01 m;
  - szerokości użytkowe 2,50 + 2 x 0,21 m (dwukierunkowa droga rowerowa, balustrady z gzymsami);
  - klasa obciążenia PN-EN 1991-2 (rozdział 5, kładki dla pieszych).
- Ze względu na fakt, że nowa konstrukcja poszerzająca będzie oparta na podporach istniejącego mostu (z 1973 r.), projektanci zdecydowali się na rozwiązanie o minimalnym ciężarze własnym, tj. konstrukcję kompozytową (ryc. 1).



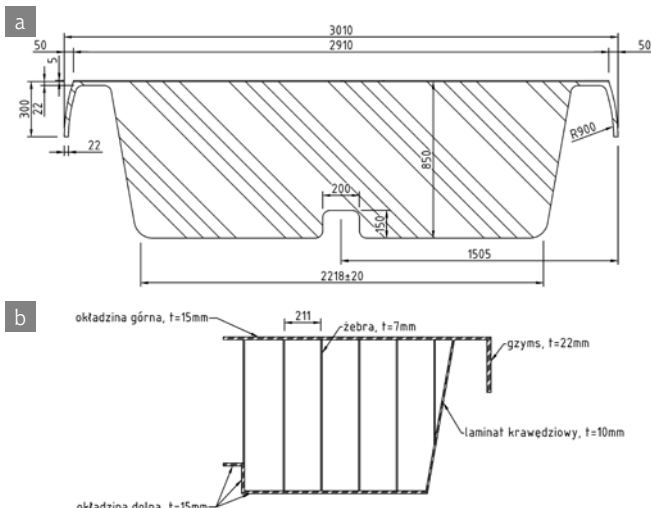
Ryc. 1. Przekrój poprzeczny konstrukcji poszerzenia istniejącego mostu

## Konstrukcja kompozytowa poszerzenia mostu

W porozumieniu z wykonawcą na poszerzenie mostu wybrano warstwową konstrukcję kompozytową holenderskiej firmy FiberCore Europe B.V., producenta mostowych płyt kompozytowych w technologii InfraCore® Inside (ryc. 2a). Konstrukcja warstwowa składa się z laminatów okładzinowych górnego i dolnego oraz żeber pionowych, usztywniających rdzeń płyty wykonany z pianki PUR o gęstości  $38 \text{ kg/m}^3$  (ryc. 2b). Laminaty i żebra są wykonane z tkanin z włókien szklanych typu E oraz żywicy poliestrowej. Rdzeń z pianki pełni jedynie funkcję wypełnienia płyty i nie jest uwzględniany w obliczeniach. Opis projektowania konstrukcji kompozytowej przedstawiono w [8].

Konstrukcję kompozytową wytworzono metodą infuzji próżniowej VARTM (*vacuum assisted resin transfer moulding*) [1] w warsztacie firmy FiberCore Europe B.V. w Rotterdamie. Każde z przęseł powstało w specjalnej formie, w której zostały ułożone tkaniny szklane w sekwencjach koniecznych do uzyskania projektowanych grubości laminatów. Pomiędzy tkaninami umieszczono elementy piankowe rdzenia o wysokości 850 mm, których głównym zadaniem było uformowanie wzajemnie połączonych laminatów okładzinowych oraz pionowych laminatów żeber wewnętrznych rdzenia. Po ułożeniu w formie wszystkich materiałów została ona uszczelniona, a następnie rozpoczął się proces infuzji, polegający na przesyleniu zawartości formy płynną żywicą poliestrową z wykorzystaniem próżni. Po wypełnieniu formy żywicą jej dopływ został zamknięty i rozpoczął się proces utwardzania się (sieciovania) żywicy. Po całkowitym utwardzeniu przęsło było wyciągane z formy na stanowisko do wykończenia i zabezpieczenia powierzchni zewnętrznej laminatów. Na tym stanowisku wykonano również chemoutwardzalną nawierzchnię kładki.

Wszystkie przęsła kładki zostały przewiezione dwoma zestawami transportowymi z wytwórni w Rotterdamie do Rzeszowa. Z uwagi na stosunkowo niewielki ciężar przęseł (masa pojedynczego przęsła wynosi ok. 10 t) był możliwy równoczesny transport dwóch przęseł na jednym zestawie ciągnika. Montaż przęseł wykonano bezpośrednio z naczepy ciągnika (tzw. montaż z kół) na uprzednio zamontowanych wspornikach stalowych, stanowiących bezpośrednie podpory przęseł (ryc. 3). Przęsła na podporach zostały ustabilizowane



Ryc. 2. Konstrukcja kompozytowa poszerzenia: a) przekrój poprzeczny; b) budowa konstrukcji kompozytowej



Ryc. 3. Wspornik stalowy mocowany do istniejącej podpory

za pomocą sworzni stalowych  $\varnothing 36 \text{ mm}$ , które umieszczono w specjalnych gniazdach utworzonych w laminatach dolnych przęseł. Część gniazd wykonano na wymiar, blokując możliwość przesuwu konstrukcji, natomiast część z odpowiednimi luzami, zapewniającymi możliwość swobodnej pracy przęseł pod obciążeniem oraz wskutek oddziaływania temperatury. Montaż pojedynczego przęsła konstrukcji poszerzenia trwał ok. 30 minut (ryc. 4).

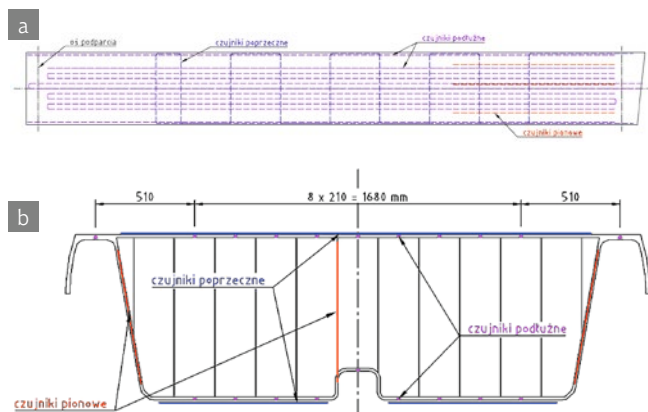


Ryc. 4. Montaż konstrukcji kompozytowej: a) transport konstrukcji; b) montaż przęsła na podpory za pomocą dźwигów



## System monitoringu konstrukcji

Ze względu na pionierski charakter oraz rozmiary konstrukcji kompozytowej zaplanowano monitoring ciągły jej pracy podczas eksploatacji. Do monitoringu zaprojektowano i wdrożono system oparty na włóknach światłowodowych DFOS (*distributed fibre optic sensors*) [9]. Układ czujników światłowodowych przedstawiono na rycinie 5. W sumie w konstrukcji pojedynczego przęsła umieszczono ponad 500 m czujników światłowodowych, które mogą mierzyć odkształcenia konstrukcji w odstępach co 5 mm. Dzięki temu cały system pomiarowy DFOS jest równoważny systemowi zawierającemu ponad 100 tys. czujników punktowych. Ponadto dzięki odpowiedniemu podziałowi czujników światłowodowych pomiar może zostać ograniczony do mniejszej liczby punktów (np. tylko w newralgicznych przekrojach / punktach) lub do lokalnego fragmentu konstrukcji (np. strefa podparcia).



Ryc. 5. Układ czujników światłowodowych: a) w widoku z góry na laminat okładzinowy górny; b) w przekroju poprzecznym

W odróżnieniu od klasycznych czujników pomiarowych, które są montowane na gotowej konstrukcji, w systemie DFOS włókna światłowodowe zostały umieszczone wewnątrz konstrukcji pomiędzy tkaninami laminatów jeszcze przed procesem infuzji. Z tego względu nie są narażone na uszkodzenia lub zniszczenie na skutek oddziaływania środowiska lub aktów wandalizmu, a cały system pomiarowy cechuje się wysoką trwałością. Dla ograniczenia ingerencji w strukturę laminatów czujniki światłowodowe były stosowane bez osłon. Dzięki temu zmniejszono średnicę czujników z kilku milimetrów do 250  $\mu\text{m}$ , ograniczając zagrożenie wprowadzania karbów konstrukcyjnych osłabiających laminaty. Po infuzji konstrukcji kompozytowej końcówki czujników tymczasowo zabezpieczono na czas transportu, a po montażu przęsła na placu budowy zostały umieszczone w skrzynce zamocowanej do konstrukcji.

## Podsumowanie

Otwarcie kładki dla rowerzystów nastąpiło we wrześniu 2021 r. (ryc. 6). Przed oddaniem obiektu użytkownikom specjaliści z Katedry Dróg i Mostów na Politechnice Rzeszowskiej wykonali próbne obciążenie konstrukcji, podczas którego sprawdzono wszystkie założenia projektowe, a także zachowanie konstrukcji kładki pod obciążeniem statycznym i dynamicznym (w tym wandalistycznym). Próbne obciążenie wykorzystano także do sprawdzenia działania systemu monitoringu światłowodowego DFOS i zebrania pierwszych (zerowych) odczytów odkształceń, umożliwiających w przyszłości monitoring stanu



Ryc. 6. Poszerzony most Karpacki w Rzeszowie: a) widok z boku; b) widok z góry

technicznego i zachowania się kładki podczas eksploatacji. Po oddaniu kładki użytkownikom naukowcy z Katedry Dróg i Mostów będą prowadzić stały monitoring obiektu, zbierając dane o zachowaniu się w czasie tej innowacyjnej konstrukcji kompozytowej.

## Literatura

- [1] Siwowski T.: *Mosty z kompozytów FRP. Kształtowanie, projektowanie, badania*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2018.
- [2] Siwowski T., Rajchel M., Kaleta D., Własak L.: *Pierwszy polski most drogowy z kompozytów FRP. Projekt, badania, budowa*. „Mosty” 2016, nr 2, s. 62–66.
- [3] Chróścielewski J., Miśkiewicz M., Pyrzowski Ł., Wilde K.: *Badania kompozytowego mostu dla pieszych*. „Mosty” 2016, nr 1, s. 44–49.
- [4] *Technologia kompozytowa do prefabrykowania gotowych przęseł na przykładzie kładek pieszo-rowerowych w Iławie*. „Mosty” 2019, nr 3–4, s. 85–86.
- [5] *Modernizacja mostu Siekierki – Neurüdnitz*. „Mosty” 2021, nr 2, s. 59–60.
- [6] Wąchalcki K.: *Projekt remontu i poszerzenia historycznego mostu im. J. Piłsudskiego przez Wisłę w Toruniu*. „Mosty” 2021, nr 1, s. 50–75.
- [7] Radomski W., Kasprzak A.: *Poszerzanie mostów*. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2017.
- [8] Siwowski T., Kulpa M., Rajchel M., Oboza D.: *Najdłuższy w Polsce obiekt mostowy z kompozytów FRP*. „Mosty” 2021, nr 3, s. 24–27.
- [9] Siwowski T., Sieńko R., Bednarski G.: *System monitorowania mostów kompozytowych z wykorzystaniem światłowodowych czujników odkształceń*. „Mosty” 2017, nr 5, s. 50–53.



Czytaj więcej