



TOMASZ SIWOWSKI

Politechnika Rzeszowska
siwowski@prz.edu.pl

Pierwsze polskie obiekty mostowe z kompozytów FRP

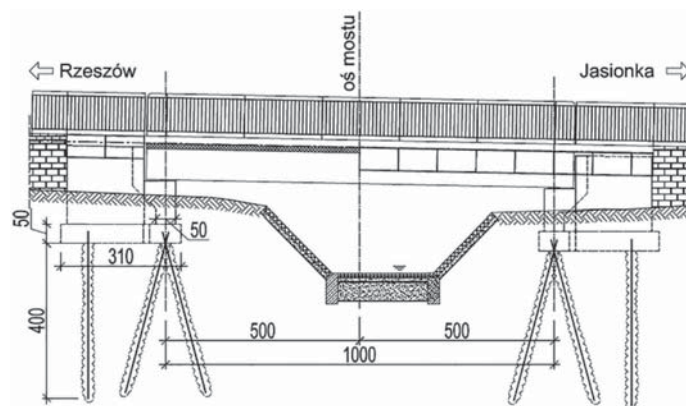
Pierwsza dekada XXI w. przyniosła znaczące upowszechnienie w budownictwie mostowym nowego materiału konstrukcyjnego, jakim są kompozyty włókniste FRP (ang. *fibre reinforced polymers*). Kompozyty włókniste to materiały powstałe z połączenia włókien syntetycznych (węglowych, szklanych, aramidowych, bazaltowych) oraz polimerów (np. żywic epoksydowej, poliestrowej, winyloestrowej). Charakteryzują się one zdecydowanie lepszymi właściwościami mechanicznymi i fizycznymi niż drewno, beton czy stal, tradycyjne materiały budowlane. Z konstrukcyjnego punktu widzenia do największych zalet kompozytów FRP należą m.in. wysoka wytrzymałość, doskonała trwałość, mała masa konstrukcji, a co za tym idzie łatwość i szybkość jej wznoszenia oraz elastyczność w kształtowaniu elementu i/lub konstrukcji. Te cechy kompozytów FRP powodują, że materiał ten coraz częściej jest stosowany w budownictwie mostowym, szczególnie w przypadkach, gdy o wyborze rodzaju konstrukcji decydują całkowite koszty liczone w cyklu życia LCC (ang. *life cycle cost*). Dzięki zastosowaniu w obiektach mostowych bardzo wytrzymałych, lekkich i odpornych na korozję konstrukcji z materiałów kompozytowych jest możliwe znaczące podniesienie ich nośności oraz zwiększenie trwałości i niezawodności.

Polskie mostownictwo dość długo czekało na praktyczne wdrożenie kompozytów FRP. Wprawdzie już w czerwcu 1999 r. na terenie grupowej oczyszczalni ścieków w Łodzi została zbudowana pierwsza w Polsce kładka dla pieszych, wykonana z kompozytów FRP, lecz nie jest ona obiektem publicznym i została w całości zaprojektowana i wykonana z typowych kształtowników pultruzyjnych duńskiej firmy Fiberline [8]. Dopiero rok 2015 przyniósł przełom w wdrożeniu kompozytów FRP do budowy polskich mostów. Stało się tak dzięki realizacji dwóch projektów badawczo-rozwojowych, łączących polskie uczelnie oraz firmy przemysłowe we wspólnym celu opracowania i wdrożenia krajowych rozwiązań konstrukcyjnych obiektów mostowych z kompozytów FRP. Pierwsze polskie mosty drogowe z kompozytów FRP powstały w ramach projektu badawczego COMBRIDGE, zrealizowanego w latach 2014–2016 przez konsorcjum w składzie: Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska, Mostostal Warszawa S.A oraz firma Promost Consulting Sp. z o.o. z Rzeszowa. Natomiast pierwsza polska konstrukcja kompozytowej kładki dla pieszych powstała w ramach projektu badawczego FOBRIDGE, zrealizowanego w latach 2013–2015 przez konsorcjum w składzie: Politechnika Gdańska, Wojskowa Akademia Techniczna oraz firma ROMA Sp. z o.o. z Torunia. Obiekty

mostowe, będące najważniejszymi rezultatami obu tych projektów, są przedmiotem artykułu.

Most drogowy typu *all-composite*

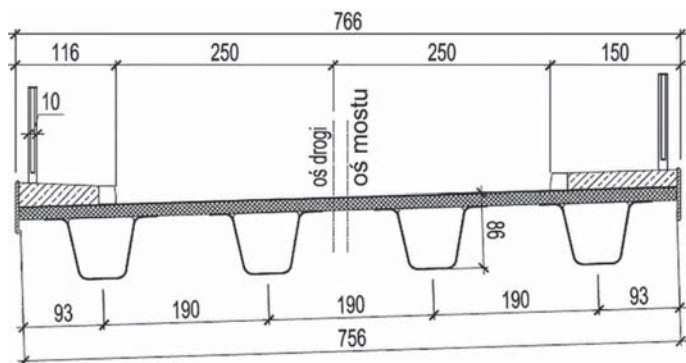
Pierwszy w Polsce most drogowy, którego przęsło wykonano w całości z kompozytów FRP, został zbudowany w miejscowości Nowa Wieś koło Rzeszowa w 2016 r. Most jest położony w ciągu drogi powiatowej i przekracza niewielki potok Czarna. Jest obiektem jednoprzęsłowym, swobodnie podpartym, położonym zgodnie z niweletą i krzywizną drogi w spadku podłużnym 2,1% i jednostronnym spadku poprzecznym 3%. Główne parametry techniczne mostu są następujące (rys. 1): rozpiętość teoretyczna przęsła – 10,0 m; długość całkowita pomostu – 10,7 m; całkowita szerokość mostu – 7,7 m; szerokości użytkowe: jezdnie – 5 m (2×2,5 m), opaska bezpieczeństwa – 2×0,5 m; chodnik – 0,75÷1,1 m; balustrada z gzymsem – 2×0,25 m. Most ma nośność 30 ton, tj. klasa C według PN-S-10030.



Rys. 1. Schemat ogólny mostu kompozytowego w Nowej Wsi

Przęsło mostu jest wykonane z czterech dźwigarów kompozytowych o przekroju skrzynkowym w rozstawie osiowym 1,9 m oraz zespolonej z dźwigarami kompozytowej, warstwowej płyty pomostu (rys. 2). Dźwigary główne mają następujące wymiary: wysokość – 0,71 m, szerokość w poziomie pasa górnego – 1,38 m oraz szerokość w poziomie pasa dolnego – 0,60 m. Nominalna grubość laminatów pasa górnego i dolnego wynosi 16 mm. Środniki dźwigarów są kompozytem warstwowym, składającym się z dwóch zewnętrznych laminatów oraz przekładki z pianki PVC. Grubość całkowita środkików wynosi 16 mm. Wnętrze przekrojów skrzynkowych dźwigarów usztywniono przepo-

nami o budowie analogicznej jak środnik i grubości 46 mm w rozstawie 1,25 m. Wszystkie laminaty dźwigarów wykonano w całości z kompozytu na bazie włókien szklanych i żywicy epoksydowej.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny przęsła mostu kompozytowego w Nowej Wsi

Kompozytowa płyta pomostu ma grubość 0,13 m, szerokość 7,56 m i długość 10,7 m. Płyta jest kompozytem warstwowym typu sandwich, składającym się z dwóch zewnętrznych laminatów o grubości 11,5 mm każdy oraz przekładki z pianki PUR o wysokości 105 mm i grubości 25 mm, usztywnionej kompozytowymi żebrami wewnętrznymi w postaci laminatów o grubości ok. 1 mm. Płytę w całości wykonano z kompozytu z włókien szklanych i żywicy epoksydowej. Na płycie pomostu zostały wykonane kapy chodnikowe grubości od 0,15 do 0,18 m, ograniczone od strony jezdni krawężnikami kamiennymi, natomiast od strony zewnętrznej deskami gzymsowymi z polimerobetonu. Kapy chodnikowe wykonano z betonu lekkiego LC30/33, zbrojonego prętami kompozytowymi z włókien szklanych i żywicy poliestrowej. Od strony zewnętrznych krawędzi pomostu zamontowano stalowe balustrady systemowe o wysokości 1,1 m.

Podpory mostu wykonano w postaci żelbetowych przyczółków pełnościennych, posadowionych pośrednio. Korpusy przyczółków mają podwieszane skrzydła i fundamenty pośrednie w postaci mikropali o średnicy 110 mm i długości 4,0 m. Każdy przyczółek jest posadowiony na 18 mikropalach, rozmieszczonych w 3 rzędach. Ze względu na ograniczenia terenowe nasypy dojazdów są częściowo umocnione murami oporowymi.

Obliczenia projektowe mostu wykonane w firmie Promost Consulting obejmowały m.in. następujące zagadnienia:

- wyznaczenie parametrów materiałowych kompozytów FRP;
- wykonanie modelu numerycznego przęsła oraz jego analiza statyczna z wykorzystaniem modelu MES;
- analiza wytrzymałościowa elementów przęsła za pomocą klasycznej teorii laminacji i kryteriów wytrzymałościowych;
- sprawdzenie stanów granicznych dźwigarów i pomostu kompozytowego wg zaleceń CEN [1].

Wszystkie kompozytowe elementy składowe przęsła mostu, tj. dźwigary główne i panele płyty pomostu, zo-

stały wykonane przez Mostostal Warszawa S.A. Elementy kompozytowe wykonano z sztych tkanin szklanych, jedno- i dwukierunkowych, o gramaturze od 600 do 1200 g/m². Do budowy kompozytów warstwowych środników i paneli pomostu zastosowano odpowiednio pianki PVC i PUR o gęstości 80 i 105 kg/m³. Osnowę wszystkich kompozytów stanowiła żywica epoksydowa. Do wytworzenia elementów zastosowano proces infuzji VARTM. Infuzja każdego dźwigara oraz panelu płyty pomostu trwała ok. 10 godzin. Tak długi czas był związany z bardzo dużą ilością żywicy, jaką należało wtłoczyć, aby przesycić elementy. Po zamknięciu dopływu żywicy elementy były dodatkowo utwardzane w temperaturze ok. 70°C przez około 16 godzin.

Ze względów transportowych kompozytowe przęsło zostało podzielone po szerokości na trzy części: dwa identyczne tandemy o długości 10,7 m i szerokości 3,52 m każdy i środkowy scalający element pomostu o szerokości 0,52 m. Każdy tandem zawierał dwa dźwigary i odpowiadającą im szerokością część płyty pomostu. Elementy tandemów zostały wzajemnie scalone w wytwórni przez klejenie. Dodatkowo w celu zminimalizowania prac na budowie, na płycie pomostu każdego tandemu przyklejono krawężniki kamienne i wykonano nawierzchnię, a do pasów dolnych dźwigarów przyklejono łożyska elastomerowe. Po zakończeniu tych prac w wytwórni tandemy kompozytowe były transportowane w całości na plac budowy (fot. 1).



Fot. 1. Dwa tandemy przęsła mostu przygotowane do transportu na plac budowy (fot. T. Siwowski)

Budowę mostu rozpoczęto od wykonania fundamentów podpór z mikropali, a na nich żelbetowych oczepów zwieńczających oraz korpusów ze skrzydełkami. Po wykonaniu podpór rozpoczęto montaż przęsła kompozytowego. Dwie części przęsła (tandemy) przywiezione z wytwórni zostały bezpośrednio z kół zamontowane na przyczółkach przy pomocy lekkiego dźwigu samochodowego (fot. 2). Ze względu na bardzo mały ciężar kompozytowych elementów przęsła łączny czas całej operacji ustawienia dwóch tandemów zajął ok. 30 minut. Następnie wykonano montaż środkowych paneli pomostu oraz ich scalenie z tandemami za pomocą kleju epoksydowego (fot. 3). Kolejno wykonano wyposażenie: polimerobetonowe deski gzymsowe, kapy chodnikowe, przykrycia dylatacyjne, nawierzchnię

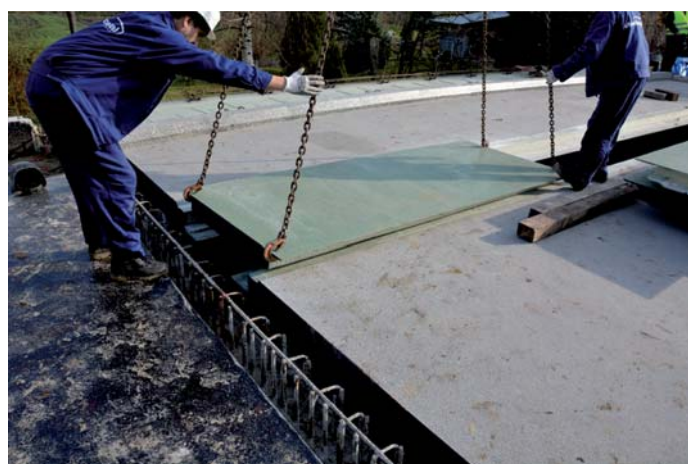


Fot. 2. Montaż tandemów przęsa kompozytowego na podpory (fot. T. Siwowski)



jezdni na elementach scalających, nawierzchnię chodników oraz balustrady aluminiowe. Całość inwestycji uzupełniło wykonanie adaptacji dojazdów do mostu oraz odcinkowe umocnienie koryta cieku. Budowę mostu zakończono w listopadzie 2016 r., a realizacja wszystkich opisanych prac trwała zaledwie 2 miesiące, w tym wytworzenie przęsa kompozytowego w wytwórni.

Badania mostu pod próbnym obciążeniem statycznym i dynamicznym przeprowadził Zakład Dróg i Mostów Politechniki Rzeszowskiej. Pozytywne wyniki badań mostu pod próbnym obciążeniem statycznym i dynamicznym były podstawą dopuszczenia mostu do użytkowania, co nastąpiło w końcu 2016 r. (fot. 4).



Fot. 3. Montaż elementów scalających obie części przęsa (fot. T. Siwowski)

Most drogowy o konstrukcji hybrydowej kompozytowo-betonowej

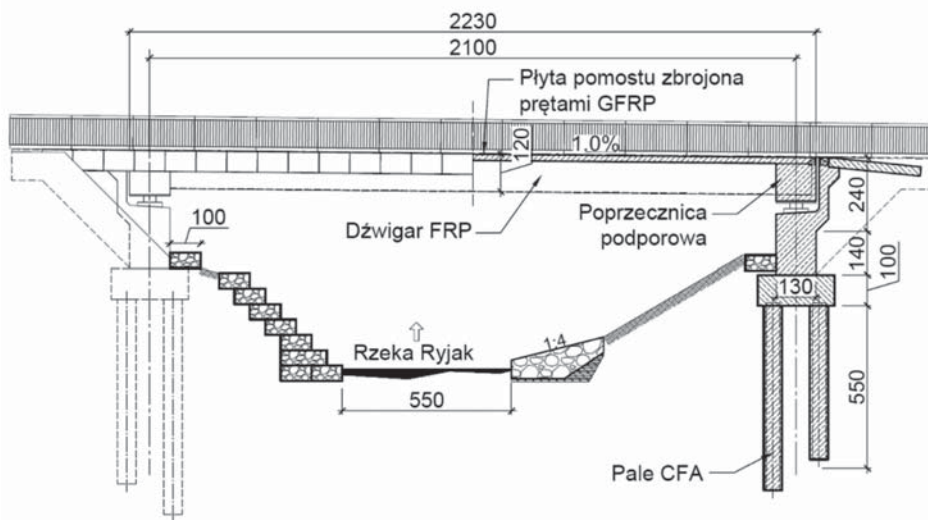
Pierwszy w Polsce most drogowy, którego przęsa wykonano z kompozytów FRP i betonu, został zbudowany w miejscowości Błażowa koło Rzeszowa w 2015 r. Most jest obiektem jednoprzęsłowym, swobodnie podpartym, położonym w spadku podłużnym 1% (rys. 3). Główne parametry geometryczne mostu są następujące: rozpiętość teoretyczna przęsa 21,00 m; długość całkowita 22,30 m; szerokość całkowita 10,54 m; szerokości użytkowe pomostu: jezdnia 7 m (2×3,5 m), opaski bezpieczeństwa 2×0,50 m, chodnik jednostronny 1,50 m, bariera z gzymsem 2×0,52 m. Most ma nośność 40 t, tj. klasa B według PN-S-10030.

Przęsa mostu jest zbudowane z dźwigarów kompozytowych, zespolonych z płytą pomostu z betonu lekkiego. W przęśle są 4 dźwigary hybrydowe w rozstawie osiowym 2,62 m (rys. 4). Dźwigary mają wysokość 1,02 m i zmienną szerokość od 0,73 m w poziomie pasa dolnego do 1,55 m w poziomie pasów górnych. Dźwigary są usztywnione wewnętrznymi przeponami kompozytowymi w zmiennym rozstawie 1,25÷2,20 m i stężone dwiema poprzecznkami żelbetowymi z betonu lekkiego, zbrojonego prętami kompozytowymi.

Do wykonania płyty pomostu przewidziano zastosowanie betonu lekkiego oraz prętów kompozytowych GFRP jako zbrojenia. Beton lekki jest wykonany z kruszywa popiołopoprytowego oraz cementu niskoalkalicznego. Jego receptura oraz trwałość eksploatacyjna została już kilkakrotnie sprawdzona podczas remontów i modernizacji mostów w Polsce, nie było natomiast w Polsce ani jednego zastosowania prętów kompozytowych do zbrojenia betonowych elementów nośnych w obiekcie mostowym. Tymczasem, jak wykazały doświadczenia kanadyjskie i amerykańskie, użyteczność płyt pomostowych (ugięcia, zarysowanie), które są oparte



Fot. 4. Most drogowy o konstrukcji kompozytowej w Nowej Wsi k. Rzeszowa (fot. T. Siwowski)

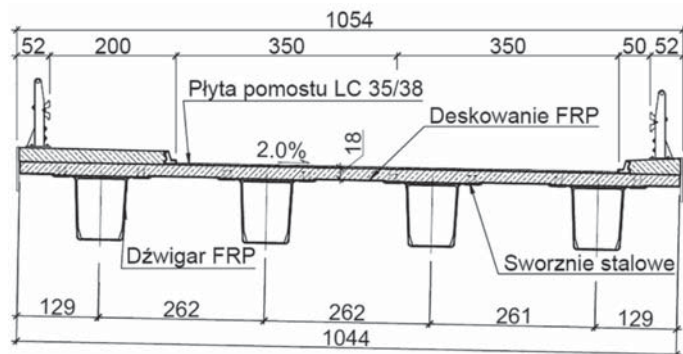


Rys. 3. Schemat ogólny mostu o konstrukcji hybrydowej kompozytowo-betonowej w Błazowej

na dźwigarach głównych w rozstawie nie przekraczającym 2,50 m jest dobra, mimo że pręty kompozytowe cechuje mniejsza sztywność niż pręty stalowe [7]. Dlatego chcąc uzyskać płytę pomostu o trwałości zbliżonej do dźwigarów kompozytowych zdecydowano o zastosowaniu prętów GFRP.

Płyta pomostu o grubości 0,18 m, szerokości 10,44 m i długości 22,30 m jest wykonana z betonu lekkiego klasy LC 35/38, zbrojonego dwiema siatkami 0,15×0,15 m z prętów GFRP średnicy 12 mm. Płytę zaprojektowano w jednostronnym spadku poprzecznym 2% na szerokości jezdni oraz 2,5÷4,0% pod chodnikami. Zespole ją z dźwigarami kompozytowymi stalowymi łącznikami sworzniowymi, osadzonymi w kompozytowych pasach górnych dźwigarów. Podobne zespolenie kompozytu i betonu wykonano na środnikach dźwigarów w strefie podporowej w celu zapewnienia sztywności poprzecznej przęsła.

Wyposażenie przęsła składa się z kap chodnikowych, konwencjonalnej nawierzchni i izolacji, elementów odwodnienia, urządzeń dylatacyjnych oraz barier mostowych. Na płycie pomostu wykonano betonowe kapy chodnikowe grubości 0,21 m z betonu lekkiego LC 30/33, zbrojonego dwiema siatkami 0,15×0,15 m z prętów GFRP średnicy 12 mm. Kapy są ograniczone od strony jezdni krawężnikami



Rys. 4. Przekrój poprzeczny przęsła mostu hybrydowego w Błazowej

polimerobetonowymi o wymiarach 0,20×0,18 m, natomiast od strony zewnętrznej deskami gzymsowymi z GFRP wysokości 0,70 m. Ruch pieszych i samochodów na moście jest zabezpieczony od strony krawędzi pomostu systemowymi barierami mostowymi o minimalnych parametrach H1/W7.

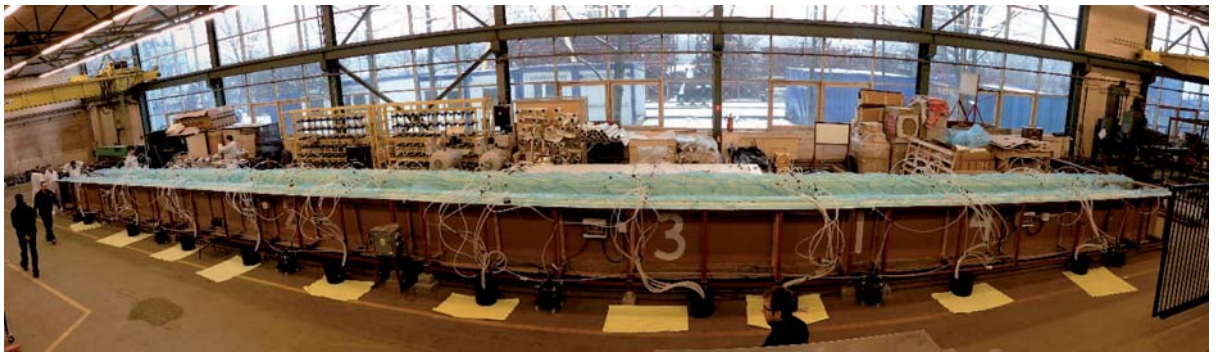
Podpory mostu wykonano w postaci żelbetonowych przyczółków pełnościennych, posadowionych pośrednio. Korpusy przyczółków mają podwieszane skrzydła i fundamente pośrednie w postaci pali wierconych, formowanych w gruncie. Każdy przyczółek jest posadowiony na 10 palach, rozmieszczonych w dwóch rzędach. Zastosowano pale średnicy 0,60 m i długości 8,0 m, wykonane z betonu klasy C25/30, zbrojonego dwuteownikami I 450.

Obliczenia projektowe mostu wykonane w firmie Promost Consulting obejmowały analogiczne etapy jak w przypadku wcześniej opisanego mostu *all-composite*. Wymiary głównych elementów nośnych przęsła, dobrane wstępnie na podstawie wcześniejszych doświadczeń partnerów projektu COMBRIDGE, zostały szczegółowo sprawdzone w toku analiz statyczno-wytrzymałościowych, w których uwzględniono procedury i normy stosowane w innych krajach w projektowaniu konstrukcji kompozytowych.

Wszystkie kompozytowe elementy składowe dźwigarów głównych, tj. korpus dźwigarów, przepony wewnętrzne oraz deskowanie tracone zamykające dźwigary od góry, wykonano w procesie infuzji. Elementy kompozytowe dźwigarów wykonano z szytych tkanin szklanych i węglowych, jedno- i dwukierunkowych (ułożenie włókien ±45° i 0/90° w stosunku do kierunku głównego tkanin), o gramaturze od 600 do 1200 g/m². Do budowy kompozytów warstwowych, z których wykonano środniki korpusów dźwigarów, zastosowano piankę PVC. Osnowę kompozytu stanowi żywica epoksydowa.

Największym wyzwaniem przy prefabrykacji dźwigarów mostowych było wykonanie czterech korpusów skrzynkowych o wymiarach 23,5×1,8×1,0 m (fot. 5). Były to największe i najbardziej złożone budowlane elementy kompozytowe wykonane w Polsce do 2016 r. Zbrojenie każdego z nich składało się z 862 prostokątnych arkuszy tkanin o łącznej masie 2016 kg. Końcowe elementy wysyłkowe (po obcięciu krawędzi) miały wymiary 22,0×1,55 m. Produkcja korpusów o większych wymiarach pozwalała na pozyskanie materiału do badania kontroli jakości, ustabilizowanie procesu infuzji (zwykle na krawędziach wykonywanego elementu pojawiają się największe nierówności i zaburzenia w przepływie żywicy) oraz uzyskanie równych krawędzi dźwigarów. Dźwigary kompozytowe zostały w całości przetransportowane na plac budowy. Załadunek dźwigarów na samochody i ich transport na miejsce wbudowania był wyjątkowo szybki i łatwy, dzięki małej masie – około 4 t (fot. 6).

Fot. 5. Korpus kompozytowy dźwigara podczas infuzji



Fot. 6. Transport dźwigarów kompozytowych na plac budowy

Dźwigary przywiezione w całości z warsztatu zostały złożone na placu montażowym przy moście. Montaż dźwigarów na łożyskach wymagał tylko jednego dźwigu o nośności 5 ton. Łączny czas całej operacji ustawienia czterech dźwigarów na łożyskach zajął niewiele ponad godzinę (fot. 7). Następnie pomiędzy dźwigarami ułożono kompozytowe deskowanie tracone płyty pomostu. Powodem zastosowania takiego rozwiązania było duże wyniesienie spodu konstrukcji ponad poziom terenu (około 6 m), bardzo krótki termin na budowę mostu, konieczność stabilizacji lekkich dźwigarów na czas betonowania płyty pomostu oraz minimalizacja ciężaru deskowania w fazie I pracy dźwigarów. Deskowanie połączono z dźwigarami przez klejenie, co zapewniło uzyskanie dobrej szczelności (fot. 8). Szalunek do poprzecznic podporowych i wsporników płyty pomostu wykonano tradycyjnie z desek.



Fot. 7. Dźwigary kompozytowe na placu montażowym oraz montaż dźwigarów na podpory



Fot. 8. Kompozytowe deskowanie tracone płyty pomostu pomiędzy dźwigarami



Fot. 9. Zbrojenie betonowej płyty pomostu z prętów kompozytowych

Następnym etapem budowy było ułożenie zbrojenia betonowej płyty z prętów kompozytowych (fot. 9). Układanie i wiązanie zbrojenia kompozytowego GFRP zasadniczo nie różni się od podobnych czynności w przypadku stali zbrojeniowej. Jednakże lekkość prętów kompozytowych pozwala na bardzo szybkie układanie zbrojenia, lecz mała sztywność prętów powoduje, że trzeba je wiązać i podpierać znacznie gęściej. Ze względów technologicznych betonowanie płyty podzielono na dwa etapy: najpierw zabetonowano poprzecznie podporowe do wysokości spodu płyty pomostu, a w drugim etapie – płytę pomostu na całej powierzchni. Spięcie końców dźwigarów masywnymi poprzecznicami betonowymi pozwoliło na uzyskanie sztywnego rusztu, co ograniczyło niebezpieczeństwo „klawiszowania” dźwigarów podczas betonowania płyty pomostu.

Ostatnią fazą budowy mostu było wykonanie wyposażenia. Kolejno wykonano: kapy chodnikowe z betonu lekkiego klasy LC 30/33, zbrojonego prętami kompozytowymi GFRP, krawężnikowe wpusty mostowe z polimerobetonu, jednomodułowe urządzenia dylatacyjne, polimerobetonowe deski gzymsowe, stalowe bariery ochronne oraz nawierzchnię poliuretanowo-epoksydową na chodnikach i nawierzchnię mastyksowo-grysową SMA na jezdni. Całość inwestycji uzupełniła adaptacja dojazdów do mostu oraz wycinkowe umocnienia koryta rzeki. Budowę mostu zakończono w listopadzie 2015 r., a realizacja wszystkich opisanych prac trwała zaledwie 6 miesięcy.

Badania mostu pod próbnym obciążeniem statycznym i dynamicznym przeprowadził Zakład Dróg i Mostów Politechniki Rzeszowskiej [5]. Pozytywne wyniki badań mostu pod próbnym obciążeniem były podstawą dopuszczenia mostu do użytkowania, co nastąpiło na początku 2016 r. (fot. 10).



Fot. 10. Most drogowy o konstrukcji hybrydowej kompozytowo-betonowej w Błażowej

Kładka dla pieszych z kompozytów FRP

Pierwsza polska konstrukcja kładki kompozytowej powstała w ramach projektu badawczego FOBRIDGE, zrealizowanego w latach 2013–2015 przez konsorcjum pod kierunkiem Politechniki Gdańskiej. Głównym celem projektu było opracowanie architektoniczno-materiałowo-konstrukcyjne kompozytowych przęsał kładek dla pieszych

o schemacie statycznym swobodnie podpieranego dźwigara, do zastosowania przede wszystkim nad drogami głównymi [2].

W projekcie FOBRIDGE założono, że kładka pieszo-rowerowa ma szerokość użytkową 2,5 m oraz maksymalną rozpiętość 16 m. Przyjęta rozpiętość kładki wynika z szerokości skrajni drogowej jednojezdniowej (dwa pasy ruchu) drogi ruchu przyspieszonego, nad którą kładka ma przeprowadzić ruch pieszy i rowerowy oraz – przy odpowiednich dojazdach – pozwolić na przejazd pojazdu serwisowego lub karetki pogotowia ratunkowego. Twórcy kładki zakładają również wykorzystanie typowego przęsała nad innymi przeszkodami (drogi samochodowe, kolejowe, przeszkody wodne, itp.) oraz sugerują zastosowanie takich obiektów jako rozwiązań przepraw tymczasowych na obszarach dotkniętych klęskami żywiołowymi. Kładka ma postać dźwigara typu U, którego ściany boczne, odchylone na zewnątrz o 3° od pionu, są jednocześnie poręczami o wysokości ok. 1,3 m (rys. 5). Taki obiekt ma bardzo małą wysokość konstrukcyjną, która wynosi zaledwie kilkanaście centymetrów. Przyjęto, że geometria konstrukcji nośnej w widoku z boku jest opisana na łuku kołowym (strzałka odwrotna 0,33 m), a maksymalny spadek podłużny nie przekracza 8%.



Rys. 5. Przekrój poprzeczny kładki pieszo-rowerowej FOBRIDGE

W ramach projektu FOBRIDGE wykonano szerokie badania doświadczalne, które obejmowały [3]:

- badania identyfikacyjne własności mechanicznych zastosowanych materiałów;
- badania próbek gotowych kompozytów (belki, płyty, itp.);
- badania na segmencie walidacyjnym;
- badania odbiorcze na obiekcie prototypowym;
- monitoring techniczny przęsał kładki.

Do badań wymienionych w p. d) i e) wykonano prototyp przęsał kładki o rozpiętości 14,0 m, szerokości użytkowej 2,6 m oraz wysokości użytkowej 1,3 m (fot. 11). Przęsło jest w łuku pionowym o promieniu 97,4 m, a płyta pomostu ma grubość 0,11 m. Konstrukcja warstwowa jest wykonana z laminatów szklanych oraz rdzenia o grubości 100 mm z pianki PET. W strefach podporowych konstrukcja jest wzmocniona prefabrykowanymi żebrami z laminatów GFRP dla przeniesienia reakcji. Przęsło zostało wykonane w całości w jednostopniowej infuzji z użyciem żywicy winyloestrowej. Masa przęsał wynosi 3,2 tony.



Fot. 11. Prototyp kładki pieszo-rowerowej FOBRIDGE o konstrukcji warstwowej (fot. J.Chróścielewski)

Badania prototypu kładki wykazały m.in. ugięcie w środku rozpiętości 60 mm (L/233) pod obciążeniem charakterystycznym, pierwszą częstotliwość drgań własnych 6,56 Hz oraz bardzo dobre tłumienie materiałowe i konstrukcyjne [3]. Planowane jest wbudowanie prototypu kładki nad kanałem Radunia, w ciągu ścieżki rowerowej łączącej Gdańsk i Pruszcz Gdański.

Podsumowanie

Doświadczenia z budowy i wyniki badań pierwszych polskich obiektów mostowych z kompozytów FRP potwierdziły, że ten nowoczesny i innowacyjny materiał może być pełnowartościową alternatywą dla stosowanych powszechnie w budownictwie mostowym stali i betonu. Jednakże do pełnego przekonania administracji drogowej i środowiska mostowego o jakości, niezawodności i korzyściach płynących z budowy takich mostów jest niezbędna kontynuacja prac naukowo-badawczych, które uzupełnią i poszerzą wiedzę o zachowaniu się mostów kompozytowych podczas eksploatacji pod obciążeniem użytkowym, jak również pod wpływem oddziaływań środowiskowych. W ramach projektu COMBRIDGE na mostach kompozytowych wdrożono i rozpoczęto testowanie trzech technologii monitoringu stanu technicznego konstrukcji: emisji akustycznej, technologii strunowej oraz technologii światłowodowej. Pierwszą z nich testuje Politechnika Warszawska [4], dwie pozostałe Politechnika Rzeszowska wraz z krakowską firmą SHM System [6]. Dzięki systemowi monitoringu konstrukcji będzie możliwa ocena zachowania się mostów pod obciążeniem użytkowym podczas ich eksploatacji. Informacje uzyskane w trakcie monitoringu zostaną wykorzystane do oceny trwałości konstrukcji kompozytowej i do jej dalszej optymalizacji. Kolejnym rozpoczętym już działaniem w ramach projektu COMBRIDGE są analizy LCA/LCCA obu mostów i porównanie ich w cyklu życia z typowym mostem stalowym i betonowym. Działania te na pewno pozwolą na zdobycie nowej wiedzy, umożliwiającej upowszechnienie mostów kompozytowych w budownictwie mostowym w Polsce.

Bibliografia

- [1] Ascione L., Gutierrez E., Dimova S., Pinto A., and Denton S. (Eds): *Prospect for new guidance in the design of FRP*. EC Joint Research Centre, Scientific and Technical Report No. 27666 EN, European Union, 2016.
- [2] Chróścielewski J., Miśkiewicz M., Wilde K., Kłasztorny M., Romanowski R.: *Powłokowa kompozytowa kładka dla pieszych o konstrukcji przekładkowej*. Archiwum Instytutu Inżynierii Łądowej, Politechnika Poznańska, nr 18, 2014.
- [3] Chróścielewski J., Miśkiewicz M.: *Próbné obciążenie kompozytowej kładki pieszo-rowerowej*. Materiały Budowlane, nr 7, 2015.
- [4] Karczewski R., Gołębiowski Ł., Molak R., Płowiec J., Spychalski W.: *Acoustic emission in monitoring composite bridge structures*. Composites Theory and Practice, No.15 (2), 2015.
- [5] Siwowski T., Rajchel M., Kaleta D., Własak Ł.: *Pierwszy w Polsce most drogowy z kompozytów FRP*. Inżynieria i Budownictwo, nr 10, 2016.
- [6] Siwowski T., Sieńko R., Bednarski Ł.: *System monitorowania mostów kompozytowych z wykorzystaniem światłowodowych czujników odkształceń*. Mosty, nr 5, 2017.
- [7] Wiater A., Siwowski T.: *Płyty pomostowe z betonu lekkiego zbrojone prętami kompozytowymi GFRP*. Drogi i Mosty, 2017 (w druku).
- [8] Zobel H., Karwowski W., Wróbel M.: *Kładka z kompozytu polimerowego zbrojonego włóknem szklanym*. Inżynieria i Budownictwo, nr 2/2003.

Z serwisu GDDKiA

Cała obwodnica Nysy dostępna dla kierowców

6 października 2017 roku pozostała część obwodnicy Nysy w ciągu drogi krajowej nr 41 została dopuszczona do ruchu publicznego. Jest to odcinek o długości 9,1 km od węzła Nysa w rejonie tzw. „Górki Hanuszowskiej” w kierunku Prudnika zakończona rondem w rejonie miejscowości Niwnica.

W ramach tej części inwestycji wykonano 10 obiektów mostowych, 2 ronda i trasę zasadniczą w przeważającej części o przekroju tzw. 2+1. Zrealizowano kompletny system odwodnienia drogi wraz ze zbiornikami retencyjnymi. Wykonano również drogi dojazdowe do przyległych terenów rolniczych, przebudowano drogi kolidujące z obwodnicą, wykonano urządzenia ochrony środowiska, dokonano przebudowy infrastruktury technicznej (wodociągowej, kanalizacyjnej, gazowej, elektroenergetycznej i telekomunikacyjnej). Na rondach i węzłach wykonano oświetlenie drogowe oraz na całej długości odcinka zainstalowano urządzenia bezpieczeństwa ruchu drogowego.

Największym obiektem mostowym na tym odcinku jest most M1 nad rz. Nysą Kłodzką o długości całkowitej 383 m. Most ten wykonano w technologii betonu sprężonego.

Wartość robót budowlanych na całej długości obwodnicy to prawie 307,5 miliona złotych brutto. Inwestycja została dofinansowana ze środków Unii Europejskiej na poziomie 85% kosztów kwalifikowanych.

06-10-2017