

prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski*
 prof. dr hab. inż. Marian Klasztorny**
 prof. dr hab. inż. Krzysztof Wilde*
 dr inż. Mikołaj Miśkiewicz*
 Roman Romanowski***

Kompozytowa kładka pieszo-rowerowa o konstrukcji przekładkowej

Zastosowanie kompozytów polimerowych w mostownictwie jest aktualnym tematem prac wdrożeniowych w wielu ośrodkach naukowo-badawczych na całym świecie. Szacuje się, że już powstało ponad 600 obiektów mostowych, w których zastosowano materiały kompozytowe. Najczęściej wykorzystane są one jednak do produkcji cienkościennych ustrojów nośnych. Kompozyt polimerowy jest trwały i odporny na czynniki atmosferyczne i chemiczne, natomiast konstrukcje z kompozytów przekładkowych charakteryzują się dodatkowo relatywnie dużym tłumieniem materiałowym, które ogranicza niekorzystne efekty dynamiczne.

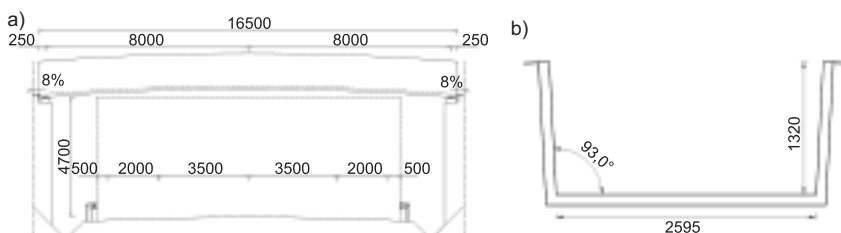
Proponowana kładka pieszo-rowerowa jest konstrukcją powłokową wykorzystującą sandwichowy (przekładkowy) kompozyt składający się z dwóch okładzin zbrojonych włóknem szklanym i rdzenia piankowego. Idea wytworzenia tej konstrukcji przekładkowej w technologii infuzji powstała w 2008 r., a wsparcie finansowe uzyskała w 2012 r. Projekt jest obecnie realizowany przez konsorcjum stworzone przez Politechnikę Gdańską (lider), Wojskową Akademię Techniczną oraz firmę ROMA Sp. z o.o.

Charakterystyka kładki

Kładka dla pieszych jest jednoelementowym ustrojem nośnym (rysunek 1) i ma przekrój poprzeczny w kształcie litery U [1]. Do głównych zalet takiego rozwiązania należą:

- możliwość wytworzenia całej konstrukcji nośnej w technologii infuzji (w jednym cyklu);
- eliminacja elementów wywołujących koncentrację naprężeń i ograniczających trwałość obiektu;
- nadanie odpowiedniej sztywności konstrukcji nośnej w celu zapewnienia

* Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska
 ** Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny
 *** ROMA Sp. z o.o.



Rys. 1. Kładka kompozytowa: widok z boku (a); przekrój poprzeczny (b)

bezpieczeństwa przed utratą stateczności lokalnej lub globalnej.

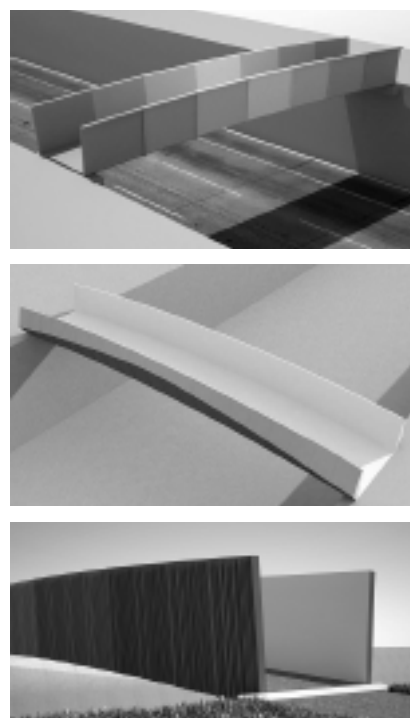
Założono:

- schemat statyczny w postaci belki swobodnie podpartej;
- rozpiętość przęsła kładki – 16 m (rysunek 1);
- szerokość użytkową kładki – 2,6 m;
- okładziny z niepalnionych laminatów winyloestrowo-szklanych;
- rdzeń z bloków niepalnionej pianki PET;
- wyposażenie kładki w system monitoringu technicznego jak w [2].

Przyjęta rozpiętość kładki wynika z szerokości skrajni drogowej dwupasmowej jezdni ruchu przyspieszonego, nad którą ma przeprowadzić ruch pieszy i rowerowy oraz, w niektórych rozwiązaniach dojazdów, pozwolić na przejazd karetki pogotowia ratunkowego. Założono również wykorzystanie projektowanego przęsła nad innymi drogami samochodowymi, kolejowymi czy wodnymi oraz jako przeprawy tymczasowe na obszarach dotkniętych klęskami żywiołowymi.

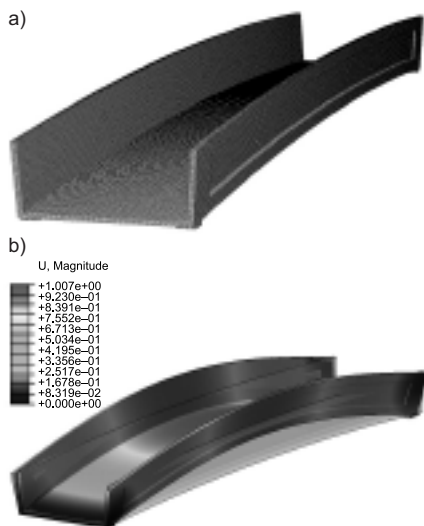
Kładkę zaprojektowano w łuku kołowym o spadku podłużnym poniżej 8%. Geometrię konstrukcji i oprzyrządowanie produkcyjne skonstruowano w taki sposób, by z powodzeniem można było je wykorzystać do wytwarzania również kładek mniejszej rozpiętości.

Z uwagi na relatywnie „ciężką” formę architektoniczną obiektu przeprowadzono studium architektoniczne kładki [3], którego celem było nadanie strukturze wrażenia lekkości. Zastosowano różne techniki wykorzystujące grę kolorem i światłem lub teksturą (rysunek 2).



Rys. 2. Wybrane koncepcje architektoniczne kładki

Materiał przekładkowy zastosowany do budowy kładki składa się z okładzin kompozytowych wzmocnionych tkaninami ortogonalnymi z włókna szklanego i rdzenia z pianki PET. Okładziny ułożone są w kierunkach zbliżonych do trajektorii naprężeń głównych. W związku z tym, że laminat o przyjętej sekwencji warstw jest anizotropowy, nie można było zastosować standardowych procedur projektowania jak w przypadku stali czy betonu. Na potrzeby prac badawczych wykonywano symulacje z użyciem komercyjnych systemów MES (rysunek 3)



Rys. 3. Wizualizacja modelu MES (a) oraz pierwsza postać drgań własnych (b)

o różnym stopniu złożoności (Abaqus, Nastran, MSC Marc, Sofistik, Robot) oraz specjalistycznych programów autorskich. Przeprowadzone obliczenia różnych wariantów kładki wskazują, że proponowane rozwiązanie, pomimo niewielkiej masy (~3,5 t), będzie zapewniało wysoki komfort użytkownika. Pierwsza częstotliwość drgań własnych przęsła wyniosła ~6 Hz i wynikała z dużej sztywności przestrzennej obiektu.

Technologia produkcji i badania

Przęsło kładki dla pieszych zostanie wykonane na standardowej dla infuzji linii produkcyjnej, co pozwoli na znaczną redukcję kosztów produkcji. Produkt powstanie w formie, w której pod membraną foliową ułożone są tkaniny szklane i bloki pianki PET (fotografia 1). Po między formą i membraną wytwarzane jest odpowiednie podciśnienie, wymuszające przepływ żywicy. Przeszą-

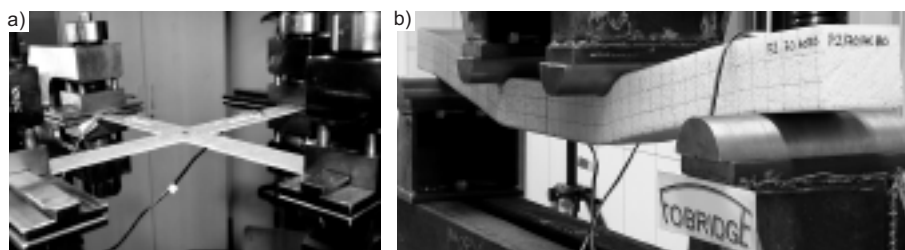


Fot. 1. Stanowisko testowe przepływów

czone zbrojenie szklane w wyniku procesu żelowania zmienia się w twardą skorupę.

Badania doświadczalne wykonywane w ramach projektu obejmują:

- badania identyfikacyjne właściwości mechanicznych zastosowanych materiałów (fotografia 2a);
- badania w skali półtechnicznej – próbki gotowego produktu (fotografia 2b);
- badania w skali technicznej na segmencie walidacyjnym;
- badania odbiorcze na obiekcie badawczym;
- monitoring techniczny przęsła kładki.



Fot. 2. Próbkę okładzin w teście dwuosiowym (a) oraz zginanie czteropunktowe belki przekładkowej (b)

Badania materiałowe laminatów i pianki wykonano w celu identyfikacji parametrów potrzebnych do analitycznego opisu materiału. Przeprowadzono je przed i po przyspieszonym starzeniu, tj. odwzorowaniu wpływu czynników atmosferycznych w okresie 5 lat. W ramach drugiej grupy badań testom poddano segmenty przekładkowe w formie belek i płyt. Trzecią grupę stanowią testy statyczne i dynamiczne aktualnie przygotowywanego segmentu walidacyjnego długości 4 m. Docełowo planowane jest wytworzenie obiektu badawczego w skali naturalnej (przęsło rozpiętości 16 m) i poddanie go na terenie Politechniki Gdańskiej badaniom statycznym i dynamicznym w pełnym zakresie odbiorczym oraz monitoringowi technicznemu, który pozwoli na obserwację zmiany parametrów konstrukcji podczas jej użytkowania.

Wnioski

Literatura światowa wskazuje, że przyjęte rozwiązania konstrukcyjno-technologiczne są innowacyjne. Szczegóły technologiczne wytwarzania przęsła kładki są objęte ochroną własności przemysłowej firmy ROMA, a wybrane elementy kon-

strukcyjne są przedmiotem zgłoszeń patentowych.

Pozytywny wynik badań obiektu badawczego w skali rzeczywistej pozwoli na podjęcie działań związanych z dopuszczeniem proponowanego rozwiązania do seryjnej produkcji. Zastosowana technologia wykonania przęsła, charakteryzująca się prostotą wytwarzania, gwarantuje jednorodność, powtarzalność i, w masowej produkcji, konkurencyjną cenę. Podstawowym założeniem proponowanej kładki jest brak elementów wykonanych z innych materiałów niż kompozyty. Przęsło kładki podczas całego okresu użytkowania nie bę-

dzie wymagało napraw wynikających z naturalnego oddziaływania środowiska. Warto podkreślić, że pianka zastosowana do budowy kładki pochodzi z recyklingu zużytych opakowań PET. Proponowany produkt jako rozwiązanie proekologiczne wpisuje się w koncepcję zrównoważonego rozwoju.

Praca jest współfinansowana przez NCBiR jako projekt nr PBS1/B2/6/2013 pt. „Opracowanie kompozytowych przęseł mostów dla pieszych do zastosowania nad drogami GP”, realizowany w latach 2013-2015. Autorzy wyrażają podziękowanie za wsparcie finansowe.

Fotografie: dr inż. Ł. Pyrzowski

Literatura

- [1] Chróścielewski J., Kłasztorny M., Miśkiewicz M., Romanowski R., Wilde K.: Innovative design of GFRP sandwich footbridge, FOOTBRIDGE 2014, Past, Present & Future, Londyn, 16 – 18.06.2014.
- [2] Wilde K., Miśkiewicz M., Chróścielewski J.: SHM System of the Roof Structure of Sports Arena „Olivia” Structural Health Monitoring 2013. – Tom II/ ed. Fu-Kuo Chang, Alfredo Guemes Lancaster, Pennsylvania 17602 USA: DEStech Publications, Inc., 2013, s. 1745 – 1752.
- [3] Rochman-Drochomirecka K., Białkowski M., Drochomirecki J.: Koncepcje architektoniczne mostu dla pieszych w ramach projektu FOOTBRIDGE, Raport badawczy, Projekt PBS1/B2/6/2013, Gdańsk, 2013.