

prof. dr hab. inż. Jacek Chróścielewski¹⁾
 dr inż. Mikołaj Miśkiewicz^{1)*}
 dr inż. Łukasz Pyrzowski¹⁾
 dr hab. inż. Magdalena Rucka¹⁾
 mgr inż. Tomasz Ferenc¹⁾

Badania doświadczalne segmentu walidacyjnego kompozytowej kładki pieszo-rowerowej

Experimental tests on validation element of composite foot-and-cycle bridge

DOI: 10.15199/33.2015.04.20

Streszczenie. W artykule przedstawiono zakres badań zrealizowanych na segmencie walidacyjnym o długości ~3 m będącym wycinkiem docelowej kompozytowej, powłokowej kładki pieszo-rowerowej. Wykonane testy statyczne i dynamiczne pozwoliły na ocenę pracy konstrukcji i potwierdziły przyjęte na etapie projektowania założenia teoretyczne.

Słowa kluczowe: kładka dla pieszych, kompozyt, badania walidacyjne.

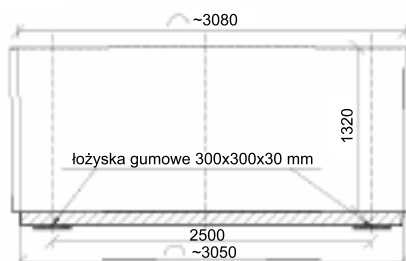
Abstract. Paper presents the scope of tests carried out on the validation segment around 3 m long that is a piece of target shell composite foot-and-cycle bridge. Static and dynamic tests allowed to evaluate structure behavior and confirmed design assumptions.

Keywords: footbridge, composite GFRP, validation tests.

O mawiane rozwiązanie kładki pieszo-rowerowej w całości wykonanej z materiałów kompozytowych [1] jest zgodne z aktualnym światowym trendem poszukiwania materiałów budowlanych pozwalających projektować konstrukcje lekkie, trwałe oraz wyróżniające się architekturą. Przyjęte założenia i rozwiązania konstrukcyjne pozwalają na zaprojektowanie konkurencyjnej cenowo kładki o rozpiętości do 16 m, możliwej do wykorzystania nad dwupasmowymi jezdniami ruchu przyspieszonego. Projekt takiej kładki pod akronimem FOBRIDGE jest realizowany przez konsorcjum utworzone przez Politechnikę Gdańską (lider), Wojskową Akademię Techniczną oraz firmę ROMA Sp. z o.o. [1].

W przypadku obiektów innowacyjnych proces projektowania wymaga przeprowadzenia badań doświadczalnych. W pierwszym kroku wykonuje się badania identyfikacyjne parametrów materiałowych, a w drugim badania walidacyjne weryfikujące poprawność założonych hipotez oraz modeli obliczeniowych. Jednym z etapów realizowanego grantu FOBRIDGE było wytworzenie w docelowej technologii segmentu długości 3 m, będącego pełno-

wymiarowym wycinkiem przęsła kładki, a następnie przeprowadzenie na nim serii badań walidacyjnych. Segment został wytworzony w warunkach ściśle odpowiadających przemysłowej produkcji kładki w technologii infuzji. Długość całkowita segmentu wynosi ~3 m, założona rozpiętość teoretyczna 2,50 m (rysunek 1), natomiast szerokość użytkowa jest identyczna jak w docelowym przęsle i wynosi 2,59 m. Do jego produkcji wykorzystano formę docelową, która pozwala na wykonywanie przęseł długości do 16 m. Konstrukcja nośna segmentu, tak jak docelowego przęsła, składa się z dwóch okładek laminatowych wzmocnionych tkaninami ortogonalnymi z włókna szklanego i rdzenia z pianki PET. Strefy podporowe dodatkowo wzmocniono. Do posadowienia wykorzystano łożyska gumowe o wymiarach 300 × 300 × 30 mm. Przygotowany do badań segment walidacyjny przedstawiono na fotografii 1.



Rys. 1. Segment walidacyjny, przekrój podłużny

Fig. 1. Validation segment, longitudinal section



Fot. 1. Segment walidacyjny – widok przekroju poprzecznego

Photo 1. Validation segment – cross section view

Badania quasi-statyczne

Program badań quasi-statycznych zakładał realizację schematów obciążeniowych, które można podzielić na cztery kategorie:

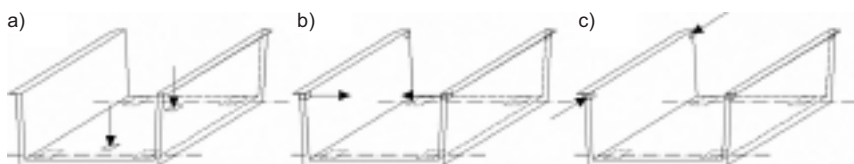
- A – obciążenia pionowe pomostu i poręczy (rysunek 2a);
- B – zginanie poręczy do wewnątrz (rysunek 2b);
- C – ściskanie poręczy (rysunek 2c);
- D – kombinacje wybranych pojedynczych układów z grup A oraz C.

Elementem obciążającym we wszystkich schematach kategorii A był siłownik hydrauliczny o nośności 400 kN, a w kategoriach B oraz C autorski system mocowań oraz cięgien zaprojektowany specjalnie do wykonania badań segmentu (fotografia 2).

Podstawowymi założeniami przy projektowaniu poszczególnych układów obciążeń, tzn. ustalaniu lokali-

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

* Autor do korespondencji:
 e-mail: mikolaj.miskiewicz@wilis.pg.gda.pl



Rys. 2. Przykładowe schematy dla poszczególnych kategorii obciążeń, A (a), B (b) oraz C (c)
 Fig. 2. The examples of load schemes A (a), B (b), C (c)



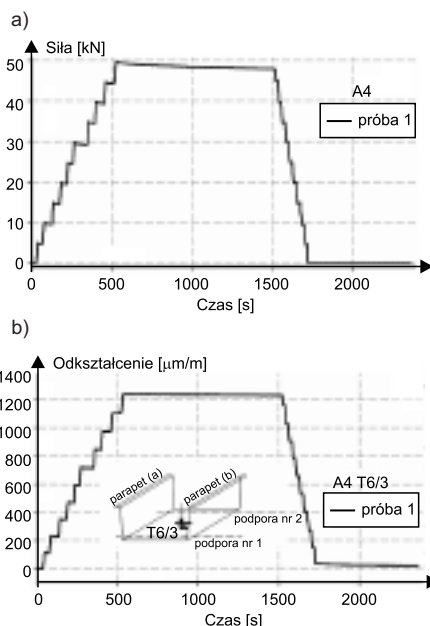
Fot. 2. Przykładowy schemat obciążenia, wariant równoczesnej kombinacji obciążenia A i C
 Photo. 2. The example loads, a variant of simultaneous load combination A and C

zacji i wartości siły były: próba wywołania wyężenia segmentu zbliżonego do pracy przęśła pełnej długości pod obciążeniem użytkowym oraz ograniczenie się do zakresu liniowo-sprężystego, wykluczającego uszkodzenia konstrukcji w trakcie badań. Aby możliwe było spełnienie wymienionych założeń, wcześniej przeprowadzono symulacje wszystkich schematów obciążeń w dwóch niezależnych systemach MES. W celu doboru zakresu wartości sił obciążających, kontrolowano stan konstrukcji za pomocą odwrotnego wskaźnika wyężenia wynikającego z kryterium inicjacji zniszczenia Tsai-Wu [2].

Pracę konstrukcji w trakcie badań monitorowano za pomocą: 60 punktów pomiaru odkształceń; 18 punktów pomiaru przemieszczeń; 4 punktów pomiaru emisji akustycznej. Wszystkie pomiary wskazują na liniową i sprężystą pracę konstrukcji (rysunek 3). Podczas badań nie doszło do przeciążenia, a w efekcie uszkodzenia segmentu.

Badania dynamiczne

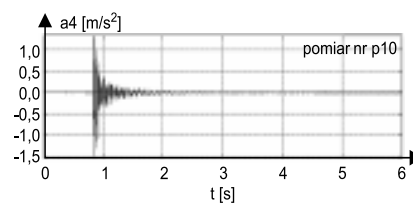
Mosty dla pieszych to w znacznej większości konstrukcje lekkie o dużej wrażliwości dynamicznej. Przeprowadzone obliczenia docelowej kładki (objektu badawczego) wskazały, że proponowane rozwiązanie, pomimo niewielkiej masy (~3,5 t), zapewni du-



Rys. 3. Przykładowe rezultaty badań quasi-statycznych: siła (a); odkształcenie (b) w czasie

Fig. 3. The example of quasi-static test results: force (a), strain (b)

ży komfort użytkowania. Aby potwierdzić wyniki poprzedzającej analizy MES w programie badań segmentu walidacyjnego ujęto badania dynamiczne, w ramach których wyznaczono parametry modalne: częstotliwości drgań własnych, postaci drgań własnych oraz parametry tłumienia. W badaniach wykorzystano system LMS SCADAS oraz WE/3001a. Wymuszenia (rysunek 4) realizowano za pomocą młotka modalnego oraz obciążeniem eksploatacyjnym w postaci synchronicznych podskoków grupy ludzi.



Rys. 4. Impulsowe wymuszenie drgań młotkiem modalnym, przykładowy wynik

Fig. 4. Impulse load by modal hammer, example result

Drgania rejestrowano za pomocą akcelerometrów przymocowanych do konstrukcji segmentu (30 punktów pomiarowych przyspieszeń) oraz akcelerometru wbudowanego wewnątrz jego struktury podczas produkcji segmentu. Wykonano również badania pod obciążeniem cyklicznym.

Podsumowanie

Badania walidacyjne potwierdziły założenia przyjęte na etapie projektowania segmentu zarówno od strony konstrukcyjnej, jak i analitycznej. Użytko- skano dobrą zgodność wyników z bada- ñ in situ oraz odpowiednich symulacji komputerowych. Na tej podsta- wie otrzymane z eksperymentów wy- niki pozwalają ocenić, że w warun- kach eksploatacji, przy normowym poziomie obciążeń, docelowa kon- strukcja [1] będzie pracowała w za- kresie liniowo-sprężystym, spełniając założone warunki stanu wyężenia [2] oraz kryteria komfortu użytkowania, np. [3].

W maju 2015 r. na terenie kampusu Politechniki Gdańskiej zostanie zmon- towany pełnowymiarowy obiekt bada- wczy o rozpiętości teoretycznej 14 m. Będzie on poddany próbnemu obciążeniu oraz półrocznemu mo- nitoringowi technicznemu.

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

Fotografie: dr inż. M. Miśkiewicz

Literatura

[1] Chróścielewski J., Klasztorny M., Wilde K., Miśkiewicz M., Romanowski R.: Kompozytowa kładka pieszo-rowerowa o konstrukcji przekładkowej, Materiały Budowlane 7/2014 (nr 503), s. 1 – 2.
 [2] Chróścielewski J., Klasztorny M., Nycz D., Sobczyk B.: Load capacity and serviceability conditions for footbridges made of fibre-reinforced polymer laminates. Warunki nośności i użyteczności w odniesieniu do kładek z laminatów polimerowych. Roads and Bridges – Drogi i Mosty 13 (2014) 189 – 202.
 [3] SÉTRA/AFGC, Footbridges. Assessment of vibrational behaviour of footbridges under pedestrian loading, 2006.

Otrzymano 06.03.2015 r.