dr inż. Józef Rabiega [1)*]
dr inż. Grzegorz Lesiuk [2)]
mgr inż. Paweł Wątroba [3)]

Badania wytrzymałościowe elementów konstrukcyjnych z materiałów kompozytowych stosowanych na pomosty mostowe

Strength examination of the structural FRP-composite components used in bridge decks

DOI: 10.15199/33.2015.10.23

(Oryginalny artykuł naukowy)

Streszczenie. W artykule przedstawiono przykład wykorzystania elementów kompozytowych jako nawierzchni pomostu do obsługi taśmociągu w wiszącym moście technologicznym nad rzeką Odrą. Bezpośrednią przyczyną wymiany nawierzchni był awaryjny stan pierwotnej konstrukcji z blach ryflowanych pokrytych warstwą asfaltu lanego. Ze względu na zaawansowane procesy degradacyjne elementów kratowych przęseł mostu wiszącego konieczny był ich remont, zaś w strefie nawierzchni pomostu jego wymiana na elementy Fiberline typu kratka na chodnikach, a pod taśmociągiem typu Plank. Badaniom wytrzymałościowym poddano materiały typu kratka oraz panele typu Plank. Porównano właściwości mechaniczne obydwóch grup materiałowych i określono podstawowe parametry wytrzymałościowe. Badania potwierdziły zasadność stosowania ich jako elementów konstrukcyjnych w inżynierii mostowej.
Słowa kluczowe: materiały kompozytowe, wytrzymałość, most, pomost mostowy.

Abstract. This paper is devoted to the practical use of composite elements as bridge structural elements in the suspension bridge over the Oder river. The main cause of resurfacing the bridge platform was an obsolete condition of the corrugated steel sheet. The advanced degradation processes in trusses elements have been identified. The completion of maintenance activities are paving the complete replacement of the bridge on the type of grid elements Fiberline on the sidewalks, and the conveyor belt Plank type. The strength tests were performed using two exemplary types of materials structures; the structure of a "grid" and the panels "Plank" one. The mechanical properties of both material structureshave been comparedin the paper. The basic strength parameters havebeen also obtained. The strength test results have confirmed the legitimacy of using a such type of structures in bridge engineering.
Keywords: composite materials, strength, bridge, bridge deck.

Długotrwała eksploatacja stalowych konstrukcji mostowych powoduje istotne, z punktu widzenia użytkowego, zmiany właściwości mechanicznych. Rewitalizacja zabytkowych obiektów wymaga często wymiany całych elementów konstrukcyjnych, zwłaszcza w przypadku pomostów mostowych. Zgodnie z badaniami przeprowadzonymi w [1], degradacja właściwości mechanicznych zachodząca w pomostach stalowych konstrukcji zespolonych to jedna z najczęstszych przyczyn awarii tego typu obiektów. Istotnym czynnikiem, z punktu widzenia przepustowości oraz ekonomii, jest czas i skuteczność szybkiej wymiany tego typu elementów konstrukcyjnych na nowe. Obecnie wykorzystanie nowych materiałów kompozytowych (typu FRP – z ang. fieber reinforced polymer) oraz technologii ich produkcji umożliwia montowanie gotowych prefabrykatów [1]. W wielu pracach autorzy wskazują, że są też doskonałym materiałem w przypadku doraźnych napraw konstrukcji mostowych [1, 2].

Obiektem naszych badań był most technologiczny wybudowany w latach 1974 – 1976, umożliwiający przeprowadzenie przez rzekę Odrę ciągu transportowego przenoszącego surowce do produkcji cementu z kopalni do cementowni oraz służbowego ciągu pieszych (fotografia 1). Przeprawę mostową stanowi pięć przęseł: cztery przęsła zewnętrzne swobodnie podparte i jedno środkowe – wiszące. Rozpiętość poszczególnych przęseł, mierzona w osiach podpór, wynosi odpowiednio: 2 x 30,0 m + 165,0 m + 2 x 30,0 m. Skrajne i przedskrajne przęsła, zlokalizowane nad terenami zalewowymi na prawym i lewym brzegu rzeki Odry, tworzą przestrzenne kratownice o rozpiętości w osiach podpór – 30,0 m. Skrajne kratownice oparte zostały na ażurowych podporach stalowych, natomiast przedskrajne z jednej strony – na pylonie, natomiast z drugiej – na wspólnej podporze z kratownicą skrajną.

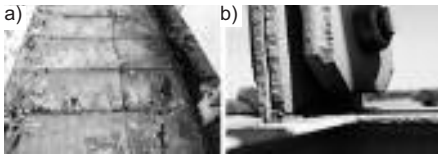
Prace naprawcze obiektu zostały poprzedzone szczegółową diagnostyką, a także gruntowną oceną stanu technicznego wszystkich elementów segmentowych dźwigarów kratowych belki pomostu z taśmociągiem i systemu nośnego lin, a także nawierzchni chodników i pomostu

[Fot. J. Rabiega]

Fot. 1. Ogólny widok wiszącego mostu technologicznego nad rzeką Odrą
Photo 1. General view of the suspension technological bridge over the river Odra

[1)] Politechnika Wrocławska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego
[2)] Politechnika Wrocławska, Wydział Mechaniczny
[3)] Inżbud, Przedsiębiorstwo Inżynieryjno-Budowlane INŻBUD spółka z o.o.
[*)] Autor do korespondencji: e-mail: jozef.rabiega@pwr.edu.pl

pod taśmociągiem. Ocena stanu technicznego pierwotnej konstrukcji nawierzchni jako awaryjnego (fotografia 2) uzasadniała konieczność jej wymiany na nową.



[Fot. J. Rabiega]

Fot. 2. Charakterystyczne uszkodzenia blach pomostu (a) i kratownic przestrzennych (b)
Photo 2. The characteristic damage of metal deck (a) and prefabricated space (b)

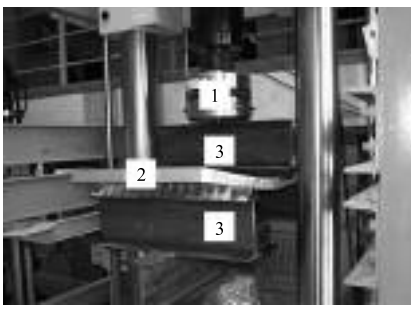
Badania oraz ich wyniki

Metodyka i cel badań. Badania wytrzymałościowe materiałów kompozytowych przeprowadzono z wykorzystaniem układu pomiarowego składającego się z:

- maszyny wytrzymałościowej firmy MTS (zakres siłomierza 0 – 250 kN);
- czujnika siły i przemieszczenia;
- konsoli sterującej pracą maszyny MTS FlexTest;
- komputera PC wraz z oprogramowaniem MultiPurpose TestWare.

Układ stanowiska pomiarowego przedstawiono na fotografii 3.

Próbki poddano trójpunkowemu zginaniu na specjalnie przygotowanym stanowisku. Rozstaw podpór wynosił 600 mm. Obciążenie o prędkości 10 mm/min narastające monotonicznie przykładano w środku rozpiętości w równej odległości od osi podparć (celem zapewnienia liniowości i jednostajności przykładanego obciążenia). Podczas badań rejestrowano sygnały przemieszczenia tłoka i siły. Sygnałem sterującym było przemieszczenie. Celem badań było określenie właściwości mechanicznych materiałów typu kratka i paneli typu Plank, wykonanych z kompozytów GRP. Do badań wykorzystano próbki przygotowane z dostarczonych prefabrykatów:



[Fot. G. Lesiuk]

Fot. 3. Badanie próbki typu kratka: 1 – siłomierz; 2 – próbka K1; 3 – układ podpór
Photo 3. The specimen grid-type during the study: 1 – the force transducer; 2 – specimen K1; 3 – support system

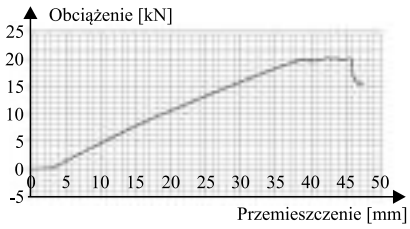
- kratki kompozytowe: wymiar pojedynczej próbki: 500 x 1000 mm; docięte np. za pomocą wyrzynarki do tworzyw sztucznych (3 próbki);
- panele kompozytowe typu Plank: wymiar pojedynczej próbki: ok. 200 x 840 mm; docięte np. za pomocą wyrzynarki do tworzyw sztucznych (3 próbki).

Wyniki badań kratek kompozytowych. Oględziny belek po badaniu wykazały, że zostały one zniszczone wskutek utraty ciągłości materiału w okolicy środka rozpiętości belki. Uszkodzenia miały postać poziomych pęknięć płaskowników nośnych (rozwarstwienie materiału) na wysokości ok. 7 mm od dolnej krawędzi elementu, pęknięcia pionowego w środku rozpiętości, sięgającego zazwyczaj do pęknięcia poziomego. Dodatkowo występowały lokalne odłupania materiału na dolnej krawędzi płaskowników. Ponadto na górnej powierzchni kratki, w miejscu przyłożenia obciążenia powstały wgłębienia na 3 – 5 mm, wywołane naprężeniami dociskowymi. Przykładowy przebieg rejestrowanych sygnałów w przypadku próbki K1 pokazano na rysunku 1, a zmiany modułu sprężystości podłużnej E w funkcji przemieszczenia na rysunku 2.

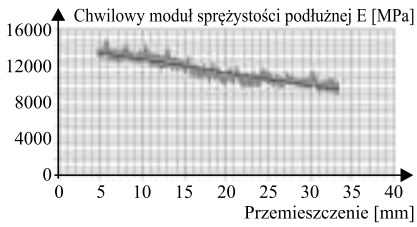
Chwilowe moduły sprężystości każdej próbki w czasie t oblicza się ze wzoru:

$$E_t = (\Delta F/\Delta u)\cdot[L^3/(48\cdot I)] \qquad (1)$$

gdzie:
F – rejestrowana siła [N];
u – przemieszczenie tłoka [mm];
I – moment bezwładności przekroju [mm^4];
L – rozstaw podpór [mm].



Rys. 1. Przebieg siły obciążającej próbkę K1 w funkcji przemieszczenia tłoka
Fig. 1. A graph of the loading force (sample K1) as a function of piston displacement



Rys. 2. Próbka K1 – przykładowy przebieg zmian modułu sprężystości w funkcji ugięcia
Fig. 2. The specimen K1 – the changes of elastic modulus as a function of the deflection

Jako naprężenia w momencie zniszczenia przyjmuje się maksymalne naprężenie w skrajnych włóknach elementu podczas próby zginania. Naprężenie σ_{max} oblicza się z wzoru:

$$\sigma_{max} = (F\cdot L)/(4\cdot W_y) \qquad (2)$$

gdzie: W_y – wskaźnik wytrzymałości na zginanie [mm^3].

Wyniki badań przedstawiono w tabeli 1.

Wyniki badań paneli typu Plank. Wyniki badań wytrzymałościowych paneli typu Plank zamieszczono w tabeli 2, przebieg rejestrowanych sygnałów próbki P1 na rysunku 3, a zmiany modułu sprężystości w funkcji ugięcia na rysunku 4.

Wnioski

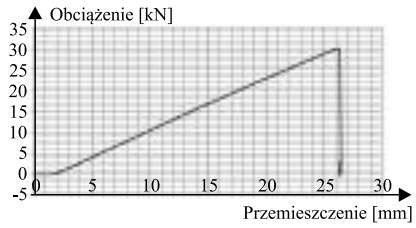
Badania wytrzymałościowe kratek i paneli typu Plank z materiałów kompozytowych przeprowadzono zgodnie z wymaganiami dokumentacji mostowej. Otrzymane wyniki odpowiadają parametrom podanym przez producenta.

Tabela 1. Wyniki badań wytrzymałościowych elementów kompozytowych typu kratka
Table 1. The results of strength tests of the composite "grid" type specimen

Nr próbki	E [MPa]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	Maksymalne ugięcie płyty [mm]
K 1	14693	211,2	42,9
K 2	14819	203	42,7
K 3	14419	208,6	61,1
Średnia	14644	207,6	48,9
Współczynnik zmienności CV [%]	1	1,4	21,6

Tabela 2. Wyniki badań wytrzymałościowych elementów kompozytowych typu Plank
Table 2. The results of strength tests of the composite „Plank"-panel type specimen

Nr próbki	E [MPa]	Wytrzymałość na zginanie [MPa]	Maksymalne ugięcie płyty [mm]
P 1	21973	303,6	25,5
P 2	22492	334,6	27,1
P 3	21603	301,7	25,1
Średnia	22022	313	25,9
Współczynnik zmienności CV [%]	1,4	4,2	4,1



Rys. 3. Przebieg siły obciążającej próbkę P1 w funkcji przemieszczenia tłoka
Fig. 3. A graph of the loading force (sample P1) as a function of piston displacement