

Innowacyjne prefabrykaty łukowe o podwyższonej trwałości przeznaczone dla budownictwa komunikacyjnego

tekst: mgr inż. **BOGUMIŁA STRYSZYK**, Optem, zdjęcia: **OPTEM**

Od lipca 2018 r. do listopada 2019 r. w Zakładzie Dróg i Mostów na Wydziale Budownictwa, Inżynierii Środowiska i Architektury Politechniki Rzeszowskiej, pod przewodnictwem prof. dr. hab. inż. Tomasza Siwowskiego oraz pod bezpośrednim nadzorem dr inż. Ewy Michałak i dr inż. Bartosza Piątka, trwały prace badawcze nad prefabrykatem łukowym optemARCH. W rezultacie otrzymano znacząco ulepszony wyrób budowlany, charakteryzujący się mniejszym ciężarem oraz całkowitą odpornością na korozję. Projekt mógł być realizowany dzięki uzyskanemu przez firmę OPTEM dofinansowaniu z funduszy europejskich.

Zadanie zrealizowano w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój, oś priorytetowa 2: Wsparcie otoczenia i potencjału przedsiębiorstw do prowadzenia działalności B+R+I, działanie 2.3: Proinnowacyjne usługi dla przedsiębiorstw, poddziałanie 2.3.2: Bony na innowacje dla MŚP.

Założenia badawcze

Przedmiotem badań były prefabrykaty łukowe przeznaczone do budowy małych mostów i wiaduktów. Badania obejmowały modele prefabrykatów o wymiarach (dł. × szer. × wys.) 10,0 × 1,0 × 2,4 m, grubość elementów wynosiła 0,28 m. Geometrię modeli badawczych przedstawiono na rycinie 1.

Do badań wykorzystano trzy modele prefabrykatów łukowych. Pierwszy model był wykonany z betonu zwykłego z konwencjonalnym zbrojeniem stalowym (model LS1). Dwa kolejne (LG1 i LG2) – z betonu lekkiego ze zbrojeniem kompozytowym z prętów GFRP.

Dzięki badaniom porównawczym prefabrykatów lekkich z prefabrykatem żelbetowym możliwe było ocenienie zachowania się pod tym samym obciążeniem obu typów łuków i porównanie kosztów wytworzenia elementów. Opracowano także wskazówki mające na celu ulepszenie zaproponowanego innowacyjnego rozwiązania.

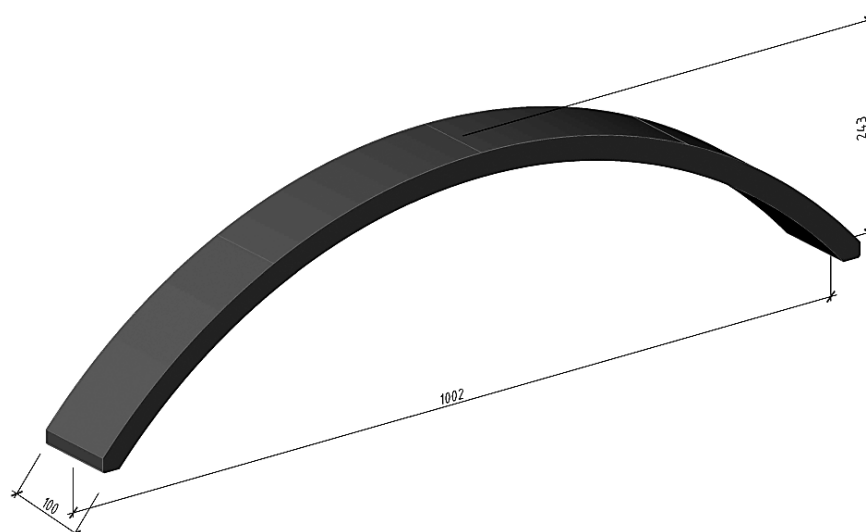
W ramach projektu elementy prefabrykowane w skali 1:1 zostały przebadane w warunkach laboratoryjnych.

W pierwszej kolejności przeprowadzono badania statyczne i zmęczeniowe modelu prefabrykatu ze zbrojeniem stalowym (LS1). Następnie model LG1 (ze zbrojeniem kompozytowym) poddano badaniom statycznym.

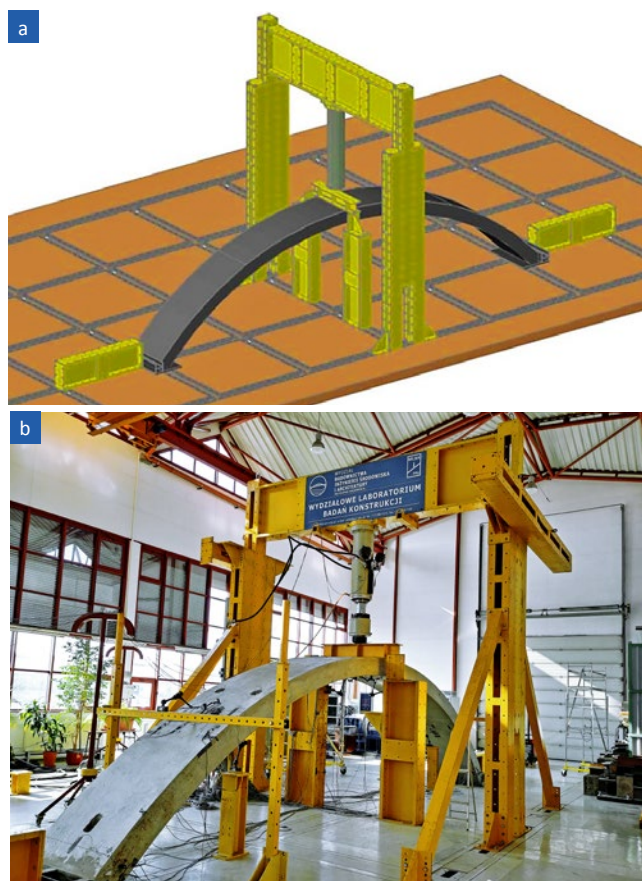
W niniejszym artykule zaprezentowano przebieg, wyniki oraz wnioski z badań prefabrykatu żelbetowego (model LS1).

Założenia projektowe

Zbrojenie modelu LS1 stanowiły pręty stalowe ze stali BSt500-S. Pręty dolne to $\varnothing 16$ mm co 10 cm, a górne – $\varnothing 12$ mm co 10 cm. Zbrojenie rozdzielcze zostało wykonane z prętów $\varnothing 10$ mm w rozstawie 196 mm.



Ryc. 1. Geometria modeli badawczych



Ryc. 2. Stanowisko badawcze: a) wizualizacja, b) widok

Tak zaprojektowany prefabrykat w warunkach użytkowych przenosi obciążenie klasy A przy naziemiu o wysokości 1 m zgodnie z normą PN-98/S-10030, przy zapasach nośności wynoszących 80% według PN-91/S-10042.

W warunkach laboratoryjnych głównym elementem stanowiska badawczego była rama wyposażona w siłownik hydrauliczny, generujący maksymalne obciążenie 630 kN. Obciążenie z siłownika było rozkładane na całą szerokość badanego elementu za pośrednictwem belki trawersowej z kształtownika HEA 240. Należało tak dobrać obciążenie, aby naprężenia w stali oraz betonie zostały przekroczone. Wizualizację prefabrykatu na stanowisku badawczym przedstawiono na rycinie 2.

Projekt zakładał uplastycznienie zbrojenia w kluczu przy obciążeniu 315 kN. Na tym poziomie były również przekroczone naprężenia ścinające elementu.

W tabeli 1 przedstawiono maksymalne siły wewnętrzne dla zbrojenia dolnego uzyskane w środku rozpiętości łuku (L/2), a dla zbrojenia górnego w 1/6 jego rozpiętości. Zestawienie

Tab. 1. Zestawienie sił wewnętrznych i parametrów mierzonych w badaniach obliczonych dla obciążenia 315 kN i 630 kN

Obciążenie	315 kN		630 kN	
	L/2	L/6	L/2	L/6
Przekrój				
Moment zginający [kNm]	-193	96	-379	186
Naprężenia w zbrojeniu rozciągającym [MPa]	502	430	996	805
Rozstaw rys [mm]	170	170	170	170
Szerokość rys [mm]	0,25	0,21	0,50	0,42



Ryc. 3. Rysy w kluczu łuku pod obciążeniem ok. 600 kN w modelu LS1

podano dla sił 315 kN oraz maksymalnej generowanej przez siłownik 630 kN.

Przebieg badań

Badania statyczne modelu LS1 prowadzono pomiędzy kolejnymi seriami cykli badań zmęczeniowych. Badania zmęczeniowe z maksymalnym obciążeniem równym 120 kN nie spowodowały żadnych istotnych uszkodzeń prefabrykatu ani znacznego spadku jego sztywności. Najciekawszym elementem badań był fakt, że przy projektowanym sposobie oparcia (ryc. 4a) nie udało się zniszczyć prefabrykatu przy sile 630 kN, a więc dwukrotnie wyższej, niż zakładał to projekt. Wartości odkształceń odczytanych z tensometrów umieszczonych na prętach świadczyły o tym, że naprężenia w stali były przekroczone. Pomierzona rozwartość rys w kluczu wynosiła 0,5 mm (ryc. 3).

W celu zniszczenia elementu trzykrotnie modyfikowano sposób podparcia, powodując przemieszczenie podpór kolejno o 2, 4 i 28 cm przez demontaż poszczególnych elementów stanowiska badawczego (ryc. 4b). Po przemieszczeniu podpór o 28 cm (usunięcie kształtowników HEB) możliwe było zniszczenie elementu, które nastąpiło przy obciążeniu równym 260 kN.

Po oparciu węzłowi łuku o belki oporowe stanowiska badawczego przy sile ok. 130 kN łuk zaczął pracować w nowym układzie podparcia (przy zwiększonej o 28 cm rozpiętości). W tym schemacie możliwy był wzrost obciążenia o kolejne 130 kN i element uległ zniszczeniu przy sile 260 kN.

Zniszczenie modelu LS1 nastąpiło nagle i zostało zapoczątkowane w miejscu przyłożenia obciążenia. Pęknięcie



Ryc. 4. Widok podpory z blachami dystansowymi – etapy 1–18a (a), po wyjęciu blach – etapy 18b, 18c (b) i po wyjęciu kształtowników HEB – etap 18d (c)

ukośne, które pojawiło się w środku rozpiętości, propagowało następnie w stronę węzłowi i przekształciło się w pęknięcie podłużne elementu powyżej dolnej siatki prętów zbrojeniowych.

Wnioski

Po przeprowadzonych badaniach należało odpowiedzieć na pytanie, dlaczego prefabrykat nie uległ zniszczeniu pod wpływem działania siły, skoro przeprowadzone dwie niezależne weryfikacje wskazywały na to, że jej wartość niszcząca będzie wynosić ok. 300 kN. Powodem jest geometria łuku. Sprawdzenia obliczeniowe były wykonywane na poziomym przekroju – nośność na zginanie. W miejscu występowania

największych naprężeń w łuku powstał przegub plastyczny, a następnie redystrybucja obciążeń. Element żelbetowy mógł dalej przenosić obciążenia, co nie oznaczało, że jest nośny z projektowego punktu widzenia. Należy to traktować jako dodatkową rezerwę nośności. W ocenie projektanta, jest to czas na działania zapobiegawcze, w przypadku gdy prefabrykat zostanie znacząco przeciążony. Jednak z projektowego punktu widzenia element uległ zniszczeniu w momencie uplastycznienia zbrojenia w kluczu – przy ok. 300 kN – tak jak było to zakładane. Dalszy przyrost obciążenia przebiegał w „poawaryjnej fazie pracy” łuku.

Więcej na <http://optemarch.pl>



JEDNA FIRMA WIELE ROZWIĄZAŃ

