

# Innowacyjne prefabrykaty łukowe o podwyższonej trwałości przeznaczone dla budownictwa komunikacyjnego

Cz. II. Badania statyczne prefabrykatu z betonu lekkiego z prętami kompozytowymi



Rys. 1. Przykład wykorzystania prefabrykatów łukowych do budowy wiaduktu

**mgr inż. Bogumiła Strzyżyk**  
OPTEM Sp. z o.o.

**dr inż. Ewa Michalak**  
**dr inż. Bartosz Piątek**  
Politechnika Rzeszowska

**W** ramach projektu przeprowadzono badania innowacyjnego prefabrykatu wykonanego z betonu lekkiego ze zbrojeniem kompozytowym oraz dla porównania badania tradycyjnego prefabrykatu z betonu zwykłego ze zbrojeniem stalowym. Przeprowadzono badania statyczne i zmęczeniowe prefabrykatu żelbetowego (z betonu zwykłego) oraz dwóch prefabrykatów wykonanych z betonu lekkiego ze zbrojeniem z prętów GFRP. W pierwszej części artykułu w majowym wydaniu magazynu

Etap	Opis	Wartość obciążenia F [kN]
1.	Obciążenie statyczne do 33% $F_{max}$	40
2.	Obciążenie statyczne do 66% $F_{max}$	80
3.	Obciążenie statyczne do 100% $F_{max}$	120
4.	Obciążenie statyczne do 125% $F_{max}$	150
5.	Obciążenie statyczne do 150% $F_{max}$	180
6.	Obciążenie statyczne do 175% $F_{max}$	210
7.	Obciążenie statyczne do 200% $F_{max}$	240
8.	Obciążenie statyczne do 225% $F_{max}$	270
9.	Obciążenie statyczne do zniszczenia	320

$F_{max}$  – maksymalny poziom obciążenia w badaniach zmęczeniowych modelu LG2

Tab. 1. Program badań statycznych modelu LG1

## I SUMMARY

**Innovative prefabricated arched components of increased durability for transportation engineering**

**Part II. Static tests of a light concrete precast element reinforced with composite bars**

From July 2018 to November 2019, the OPTEM company together with the Department of Roads and Bridges of the Rzeszów University of Technology were implementing a research project „Innovative prefabricated arched components of increased durability for transportation engineering”, the aim of which was to develop a new optemARCH prefabricated arch. As a result, a significantly improved construction product of lower weight and totally corrosion resistant was obtained.

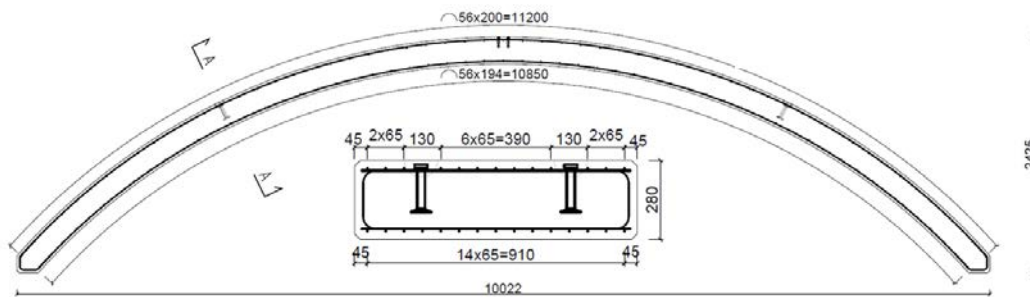
**Keywords:** prefabricated arched components, durability, corrosion resistance

„Mosty” przedstawiono badania prefabrykatu żelbetowego [1]. W drugiej części artykułu zostaną zaprezentowane wyniki badań statycznych prefabrykatu wykonanego z betonu lekkiego ze zbrojeniem z prętów GFRP. W trzeciej części artykułu autorzy planują przedstawić wyniki badań zmęczeniowych innowacyjnego prefabrykatu.

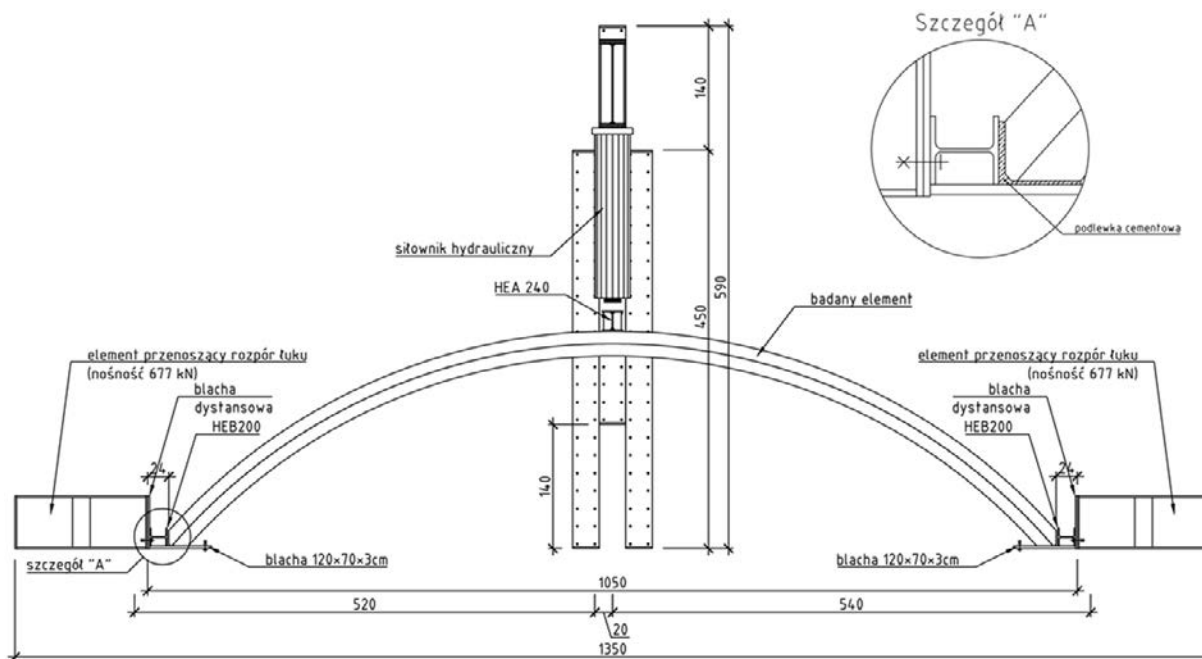
## Program badań

Przedmiotem badań były prefabrykowane elementy łukowe przeznaczone do budowy małych mostów i wiaduktów (rys. 1).

Badania obejmowały modele prefabrykatów w skali 1:1 o rozpiętości 10,0 m, szerokości 1,0 m i wysokości w kluczu 2,4 m. Grubość elementów wynosiła 0,28 m (rys. 2). Do badań wykorzystano trzy modele prefabrykatów łukowych. Pierwszy model (LS1) przebadany w celach porównawczych był wykonany z betonu zwykłego z konwencjonalnym zbrojeniem stalowym. Dwa kolejne modele (LG1 i LG2) zostały wykonane z betonu lekkiego ze zbrojeniem kompozytowym z prętów GFRP. Badania porównawcze prefabrykatów lekkich z prefabrykatem żelbetowym umożliwiły ocenę zachowania się obu typów łuków pod tymi samymi obciążeniami, co pozwoliło na określenie zakresu stosowania nowych prefabrykatów oraz opracowanie wskazówek mających na celu ulepszenie zaproponowanego innowacyjnego rozwiązania. Porównano również koszty wytworzenia obu elementów. W pierwszej kolejności przeprowadzono badania statyczne i zmęczeniowe modelu



Rys. 2. Zbrojenie modelu prefabrykatu z prętami kompozytowymi LG1



Rys. 3. Schemat ustawienia modelu na stanowisku badawczym

prefabrykatu ze zbrojeniem stalowym (LS1). Wyniki badań zaprezentowano w poprzednim artykule [1]. Następnie wykonano modele prefabrykatów z betonu lekkiego ze zbrojeniem kompozytowym LG1 i LG2, odpowiednio do badań statycznych i zmęczeniowych. Zestawienie poszczególnych etapów badań modelu LG1 z wartościami przykładowych obciążeń przedstawiono w tab. 1. Wyniki badań modelu LG2 oraz wnioski końcowe zostaną przedstawione w ostatnim artykule z serii.

### Założenia projektowe

Projekty prefabrykatu żelbetowego oraz prefabrykatu z betonu lekkiego zakładały taki dobór materiałów, aby oba elementy uległy zniszczeniu przy tym samym poziomie obciążenia. Z uwagi na rodzaj dostępnych w Polsce kruszyw lekkich oraz ich parametry wytrzymałościowe Wytwórnia Pekabex BET zadeklarowała możliwość produkcji betonu lekkiego klasy LC45/50. Późniejsze badania przeprowadzone na próbkach rdzeniowych pobranych z modeli wykazały, że rzeczywista wytrzymałość obu betonów była wyższa niż zakładano. Beton lekki w modelu LG1 osiągnął wytrzymałość odpowiadającą klasie LC60/66 ( $f_{cm} = 77,7$  MPa,  $f_{cmin} = 75,2$  MPa). Opracowana recepta umożliwia zatem produkcję betonu lekkiego o wytrzymałości na ściskanie odpowiadającej wytrzymałości betonu prefabrykatów obowiązującej obecnie na kontraktach infrastrukturalnych. Moduł sprężystości betonu lekkiego, określony na podstawie próbek pobranych podczas betonowania modelu LG1 przebadanych po 41 dniach, wyniósł 34,6 GPa. Zbrojenie modeli LG1 i LG2 stanowiły pręty kompozytowe z włókien szklanych (GFRP) o charakterystycznej wytrzymałości na rozciąganie

nie 1190 MPa i module sprężystości 53 GPa. Parametry mechaniczne prętów zbrojeniowych określono na podstawie badań doświadczalnych wykonanych w ramach projektu. Na zbrojenie podłużne dolne i górne przewidziano odpowiednio po 15 i 13 prętów  $\phi$  8 mm. Strzemięna zostały wykonane z prętów  $\phi$  8 mm w rozstawie 200 mm. Zbrojenie modeli prefabrykatów z prętami kompozytowymi przedstawiono na rys. 2.

Przyjęte zbrojenie zapewnia spełnienie stanów granicznych (wykorzystanie nośności granicznej na poziomie 80%) wg normy PN-91/S-10042 [2] przy założeniu obciążeń użytkowych klasy A wg normy PN-85/S-10030 [3] i wysokości naziomu równej 1,0 m. Element prefabrykowany zamodelowano jako powłokę w programie ROBOT Structural Analysis o schemacie statycznym łuku podpartego przegubowo. Na podstawie przeprowadzonych obliczeń w charakterystycznych punktach modelu wyznaczono siły wewnętrzne i naprężenia w konstrukcji przy poziomie obciążenia 315 kN (obciążenie odpowiadające zerwaniu prętów kompozytowych). Obciążenie przyłożono w kluczu łuku i rozłożono na całej szerokości elementu poprzez belkę trawersową (zgodnie ze schematem badań – por. rys. 3). Maksymalne siły wewnętrzne

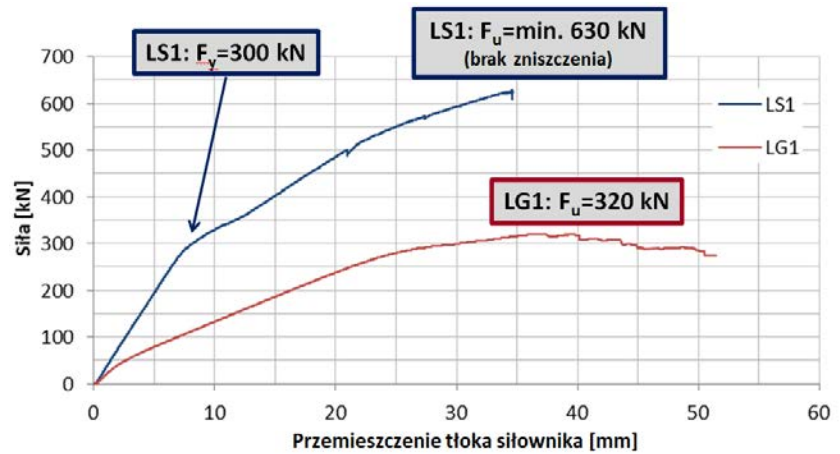
Obciążenie	315 kN	
Przekrój	L/2	L/6
Moment zginający [kNm]	193	95
Nośność na zginanie [kNm]	190	165
Moment rysujący [kNm]	57	48

Tab. 2. Zestawienie sił wewnętrznych obliczonych dla obciążenia 315 kN

Od lipca 2018 r. do listopada 2019 r. firma OPTEM wraz z Zakładem Dróg i Mostów Politechniki Rzeszowskiej realizowały projekt badawczy pt.: „Innowacyjne prefabrykaty łukowe o podwyższonej trwałości przeznaczone dla budownictwa komunikacyjnego”, którego celem było opracowanie nowego prefabrykatu łukowego optem-ARCH. W rezultacie otrzymano znacząco ulepszony wyrób budowlany charakteryzujący się mniejszym ciężarem oraz podwyższoną odpornością na korozję.



Rys. 4. Widok modelu LG1 na stanowisku badawczym



Rys. 5. Wykresy zależności siła – przemieszczenie z ostatnich etapów badań modeli LS1 i LG1

- ▶ dla zbrojenia dolnego uzyskano w środku rozpiętości łuku ( $L/2$ ), a dla zbrojenia górnego – w  $1/6$  jego rozpiętości. Zestawienie wyników uzyskanych w dwóch charakterystycznych przekrojach konstrukcji przedstawiono w tab. 2.

### Schemat badań

Elementy zostały przebadane w schemacie trójpunktowego zginania. Model prefabrykatu został ustawiony na specjalnie zaprojektowanym stanowisku badawczym wyposażonym w rozpory w miejscach węzłowi łuku. Obciążenie było przykładane w kluczu łuku za pomocą siłownika hydraulicznego generującego maksymalne obciążenie o wartości 630 kN. Obciążenie z siłownika było rozkładane na całą szerokość badanego elementu za pośrednictwem belki trawersowej z kształtownika HEA 240. Podczas badań były prowadzone ciągłe pomiary siły w siłowniku oraz przemieszczeń i odkształceń konstrukcji. Schemat ustawienia prefabrykatu na stanowisku badawczym przedstawiono na rys. 3, a widok modelu ustawionego w hali laboratoryjnej – na rys. 4.

### Wyniki badań

Model LG1 był poddany badaniom statycznym. Badania prowadzono zgodnie z procedurą przedstawioną w tab. 1. W trakcie badań model LG1 charakteryzował się w przybliżeniu sprężystym zachowaniem w zakresie obciążenia do 270 kN. Zależności przemieszczeń i odkształceń od obciążenia miały jednak krzywoliniowy przebieg. Zmianę sztywności obserwowano na każdym etapie badania wraz z przekroczeniem poziomu obciążenia z poprzedniego etapu. Po odciążeniu w kolejnych etapach rejestrowano niewielkie wartości odkształceń trwałych, które zwiększały się wraz z poziomem obciążenia.

W tab. 3 przedstawiono porównanie przemieszczeń pionowych wyznaczonych w  $1/2$  i  $1/6$  rozpiętości łuku oraz przemieszczeń poziomych w  $L/6$  dla modeli LS1 i LG1. Podano także stosunki przemieszczeń zmierzonych dla modelu LG1 do wartości dla modelu LS1. Sztywność modelu LG1 jest znacznie niższa niż w przypadku LS1 w całym zakresie badań statycznych. Różnica w ugięciach

między obiema konstrukcjami powiększała się w miarę przykładania coraz większych obciążeń w kolejnych etapach badań. Przyczyną dużo mniejszej sztywności modelu LG1 jest różnica modułów sprężystości prętów GFRP i zbrojenia stalowego oraz obu użytych betonów. Moduł sprężystości prętów GFRP wynosi 50 GPa i jest 4-krotnie niższy niż moduł sprężystości stali. Moduł sprężystości betonu lekkiego zastosowanego w modelu LG1 wynosi na podstawie badań 34,6 GPa i jest o ok. 15% niższy niż moduł sprężystości betonu zwykłego zastosowanego w modelu LS1 (41 GPa wg [4]).

Zmierzone wartości przemieszczeń modelu LG1 porównano z dopuszczalnymi wartościami ugięć od obciążeń ruchomych dla drogowych i kolejowych mostów płytowych z betonu zbrojonego określonych w normie PN-91/S-10042 [2]. Wartość dopuszczalna dla mostów drogowych  $L/600 = 16,2$  mm została osiągnięta przy obciążeniu równym 240 kN (ok. 2-krotnie większa wartość od odpowiadającej obciążeniu charakterystycznemu klasy A wg PN-85/S-10030 [3]). Wartość dopuszczalna dla mostów kolejowych  $L/800 = 12,1$  mm została osiągnięta przy obciążeniu 217 kN.

W tab. 4 przedstawiono porównanie odkształceń górnych i dolnych prętów zbrojeniowych oraz górnej i dolnej krawędzi betonu w środku rozpiętości dla modeli LS1 i LG1. Odkształcenia zmierzone w modelu LG1 były kilkukrotnie wyższe niż w modelu LS1. Odkształcenia dolnych prętów zbrojeniowych w  $L/2$  w modelu LG1 były ok. 9-krotnie większe niż w przypadku LS1 przy analizowanych poziomach obciążenia. Przy wyższych poziomach obciążenia niż 120 kN w prętach górnych modelu LG1 obserwowano rozciąganie związane z zarysowaniem przekroju niemal na całej wysokości, podczas gdy w modelu LS1 w pełnym zakresie analizowanych obciążeń w prętach górnych występowało ściskanie (tab. 4). Odkształcenia betonu również były większe w przypadku modelu LG1. W całym analizowanym zakresie odkształcenia na górnej krawędzi betonu były ponad 2-krotnie większe w modelu LG1. W przypadku odkształceń powierzchni dolnej (zmiierzonych za pomocą czujników indukcyjnych) odkształcenia

Poziom obciążenia	Przemieszczenie pionowe w $L/2$			Przemieszczenie pionowe w $L/6$			Przemieszczenie poziome w $L/6$		
	LS1	LG1	LG1/LS1	LS1	LG1	LG1/LS1	LS1	LG1	LG1/LS1
	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[-]	[mm]	[mm]	[-]
120 kN	1,85	3,92	2,1	-0,09	-0,79	8,6	0,46	1,10	2,4
180 kN	2,69	9,38	3,5	-0,41	-3,95	9,7	0,69	3,62	5,2
240 kN	4,68	17,68	3,8	-0,98	-9,68	9,9	1,39	7,45	5,4
270 kN	5,16	22,42	4,3	-1,29	-12,95	10,0	1,67	8,44	5,0

Tab. 3. Porównanie przemieszczeń modeli LS1 i LG1 przy wybranych poziomach obciążenia



Rys. 6. Postać zniszczenia modelu LG1: a) inicjacja pęknięcia w środku rozpiętości, b-c) widok elementu po zniszczeniu (prawa połowka łuku zaklinowana o belkę trawersową), d) widok elementu po zniszczeniu i zdemontowaniu belki trawersowej

w LG1 były nawet ponad 7-krotnie większe. Maksymalne zarejestrowane odkształcenia prętów zbrojenia dolnego w modelu LG1 wynosiły 9,34‰ przy obciążeniu ok. 260 kN, co stanowi 42% odkształceń granicznych prętów GFRP wynoszących ok. 22‰. Ze względu na uszkodzenie czujników dalszy pomiar był niemożliwy, jednak pręty zbrojenia dolnego nie zostały zerwane w trakcie zniszczenia (zniszczenie nastąpiło poprzez ścinanie w kluczu łuku – por. rys. 6b). Maksymalne zarejestrowane odkształcenia betonu w górnej strefie w L/2 w modelu LG1 przy obciążeniu 320 kN wynosiły 1,77‰ i stanowiły ok. 65% wartości granicznej określonej wg normy PN-EN 1992-1-1 [4] ( $\epsilon_{lcu2} = 2,74‰$ ). W tab. 5 przedstawiono porównanie maksymalnych szerokości rozwarcia rys dla modeli LS1 i LG1 przy wybranych poziomach obciążenia. Pierwsze rysy o rozwarości ok. 0,05 mm w modelu LS1 zaobserwowano przy obciążeniu ok. 120 kN. Pierwsze zarysowanie modelu LG1 zainwentaryzowano w pierwszym etapie obciążenia do 40 kN. Rysy zaobserwowane w przypadku elementu LG1 były na każdym etapie przykładanego obciążenia większe w porównaniu z LS1 (tab. 5). Jest to związane głównie z dużą odkształcalnością wykorzystanego zbrojenia GFRP. Model LS1 pod maksymalnym obciążeniem, przy którym inwentaryzowano rysy, równym 270 kN, uległ zarysowaniu o maksymalnej szerokości rozwarcia 0,2 mm. Jest to wartość, która mieści się w granicach dopuszczalnego zarysowania dla mostów żelbetowych wg normy PN-EN 1992-2 [5] (0,3 mm). W modelu LG1 podobne szerokości rozwarcia zostały osiągnięte przy obciążeniu

120 kN. Jednak w przypadku zbrojenia kompozytowego dopuszczalne są większe wartości maksymalnej szerokości rysy. Na przykład amerykańska norma ACI 440 [6] do projektowania konstrukcji zbrojonych prętami FRP zaleca ograniczenie szerokości rysy do 0,5 mm w przypadku środowiska zewnętrznego oraz 0,7 mm dla środowiska wewnętrznego. Szerokość rozwarcia 0,5 mm została osiągnięta w przypadku modelu LG1 przy obciążeniu 180 kN (ok. 1,5-krotnie większa wartość od odpowiadającej obciążeniu charakterystycznemu klasy A wg PN-85/S-10030 [3]). Zatem przekroczenia stanu granicznego ograniczenia rys (jeśli taki zostanie zdefiniowany) w przypadku elementów z betonu lekkiego zbrojonych prętami kompozytowymi (takich jak LG1) można się spodziewać przy obciążeniach o ok. 30% mniejszych niż w przypadku elementów z betonu zwykłego zbrojonych stalą (LS1). Na rys. 5 przedstawiono porównanie zależności siła – przemieszczenie tłoka siłownika z ostatnich etapów badań modeli LS1 i LG1 prowadzących do zniszczenia. W przypadku modelu LS1 przy obciążeniu ok. 300 kN można zaobserwować zmianę pochylecia krzywej siła – przemieszczenie. Świadczy to o zapoczątkowaniu uplastycznienia prętów zbrojeniowych i kształtowania się przegubu plastycznego w środku rozpiętości oraz związanej z tym redukcji sztywności elementu. Dalszy przyrost obciążenia był możliwy dzięki redystrybucji sił wewnętrznych i jest związany z geometrią elementu łukowego oraz właściwościami stali zbrojeniowej. W przypadku prostoliniowego kształtu elementu dalszy przyrost obciążenia w takim zakresie nie byłby możliwy. W przypadku modelu

Poziom obciążenia	Odkształcenie dolnych prętów zbrojeniowych w L/2			Odkształcenie górnej krawędzi betonu w L/2		
	LS1	LG1	LG1/LS1	LS1	LG1	LG1/LS1
	[‰]	[‰]	[-]	[‰]	[‰]	[-]
120 kN	0,15	1,52	10,0	-0,14	-0,33	2,3
180 kN	0,36	3,79	10,5	-0,23	-0,62	2,7
240 kN	0,70	5,57	8,0	-0,35	-0,79	2,2
270 kN	0,79	6,53	8,3	-0,39	-0,98	2,5

Tab. 4. Porównanie odkształceń prętów zbrojeniowych i betonu w modelach LS1 i LG1 przy wybranych poziomach obciążenia

Etap	Wartość obciążenia F [kN]	Maksymalna szerokość rozwarcia rysy w [mm]	
		LS1	LG1
LS1/LG1	Model	LS1	LG1
1./1.	40	–	0,05-0,1
2./3.	120	0,05-0,1	0,2-0,3
15./5.	180	0,1-0,15	0,4-0,5
16./7.	240	0,15	0,7
17./8.	270	0,2	1,0

Tab. 5. Porównanie maksymalnych rozwarości rys w kolejnych etapach badań elementów LS1 i LG1

#### Piśmiennictwo

1. Strzyszyk B., Michalak E., Piątek B.: *Innowacyjne prefabrykaty łukowe o podwyższonej trwałości przeznaczone dla budownictwa komunikacyjnego. Cz. I. Badania porównawcze prefabrykatu żelbetowego „Mosty”, 2/2020, s. 39-42.*
2. PN-91/S-10042 Obiekty mostowe – Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone – Projektowanie.
3. PN-85/S-10030 Obiekty mostowe – Obciążenia.
4. PN-EN 1992-1-1 Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły budynków.
5. PN-EN 1991-2 Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
6. ACI 440.1R-15 Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars.

LG1 przy obciążeniu ok. 300 kN zaobserwowano zmianę pochylenia krzywej siła – przemieszczenie. W tym przypadku związane jest to jednak z powstaniem pęknięcia w środku rozpiętości i zapoczątkowaniem zniszczenia elementu.

Nośność graniczna elementu LG1 wynosi 320 kN.

Z punktu widzenia nośności statycznej (doraźnej) jest to wartość wystarczająca do przenoszenia obciążeń dla drogowych obiektów mostowych. Szacowane obciążenia charakterystyczne rzeczywistych konstrukcji generują ok. 2,5-3-krotnie mniejsze siły wewnętrzne w konstrukcji. Zniszczenie elementu było związane z przekroczeniem nośności na ścinanie w miejscu przyłożenia obciążenia (środek rozpiętości łuku). Możliwe jest zwiększenie nośności granicznej elementu poprzez podniesienie nośności na ścinanie (zwiększenie stopnia zbrojenia na ścinanie lub zwiększenie klasy betonu).

Zniszczenie elementu LG1 zostało zapoczątkowane pojawieniem się rysy ukośnej w środku rozpiętości łuku biegnącej od miejsca przyłożenia obciążenia (rys. 6a). Rysa ta przekształciła się w pęknięcie ukośne, a następnie podłużne wzdłuż dolnej siatki zbrojenia, po którym nastąpiło odspojenie otuliny betonu na dolnej powierzchni elementu (rys. 6b). Zniszczenie następowało stopniowo i było wywołane ścinaniem wskutek działania obciążenia skupionego przyłożonego w środku rozpiętości łuku. W ostatniej fazie, po zerwaniu wszystkich prętów górnych, łuk uległ całkowitemu pęknięciu i rozdzieleniu na dwie części, z których jedna została zaklinowana o belkę trawersową (rys. 6c). Większość prętów dolnych do tego momentu nie uległa zniszczeniu. Po podwieszeniu elementu i zdemontowaniu belki łuk został opuszczony, w wyniku czego pręty dolne zostały złamane (rys. 6d).

#### Wnioski

W drugim etapie projektu przeprowadzono badania statyczne modelu prefabrykatu łukowego z betonu lekkiego ze zbrojeniem z prętów GFRP (LG1). Wyniki badań porównano z wymaganiami normowymi oraz wynikami badań analogicznego modelu żelbetowego (LS1). Stwierdzono mniejszą sztywność oraz niższą nośność modelu LG1 w porównaniu z LS1. Zmniejszenie sztywności wynika z niższych wartości modułów sprężystości zarówno betonu lekkiego w porównaniu ze zwykłym, jak i zbrojenia kompozytowego w porównaniu ze stalowym. Niższa nośność graniczna modelu LG1 jest spowodowana brakiem rezerwy plastycznej prętów kompozytowych, co uniemożliwia redystrybucję sił wewnętrznych, tak jak

to występuje w elemencie żelbetowym.

Jednakże wyniki badań statycznych potwierdzają wymaganą nośność innowacyjnych prefabrykatów. Uzyskana nośność doraźna modelu LG1 wynosi 320 kN. Wartość tę należy uznać za satysfakcjonującą z punktu widzenia zastosowań prefabrykatów łukowych z betonu lekkiego zbrojonych prętami GFRP do budowy drogowych obiektów inżynierskich. Wykazana w badaniach nośność graniczna jest ok. 2,5-3-krotnie wyższa od wartości szacowanego obciążenia charakterystycznego rzeczywistych konstrukcji (dla klasy A wg PN-85/S-10030 [3]). Wartości przemieszczeń modelu LG1 porównano z dopuszczalnymi wartościami ugięć od obciążeń ruchomych określonych w normie PN-91/S-10042 [2]. Wartość dopuszczalna dla mostów drogowych została osiągnięta przy obciążeniu równym 240 kN (ok. 2-krotnie większa wartość od odpowiadającej obciążeniu charakterystycznemu klasy A wg PN-85/S-10030 [3]). Wartość dopuszczalna dla mostów kolejowych została osiągnięta przy obciążeniu 217 kN.

Szerokość rozwarcia rysy 0,5 mm (wartość zalecana dla środowiska zewnętrznego przez amerykańską normę ACI 440 [6]) została osiągnięta w przypadku modelu LG1 przy obciążeniu 180 kN (ok. 1,5-krotnie większa wartość od odpowiadającej obciążeniu charakterystycznemu klasy A wg PN-85/S-10030 [3]).

Ponadto dzięki zastosowaniu betonu lekkiego i lżejszego niż stalowe zbrojenia kompozytowe można uzyskać obniżenie kosztów transportu i montażu elementów prefabrykowanych. Badany element wykonany z betonu lekkiego ze zbrojeniem kompozytowym jest o 28% lżejszy niż wykonany z betonu zwykłego ze zbrojeniem stalowym. Wprowadzenie zbrojenia kompozytowego sprawia, że elementy prefabrykowane z uwagi na brak zagrożenia korozją zbrojenia stalowego będą charakteryzować się zwiększoną trwałością, a tym samym niższym kosztem w całym cyklu życia konstrukcji. W trakcie użytkowania uniknie się kosztownych napraw związanych z korozją w przypadku zastosowania zbrojenia stalowego. □

#### Informacja o projekcie

Projekt (POIR.02.03.02-22-0006/18) został zrealizowany dzięki uzyskanemu przez firmę OPTEM dofinansowaniu z Funduszy Europejskich. Zadanie było realizowane w ramach Programu Operacyjnego Inteligentny Rozwój. Oś priorytetowa II: Wsparcie otoczenia i potencjału przedsiębiorstw do prowadzenia działalności B+R+I. 2.3 Proinnowacyjne usługi dla przedsiębiorstw. Poddziałanie 2.3.2 Bony na innowacje dla MŚP.