



SŁAWOMIR KARAS

Politechnika Lubelska
s.karas@pollub.pl



BARTOSZ SKULSKI

Atest Sp. J.
bskulski@atest-lab.pl

Most 700-lecia Lublina – próbné obciążenie statyczne

Odbiór techniczny mostów budowanych w Lublinie w końcu XIX w. przez rzekę Czechówkę obejmował ich próbné obciążenia. Dr inż. Maciej Kowal ostatnio przeprowadził kwerendę archiwaliów mostowych w Archiwum Państwowym w Lublinie oraz biblioteczce im. Hieronima Łopacińskiego. Stąd wiadomo, że tzw. *most żelazny* na Czechówce w okolicach obecnej ul. Lubartowskiej był budowany dwa razy, raz za razem. Pierwotna wersja (1903 r.), jako most łukowy, nie przeszła próbnego obciążenia na skutek rozsunienia się i obrotu przyczółków spowodowanych rozporem łuku. Wersja druga (1904 r.) – most belkowy na dźwigarach żelaznych nitowanych – przeszła próbę dynamiczną w formie dwukrotnego przejazdu walca parowego oraz niezależnie próbę statyczną. W dokumentach odnotowano, że weryfikacją użytkową nowej konstrukcji, w szczególności jego pomostu, były także przejazdy carskiej jednostki artyleryjskiej.

Już w XX w. oba mosty Mariana Lutostawskiego w Lublinie przez rzekę Bystrzycę, tj. most na Kalinowszczyźnie z 1908 r. i most w ciągu ulicy Zamojskiej z 1909 r., były poddane próbnym obciążeniom statycznym i dynamicznym, również przez przejazd walca parowego. Wyniki próbnego obciążenia były pozytywne [1].

Próbné obciążenie mostu jest podstawową weryfikacją sztywności konstrukcji. Sprawdzeniu podlegają obiekty mostowe nowe lub po modernizacji, rzadziej zdarza się

wyznaczanie nośności konstrukcji przez sekwencyjnie zwiększane obciążenie. To podczas próbnego obciążenia mogą uwidocznić się defekty wynikające z niedokładności projektowania lub wykonania mostu. W trakcie próbnego obciążenia mostu podwieszono w Bratystawie wystąpiło pęknięcie spoin łączących blachy pomostu dla pieszych ze skrzyniowym ustrojem nośnym. Połączenie, jako zbyt dużą koncentrację naprężeń, zlikwidowano i most od tego wydarzenia w 1972 r. pracuje dobrze. Innym przypadkiem [2] były niedostatecznie nośne połączenia ciernie łączące dodane do istniejących belek kratownice. Naprawa polegała na uzupełnieniu połączeń ciernych zwykłymi połączeniami spawanymi. Most z powodzeniem przeszedł ponowne próbné obciążenie. Mimo że podobne przypadki można mnożyć, to jednak łącznie stanowią margines wszystkich pozytywnie przeprowadzonych badań.

Obciążenie próbné może być statyczne lub dynamiczne, przy czym w obu przypadkach są to procesy, a słowo statyczne stosowane jest, jako skrót nazwy procesu quasi-statycznego. Próbné obciążenie jest definiowane w projekcie obciążenia próbnego, obejmującego modelowanie numeryczne konstrukcji mostu na podstawie danych geometrycznych i materiałowych z projektu mostu, ewentualnie, dodatkowo, weryfikowanych pomiarami in-situ.

W przypadku mostów żelbetowych zakłada się, że zgodnie z [7], próbné obciążenie powinno wywołać skutki od 75% do 100% skutków obciążenia normowego charakterystycznego określonej klasy. Z analizy rezultatów obciążeń powstaje obraz teoretyczny deformacji mostu, stanów wyężenia oraz amplitud drgań i przyspieszeń elementów konstrukcji. Wielkości teoretyczne nie powinny być mniejsze od pomierzonych w próbnym obciążeniu [3].



Fot. 1. Mosty łukowe w Lublinie: a) kładka nad ul. Filaretów, b) most z Łabuń

a)



b)



c)



Fot. 2. Most w ciągu ulicy Muzycznej w Lublinie, maj 2017 r.: a) widok z boku, b) widok w kierunku stadionu, c) poprzecznice ustroju nośnego

Obecnie w Lublinie mamy 3 mosty łukowe. W 1995 r. zbudowano wieloprzęstową stalową kładkę dla pieszych „wspartą” na łukach nad ulicą Filaretów (fot. 1a). W kładce łuki zastosowano jako ornamenty architektoniczne. Wykonane łuki nie mają znaczenia w mechanice mostu. Ta interesująca estetycznie konstrukcja nie została dobrze wyeksponowana, dodatkowo miała przejściowo wadę w postaci nazbyt ażurowego pomostu. Obecnie obiekt wymaga pilnie nowych zabezpieczeń antykorozyjnych.

Drugim mostem łukowym jest zabytkowa konstrukcja mostu z Łabuń [4], złożona na terenach Politechniki Lubelskiej (fot. 1b). Wiek mostu szacuje się na ponad 100 lat. Obiekt został wpisany do rejestru zabytków, a prace projektowe nad jego trwałym usytuowaniem są w toku.

Najbardziej okazałym obiektem jest most zaprojektowany przez M. Żuchowicza i weryfikowany przez T. Grysiaka, [5], usytuowany w ciągu przedłużenia ulicy Muzycznej do stadionu Arena Lublin (fot. 2). W dniu 25 kwietnia br. przeprowadzono próbné obciążania statyczne nowego mostu.

Most 700-lecia Lublina

W marcu br. radni miasta Lublina zdecydowali, że nowy most na nowym odcinku ul. Muzycznej będzie nosił nazwę *700-lecia Lublina*, co się wiąże z przypadającą w tym roku rocznicą nadania Lublinowi praw miejskich.

Most znajduje się w ciągu ulicy Muzycznej w Lublinie w km 0 + 771,87, nad rzeką Bystrzycą w kilometrze rzeki 26 + 950. Most zaprojektowano wg normy obciążeń PN-85/S-10030 [6] na maksymalne obciążenie, tj. klasę obciążeń A, co oznacza, że do ruchu są dopuszczone pojazdy o ciężarze 500 kN.

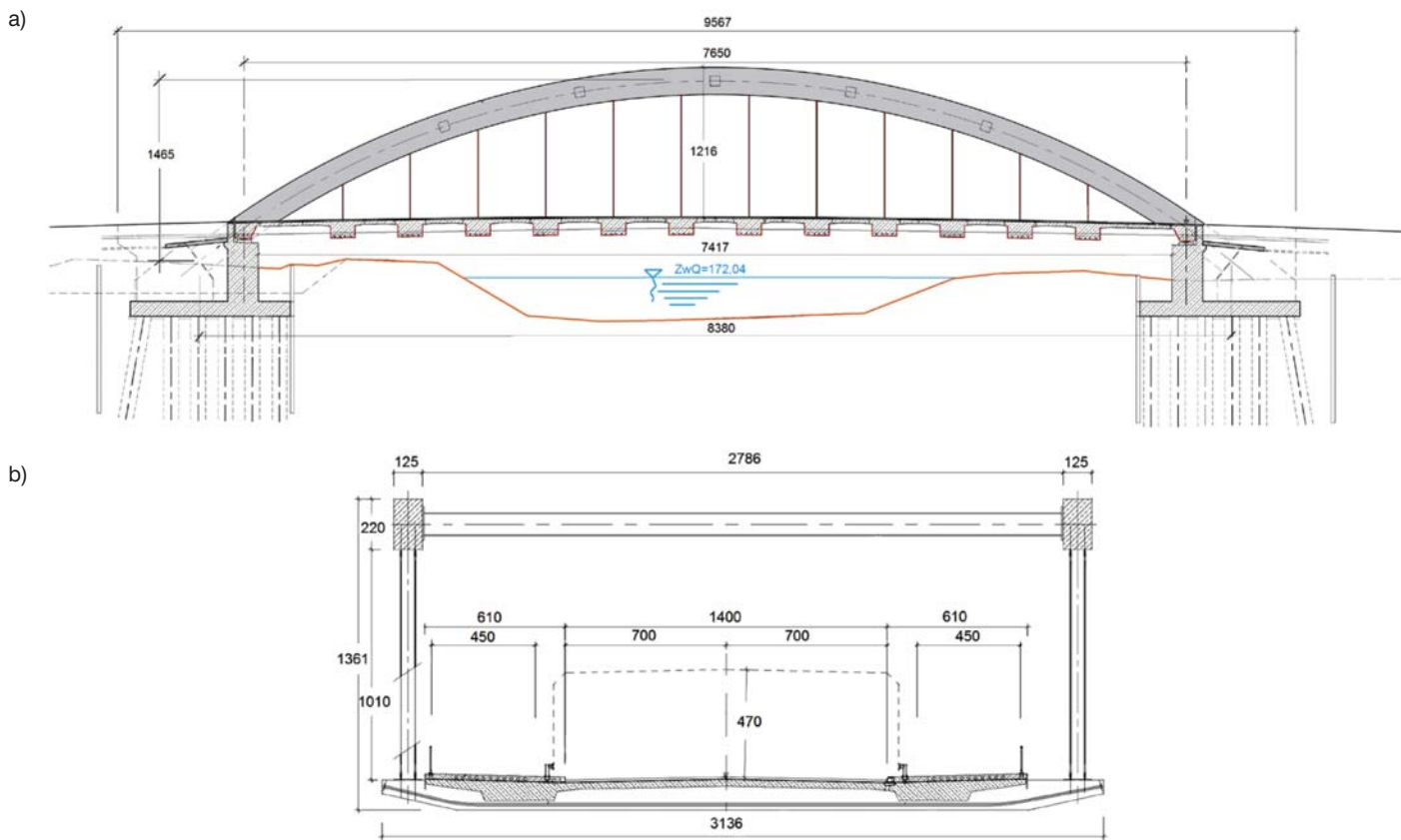
Na warunki hydrologiczne i hydrauliczne rzeki Bystrzycy i w porównaniu do innych mostów drogowych w Lublinie, ten most jest odmienny przez swe duże wymiary (rys.1). Dość wspomnieć, że jego całkowita długość, między skrajnymi krawędziami skrzydeł przyczółków, wynosi $L_c=95,67$ m, długość łuku w planie to $L_l=83,80$ m, szerokość $B=31,36$ m. Teoretyczna długość pomostu $L_{t.pom.}=76,5$ m. Rozstaw dźwigarów łukowych w ich osiach jest równy $B_l=29,11$ m. Aby ująć te wymiary relatywnie przyjmijmy hydrauliczną wielkość odniesienia, czyli szerokość lustra wody uznanej jako miarodajną, która wynosi około $B_{WWS}=40$ m. Most swą długością obejmuje nie tylko szerokość wody miarodajnej, ale także wały przeciwpowodziowe w całości. Poziome światło mostu wynosi $L_0=74,17$ m. Wyniesienie spodu konstrukcji powyżej wody miarodajnej, wyliczona na podstawie rzędnych w osi mostu, to 3,58 m, co z zapasem spełnia kryterium minimalnego wyniesienia równego 1,0 m.

Jednym z założeń projektowych było uniknięcie piętrzenia wody w rzece przez sytuowanie podpór w jej nurcie. Istniejące rozwiązanie spełnia postawiony wymóg z nawiązką.

Poziom wody wysokiej na rzece Bystrzycy w obszarze miasta Lublina wynika z funkcjonowania Zalewu Zemborzycykiego wybudowanego w 1974 r. i odpowiada spływowi $Q_{2\%}$, tj. z prawdopodobieństwem jego wystąpienia równym 2%. Od wybudowania zalewu, na Bystrzycy nie wystąpiły stany wód powodziowych.

Rozpatrując proporcję szerokości mostu do długości łuku B/L_l (rys. 1), otrzymujemy wartość $31,36/83,80 \approx 0,37$, zatem szerokość mostu jest w przybliżeniu jedną trzecią jego długości. To jest jeden z najszerszych mostów łukowych. Przy tych wymiarach i proporcjach budowane są często dwa niezależne ustroje nośne. Przykładem jest autostradowy podwieszony *Most Rędziański*, którego całkowita szerokość wynosi 38,58 m. Trudno jest znaleźć statystykę klasyfikowania mostów ze względu na ich szerokość, ale można zaryzykować, że most lubelski jest na pewno w czołówce takiej rywalizacji. Istniejąca proporcja szerokość/długość sprawia, że sztywność tarczowa pomostu silnie wpływa na stabilność pomostu i całego mostu.

Most jest wyposażony w jezdnię o czterech pasach ruchu samochodowego o szerokości 3,5 m każdy oraz po obu stronach ciągu pieszo-rowerowe każdy o szerokości 4,5 m.



Rys. 1. Most w ciągu ulicy Muzycznej w Lublinie: a) przekrój podłużny w osi mostu, b) przekrój poprzeczny

Segregację ruchu samochodowego od pieszo-rowerowego gwarantuje bariera ochronna przy krawężnikach jezdni. Zewnętrzne balustrady dla pieszych/rowerzystów mają wysokość 1,2 m.

Przyczółki posadowione są na palach o średnicy $\varnothing = 1,2$ m i długości $L_p = 17$ m, przy czym pod każdą z podpór mamy 6 rzędów pali po 14 sztuk w rzędzie. Skrajne rzędy pali są odchylone od pionu, na zewnątrz, pod kątem 10 deg (rys. 1). W podporze pale są związane oczepem tworzącym płytę do oparcia wezłowania łuku i ściany czołowej korpusu przyczółka. Analizując parametry geotechniczne gruntu należy stwierdzić, że grunty na poziomie stóp pali oraz w strefie powyżej są dobre. Stopień plastyczności jest

w przedziale $I_L = 0,05$ do $0,35$, przy dominującej wartości $0,15$. Natomiast stopień zagęszczenia, w obszarach istotnych do określania nośności pobocznic pali, przyjmuje wartości od $I_D = 0,7$ do $0,3$. Zgodnie z projektem osiadania przyczółków podczas budowy obiektu nie przekroczyły wartości wyznaczonych w projekcie.

Po wybudowaniu fundamentów przystąpiono do wznoszenia łuków. Łuki są monolitycznie zamocowane w wezłowiach na płycie oczepu od stron zewnętrznych. Ze względu na założoną technologię żelbetu łuki są masywne i ciężkie, przy czym określenie ciężkie może być odniesione do łuków o podobnych gabarytach, ale np. stalowych. Dodajmy, że najczęściej ciężar łuku stalowego jest w przybli-



Fot. 3. Rusztowania i deskowania łuków: a) widok z boku, b) podparcie przy wezłowaniu

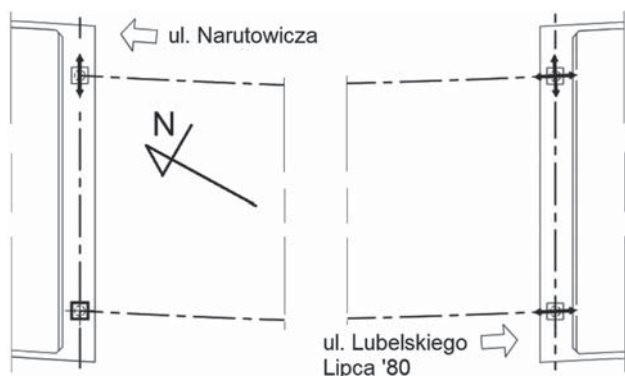
zeniu równy ciężarowi stali zbrojeniowej w łuku betonowym. Przekrój poprzeczny łuku ma wymiary $h/b = 2,2/1,25$ m. Do wykonania łuków zastosowano podparcia tymczasowe, które same w sobie były interesującym rozwiązaniem (fot. 3).

Pomost jest konstrukcją belkowo-płytową (rys. 1b). Płyta pomostu spoczywa na dwunastu poprzecznicach orczykowych, które na swych końcach są podwieszane do łuków. Łączna wysokość poprzecznic wynosi 1,35 m (z uwzględnieniem grubości płyty pomostu równej 30 cm). Rozstaw osiowy poprzecznic wynosi 5,5 m, przy ich szerokościach 2 m. Poprzecznicę są sprężone kablami 19L15.7 o sile naciągu 4,2 MN. Przebieg kabli jest równoległy do dolnej krawędzi poprzecznic. Zaprojektowano także dwie podłużnice, których osie biegną równoległe do łuków w rozstawie osiowym 18 m, o wysokości 85 cm i szerokości w spodzie 3 m. Osie łuków widziane w planie są równoległe, jednakże jezdnia jest w łuku poziomym o promieniu $R_H = 750$ m. Pomost jest w łuku pionowym o promieniu $R_V = 1500$ m, co można traktować jako podniesienie wykonawcze.

Opisana płyta pomostu, jej sposób podwieszenia do łuków, powoduje, że jest sztywna na zginanie, ale jednocześnie jej sztywność tarczowa dodatkowo redystrybuuje obciążenia na znacznie większe powierzchnie niż wynika to ze schematu rusztu pomostu. W tym miejscu nasuwa się analogia do pomostu mostu łukowego przez rzekę Sołę w Kobiernicach wybudowanego w latach 60. minionego wieku przez Jerzego Grycza (ojca). Mimo iż porównywanie obu mostów nie jest wskazane ze względu na ich różne schematy statyczne, to właśnie most w Kobiernicach ma płytę pomostu sprężoną poprzecznie, co miało znaczący wpływ na sztywność przęsła łukowego w całości.

Strzałka łuku wynosi $f = 14,65$ m (rys. 1a). Wyniesienie łuku jest równe $f/L_t \approx 0,175 < 0,25$. Klasyfikujemy łuk jako mało wyniosły i w konsekwencji łuk charakteryzowany znaczącym rozporem. Ze względu na monolityczny styk konstrukcji łuku z węzłami w przyczółkach a także na przyjętą technologię budowy obiektu, że rozpór na tym etapie został w całości przejęty przez fundament palowy, możemy łuk nazwać łukiem bezprzegubowym.

Pozostaje do rozstrzygnięcia mechaniczna rola pomostu w całości konstrukcji mostu, a dokładniej pomostu jako ściągu.



Rys. 2. Łożyskowanie pomostu

Pomost jest podparty na czterech łożyskach garnkowych (rys. 2), umieszczonych na ciosach podłożyskowych usytu-

owanych na skrajach ścian czołowych korpusów przyczółków. Jednocześnie pomost jest podwieszony do łuków wieszakami w systemie Langerera, które są relatywnie wiotkimi wieszakami pionowymi (fot. 2c). W rezultacie, przez łożyska w niewielkim stopniu jest przekazywana na pomost część rozporu i oddziaływanie pionowe od ciężaru własnego pomostu oraz ciężarów użytkowych.

Reasumując, można klasyfikować most, jako łukowy bezprzegubowy, bez ściągu i z dobrym przybliżeniem jako most z jazdą dołem. Dźwigarami głównymi są dwa żelbetowe łuki, stężone poprzecznie w przęśle stalowym skrótowaniem typu K. Pomost podwieszono do łuków za pomocą nieregulowanych wieszaków stalowych.

Zastosowane rozwiązanie ma tyle samo wad, co i zalet, zatem może nie jest innowacyjne, ale jednocześnie jest dobre. Sygnałem o złożoności mostu była zgłoszona przez wykonawcę gotowość zmiany projektu na nieco prostszy statycznie schemat. Pomysł polegał na budowie niezależnych trzech obiektów, mostu łukowego z jezdnią samochodową i w bezpośrednim sąsiedztwie, po obu stronach niezależnych kładek pieszo-rowerowych. Inwestor nie wyraził zgody na zmiany.

Próbné obciążenie Mostu 700-lecia Lublina

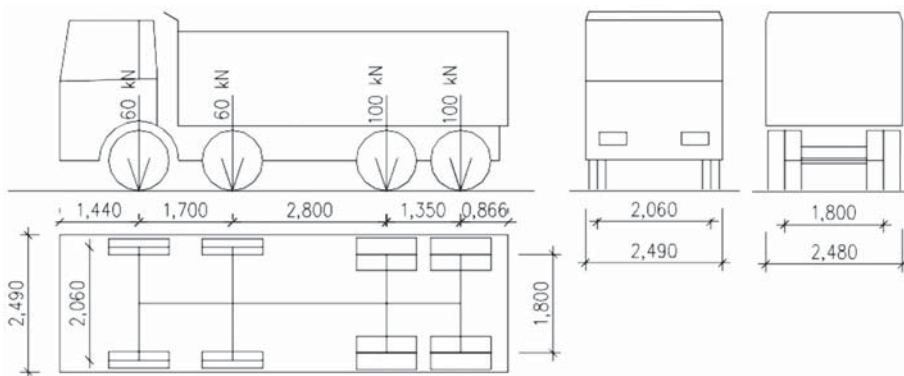
Program próbnego obciążenia dotyczył tylko próby statycznej. Projektant mostu, osobnym pismem, zdecydował, że będzie to dostateczna weryfikacja. Na podstawie złożonych ofert, do realizacji obciążenia próbnego wybrano konsorcjum Atest-Politechnika Lubelska¹. Projekt próbnego obciążenia obejmował wykonanie modelu numerycznego mostu, dobór pojazdów próbnych i schematy ustawienia samochodów. Uwzględniając projektowaną klasę obciążeń A, przygotowano dwa warianty ustawień sześciu samochodów ciężarowych o ciężarze 320 kN każdy, czyli o ciężarze wypadkowym równym 1920 kN (rys. 3).

Przewidziano dwa schematy ustawienia samochodów, przy czym w obu przypadkach, w przekroju poprzecznym, samochody są ustawione w osi symetrii (rys. 4).

W pierwszym ustawieniu (schemat S1) samochody ustawione są w okolicy $1/4$ rozpiętości mostu, w celu uzyskania maksymalnego wyężenia dźwigarów pomostu.

Punkty $W_{1/4}$, $W_{1/2}$, $L_{1/4}$, $L_{1/2}$ to punkty, w których wyznaczono teoretyczne wartości sił wewnętrznych – od obciążenia ruchomego normowego oraz od obciążenia próbnego według schematów S1 i S2. Statyczne pomiary przemieszczeń pionowych zrealizowano zgodnie z zatwierdzonym przez projektanta oraz inspektora nadzoru projektem próbnego obciążenia w punktach znajdujących się na obu dźwigarach pomostu ($1/4 L_t$, $1/2 L_t$, $3/4 L_t$). Pomiary przemieszczeń pionowych łuków oraz sił w wieszakach nie były przedmiotem analiz.

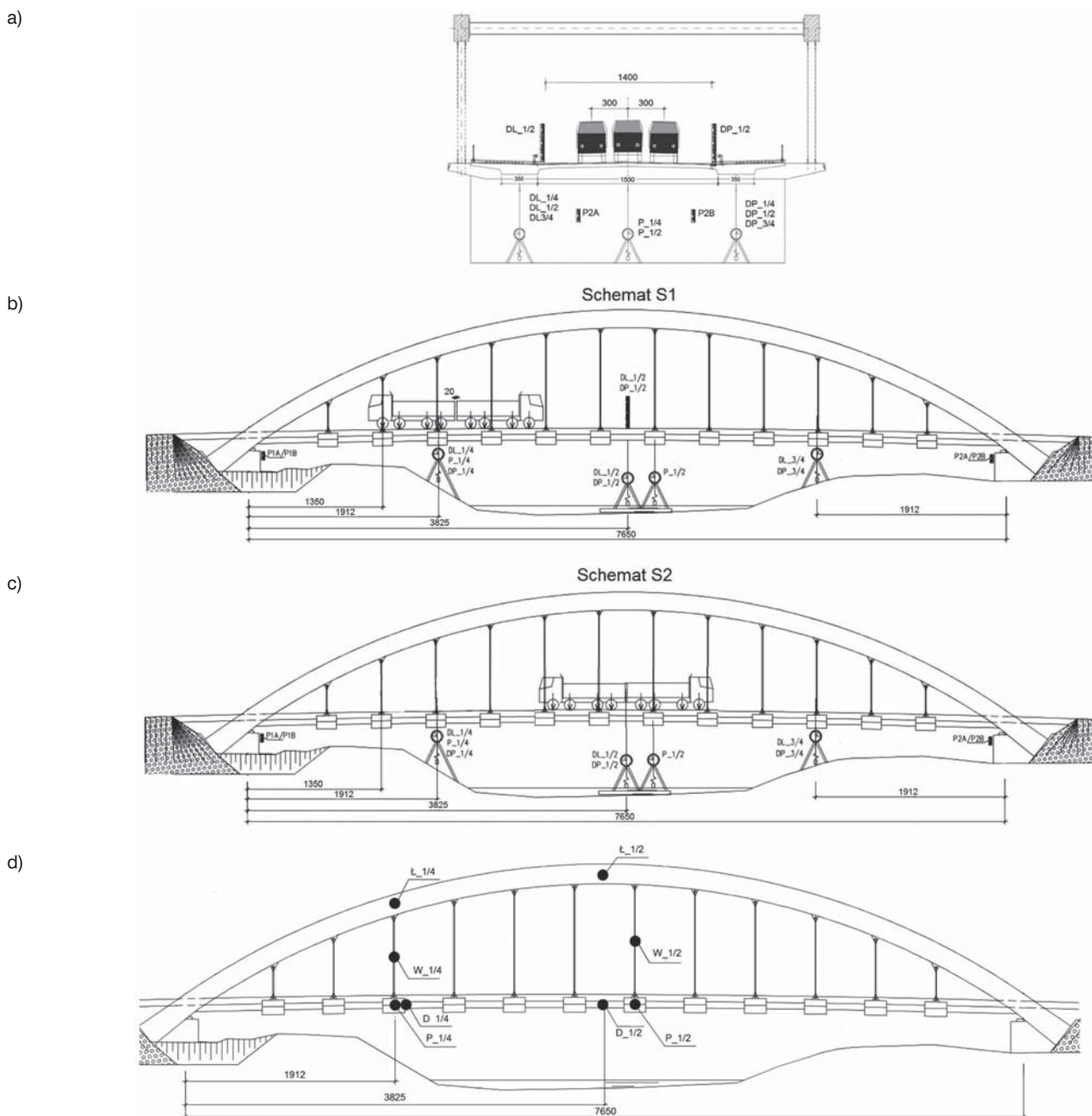
¹ Konsorcjum Atest Błasiak, Oskędra, Skulski Spółka Jawna - Politechnika Lubelska (konsorcjum: akredytowane laboratorium badawcze – jednostka naukowa), laboratorium badawcze Atest Sp. J. posiada akredytację Polskiego Centrum Akredytacji w zakresie badań pod próbnymi obciążeniami statycznymi i dynamicznymi obiektów mostowych nr AB 1599.



Rys. 3. Wymiary samochodu ciężarowego do obciążeń próbnych

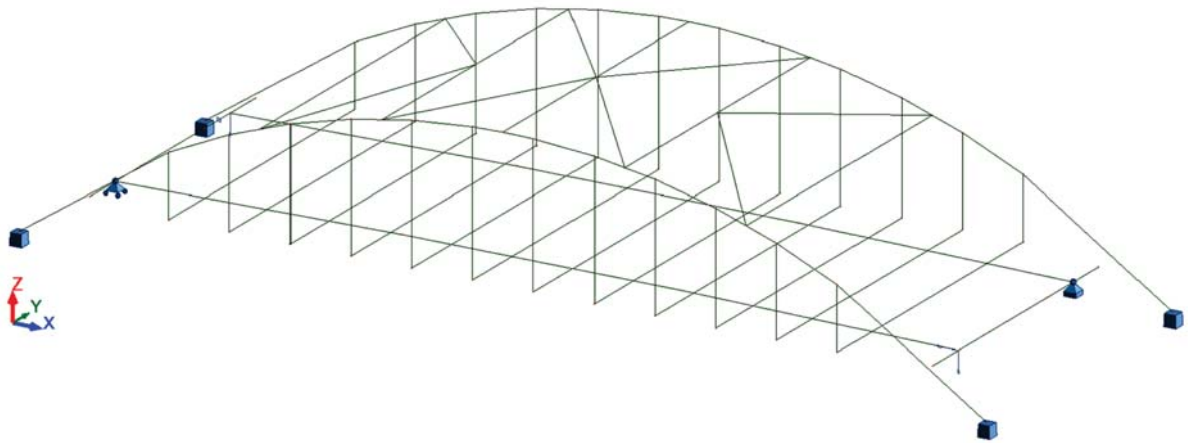
Różnica w schematach obciążenia próbnego jest widoczna na rysunkach 4b) i 4c). W pierwszym ustawieniu (schemat S1) koła samochodów są symetryczne względem osi $x = L/4$, podczas gdy w drugim schemacie (schemat S2) samochody są ustawione w osi symetrii mostu $x = L/2$.

Most jest usytuowany w bezpośrednim sąsiedztwie stadionu sportowego, dlatego sprawdzono, że pojazdy ustawione wg schematu S2 wywołują moment zginający (w dźwigarze pomostu) odpowiadający mo-



Rys. 4. Schematy ustawienia samochodów w obciążeniu próbnym: a) w przekroju poprzecznym mostu, b) schemat S1, c) schemat S2, d) miejsca i oznaczenia punktów pomiarowych

Rys. 5. Model numeryczny mostu



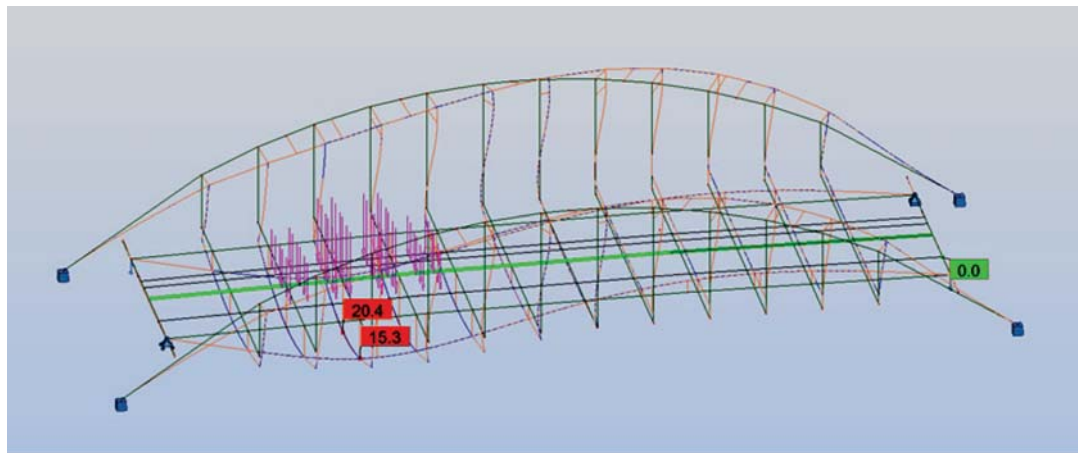
mentowi od obciążenia tłumem, równym wg [6] wartości $2,5 \text{ kN/m}^2$.

W obliczeniach przyjęto przestrzenny model prętowy (e^1 , p^3) (rys. 5). Beton C50/60 o module odkształcalności liniowej $E = 41 \text{ GPa}$. Charakterystyki geometryczne wyznaczono na podstawie rysunków projektowych [5]. Obliczenia obejmowały stan projektowy „K, q, $\phi = 1$ ” zgodnie z klasą obciążeń A wg PN-85/S-10030 oraz obciążenie wg schematów S1 i S2. Przyjęto, że stan projektowy jest stanem referencyjnym.

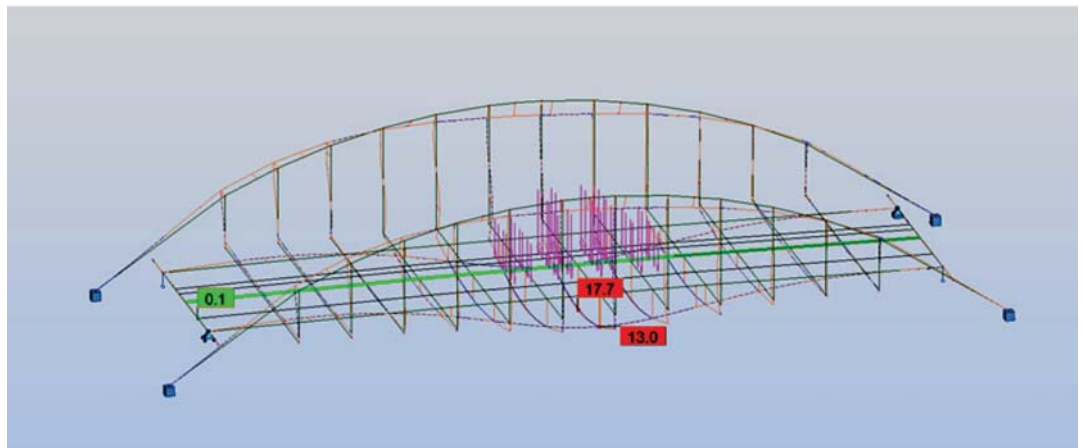
W rezultacie przeprowadzonych obliczeń uzyskano wartości sił wewnętrznych, które posłużyły do oszacowania wyężenia w miejscach pomiarowych. W tabeli 1. zamieszczono wyniki obliczeń.

Wartości zamieszczone w tabeli 1 wymagają komentarza. W rozpatrywanym przypadku o wyężeniu granicznym podczas próbnego obciążenia decyduje najniższy element, czyli dźwigar pomostu. W tym elemencie występuje wyężenie oszacowane w procentach na odpowiednio 96% i 97%. Pełna weryfikacja łuków mostu wymagałaby zwiększenia ciężarów próbnych, co mogłoby doprowadzić do niebezpiecznego przeciążenia innych elementów. Konkludując, przyjęte ciężary i ich ustawienia generują reprezentatywne siły wewnętrzne. W podstawowym elemencie – dźwigar pomostu – spełniają kryterium wyężenia w granicach 75–100% w odniesieniu do charakterystycznych obciążeń

a)



b)



Rys. 6. Obrazy deformacji mostu od obciążeń próbnymi: a) schemat S1, b) schemat S2

Tabela 1. Wartości sił wewnętrznych i miary wyężenia w miejscach pomiarowych

Opis	Punkt pom.	K (kl. A)		q (kl. A)		K + q [I]		S1 – 6×320 kN [II]		S2 – 6×320 kN [III]		[II]/[I]	[III]/[I]
		N	M	N	M	N	M	N	M	N	M		
		[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]	[kN]	[kNm]		
Dźwigar pomostu	D_1/4	–	547	–	920	–	1467	–	1413	–	490	96%	–
	D_1/2	–	670	–	370	–	1040	–	–311	–	1006	–	97%
Łuk – dźwigar główny	Ł_1/4	700	595	2283	316	2983	911	760	2411	1235	881	56%	–
		400	2193	1425	2148	1825	4341						
	Ł_1/2	650	1270	2200	876	2850	2146	750	716	1157	1740	–	51%
		625	1512	1366	1895	1991	3407						
Poprzecznicza	P_1/4	–	1407	–	1974	–	3381	–	2350	–	–	70%	–
	P_1/2	–	1390	–	1941	–	3331	–	493	–	2240	–	67%
Wieszaki	W_1/4	136	–	220	–	356	–	226	–	–	–	63%	–
	W_1/2	135	–	210	–	345	–	–	–	214	–	–	62%

normowych odpowiednich do klasy obciążenia. Wyznaczono także ugięcia sprężyste w spodzie pomostu, których zestawienie zawiera tabela 2, a obrazy ugięć i momentów zginających pokazano na rysunku 6.

Tabela 2. Ugięcia w miarodajnych przekrojach w [mm]

S1					
Punkt pom.	D_1/4	D_1/2	D_3/4	P_1/4	P_1/2
DL	15,50	3,00	–6,00	20,50	7,00
DP	15,50	3,00	–6,00		
S2					
Punkt pom.	D_1/4	D_1/2	D_3/4	P_1/4	P_1/2
DL	5,50	13,00	5,50	6,80	17,50
DP	5,00	13,00	5,50		

Urządzenia pomiarowe do badań

Do pomiaru osiadań podpór bezpośrednio obciążonych zastosowano niwelację precyzyjną, zgodnie z procedurą badawczą PB-03 systemu zarządzania jakością laboratorium Atest SP. J. Do pomiaru ugięć dźwigarów oraz poprzecznic pomostu w $\frac{1}{4}$ L oraz $\frac{3}{4}$ L zastosowano czujniki przemieszczeń zgodnie z procedurą badawczą PB-01. Do

pomiaru ugięć dźwigarów pomostu w $\frac{1}{2}$ L zastosowano niwelację precyzyjną zgodnie z procedurą badawczą PB-02.

Kryteria poprawności uzyskanych wyników są następujące:

- obliczone i pomierzone wartości ugięć są zbliżone do siebie,
- ugięcia sprężyste nie przekraczają ugięć obliczonych teoretycznie,
- ugięcia trwałe nie powinno przekraczać 10% ugięć całkowitych,
- konstrukcja ustroju nośnego i podpór odkształcają się sprężysto w zakresie dopuszczalnych przemieszczeń od obciążeń zbliżonych do obciążenia normowego oraz nie przekraczają wartości przemieszczeń obliczonych teoretycznie,
- w efekcie badań pod próbnym obciążeniem nie występują uszkodzenia elementów konstrukcyjnych przęśla lub podpór.

Wyniki pomiarów

Badania prowadzono przy sprzyjających warunkach atmosferycznych, w godzinach 10:00–14:30 w dniu 25.04.2017 r. (fot. 4). Temperatura powietrza wynosiła około 15°C.

a)



b)



Fot. 4. Ustawienie ciężarów próbnych na moście: a) widok z góry, b) widok z poziomu jezdni

Tabela 3. Składowe ugięć całkowitych i ich udziały procentowe [mm]

Schemat	S1						
Punkt pom.	DL_1/4	P_1/4	DP_1/4	DL_3/4	DP_3/4	DL_1/2	DP_1/2
Ug. całkowite – U _c	10,92	14,46	10,74	-3,78	-3,59	3,00	3,00
Ug. trwałe – U _t	0,06	0,17	0,13	-0,50	-0,53	0,10	0,05
Ug. sprężyste – U _s	10,86	14,29	10,61	-3,28	-3,06	2,90	2,95
Ug. teoretyczne – U _o	15,50	20,50	15,50	-6,00	-6,00	3,00	3,00
U _s /U _o	70%	70%	68%	55%	51%	97%	98%
U _t /U _c	1%	1%	1%	13%	15%	3%	2%
Schemat	S2						
Punkt pom.	DL_1/4	P_1/4	DP_1/4	DL_3/4	DP_3/4	DL_1/2	DP_1/2
Ug. całkowite – U _c	1,72	2,50	1,07	1,76	1,69	10,70	11,00
Ug. trwałe – U _t	0,02	0,08	0,05	0,00	0,02	0,25	0,15
Ug. sprężyste – U _s	1,70	2,42	1,02	1,76	1,67	10,45	10,85
Ug. teoretyczne – U _o	5,50	6,80	5,50	5,50	5,50	13,00	13,00
U _s /U _o	31%	36%	19%	32%	30%	80%	83%
U _t /U _c	1%	3%	5%	0%	1%	2%	1%

Tabela 4. Ugięcia w [mm] mierzone co 15 minut

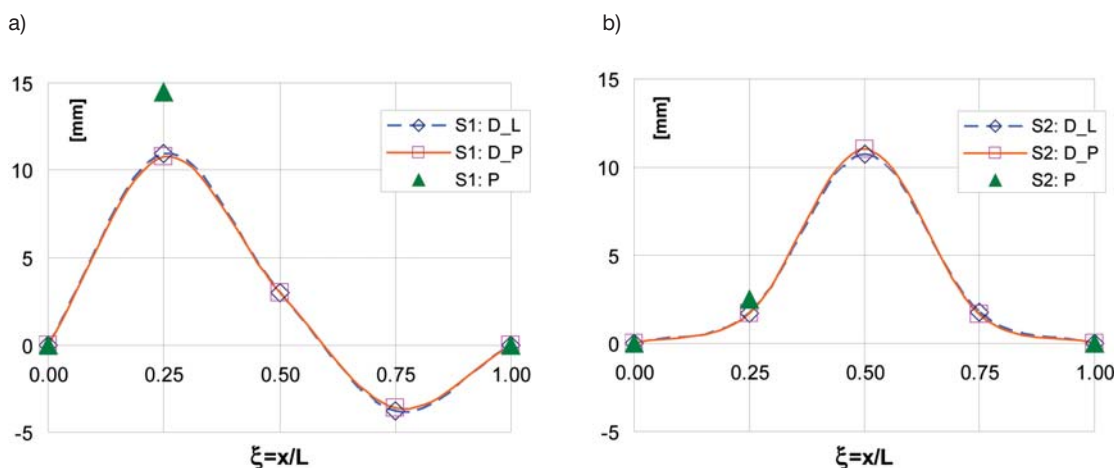
Schemat	S1						
Punkt	DL-1/4	P-1/4	DP-1/4	DL-3/4	DP-3/4	DL-1/2	DP-1/2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 min	10,76	14,42	10,68	-3,75	-3,50	2,90	2,90
30 min	10,90	14,44	10,70	-3,78	-3,57	3,00	3,00
45 min	10,92	14,46	10,74	-3,78	-3,59	3,00	3,00
60 min	10,92	14,46	10,74	-3,78	-3,59	3,00	3,00
Schemat	S2						
Punkt	DL-1/4	P-1/4	DP-1/4	DL-3/4	DP-3/4	DL-1/2	DP-1/2
0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15 min	1,68	2,40	1,66	1,70	1,67	10,70	11,00
30 min	1,72	2,50	1,70	1,74	1,68	10,70	11,00
45 min	1,72	2,50	1,70	1,76	1,69	10,70	11,00
60 min	1,72	2,50	1,70	1,76	1,69	10,70	11,00

Pomierzono ugięcia dźwigarów pomostu w $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{2}$ oraz $\frac{3}{4}$ rozpiętości teoretycznej przęsła. Przemieszczenia w określonych punktach wyznaczono wykonując serię pomiarów, tj. dwa pomiary w odstępach normatywnych min. 15 minut. Przed wprowadzeniem obciążenia na obiekt, pomiary w chwili całkowitego obciążenia obiektu, seria pomiarów w odstępach nie krótszych niż 15 minut w czasie obciążenia obiektu do czasu ustabilizowania się przemieszczeń (nie mniej niż trzy pomiary), pomiar bezpośredni po odciążeniu, serię pomiarów po odciążeniu w odstępach nie krótszych niż 15 minut do czasu ustabilizowania się przemieszczeń (nie mniej niż trzy pomiary). Stabilizacja przemieszczeń następuje wówczas, kiedy różnica między wskazaniem pomiaru ostatniego i przedostatniego, dokonanych w odstępie czasowym 15 minut nie przekroczy 2% wartości bezwzględnej pomiaru przedostatniego.

Zgodnie z PN-EN 1990, należy wydzielić składowe ugięcia całkowitego, przy czym w analizowanym zakresie mamy dwie istotne składowe U_s oraz U_t, zamieszczone w tabeli 3.

Przemieszczenie pionowe to wartość obejmująca dwie składowe: ugięcie przęsła + osiadanie podpory. Bezpośrednio z czujnika zastabilizowanego pod konstrukcją odczytano przemieszczenie pionowe. Przez pomiar osiadań podpór w tych samych interwałach czasowych korelowano wartości przemieszczeń o wpływ osiadań podpór uzyskując miarę, jaką jest ugięcie przęsła.

W tabeli 4 zamieszczono odczyty wartości ugięć. Jak widać stabiliza-



Rys. 7. Ugięcia końcowe w punktach pomiarowych: a) schemat S1, b) schemat S2

cja następuje, w zależności od punktów pomiarowych, po okresie od 15 do 30 minut. Dodatkowo zmienność ugięć przedstawiono na wykresie (rys. 7).

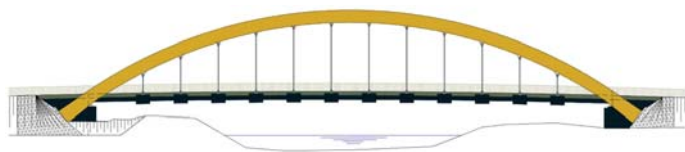
Komentując wykresy z rysunku 7 stwierdzono, że symetryczne obciążenie dało symetryczną odpowiedź konstrukcji.

Osiadania podpór konstrukcji wyznaczono na podstawie niwelacji precyzyjnej, przy czym niepewności pomiarowa metody wynosiła $\pm 0,1$ mm. Wszystkie niwelatory użyte do pomiarów osiadań ustawiono w odległości min 5 m od podpory.

Pomierzone osiadania podpór nie przekroczyły dokładności pomiaru metody niwelacji precyzyjnej, co świadczy o stabilnym zachowaniu podpór podczas obciążenia próbnego.

Kolorystyka mostu

Projektanci, inwestor oraz wykonawca przykładali dużą wagę do konsultacji społecznych wizerunku mostu, rys. 8. Zapytanie o kolorystykę zostało skierowane do działającej w Lublinie grupy intelektualistów z Forum Kultury Przestrzeni (FKP). To środowisko wyraża opinie, które niejednokrotnie przyczyniły się do zmian trywialnego postrzegania przestrzeni miejskiej na ten jej rodzaj, który jest przyjazny dla mieszkańców, architektury i tradycji.



Rys. 8. Projektowa kolorystyka mostu

Powstały wizualizacje na rzeczywistym tle obiektu. Na tej podstawie zdecydowano o kolorach mostu. Wybór przedstawiono władzom miasta. Rozstrzygnięcie przekazano za późno. Farby malarskie już zostały zakupione. Tak, czy inaczej, konsultacje społeczne się odbyły, co na pewno zostało odnotowane w dokumentach budowy.

Podsumowanie

Most 700-lecia Lublina jest elementem infrastruktury komunikacyjnej miasta – dojazdu do nowego stadionu o nazwie Arena Lublin. Jest dziewiątym mostem drogowym przez rzekę Bystrycę w Lublinie, przy czym dwa zabytkowe mosty Mariana Lutostawskiego pełnią funkcję kładek dla pieszych. Dojazd do stadionu to podstawowa funkcja tego obiektu, jednakże istnienie nowego mostu wpłynie na redystrybucję ruchu miejskiego, przy czym dopiero czas pokaże jej wymiar w zakresie ilościowym. Most w obecnej lokalizacji był planowany od ponad 40 lat.

Biorąc pod uwagę rozwiązania techniczne, jest to interesująca konstrukcja przede wszystkim ze względu na relatywnie dużą szerokość. Jest to najszerszy most na Lubelszczyźnie, a może także w Polsce. Jest interesujący również z powodu swej rozpiętości obejmującej wały koryta rzeki z odcinkami zewnętrznymi.

W ocenie autorów, ograniczenie próbnego obciążenia tylko do testu statycznego było wysoce niewystarczające. W rezultacie, o mechanice złożonej konstrukcji mostowej wiadomo nie wszystko.

Bibliografia

- [1] Karaś S., *Unique Hennebique Bridges in Lublin, Poland*. American Journal of Civil Engineering and Architecture, 1.2 (2013): p. 47-51. DOI: 10.12691/ajcea-1-2-5.
- [2] Olaszek P., Łagoda M., *Uniknięcie awarii mostu w wyniku badań pod próbnym obciążeniem*, *Awarie Budowlane 2011*, s.1219-1226.
- [3] Łagoda M., Mazanek M., Olaszek P., *Zalecenia dotyczące wykonania badań pod próbnym obciążeniem drogowych obiektów mostowych*. IBDiM, 2008.
- [4] Błazik-Borowa E., et al., *Pozyskanie zabytkowego 100-letniego mostu do celów dydaktycznych*, *Drogownictwo 2015*, nr 9, vol. 70, s. 296-301.
- [5] Żuchowicz M., Grysiak T., *Projekt wykonawczy (część graficzna) – Zadanie III – budowa ul. Muzycznej od wysokości zjazdu na teren budowanego Stadionu Miejskiego do skrzyżowania z ulicami Narutowicza, Głęboką, Nadbystrzycką wraz z infrastrukturą techniczną*. 2013.
- [6] PN-85/S-10030. *Obiekty mostowe. Obciążenia - norma wycofana i zastąpiona przez PN-EN 1990:2004 oraz PN-EN 1991-2:2007*.
- [7] PN-S-10040:1999. *Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Wymagania i badania*. PN-EN 1990. Eurokod – *Podstawy projektowania konstrukcji*.

Zapraszamy do prenumerowania DROGOWNICTWA w 2017 roku

prenumerata roczna normalna 250 zł } (w tym 5% VAT)
cena 1 egzemplarza 21 zł }

prenumerata roczna studencka 125 zł } (w tym 5% VAT)
cena 1 egzemplarza 10,50 zł }

Uprzejmie informujemy Szanownych Prenumeratorów, że egzemplarze „Drogownictwa” oraz faktury będą wysyłane po przesłaniu zamówienia na adres prenumerata.drogownictwo@sitkrp.org.pl oraz po wpłaceniu należnej kwoty na nasze konto:

38 1160 2202 0000 0000 2741 3872

Stowarzyszenie Inżynierów i Techników Komunikacji RP, Zarząd Krajowy
ul. Czackiego 3/5, 00-043 Warszawa

Redakcja