



KRZYSZTOF ŻÓŁTOWSKI¹⁾
MAREK SZAFRAŃSKI²⁾

TECHNICZNE MOŻLIWOŚCI REWITALIZACJI KRATOWYCH WIADUKTÓW ŁUKOWYCH

STRESZCZENIE. Środowisko inżynierskie wykazuje w ostatnim czasie dużą troskę o zabytkowe obiekty mostowe, czego przejawem są próby ratowania historycznych budowli. W artykule zaprezentowano wyniki rozważań dotyczących remontu i wzmocnienia przęsła historycznego wiaduktu o konstrukcji z łuków kratowych. Celem prac było uzyskanie klasy obciążeń „A” dla przęseł przy zachowaniu oryginalnych konstrukcji łuków. Przedstawiono rezultaty analizy statyczno - wytrzymałościowej w dwóch wariantach, ze wskazaniem na rozwiązanie gwarantujące największą nośność przy jednoczesnym zachowaniu ogólnego charakteru konstrukcji. Metoda ta może być podejściem typowym dla wzmocnienia historycznych mostów łukowych. W pracy zamieszczono również ogólne rysunki konstrukcji przęsła i propozycje nowych rozwiązań.

1. WSTĘP

Na terenie całej Polski istnieje wiele obiektów inżynierskich, które poprzez swój wiek i konstrukcję, stanowią cenny element dziedzictwa kulturowego i architektonicznego. Ich historia, często pozostawiająca swoje ślady w samej konstrukcji, nierozzerwalnie wiąże się z lokalną społecznością, a także mówi o panujących wówczas trendach i możliwościach architektoniczno - budowlanych. Zachowanie dziedzictwa kulturowego stało się w ostatnim czasie ważnym czynnikiem, warunkującym zakres prac mających na celu ratowanie zabytkowych budowli mostowych.

¹⁾ dr inż. – Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Mostów Politechniki Gdańskiej

²⁾ mgr inż. – Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska, Katedra Mostów Politechniki Gdańskiej

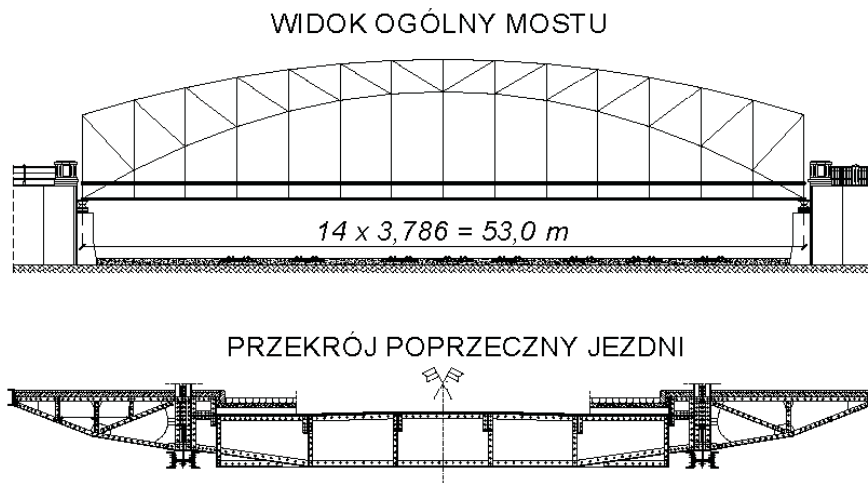
Rozwój sieci kolejowej, spowodował konieczność budowy towarzyszących obiektów mostowych, ułatwiających bezkolizyjną komunikację, szczególnie istotną w obrębie dużych aglomeracji miejskich. Popularnym rozwiązaniem konstrukcyjnym z przełomu XIX i XX wieku, jest przęsło w postaci dwóch parabolicznych łuków kratowych ze ściągiem, stężonych ramami portalowymi i konstrukcją wiatrownic (rys. 1).



Rys.1. Widok wiaduktu na węźle Brama Oliwka w Gdańsku
Fig.1. The view of the Oliwka Gate Bridge in Gdańsk

W węzłach kratownicy pasa dolnego łuku zamocowano wieszaki podtrzymujące jezdnię mostu. Pomost wykonano w formie rusztu stalowego, składającego się z poprzecznic i podłużnic połączonych blachami nieckowymi, podwieszanego do dźwigarów łukowych. Niecki wypełnione są betonem, na którym ułożona jest izolacja i nawierzchnia. Chodniki znajdują się na zewnątrz łuków na wspornikach, będących przedłużeniem poprzecznic głównych. Na terenie Trójmiasta znajdują się trzy niemal identyczne wiadukty tego typu – węzeł Brama Oliwka (rozpiętość 53 m), ul. Tadeusza Kościuszki [1] (rozpiętość 2×46 m), ul. Braci Lewoniewskich (rozpiętość 54 m). Podobne obiekty znajdują się również w Kwidzynie i Bytowie. Schemat konstrukcyjny oraz typowy przekrój poprzeczny konstrukcji jezdni pokazano na rysunku 2.

Z powodu braku środków finansowych, obiekty te, eksploatowane przez dziesiątki lat bez podejmowania prac remontowo – konserwatorskich, uległy znacznej degradacji i wymagają gruntownego remontu. W artykule zaprezentowano opracowane przez autorów koncepcje naprawy i rewitalizacji kratowych wiaduktów łukowych, z jednoczesnym zachowaniem pełnej sprawności eksploatacyjnej oraz oryginalnej formy architektonicznej.



Rys.2. Widok ogólny i przekrój poprzeczny wiaduktu na węźle Brama Oliwka w Gdańsku
 Fig.2. General view and cross section of the Oliwka Gate Bridge in Gdańsk

2. STAN TECHNICZNY WIADUKTÓW

Długotrwała eksploatacja, czynniki środowiskowe oraz brak podejmowania działań remontowych spowodowały, iż większość ze wspomnianych wiaduktów znajduje się obecnie w bardzo złym stanie technicznym. Sytuacja ta dotyczy szczególnie elementów konstrukcji jezdni, która we wszystkich obiektach z uwagi na silną korozję, nadaje się praktycznie do całkowitej przebudowy. Dotychczas, jedynie w przypadku wiaduktów w ciągu ulicy Kościuszki w Gdańsku³⁾ oraz Bytowie⁴⁾, wykonano prace remontowe przywracając ich pełną sprawność techniczną.

W dniu 10.10.2004 r. wiadukt w ciągu ul. Braci Lewoniewskich w Gdańsku – Zaspie, uległ awarii, która pomimo, że praktycznie nie zagrażała bezpieczeństwu konstrukcji, wywołała paraliż komunikacyjny sięgający daleko poza Trójmiasto.

Bezpośrednim powodem awarii była całkowita korozja stalowych płaskowników podwieszających ściągi łuków (rys. 3), w skutek czego jeden z nich opadł na przebiegającą pod wiaduktem trakcję elektryczną i zaniżył skrajnię kolejową (rys. 4). Spowodowało to zamknięcie ruchu na i pod obiektem. Paraliż komunikacyjny wywołał duże poruszenie i spowodował reakcję władz Gdańska. Rezultatem awarii było przyznanie środków na remont uszkodzonego wiaduktu, a także bliźniaczej konstrukcji na węźle Brama Oliwka. W ramach prac związanych z likwidacją awarii dokonano szczegółowej oceny stanu technicznego zagrożonych obiektów [2].

³⁾ projekt remontu wiaduktu w ciągu ul. Kościuszki w Gdańsku – Biuro Projektów Kolejowych, Gdańsk

⁴⁾ projekt remontu wiaduktu nad torami PKP w Bytowie – Instytut Badawczy Dróg i Mostów, Warszawa



Rys.3. Awaria wiaduktu w ciągu ul. Braci Lewoniewskich w Gdańsku – skorodowane podwieszenie ściągu

Fig.3. Failure of the Lewoniewski Brothers Street Bridge in Gdańsk – the corroded suspension of the tie-beam



Rys.4. Awaria wiaduktu w ciągu ul. Braci Lewoniewskich w Gdańsku – widok opadniętego ściągu

Fig.4. Failure of the Lewoniewski Brothers Street Bridge in Gdańsk – the view of the lowered tie-beam

Wyniki oględzin wskazują jednoznacznie na konieczność remontu. Nawierzchnia na obiektach jest zniszczona. Izolacja praktycznie nie funkcjonuje a słaba jakość betonu wypełniającego blachy nieckowe oraz brak powłok malarskich na konstrukcji stalowej, spowodowały znaczną jej degradację w agresywnym środowisku wodno-chlorkowym

(rys. 5). Ogólnie, stopień korozji elementów głównych konstrukcji jezdni oceniono na 30%, natomiast stopień korozji elementów pośrednich rusztu, osiągnął miejscami 100% (rys. 6).



Rys.5. Korozja blachy nieckowej jezdni na wiadukcie w ciągu ul. Braci Lewoniewskich w Gdańsku

Fig.5. The corrosion of the steel deck sheet of the Lewoniewski Brothers Street Bridge in Gdańsk



Rys.6. Korozja jednej z poprzecznic pośrednich wiaduktu na węźle Brama Oliwka w Gdańsku

Fig.6. The corrosion of one of the intermediate cross beam of the Oliwka Gate Bridge in Gdańsk

Według aktualnej normy PN 85/S 10030, Obiekty mostowe. Obciążenia, wiadukty są pozaklasowe a stan niektórych elementów konstrukcji jezdni nie pozwala na określenie ich nośności. Działania administracyjne polegające na ograniczeniu ruchu do pojazdów o ciężarze całkowitym maks. 35 kN nie były respektowane przez użytkowników dróg a nadmierna eksploatacja skutecznie przyczyniła się do postępu degradacji.

3. TECHNICZNE MOŻLIWOŚCI PRZEBUDOWY

Na długo przed awarią w Gdańsku, prowadzono prace studialne nad możliwościami przebudowy wiaduktów z zachowaniem ich walorów architektonicznych [3]. Studia prowadzono przy okazji wykonania dokumentacji projektowej remontu wiaduktu w Kwidzynie [4]. W celu wyboru właściwego rozwiązania konstrukcyjnego wykonano szereg analiz statyczno – wytrzymałościowych mających na celu wyłonienie wariantu spełniającego następujące warunki:

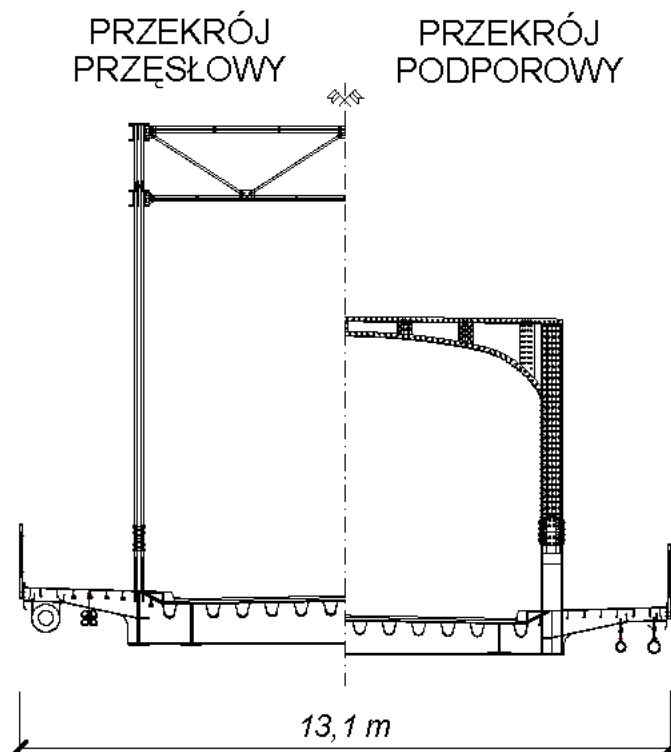
- utrzymanie ogólnego charakteru konstrukcji,
- zachowanie a nawet podwyższenie skrajni kolejowej,
- wprowadzenie technologii umożliwiającej budowę nad torami PKP przy utrzymaniu ruchu kolejowego,
- uzyskanie możliwie najwyższej nośności eksploatacyjnej (pożądana klasa "A").

Z przeglądów szczegółowych wynika, że zły stan techniczny jezdni praktycznie eliminuje możliwość jej wykorzystania w docelowej konstrukcji. Wyjątkiem jest wiadukt w Bytowie, gdzie przy okazji prac remontowych pozostawiono większość stalowej konstrukcji jezdni i wprowadzono nową, żelbetową płytę pomostu.

W rozważanych obiektach narzucone warunki geometryczne wykluczyły możliwość wykonania nowej jezdni jako zespolonej. Zadecydowała pożądana mała wysokość konstrukcyjna ze względu na usytuowanie bezpośrednio nad torami PKP oraz zbyt duży ciężar własny. Do analizy szczegółowej, przyjęto zatem wariant jezdni ze stalową płytą ortotropową (rys. 7). Badania prowadzone na wiadukcie „Kościuszki” w Gdańsku wskazywały na możliwość prawidłowej pracy przęsła z płytą ortotropową bez jednoznacznie wykształconego ściągu lub belki usztywniającej. Dlatego analizę nośności rozpoczęto od modelu z jezdnią o małej sztywności i przeprowadzano obliczenia parametryczne z różnymi belkami usztywniającymi. Ideową prezentację modeli przedstawiono na rys. 8. Z przyczyn eksploatacyjnych i architektonicznych postanowiono nie podwyższać belek usztywniających w osiach wieszaków ponad płytę pomostu, pomimo, iż takie rozwiązanie gwarantowało pełny sukces w uzyskaniu zamierzonej nośności. Obliczenia przeprowadzono przy wykorzystaniu systemu analizy konstrukcji SOFiSTiK⁵⁾, stosując przestrzenny model prętowy. W celu uzyskania wymaganej klasy „A” poczyniono następujące kroki:

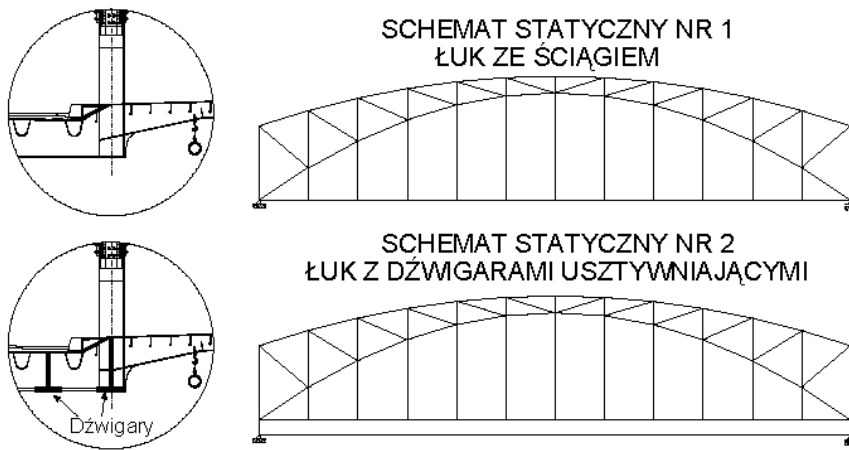
⁵⁾ SOFiSTiK AG, System analizy konstrukcji, www.sofistik.com

1. Dodano po dwa dźwigary usztywniające pod każdym łukiem.
2. Wprowadzono zdecydowane spadki podłużne na jezdni (2 %), co umożliwiło zwiększenie wysokości dźwigarów usztywniających w środku rozpiętości przęsła bez narażenia się na ograniczenie skrajni pod obiektem.
3. Wprowadzono sprężenie wstępne konstrukcji jezdni przed połączeniem jej z łukiem.

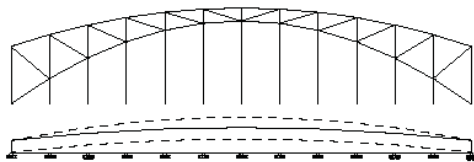


Rys.7. Przekrój poprzeczny wiaduktu w Kwidzynie – projekt remontu
 Fig.7. The cross-section of the bridge in Kwidzyn – the design of the reconstruction

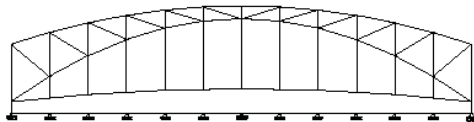
Belka usztywniająca umożliwia przeniesienie części obciążeń samoistnie na przyczółki, ale jej udział jest znikomy, ponieważ zależy on od ugięcia, które w układzie łuk – belka jest bardzo małe. Belka posiada więc spore rezerwy nośności. Udział belki usztywniającej w przenoszeniu obciążeń ulega znacznej poprawie poprzez wprowadzenie sprężenia, polegającego na wywołaniu jej wstępnego ugięcia pod ciężarem własnym przed połączeniem z łukiem. Na rysunku 9 przedstawiono schematycznie poszczególne fazy wykonania przęsła z uwzględnieniem wstępnego sprężenia.



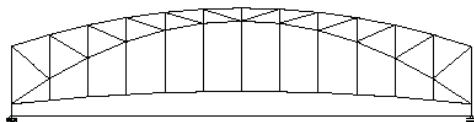
Rys.8. Schematy statyczne dwóch rodzajów wzmocnienia w wariacie 1
 Fig.8. Two kinds of static schemes – variant 1 of strengthening



Faza I. Ustawienie konstrukcji jezdni na ciągłych podporach, a następnie wprowadzenie wstępnego ugięcia. W tej fazie belka usztywniająca praktycznie „bierze na siebie” ciężar własny jezdni.



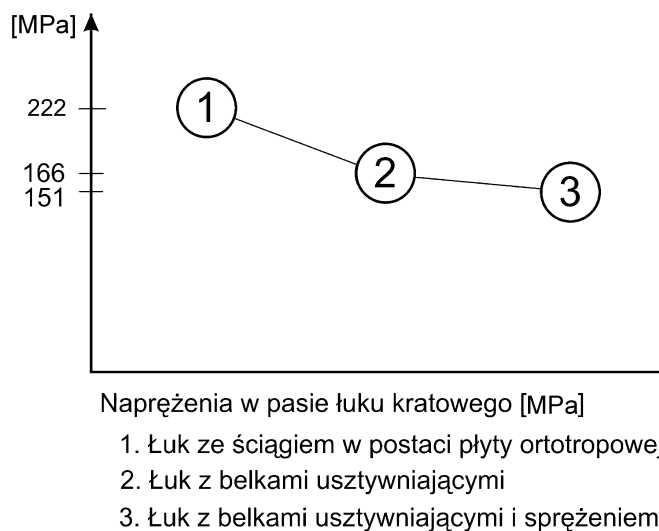
Faza II. Ustawienie konstrukcji łuku na jezdni w geometrii początkowej. W tej fazie w łuku nie ma sił wewnętrznych.



Faza III. Połączenie łuku z jezdnią i zwolnienie z podpór pośrednich.

Rys.9. Fazy montażu konstrukcji przęsła z wprowadzeniem częściowego sprężenia – wariant 1 wzmocnienia
 Fig.9. Construction stages with partial prestressing – variant 1 of strengthening

W wyniku przeprowadzonych analiz, określono wpływ zastosowanych konstrukcji i wymuszeń geometrycznych na naprężenia w najbardziej wyężonych elementach łuku kratowego (są to pasy kratownicy w polu środkowym i z nim sąsiadującym). Wyniki dla klasy obciążeń „A” przedstawiono na diagramie (rys. 10).



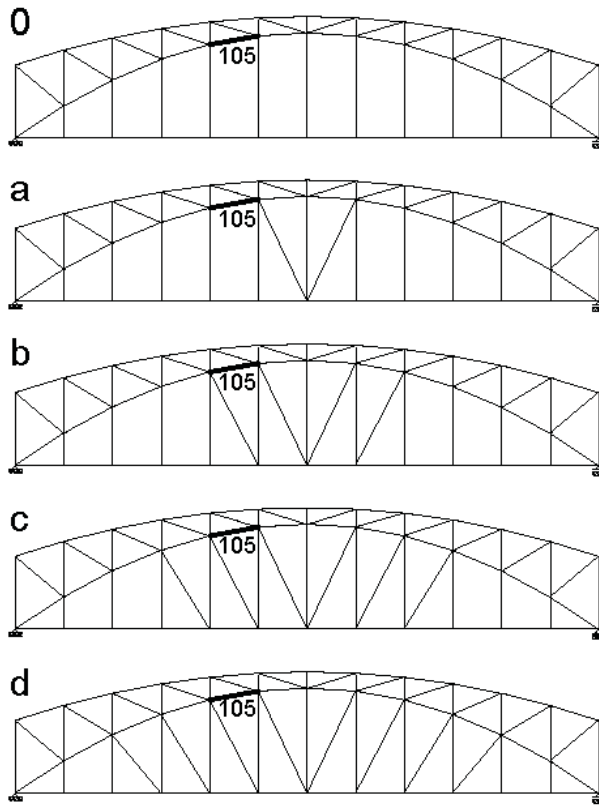
Rys.10. Graficzna interpretacja wyników wzmocnienia w pierwszym wariantcie – naprężenia dla najbardziej wyężonego elementu łuku

Fig.10. The results of strengthening of the bridge (variant 1) – stresses in the most loaded element of the arch

W przypadku, gdy stan techniczny wiaduktu pozwala na utrzymanie pierwotnej konstrukcji jezdni, łuk kratowy przenosi samodzielnie momenty zginające od obciążeń ruchomych z uwagi na znikomą sztywność podłużną jezdni. Można wtedy rozpatrywać dwie wersje wzmocnienia; pierwsza to zwiększenie przekrojów elementów łuku a druga, to zmiana systemu statycznego. Możliwość pierwsza jest trudna do zrealizowania, ponieważ wymaga ingerencji w strukturę pasów i krzyżulców. Zmiana systemu statycznego może wyeliminować negatywny wpływ obciążeń skupionych. Polega ona na częściowym zespoleniu dźwigara łukowego z jezdnią. Efekt ten można osiągnąć poprzez wprowadzenie dodatkowych prętów ukośnych, tworząc układ quasi – kratownicowy.

Na rys. 11 przedstawiono pięć wariantów schematu statycznego konstrukcji przęsła, które różnią się od siebie ilością dodatkowych, wstępnie napiętych, krzyżulców prętowych umieszczonych pomiędzy łukiem i jezdnią. Rozpatrzono 3 typy dodatkowych krzyżulców:

- pręty okrągłe $\Phi 20$,
- pręty okrągłe $\Phi 40$,
- pręty o przekroju typowego wieszaka.

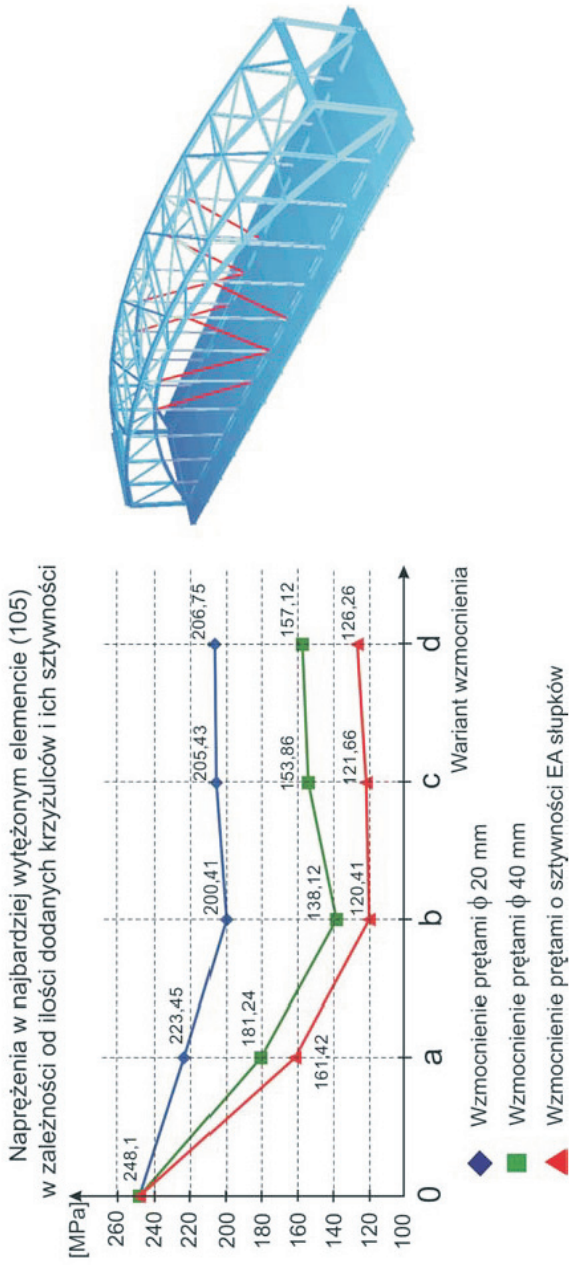


Rys.11. Schematy statyczne konstrukcji przęsła poddane analizie w drugim wariancie wzmocnienia

Fig.11. Static schemes of the bridge – variant 2 of strengthening

Dla tak przyjętych założeń przeprowadzono obliczenia statyczne na przestrzennym modelu belkowo-powłokowym mostu bez przegubów w węzłach łuku kratowego (rys. 12). Rozpatrzono obciążenia trwałe i ruchome dla klasy „A” wg PN-85/S-10030. W wyniku otrzymano obwiednie sił wewnętrznych we wszystkich modelowanych elementach konstrukcji. Obliczenia naprężeń dokonano dla przypadku dwukierunkowego zginania ze ściskaniem i ścinaniem (wg hipotezy H–M–H). Na wykresie (rys. 12) pokazano efekty przedstawionej koncepcji wzmocnienia dla najbardziej pierwotnie wyteżonego elementu konstrukcji łuku.

Z analizy wynika, że efektywne rezultaty uzyskać można przy zastosowaniu prętów o średnicy $\Phi 40$ mm w wariancie „b” wzmocnienia. Dalsze zwiększanie przekroju i ilości dodanych krzyżulców nie wpływa znacząco na poprawę nośności. Szczególnie korzystna wydaje się w tym przypadku prostota wykonania wzmocnienia oraz znikoma ingerencja w konstrukcję łuków. Dzięki dużej smukłości dodanych prętów obiekt nie traci pierwotnych wartości historycznych i estetycznych.



Rys. 12. Model obliczeniowy oraz wykres efektywności wzmocnienia w drugim wariantcie – naprężenia w elemencie najbardziej wyężonym

Fig. 12. Theoretical model and results of strengthening of variant 2 of strengthening – stresses in the most loaded element of the arch

4. PODSUMOWANIE

Przeprowadzone analizy potwierdzają możliwość pełnego wykorzystania historycznych konstrukcji łukowych we współczesnych warunkach eksploatacyjnych. Pomimo złego stanu technicznego, możliwe jest podniesienie klasy tych obiektów do wymaganych obecnie standardów. W obu pokazanych metodach wzmocnienia, konstrukcja łuków jest praktycznie nienaruszona, a efekty architektoniczne oraz aspekty historyczne utrzymane. Na rysunku 13 pokazano wpływ dodatkowych prętów na estetykę, wykorzystując wiadukt w ciągu ul. Kościuszki w Gdańsku.



Rys.13. Wiadukt w ciągu ul. Kościuszki w Gdańsku – wizualizacja z dodatkowymi krzyżulcami
Fig.13. The Kościuszko Street Bridge in Gdańsk – visualization of the bridge with additional braces

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Mieszczuk A., Stankiewicz B., Mańko Z.*: Modernizacja zabytkowego stalowego wiaduktu „Kościuszki” w Gdańsku. *Inżynieria i Budownictwo*, nr 9/2000
- [2] *Chróścielewski J., Żółtowski K., Kozakiewicz A., Mickiewicz M., Szafrąński M., Żółtowski P.*: Awaria wiaduktu drogowego nad torami kolejowymi w Gdańsku. XXII Konferencja Naukowo Techniczna Awarie Budowlane, Szczecin – Międzyzdroje 17 - 20 maja 2005
- [3] *Żółtowski K., Szafrąński M.*: Kilka uwag na temat przystosowania historycznego przesła mostu łukowego do pracy we współczesnych warunkach eksploatacyjnych. XIII Seminarium Współczesne Metody Wzmacniania i Przebudowy Mostów, Poznań 17 - 18 czerwiec 2003

- [4] *Żółtowski K.*: Analiza możliwości przystosowania historycznego przęsła mostu łukowego do pracy we współczesnych warunkach eksploatacyjnych. X Międzynarodowa Konferencja Naukowo–Techniczna „Konstrukcje Metalowe”, Gdańsk 6 - 8 czerwiec 2001

ANALYSIS OF REHABILITATION POSSIBILITIES OF HISTORICAL LATTICED ARCH BRIDGES

Abstract

The paper presents the result of analysis made for renovation and strengthening of a historical arch bridge typical for the beginning of XX century. Presently all considered spans are in bad condition mainly because of the corrosion of deck steel structures. Truss arches except under bearing zones need generally a new painting. Two possibilities of revitalization were considered under the assumption that the truss arch structures stay as origin. Final conclusions are presented as a universal method of strengthening for this type of bridges. General drawings and representative diagrams from mechanical analysis are included.