

KAROL RYŻ*

ZASTOSOWANIE ELEMENTÓW BETONOWYCH
ZE ZBROJENIEM SZTYWNYM DO WZMACNIANIA
I MODERNIZACJI MOSTÓW ZABYTKOWYCHAPPLICATION OF CONCRETE-ENCASED GIRDERS
FOR STRENGTHENING AND MODERNIZATION
OF OLD HISTORICAL BRIDGES

Streszczenie

Mosty zabytkowe na ogół nie spełniają współczesnych wymogów nośności, które na przestrzeni ostatnich dwóch stuleci, w związku z pojawianiem się coraz cięższych pojazdów, wzrosły radykalnie. Potrzeba zachowania obiektów wartościowych, uznanych za zabytki sztuki inżynierskiej, stwarza konieczność przeprowadzania ich adaptacji do bieżących wymogów komunikacyjnych. Rozwiązywanie tych problemów jest trudne w kontekście zderzenia rygorystycznych wymogów konserwatorskich, nakazujących zachowanie substancji zabytkowej w najszerszym zakresie, z wymogami podniesienia nośności, co na ogół związane jest z dodawaniem elementów nowych, w obrębie zabytkowej struktury obiektu. W pracy przedstawiono kilka propozycji (w tym również zrealizowanych) rozwiązywania wspomnianych problemów, które zyskały aprobatę środowisk konserwatorskich. Wspólną cechą opisanych wzmocnień jest zastosowanie elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym, występujących w postaci prefabrykowanej, wykonywanej in situ lub mieszanej. Przedstawione przykłady wzmocnień wskazują, że wykorzystanie elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym w odniesieniu do mostów zabytkowych jest działaniem racjonalnym pod wieloma względami.

Słowa kluczowe: mosty zabytkowe, wzmocnianie, dźwigary betonowe ze zbrojeniem sztywnym, przykłady modernizacji mostów,

Abstract

Generally, old historical bridges do not fulfill present requirements in the field of bearing capacity which, during last two centuries, dramatically increased due to appearance of heavy vehicles. Need of preservation of valuable historical bridges which have been recognized as monuments of engineering art makes necessity of adaptation to current transport requirements. Possible solutions of these problems are very difficult. Rigorous conservator requirements oblige preservation of wide range of old historical substance. These requirements are often in conflict with addition of new structural elements within monument, which are necessary for strengthening. A few solutions (also worked out) of described problems have been presented in the paper. They have obtained approval from conservator authorities. Application of concrete-encased girders has been common feature of presented cases of strengthening. Additional elements have been designed and made as cast in situ, prefabricated or mixed. Presented in the paper examples strongly indicate that application of concrete-encased girders for strengthening of old historical bridges is usually rational action.

Keywords: old historical bridges, strengthening, concrete-encased girders, examples of modernization of old bridges,

* Dr inż. – Wydział Inżynierii Lądowej, Politechnika Krakowska, P.U.I. „PROKOM” s.c.

1. Wstęp

Mosty zabytkowe na ogół nie spełniają współczesnych wymogów w zakresie nośności, które na przestrzeni ostatnich dwóch stuleci, w związku z pojawianiem się coraz cięższych pojazdów, wzrosły radykalnie. Potrzeba zachowania obiektów wartościowych, uznanych za zabytki sztuki inżynierskiej, stwarza konieczność przeprowadzania ich adaptacji do bieżących wymogów komunikacyjnych. Rozwiązywanie tych problemów jest trudne w kontekście zderzenia rygorystycznych wymogów konserwatorskich, nakazujących zachowanie substancji zabytkowej w najszerszym zakresie, z wymogami podniesienia nośności, co na ogół związane jest z dodawaniem elementów nowych, w obrębie zabytkowej struktury obiektu.

W pracy przedstawiono kilka propozycji (w tym również zrealizowanych) rozwiązywania wspomnianych problemów, które zyskały aprobatę środowisk konserwatorskich. Wspólną cechą opisanych wzmocnień jest zastosowanie elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym, występujących zarówno w postaci wykonywanych in situ jak i prefabrykowanych.

Wiadukt drogowy w Krakowie (tzw. Czerwony Most), w ciągu ulicy Waliszewskiego, stanowi XIX wieczny element drogi rokadowej, zbudowanej w okresie przekształcania Krakowa w twierdzę. Jest to sklepienia konstrukcja ceglana obecnie odciążona za pomocą nowego przęsła betonowego ze zbrojeniem sztywnym (tzw. dźwigarobeton). Odciążenie wpisano w stary gabaryt obiektu, czyniąc je niemal niezauważalnym. Starannie zrewaloryzowany wiadukt stanowi dobry przykład troski o zachowanie dziedzictwa w obszarze inżynierii komunikacyjnej. Zabytkowy zespół wiaduktu jest jednocześnie jednym z pierwszych dwupoziomowych skrzyżowań w Krakowie.

Most drogowy na rzece Kamiennej w Jeleniej Górze, w ciągu ulicy Powstańców Wielkopolskich, został zbudowany pod koniec XIX wieku i należy do prekursorskiej grupy mostów betonowych położonych w obecnych granicach Polski. Wzmocnienie mostu zrealizowano z wykorzystaniem oryginalnych, prefabrykowanych elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym, monolityzowanych betonem zbrojonym, układanym na miejscu. Otrzymano w ten sposób konstrukcję zespoloną typu stal-beton, wykonywaną w dwóch etapach, wpisaną w zabytkową substancję mostu.

Kolejny przykład odnosi się do zabytkowego wiaduktu kolejowego (sklepienia ceglane) nad ulicą Grzegórzecką w Krakowie (dawny most wiślany). Obiekt odciążony jest za pomocą przęsła dźwigarobetonowych, wykonywanych na miejscu. Elementy nowe wpisane są w istniejącą konstrukcję, która w rezultacie podejmowanych działań zyskuje walory eksploatacyjne, zachowując jednocześnie substancję zabytkową niemal w całości.

Przedstawione przykłady wzmocnień wskazują, że wykorzystanie elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym w połączeniu z innymi technikami stanowi skuteczną i pod wieloma względami racjonalną metodę wzmacniania i odciążania mostów zabytkowych. Przedstawione dalej zalety elementów dźwigarobetonowych decydują o powodzeniu ich stosowania w szeroko pojętych procesach rewitalizacyjnych zabytkowych obiektów mostowych.

2. Adaptacja mostów zabytkowych do współczesnych wymogów komunikacyjnych

Adaptacja starych, zabytkowych obiektów mostowych do współczesnych wymogów komunikacyjnych wiąże się zazwyczaj z koniecznością podniesienia ich nośności. Osiągnięcie tego celu na ogół możliwe jest poprzez wzmocnienie istniejących elementów nośnych lub poprzez ich odciążenie dodaną nową konstrukcją, o odpowiednio dobranych parametrach wytrzymałościowych.

Działanie pierwsze ma charakter b. zachowawczy i w mniejszym stopniu ingeruje w zabytkową substancję obiektu. Nie zawsze jednak pozwala osiągać pożądane efekty mechaniczne, nawet przy ponoszeniu bardzo wysokich kosztów robót remontowych.

W obszarze wzmacniania zabytkowych mostów sklepionych (kamiennych i ceglanych) duże osiągnięcia obserwowane są w ostatnich latach w Wielkiej Brytanii i we Włoszech, zarówno w zakresie nowych technik jak i materiałów, zmieniające dotychczasowe, niekiedy silnie utrwalone poglądy dotyczące sposobów wzmacniania (np. zastępowanie sztywnych elementów wzmacniających elementami podatnymi).

W przypadku zastosowania odciążenia nowa konstrukcja przejmuje w całości funkcję starej w zakresie przyjmowania obciążeń użytkowych. Działanie takie jest zazwyczaj w pełni akceptowalne

przez nadzór konserwatorski pod warunkiem umiejętnego „wtopienia” elementów odciążających w starą tkankę obiektu. Niekiedy udaje się całkowicie ukryć dodane elementy, ale są również i takie sytuacje, kiedy muszą one współtworzyć nowy architektoniczno-estetyczny wystrój mostu, który w dalszym ciągu utrzymuje cechy zabytkowości.

Pokazane dalej przykłady odnoszą się głównie do techniki odciążania istniejących ustrojów nośnych mostów zabytkowych, która najczęściej stosowana jest równolegle z różnymi metodami wzmacniania zachowywanych elementów starych.

3. Elementy betonowe ze zbrojeniem sztywnym

3.1. Charakterystyka elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym

Zginane elementy betonowe ze zbrojeniem sztywnym, nazywane inaczej elementami dźwigarobetonowymi (ang. encased girders), mają w mostownictwie dość długą historię, która rozpoczęła się na przełomie XIX i XX w. W latach 20. XX w., w Kanadzie przeprowadzono pierwsze badania, które uświadomiły konstruktorom istotny wpływ betonu na nośność zginanych elementów dźwigarobetonowych. Niebawem powstały pierwsze normy i przepisy, torując elementom dźwigarobetonowym drogę do ich upowszechnienia w budownictwie mostowym, zwłaszcza w obszarze mniejszych mostów kolejowych.

Współczesne zginane elementy dźwigarobetonowe kształtowane są z wykorzystaniem dźwigarów walcowanych dla mniejszych rozpiętości lub blachownic spawanych dla rozpiętości większych. W niektórych przypadkach, w grubszych płytach dźwigarobetonowych, stosowane są kanały zmniejszające ciężar własny elementu. Betony wysokowartościowe oraz stale wysokich wytrzymałości (HPS) stwarzają obecnie nowe możliwości jeszcze szerszego stosowania tych elementów, zwłaszcza tam, gdzie występuje potrzeba stosowania elementów smukłych, o dużej nośności.

Elementy dźwigarobetonowe są obecnie powszechnie zaliczane do konstrukcji zespolonych typu stal-beton. Wymiarowanie tych elementów uwzględnia współpracę betonu i stali w strefach bezpośredniego kontaktu (współpraca przyczepnościowa lub wspomagana za pomocą różnego typu łączników). Klasycznie, nośność elementów zginanych ustalana jest przy założeniu częściowego uplastycznienia strefy ściskanej betonu (rozkład paraboliczny), z uwzględnieniem również częściowej współpracy betonu rozciąganego. Naprężenia normalne w dźwigarze stalowym rozłożone są liniowo, zgodnie z fazą sprężystą pracy elementu. Nowe zalecenia wielu norm i przepisów są mniej konserwatywne, odnosząc nośność elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym do stanu pełnego uplastycznienia strefy ściskanej betonu oraz pełnego uplastycznienia przekroju stalowego.

3.2. Zalety elementów ze zbrojeniem sztywnym w kontekście odciążania i wzmacniania mostów zabytkowych

Nawiązując do wieloletnich doświadczeń stosowania konstrukcji dźwigarobetonowych w mostownictwie oraz własnych projektów, badań i realizacji zestawiono poniżej ważniejsze zalety tych konstrukcji, odnosząc je bezpośrednio do możliwości odciążania i wzmacniania mostów zabytkowych.

- Mała wysokość betonowych elementów zginanych ze zbrojeniem sztywnym stanowi ich dużą zaletę. To właśnie dzięki niej dodawane elementy łatwo „wtapiane” są w istniejącą konstrukcję, nie ingerując w sposób zauważalny w zabytkową tkankę obiektów. Eliminowana jest tym samym sytuacja, w której dodawane elementy wzmacniające tworzą nowy, często dyskusyjny wizerunek architektoniczno-estetyczny obiektu.
- Elementy ze zbrojeniem sztywnym charakteryzują się stosunkowo dużą nośnością w porównaniu do swej wysokości. Ta cecha sprawia, że często niewielkie wymiarowo elementy są w stanie dość radykalnie zmienić nośność całej konstrukcji, przystosowując ją do nowych, zwiększonych wymogów komunikacyjnych w zakresie ciężaru taboru.
- Duża sztywność zgięciowa, jaką z reguły dysponują elementy dźwigarobetonowe, jest szczególnie istotna w przypadkach ich stosowania jako konstrukcji odciążających zachowywane elementy zabytkowe budowli mostowej. Odciążanie przęseł sklepionych (kamiennych lub ceglanych) konstrukcją ze zbrojeniem sztywnym pozwala minimalizować do kilku centymetrów pozostawianą

wolną przestrzeń nad kluczem sklepień. Jest to możliwe dzięki minimalnym ugięciom nowego ustroju nośnego w stadium eksploatacyjnym.

- Niska wrażliwość dynamiczna elementów dźwigarobetonowych jest istotną zaletą w kontekście ich zabudowy wewnątrz starych konstrukcji murowych. Konstrukcje sklepień, murene ściany czołowe przęsła, korpusy przyczółków i filarów, skrzydła przyczółków są podatne na wpływy dynamiczne generowane przez współczesny ciężki tabor samochodowy i kolejowy. Propagacja drgań w tych elementach prowadzi do szybkiej degradacji zarówno w obrębie tworzywa konstrukcyjnego jak i połączeń.
- Samonośność elementów dźwigarobetonowych, zarówno wykonywanych in situ jak i stosowanych w postaci prefabrykowanej, eliminuje dodatkowe obciążenia i oddziaływania przekazywane na starą konstrukcję odciążaną. Jest to szczególnie korzystna okoliczność dla wypracowanych i osłabionych sklepień, dla których samo obciążenie ciężarem własnym konstrukcji i nadsypki bądź nadmurówki wywołuje dostatecznie wysoki poziom wyęczenia.
- Elementy wzmacniające lub odciążające wykonane w postaci dźwigarobetonowej charakteryzuje duża trwałość. Dzięki niej częstotliwość poważniejszych zabiegów remontowych wydatnie maleje, co w dłuższej perspektywie redukuje koszty związane z utrzymaniem obiektu i ogranicza uciążliwości generowane podczas prowadzonych robót.
- Monolityczne ustroje płytowe ze zbrojeniem sztywnym charakteryzują się dużą szczelnością, co jest niewątpliwą zaletą w kontekście destrukcji wywoływanej przez wodę w obiektach mostowych.
- Elementy ze zbrojeniem sztywnym mogą występować zarówno w postaci prefabrykowanej jak również mogą być wykonywane „in situ”. Prefabrykacja może dotyczyć całości elementów lub tylko ich części. W przypadku drugim stanowią one fragment konstrukcji kształtowanej docelowo jako układ zespolony typu stal-beton.
- Stosowanie elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym jest przyjazne w stadium realizacyjnym. Część stalowa wykonywanej konstrukcji dźwigarobetonowej jest prosta w prefabrykacji i montażu. Mały ciężar sprawia, że manewrowanie zarówno elementami montażowymi jak i całym rusztem w planie oraz w pionie nie nastęca istotnych trudności. Łatwość wykonania całej konstrukcji dźwigarobetonowej sprzyja również skracaniu czasu trwania robót budowlano-montażowych.

4. Odciążenie sklepienia „Czerwonego mostu” w Krakowie

Drogowy wiadukt w ciągu ulicy Waliszewskiego (dawna droga rokadowa twierdzy Kraków) tzw. „Czerwony Most” [4] jest jednym z nielicznych krakowskich sklepionych obiektów mostowych, które dotrwały do naszych czasów. Pod koniec lat 90. XX w. wiaduktowi zagrażało niemal całkowite zniszczenie (rys. 2a) i tylko dzięki podjęciu zdecydowanych działań udało się go uratować i zachować dla przyszłych pokoleń.

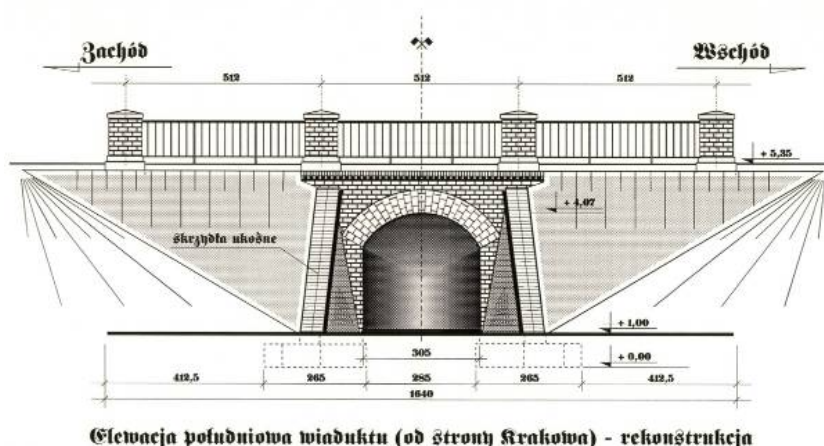
Lepiej zachowanym i podobnym do opisywanego obiektem jest drogowy wiadukt w ciągu alei Waszyngtona (tzw. „Diabelski Most”), nad ulicą Malczewskiego (dawna droga rokadowa) w Krakowie, którego zły stan wskazuje na pilną potrzebę rewaloryzacji.

4.1. Charakterystyka obiektu

„Czerwony Most”, razem z drogami na i pod obiektem, tworzy zespół 2-poziomowego skrzyżowania dróg fortecznych. Powstał prawdopodobnie w latach 1894-1902 w ramach rozbudowy pierścienia fortyfikacji Twierdzy Kraków. Należy do pierwszych 2-poziomowych skrzyżowań drogowych w Krakowie i zaliczany jest obecnie do zabytków inżynierii drogowej.

Wiadukt (rys. 1, 2b) w całości jest konstrukcją wykonaną z cegły (14x6,5x29 cm). Wszystkie ściany licowe mają układ główkowy. Odcinkowe sklepienie z cegieł klinowych, oparte jest w wezłowiach na pionowych korpusach przyczółków. Nasypy dojazdów do obiektu uchwycone są za pomocą ukośnych skrzydeł, wykształconych w postaci ścian oporowych, nieco odchylonych od pionu po stronach licowych. Ściany czołowe przęsła sklepionego zwieńczono gzymsem, mającym charakter fryzu. Ruch na obiekcie zabezpieczono dwoma balustradami, wykonanymi z ceglanych filarków i stalowych przęsła

wypełniających. Droga pod obiektem (ul. Pękowicka) przebiega w wykopie. Dojazdy (ul. Waliszewskiego) poprowadzono na nasypach, podnoszących niweletę ponad otaczający teren.



Rys. 1. Rekonstrukcja architektoniczna południowej elewacji „Czerwonego Mostu” w Krakowie

Fig. 1. Architectural reconstruction of south elevation of “Red Bridge” in Cracow

4.2. Efekty działań rewaloryzacyjnych

Działania rewaloryzacyjne [1] obejmowały integrację, recompozycję i rekonstrukcję obiektu. W zakresie działań integracyjnych odbudowano, uzupełniono i scalono zdegradowane sklepienie, korpusy przyczółków, zachowane fragmenty skrzydeł oraz ściany czołowe z gzymsami. Rekompozycja obejmowała odtworzenie balustrad zaprojekt. przy wsparciu studiów porównawczych i w sposób zgodny z porządkiem architektoniczno-estetycznym całego zespołu. Rekonstrukcja obejmowała nie istniejące skrzydła oraz znaczne fragmenty ścian czołowych sklepienia wraz z gzymsami. Przy rekonstrukcji wzorowano się wiernie na zachowanych częściowo elementach. Dużą część zabiegów rewaloryzacyjnych wykonano stosując oryginalną cegłę pochodzącą z robót rozbiórkowych.

a)



b)



Rys. 2. a) Stan „Czerwonego Mostu” przed rekonstrukcją i odciążeniem, widok od strony pld.;

b) Elewacja południowa wiaduktu po zakończeniu rewaloryzacji.

Fig. 2. Degradation of “Red Bridge” before reconstruction and strengthening, south elevation of viaduct,

b) South elevation of viaduct after revaluation.

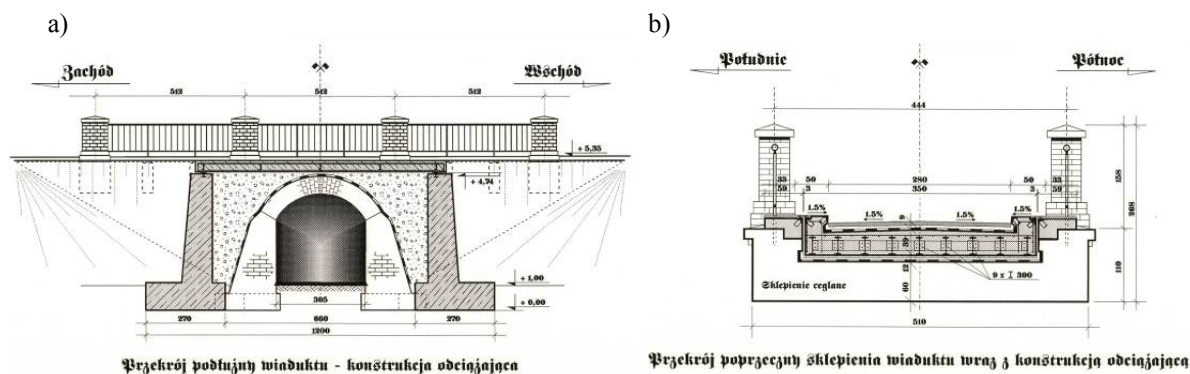
4.3. Zrealizowany sposób odciążenia obiektu

Przeprowadzone badania sklepienia i przyczółków wykazały, że elementy te po rewaloryzacji mogą stanowić jedynie zabytkową część obiektu i nie powinny być poddawane działaniu obciążeń użytkowych. Celem przeniesienia nowego, zwiększonego poziomu obciążeń użytkowych taborem samochodowym (kl. „C”) zastosowano konstrukcję odciążającą (rys.3a, b) „wtopioną” w światło

między ścianami czołowymi sklepienia [1]. Udało się spełnić trudny wymóg konserwatorski nieczytelności od zewnątrz istotnej ingerencji w zabytkową substancję obiektu.

Konstrukcja odciążająca składa się z dźwigarobetonowego przęsła (obetonowany ruszt złożony z dziewięciu dwuteowników walcowanych 300 i poprzecznicy) opartego na nowych, żelbetonowych przyczółkach, ukrytych w nasypach drogi rokadowej. Dzięki zastosowaniu odciążenia większość oddziaływań związanych z taborem samochodowym klasy „C” zostało przeniesionych na zewnątrz, poza obręb zabytkowej konstrukcji obiektu.

Obecnie, zrewaloryzowany i wzmocniony „Czerwony Most” nadal pełni funkcję komunikacyjną, a jednocześnie jest cennym zabytkiem sztuki inżynierskiej, stanowiąc ciekawy element szlaku turystycznego i ścieżki rowerowej w kierunku Ojcowa, wzdłuż doliny Prądnika.



Rys. 3. Zrealizowane odciążenie „Czerwonego Mostu”.

- a) Przekrój podłużny przez konstrukcję dźwigarobetonową i przyczółki.
b) Przekrój poprzeczny przez konstrukcję dźwigarobetonową i sklepienie ceglane.

Fig. 3. Finished strengthening of “Red Bridge”.

- a) Longitudinal cross-section through concrete-encased structure and abutments,
b) Transverse cross-section through concrete-encased structure and brick arch.

5. Przebudowa mostu drogowego w Jeleniej Górze

5.1. Charakterystyka obiektu

Most drogowy w Jeleniej Górze (ulica Powstańców Wielkopolskich) nad rzeką Kamienną jest obiektem pochodzącym z XIX wieku, a jego budowa prawdopodobnie została ukończona w 1880 r. (początki stosowania betonu zbrojonego w mostownictwie).



Rys. 4. a) Stan mostu przed rozpoczęciem remontu i wzmocnienia; b) Widok mostu po zakończeniu robót
Fig. 4. a) Bridge condition before restoration and strengthening, b) General view of bridge after restoration.

Przed rozpoczęciem przebudowy i remontu ustrój nośny mostu stanowiła czteroprzęsłowa (rozpiętości teoretyczne przęsła $L_t = 11,12; 10,90; 10,70$ i $7,30$ m), ciągła konstrukcja płytowo-belkowa

wykonana z betonu zbrojonego (rys. 4a). Dźwigary główne mają zmienną wysokość (nad podporami 1,53 m oraz 0,85 m w środkach przęseł) uzyskaną za pomocą parabolicznych skosów. Dźwigary te oparto bezpośrednio na filarach i przyczółkach mostu, bez stosowania łożysk. W przekroju poprzecznym zastosowano 5 dźwigarów głównych (grubość dźwigara 0,30 m, rozstaw co 1,57 m). Płyta pomostowa z betonu zbrojonego miała grubość 0,25 m. Dźwigary główne stężono poprzecznkami podporowymi i pośrednimi w środkach przęseł. Filary mostu mają konstrukcję masywną i wykonane są z regularnych ciosów kamiennych. Zwieńczenie stanowią betonowe oczepy – ławy łożyskowe. Masywne korpusy przyczółków wykonano również z ciosów kamiennych.

Most, po ok. 118 latach eksploatacji, znalazł się w stanie niemal awaryjnym (rys. 4a), a stopień jego degradacji poddał w wątpliwość chęć dalszego wykorzystywania większości starych elementów do przenoszenia aktualnych obciążeń komunikacyjnych. Po przeprowadzeniu dodatkowych badań podjęto decyzję o radykalnej przebudowie ustroju nośnego, z zachowaniem części dźwigarów głównych (wewnętrznych) i ogólnego, architektoniczno-estetycznego charakteru obiektu.

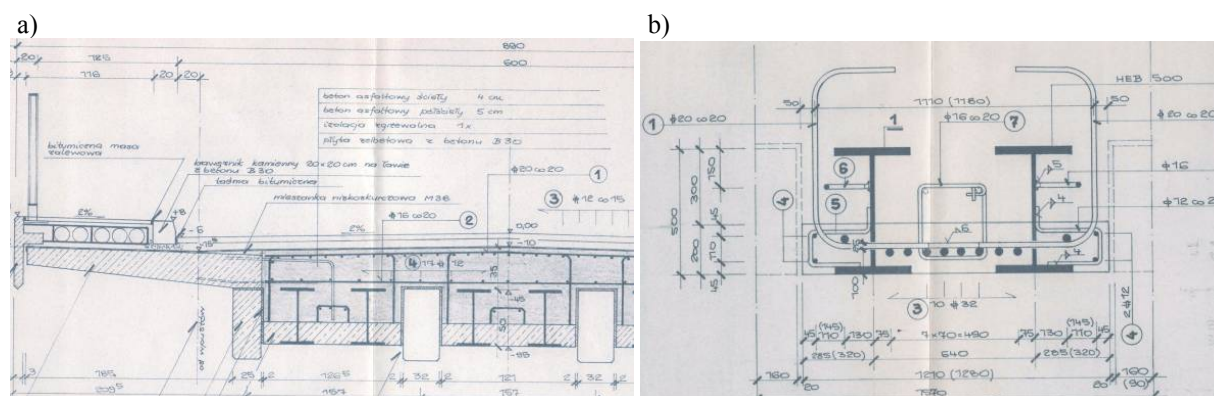
5.2. Nowa konstrukcja nośna w starej substancji mostu

Nowy ustrój nośny mostu zaprojektowano [2] i wykonano w postaci konstrukcji dźwigarobetonowej. Jest ona złożona z elementów prefabrykowanych dwóch typów (rys. 5a, b). Typ I stanowi element wewnętrzny, usytuowany pomiędzy zachowanymi dźwigarami wewnętrznymi. Typ II jest to element zewnętrzny umieszczony pomiędzy prefabrykowanym dźwigarem skrajnym a dźwigarem wewn.

Elementy prefabrykowane konstrukcji dźwigarobetonowej wykonano z dwóch dźwigarów szerokostopowych (HEB 500), powiązanych ze sobą półką dolną z betonu zbrojonego. Półka ta stanowi współpracujący, zbrojony element szalunkowy, dzięki czemu nowy ustrój nośny można było wykonać bez dodatkowych rusztowań i deskowań. Pasy dolne dźwigarów stalowych zostały zabezpieczone antykorozyjnie.

Elementy prefabrykowane w poszczególnych przęsłach zostały przekształcone w monolityczny, zespolony układ płytowo belkowy, z dźwigarobetonowymi żebrami po wypełnieniu ich górnych partii betonem B30 (rys. 5a). Na styku z dźwigarami zewnętrznymi i wewnętrznymi pozostawiono dylatacje wypełnioną styropianem.

Poszczególne przęsła częściowo uciąglono nad filarami za pomocą dodatkowego zbrojenia podłużnego, umieszczonego w obrębie płyty pomostowej. Uniknięto w ten sposób stosowania przekryć nad szczelinami dylatacyjnymi.



Rys. 5. a) Przekrój poprzeczny przebudowanego przęsła mostu w środku rozpiętości (fragm.). b) Typowy prefabrykat dźwigarobetonowy wykształcający zebra zespolone w nowym układzie płytowo-belkowym.

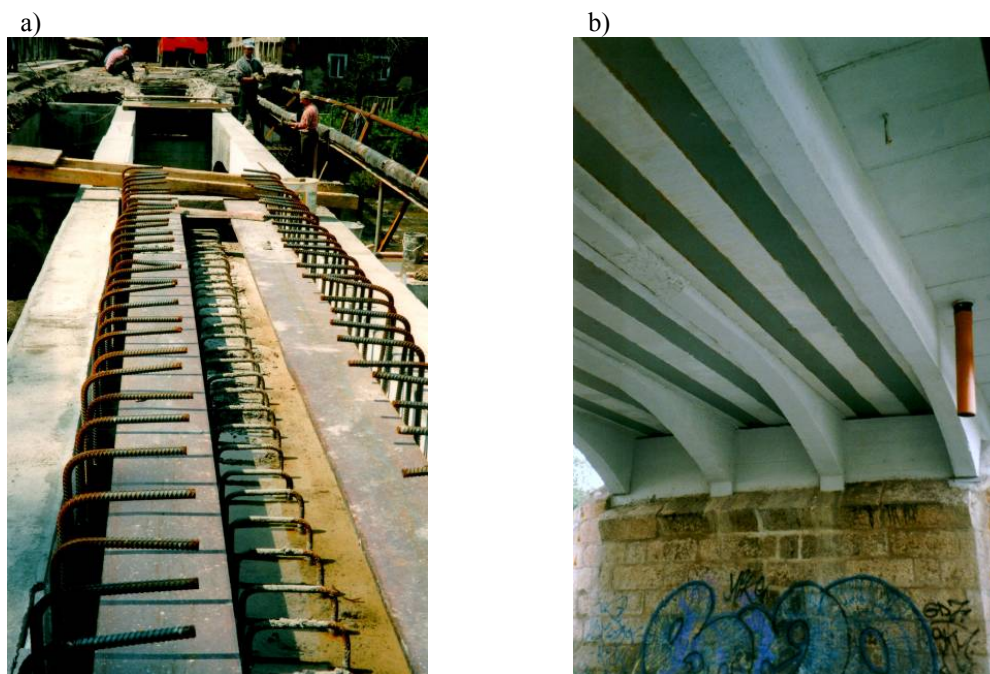
Fig. 5. a) Midspan cross-section of the bridge after restoration (part of structure), b) Typical precast concrete – encased girder making composite rib in new deck and girders arrangement.

Partie wspornikowe przęseł zostały wykonane z segmentów prefabrykowanych, które z jednej strony tymczasowo oparto na dźwigarach krawędziowych, a z drugiej wymagały dodatkowego podpierania na długości mostu. Elementy wspornikowe oddzielono od dźwigarów krawędziowych szczelinami dylatacyjnymi.

Pierwotna geometria ustroju nośnego mostu oraz dotychczasowa architektura przęseł zostały utrzymane dzięki zastosowaniu czołowych, prefabrykowanych dźwigarów żelbetowych, stanowiących

element maskujący nową konstrukcję nośną i geometrycznie zgodnych z usuniętymi elementami zabytkowymi.

W rezultacie przyjętych rozwiązań zredukowano do min. ilość rusztowań, tymczasowych podparć montażowych i deskowań potrzebnych przy realizacji konstrukcji nośnych przęseł. Stosownie do przyjętego schematu robót budowlano-montażowych i technologii realizacji nowego ustroju przeprowadzono dwustopniową analizę statyczno-wytrzymałościową dla nowego, zwiększonego standardu obciążenia taborem samochodowym klasy „C”.



Rys. 6. a) Zabudowa prefabrykatów dźwigarobetonowych pomiędzy zachowanymi dźwigarami konstrukcji pierwotnej. b) Widok spodu przebudowanego przęsła skrajnego po zakończeniu robót.

Fig. 6. a) Arrangement of precast concrete-encased girders between old parts of the bridge, b) General view of bridge after restoration.

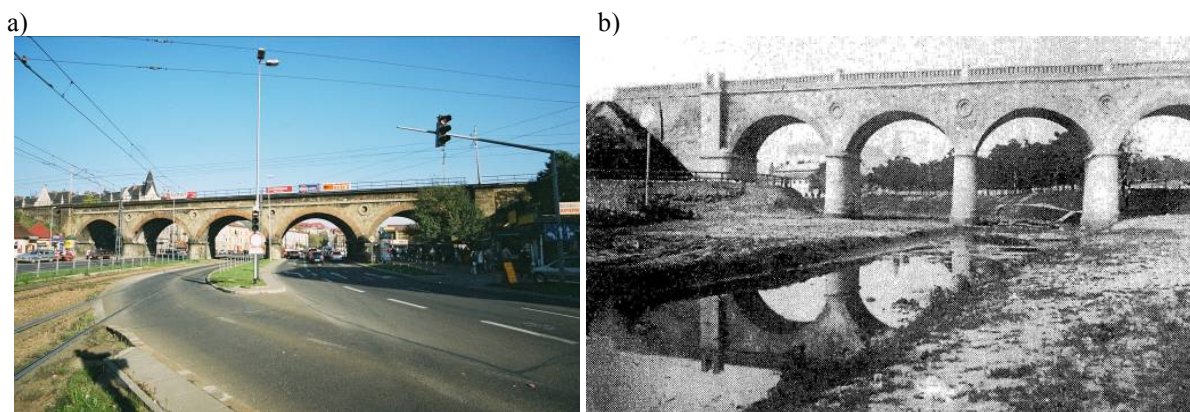
Zaproponowana technologia przebudowy i remontu mostu pozwoliła w znacznej mierze zachować jego pierwotny charakter. Udało się pozostawić zabytkowe dźwigary wewnętrzne oraz wszystkie kamienne filary i przyczółki. Aktualna architektura mostu (rys. 4b, 6b) wyraźnie nawiązuje do stanu pierwotnego, chociaż, niestety, nie udało się zrekonstruować starych balustrad oraz odnowić i ewentualnie wzmocnić podpór obiektu.

6. Odciążenie sklepień wiaduktu Grzegórzeckiego

6.1. Charakterystyka obiektu

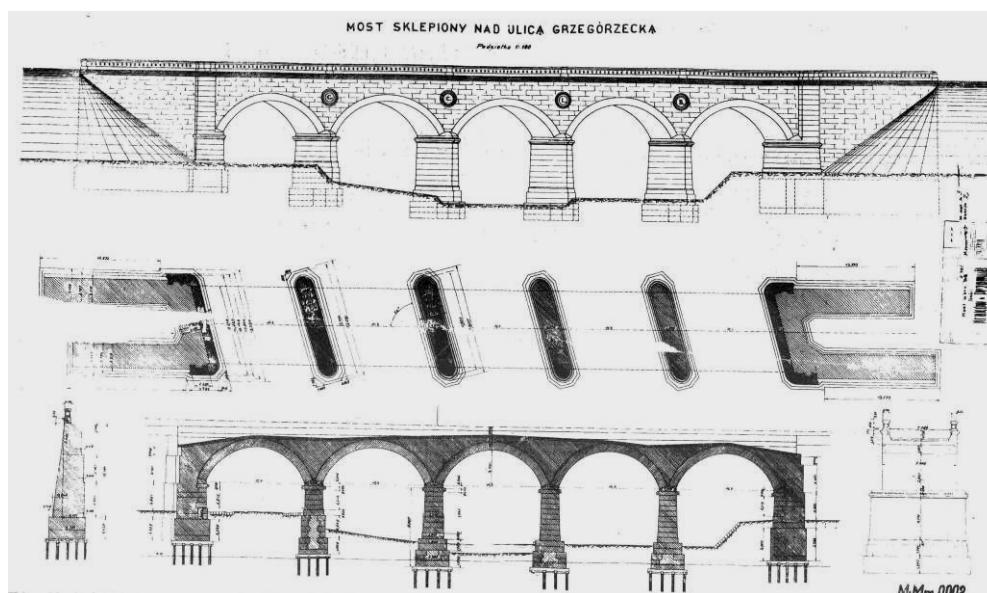
Wiadukt kolejowy (tzw. wiadukt Grzegórzecki) w km 0,771 linii Kraków-Medyka, zlokalizowany nad ul. Grzegórzecką w Krakowie (rys. 7a), pierwotnie pełnił funkcję mostu nad korytem Starej Wisły (por. rys. 7b). Został wybudowany w 1863 r. dla potrzeb linii kolejowej Kraków-Lwów (połączenie od 1861 roku, kolej arcyksięcia Karola Ludwika), zastępując konstrukcję o charakterze tymczasowym (most drewniany typu amerykańskiego, system Howe'a). W chwili obecnej wiadukt ma 145 lat i należy do grupy najstarszych kolejowych obiektów inżynierskich w Krakowie.

Od 5 września 1989 roku wiadukt Grzegórzecki, decyzją Wojewódzkiego Konserwatora Zabytków Urzędu Miasta Krakowa (znak OZ IV/58/89), jest wpisany do rejestru zabytków pod nr A-820. Jest to niewątpliwie najważniejszy zabytek sztuki inżynierskiej w Krakowie. Zabytkowy charakter obiektu narzuca specjalny tryb jego traktowania, zwłaszcza w odniesieniu do istotnych ingerencji w jego zabytkową substancję.



Rys. 7. a) Widok ogólny wiaduktu kolejowego nad ul. Grzegorzeczką od strony zach. (stan obecny, 2008),
 b) Widok ogólny mostu kolejowego nad Starą Wisłą od strony zachodniej.
 Fot. Walentego Rzewuskiego (1870-80) ze zbiorów Archiwum Państwowego w Krakowie.

Fig. 7. a) General view of railway viaduct over Grzegorzka street from west side (present condition, 2008),
 b) General view of railway bridge over Old Vistula river from west side. Picture taken by Walenty Rzewuski (1870-1880) from collection of State Archives in Cracow.



Rys. 8. Rysunek archiwalny mostu kolejowego nad Starą Wisłą pokazujący elewację zachodnią obiektu, rzut poziomy i przekrój podłużny, z uwzględnieniem elementów posadowienia pośredniego (pale drewniane)

Fig. 8. Archives drawing of railway bridge over Old Vistula river showing west elevation, plan & longitudinal cross-section with deep foundation (timber piles).

Ustrój nośny wiaduktu (rys. 8) stanowi pięcioprzęsłowa konstrukcja złożona z ceglanych sklepień o stałej grubości 0,85 m, zaprojektowanych w skosie dostosowanym do kąta skrzyżowania obiektu. Sklepienia mają geometrię walców kołowych ($R = 5,70$ m – promień powierzchni cylindrycznej spodu sklepienia). Rozpiętości sklepień w świetle węzłowi wynoszą 11,20 m (mierzone po długości obiektu). Nadmurówki na sklepieniach, wykonane z kamienia łamanego na zaprawie cementowej, przytrzymują mury czołowe wykonane również z kamienia. Szerokość sklepień, równa odległości ścian licowych murów czołowych, wynosi 9,30 m.

Nawierzchnia kolejowa na wiadukcie złożona jest z dwóch torów na podsypce tłuczniowej o grubości ok. 1,30 m. Każdy z torów wyposażony jest w odbojnice.

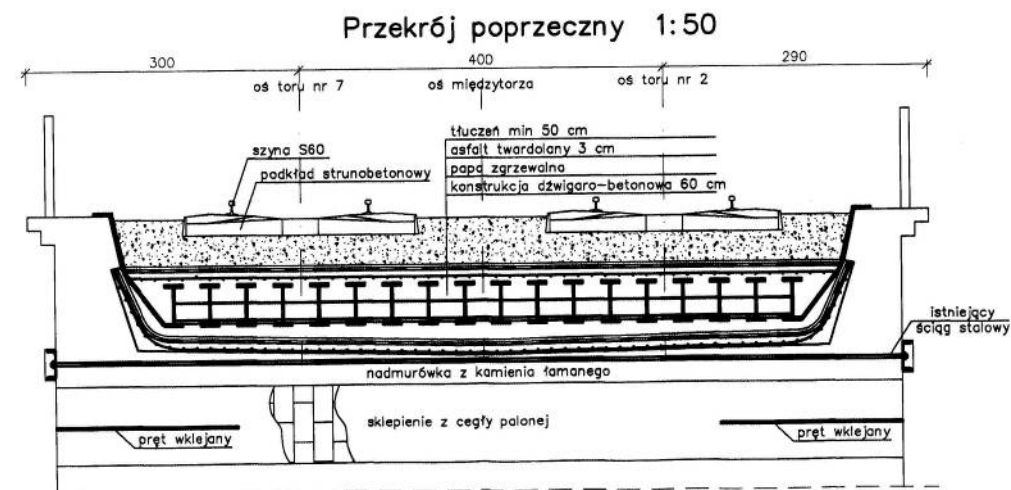
Podpory wiaduktu - filary i przyczółki - mają kąt ukosu odpowiadający kątom ukosu sklepionych przęseł oraz kątom skrzyżowania obiektu. Podpory są konstrukcjami masywnymi, wykonanymi z kamienia. Jak wynika z rysunków archiwalnych (rys. 8), wszystkie podpory posadowione są za

pośrednictwem zespołów dębowych pali, wbitych w koryto Starej Wisły. Głowice pali znajdują się na głębokości ponad 4 m poniżej aktualnego naziomu w rejonie wiaduktu.

Obecny, zagrażający bezpieczeństwu, stan techniczny wskazuje na pilną potrzebę gruntownego remontu, który przystosuje konstrukcję do współczesnych wymogów obciążeniowych oraz przywróci obiektowi pierwotny, zabytkowy kształt architektoniczno-estetyczny [3]. Dodatkowo, ze względu na zabytkowy status obiektu roboty typowo mostowe należy uzupełnić pracami konserwatorskimi w odniesieniu do powierzchni murowych – ceglanych i kamiennych.

6.2. Koncepcja naprawy z wykorzystaniem elementów ze zbrojeniem sztywnym

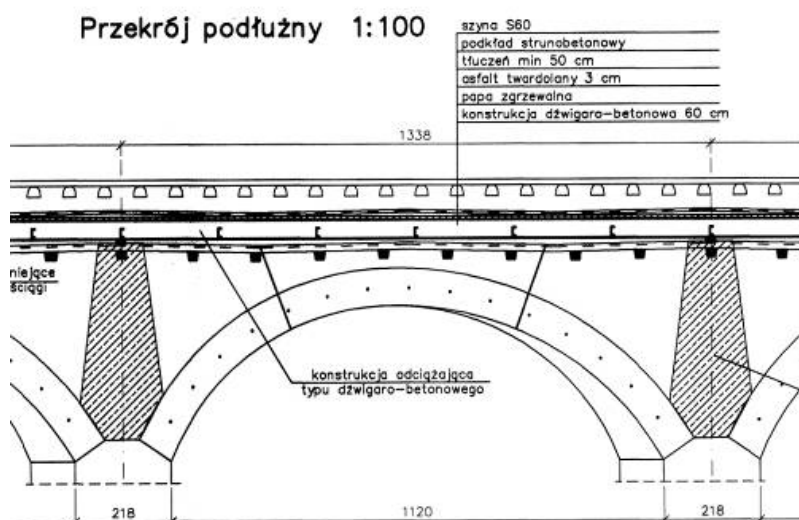
Ogólna koncepcja naprawy i zabezpieczenia obiektu oraz przystosowania go do współczesnych wymogów eksploatacyjnych przedstawiona została szczegółowo w pracach [3, 4].



Rys. 9. Proponowany sposób odciąż. i wzmocnienia układu sklepień wiaduktu kolejowego nad ul. Grzegórzecką. Przekrój poprzeczny w kluczu przez sklepienie i odciążającą konstrukcję dźwigarobetonową

Fig. 9. Proposed solution of strengthening of arches of railway viaduct over Grzegórzecka street in Cracow. Cross-section at the crown of the structure.

Poniżej ograniczono się do zwięzłego przypomnienia koncepcji odciążenia sklepień wiaduktu, która rozwija omawiane wcześniej i wdrożone zastosowania elementów dźwigarobetonowych.



Rys. 10. Odciążenie sklepień wiaduktu kolejowego nad ulicą Grzegórzecką w Krakowie. Przekrój podłużny przez ciągłą konstrukcję dźwigarobetonową i ukryte filary żelbetowe.

Fig. 10. Strengthening of arches of railway viaduct over Grzegórzecka street in Cracow. Longitudinal cross-section through continuous encased girder structure and hidden reinforced concrete piers.

Uznano, biorąc pod uwagę wszystkie uwarunkowania, że sklepienia wiaduktu teraz i w przyszłości powinny przenosić już tylko swój ciężar własny oraz ciężar nadmurówek. Obciążenia użytkowe taborem kolejowym (klasa $k = +2$) oraz ciężar nawierzchni kolejowej powinna w całości przejmować nowa konstrukcja odciążająca, przekazując je bezpośrednio na podpory, bez pośrednictwa nadwierzonych sklepień. Konstrukcję taką pokazano na rys. 9 i 10.

Jest to wieloprzęsłowy, ciągły ustrój dźwigarobetonowy, który ukryty w istniejącym obiekcie nie zmienia jego walorów architektoniczno-estetycznych. Konstrukcja ta zabezpiecza ponadto górne partie (ponad ryglami ze ściągami) murów czołowych i murów skrzydłowych przed nadmiernymi obciążeniami poziomymi, które były przyczyną uszkodzenia tych elementów wiaduktu na przełomie lat 80. i 90. XX wieku.

Obecnie został wyłoniony Projektant generalnego remontu wiaduktu. Należy wyrazić nadzieję, że przedstawiane obecnie oraz zawarte w opracowaniu [3] i referacie [4] przemyślenia oraz ustalenia dotyczące napraw i wzmocnień starych mostów zabytkowych, w tym przedmiotowego obiektu, będą pomocne i zostaną we właściwym zakresie uwzględnione w przygotowywanym projekcie.

7. Wnioski

- Przedstawione przykłady wzmocnień i rekonstrukcji mostów oraz wiaduktów wskazują, że wykorzystanie elementów betonowych ze zbrojeniem sztywnym w odniesieniu do zabytkowych obiektów mostowych jest działaniem racjonalnym pod wieloma względami. Uzyskiwane dobre efekty, zarówno w sferze działań konserwatorskich jak i inżynierskich, potwierdzają tę tezę, skłaniając do dalszych działań i wysiłków w rozwijaniu tych technologii.
- Opisane przypadki odciążania i wzmocniania starych obiektów mostowych za pomocą elementów dźwigarobetonowych obejmują trzy ważne układy konstrukcyjne. Pierwszy dotyczy obiektów krótszych, gdzie element wzmocniający pojawia się w schemacie wolnopodpartym („Czerwony Most” w Krakowie). Z mostami dłuższymi związane są dwa pozostałe układy konstrukcyjne. Układ wieloprzęsłowy z uciągleniami przez płytę pomostową pokazano na przykładzie mostu w Jeleniej Górze oraz układ wieloprzęsłowy, w pełni ciągły obrazuje zawansowana koncepcja odciążenia wiaduktu Grzegórzeckiego w Krakowie.
- Wskazane wybrane zalety omawianych elementów ze zbrojeniem sztywnym decydują o powodzeniu ich stosowania w szeroko pojętych procesach rewitalizacyjnych zabytkowych obiektów mostowych.
- W chwili obecnej prowadzone są prace projektowe zmierzające do adaptacji sklepionego mostu drogowego na rzece Krzeszówce w Krzeszowicach do współczesnych wymogów komunikacyjnych. Wykorzystanie konstrukcji dźwigarobetonowej dostosuje obiekt do obciążeń klasy „B”, zwiększy przepustowość mostu oraz pozwoli zachować starą, przedwojenną substancję, która w sposób trwały wpisała się w krajobrazowo-architektoniczną przestrzeń.

L i t e r a t u r a

- [1] R y ż K., Ś r e d n i a w a W., *Rewaloryzacja zabytkowego wiaduktu w ciągu drogi rokadowej jako przykład kształtowania estetycznego nawiązującego do XIX-wiecznej architektury fortecznej*, Pierwsza Krajowa Konferencja "Estetyka Mostów", Warszawa-Jadwisin, 28 i 29 kwietnia 1994, s.145-150.
- [2] R y ż A., R y ż K., S z c z ę c h A., *Projekt budowlano-wykonawczy remontu i przebudowy mostu drogowego nad rzeką Kamienną w/c ulicy Powstańców Wielkopolskich w Jeleniej Górze*, P.U.I. PROKOM S.C., Kraków 1998.
- [3] R y ż K., U r b a ń s k i A., R u d k a T., *Ekspertyza naukowo-badawcza wiaduktu kolejowego w km 0.771 linii Kraków-Medyka nad ul. Grzegórzecką w Krakowie*, P.U.I. PROKOM S.C., Kraków 2005.
- [4] R y ż K., U r b a ń s k i A., *Ocena bezpieczeństwa zabytkowego wiaduktu kolejowego o konstrukcji murowej typu sklepionego*, VII Konferencja naukowo techniczna „REW-INŻ'2006” nt.: „Inżynieryjne Problemy Odnowy Staromiejskich Zespołów Zabytkowych”, Kraków, 31.05.06-02.06.06, Tom 1, s.219-234.

