

dr inż. Andrzej Kasprzak<sup>1\*)</sup>  
mgr inż. Marcin Galecki<sup>2)</sup>  
dr inż. Andrzej Berger<sup>3)</sup>  
mgr inż. Adam Nadolny<sup>1)</sup>

# Przebudowa mostu gen. Grota-Roweckiego w Warszawie

DOI: 10.15199/33.2015.07.20

Przebudowa mostu gen. Stefana Grota-Roweckiego w Warszawie jest największą w Polsce i jedną z największych w Europie tego typu inwestycji. Polega na wzmocnieniu konstrukcji za pomocą sprężenia zewnętrznego oraz na odcięciu istniejących wsporników i dospawaniu nowych, wydłużonych, opartych na zewnętrznym skratowaniu.

## Konstrukcja mostu przed przebudową

Most gen. Grota-Roweckiego został wzbudowany w latach 1977 – 1981 wg projektu **Witolda Witkowskiego**. Łączy warszawskie dzielnice lewobrzeżne: Żoliborz i Bielany z prawobrzeżnymi: Pragę-Północ, Białąłęką i Targówkiem. Jest również fragmentem drogi krajowej nr 8, przeznaczonej do ruchu tranzytowego przez stolicę. Most składa się z dwóch niezależnych stalowych, spawanych ustrojów nośnych, opartych na żelbetowych podporach posadowionych pośrednio na palach, poza filarem nr 6 (podpora nurtowa) opartym na kesonie. Pale podór pośrednich zostały zwieńczone płytą fundamentową wspólną dla rozdzielonych korpusów filarów (fotografia 1). Przyczółki są masywnymi konstrukcjami żelbetowymi, które oprócz zasadniczej funkcji podpory skrajnej umożliwiają obsługę oraz wymianę magistral ciepłowniczych i wodociągowych przebiegających przez most. Ruch na przyczółkach odbywa się po górnej płycie o długości ponad 30 m.



Fot. 1. Widok konstrukcji przed przebudową

<sup>1)</sup> Mosty Gdańsk Sp. z o.o.

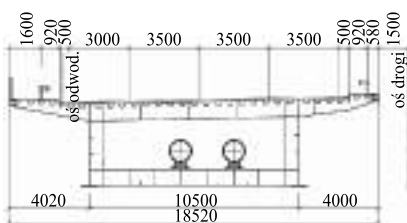
<sup>2)</sup> B4 Sp. z o.o.

<sup>3)</sup> B7 Sp. z o.o.

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji:

e-mail: andrzej.kasprzak@mostygdansk.pl

Przęsła mają konstrukcję stalową, spawaną (z wyjątkiem jednego połączenia spawano-nitowanego) z pomostem ortotropowym. Ustrój jest ciągły, siedmioprzęsłowy. Rozpiętość teoretyczna przęseł wynosi odpowiednio (od strony zachodniej – warszawskiej): 75 + 3 x 90 + 2 x 120 + 60 m. Dwa najdłuższe, nurtowe przęsła mają przekrój skrzynkowy, a pozostałe dwubelkowy (rysunek 1). Wysokość środków dźwigarów jest stała i wynosi 4,1 i 4,3 m. Konstrukcję wykonano z dwóch gatunków stali: 18G2A i St3M. Ze względu na zmęczenia w pomoście i w najdłuższych przęsłach zastosowano stal o niższej granicy plastyczności (St3M). Górna blacha płyty pomostu ma grubość 12 ÷ 28 mm.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny mostu przed przebudową (nitka północna)

## Przyjęta metoda wzmocnienia i poszerzenia ustroju

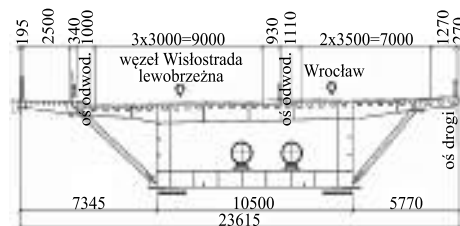
W związku z przekształceniem fragmentu drogi krajowej nr 8, w ciągu której znajduje się most, w drogę ekspresową, konieczne było dostosowanie parametrów trasy oraz obiektu mostowego do wymagań wyższej klasy drogi. Inwestor – GDDKiA Oddział w Warszawie – na podstawie projektu opracowanego przez Transprojekt-Warszawa i projektanta **Witolda Doboszyńskiego**, zdecydował o konieczności:

- poszerzenia obiektu w celu zwiększenia liczby pasów z 8 do 10 (2 x 2 x 3,5 m – pasy drogi ekspresowej i 2 x 3 x 3,0 m – pasy ruchu lokalnego);
- wykonania chodnika i ścieżki rowkowej (2,0 + 2,5 m);
- dostosowania konstrukcji do zwiększonych obciążeń (ustrój niosący i podpory klasa B, pomost ortotropowy klasa A wg PN-85/S-10030 + Stanag 150);

- zastosowania rozwiązań technicznych i materiałowych zapewniających trwałość pomostu na co najmniej 25 lat.

Konsekwencją zmian w pasie drogowym było znaczne poszerzenie pomostu z 37,00 m (2 x 18,50 m) do 46,15 m (23,62 + 22,54 m) na długości 646 m, co decyduje o skali przedsięwzięcia.

Do wzmocnienia i poszerzenia ustroju przyjęto metodę zaproponowaną przez biuro projektowe **Mosty Gdańsk** (rysunek 2), polegającą na wzmocnieniu za pomocą sprężenia zewnętrznego (fotografia 2) oraz na odcięciu istniejących wsporników i dospawaniu nowych wydłużonych, opartych na zewnętrznym skratowaniu (fotografia 3). Takie rozwiązanie umożliwiło sprawną realizację poszerzenia przy jednoczesnym spełnieniu wszystkich warunków nośności, trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji. Problem zmniejszenia sił wewnętrznych w istniejącym fragmencie ustroju, trudny do wykonania przy typowym wzmocnieniu za pomocą dodatkowych elementów stalowych, zrealizowano, stosując sprężenie zewnętrzne. Umożliwiło to wprowadzenie ujemnej strzałki ugięcia przęseł, maksymalne odciążenie istniejącej i wykorzystanie wbudowywanej stali konstrukcyjnej przy przenoszeniu obciążeń oraz montaż nowej konstrukcji segment po segmencie.



Rys. 2. Przekrój poprzeczny mostu po przebudowie (nitka północna)



Fot. 2. Sprężenie dolne w przęśle nurtowym



Fot. 3. Wspornik zewnętrzny

Autorem zamiennych projektów budowlanego i wykonawczego, a także projektu technologicznego jest **Adam Nadolny**.

### Zakres prac

Całą inwestycję przebudowy trasy S8 na odcinku pomiędzy ulicami Powązkowską i Modlińską realizuje firma **Metrostav**, natomiast kompleksową przebudowę obiektu podwykonawca – firma **B7**. Zakres prac wykonywanych w obrębie obiektu obejmował:

- **ustrój nośny przęsła:** badanie stali konstrukcyjnej; demontaż odcinanych fragmentów wsporników; montaż elementów systemu sprężenia i sprężenie ustroju; montaż nowych wsporników; zabezpieczenie antykorozyjne całej konstrukcji stalowej; próbne obciążenie;

- **podpory:** przebudowa przyczółków, w tym wyburzenie i budowa nowej płyty górnej; renowacja i nadbudowa ścian; wykonanie płaszcza żelbetowego korpusów; nadbudowa i wykonanie płaszczy żelbetowych filarów; wymiana łożysk;

- **wyposażenie** m.in.: nawierzchnia jezdni i chodników; bariery ochronne i balustrady; system odwodnienia; urządzenia dylatacyjne.

### Przebudowa konstrukcji stalowej przęsła

Przebudowę mostu rozpoczęto od usunięcia wyposażenia i demontażu wsporników. Prace wykonywano z poziomu pomostu. Ocinano dwunastometrowe sekcje wsporników po obu stronach przekroju poprzecznego, a po sprężeniu poszczególnych przęsła montowano nowe, poszerzone wsporniki. Dzięki przyjętej metodzie przebudowy również te prace wykonywano z poziomu pomostu, co znacznie usprawniło montaż konstrukcji. Przygotowane w wytwórni fragmenty płyty ortotropowej umieszczano na pomoście na podwyższeniu z klatek stalowych (fotografia 4), tak aby możliwe było zamontowanie do niego rur skratowań. Następnie wspornik wraz ze skratowaniem montowano w miejscu docelowym. W efekcie naj-

trudniejsze prace z wykorzystaniem ciężkiego sprzętu udało się wykonać z minimalną ingerencją w teren pod mostem (obszar Natura 2000).

Połączenie starej i nowej konstrukcji wymagało opracowania szczegółowej technologii spawania potwierdzonej wieloma próbami i badaniami. Łączono trzy różne gatunki stali: nową klasy S355 ze starymi St3M oraz 18G2A. Każdą spoinę badano na budowie zgodnie z zatwierdzonym planem badań defektoskopowych spoin pod bezpośrednim nadzorem inspektora nadzoru inwestorskiego. W celu weryfikacji stanu istniejącej konstrukcji wykonano również badania nieniszczące spoin głównych, które wykazały, że spoiny spełniają wymagania aktualnych standardów nośności. Ze względu na wymagania dotyczące trwałości powłoki malarskiej część spoin poddano tzw. pracom hawerskim, polegającym na usunięciu wad powierzchniowych. Jako zabezpieczenie antykorozyjne zastosowano dwa rodzaje systemów malarskich. W przypadku nowej konstrukcji, malowanej częściowo w warsztacie, a częściowo na budowie, system malarski składa się z czterech warstw: metalizacja 200 µm; 2 x międzywarstwa epoksydowa 2 x 100 µm; poliuretanowa warstwa nawierzchniowa 60 µm. Natomiast w przypadku starej konstrukcji, malowanej na budowie, zastosowano następujące warstwy: podkład 80 µm, 2 x międzywarstwa epoksydowa 2 x 80 µm; poliuretanowa warstwa nawierzchniowa 60 µm.

Styki montażowe nowej konstrukcji metalizowano na budowie. Czyszczenie powierzchni do stopnia czystości Sa 2,5 wykonywano metodami strumieniowo-ściernymi. Układanie poszczególnych warstw uwarunkowane było dodatkowo wynikami badań zapylenia, jonizacji, odtuszczenia oraz odpowiednimi warunkami atmosferycznymi (temperatura, wilgotność). Obiekt pomalowano dwoma kolorami: pomost i środniki jasnym szarym (RAL 7035), natomiast konstrukcję skratowań ciemnym niebieskim (RAL 5003).



Fot. 4. Segment przygotowany do montażu

### Sprężenie konstrukcji stalowej przęsła

Sprężenie ustroju nośnego zrealizowano kablami zewnętrznymi systemu C firmy **Freyssinet**, składającymi się z 7; 9 lub 12 spłotów o średnicy minimalnej 15,7 mm, ze stali o wytrzymałości na rozciąganie 1860 MPa. Zastosowano kable odcinkowe przęsłowe i podporowe. Sprężenie w przęsłach poprowadzono poniżej półki dolnej dźwigarów. Zakotwienia zamontowano w osi środników (fotografia 5), a kable odchylono w planie za pomocą dewiatorów (fotografia 6) tak, aby mogły zostać popro-



Fot. 5. Zakotwienie sprężenia dolnego



Fot. 6. Dewiator sprężenia dolnego

wadzone równolegle. Najwięcej kabli przęsłowych znajduje się w przęsłach nurtowych, gdzie pod dwoma środnikami zastosowano po osiem kabli dwunastosplotowych. Sprężenie nad podporami poprowadzono poniżej płyty górnej. Zakotwienia zamontowano po obu stronach środników. Trasa kabli była kontrolowana przez wzmocnione otwory w poprzecznicach, pełniące funkcję dewiatorów. Program sprężania konstrukcji zakładał naciąg kabli w określonej kolejności oraz w konkretnej fazie przebudowy pomostu i stanowił jedno z istotniejszych założeń projektu technologicznego. Realizowano go w kilkunastu fazach przed montażem poszerzenia pomostu.

Konstrukcję zakotwień, na których opierają się bloki oporowe kabli sprężających, tworzą gęsto uźebrowane skrzynki. **Montaż zakotwień i związanych z nimi wzmocnień okazał się jedną z najbardziej pracochłonnych i czasochłonnych czynności podczas przebudowy.** Po zamontowaniu zakotwień oraz dewiatorów przystąpiono do montażu kabli sprężających w rurach osłonowych z polietylenu oraz do ich naciągu. Podczas sprężania geodezyjnie monitorowano odkształcenia konstrukcji, porów-

nując je na bieżąco z wytycznymi projektowymi. Strzałka ugięcia przęsła w poszczególnych fazach przebudowy zmieniała się w granicach kilkunastu centymetrów. Po zakończeniu montażu przęsła i ostatecznej kontroli geometrii pomostu zainiektowano kable sprężające zaczynem cementowym. Ze względu na występowanie w konstrukcji urządzeń obcych – wodociąg i ciepłociąg dużej średnicy, które pozostały czynne w trakcie przebudowy, należało dodatkowo monitorować ugięcia montażowe konstrukcji pod kątem odkształceń sieci zlokalizowanych wewnątrz przekroju pomostu.

### Prace poza konstrukcją stalową przęsła

Obiekt przed przebudową posadowiony był na stalowych łożyskach wahaczowych. Projekt przebudowy zakładał ich wymianę na łożyska garkowe o nośności dostosowanej do nowych obciążeń. Niezbędne więc było zaprojektowanie i wykonanie wzmocnień podporowych pod siłowniki do podnoszenia oraz oparcia konstrukcji w czasie wymiany łożysk, ponieważ ze względu na ograniczoną ilość miejsca na podporach siłowniki nie mogły być umieszczone osiowo pod łożyskami. Zastosowano łożyska garkowe firmy B2. Największe z nich na podporze nurtowej nr 6 ma pionową nośność obliczeniową 27,4 MN.

Filary mostu poddano naprawie powierzchniowej (szpachlowanie, malowanie). Niewielkie ubytki uzupełniono zaprawami polimerowymi, a rysy zainiektowano żywicą. Największe uszkodzenia zaobserwowano w rejonach podpór dylatacyjnych – na ścianach zapleczy przyczółków, gdyż były narażone na działanie wody z nieszczelności w urządzeniach dylatacyjnych. Odtworzono siatkę zbrojenia i obetonowano płaszczem żelbetowym.

Przebudowa przyczółków o konstrukcji skrzynkowej (trójkomorowej) polegała na wyburzeniu i odtworzeniu płyty jezdnej o szerokości dostosowanej do poszerzonej jezdni mostu. Konstrukcja płyty trójkomorowego przyczółka była złożona z dwóch stropów monolitycznie połączonych ze ścianami i środkowego przęsła, swobodnie podpartego i zdylatowanego. Ze względu na utrzymaniowych zaproponowano wykonanie płyty jako konstrukcji żelbetowej, sprężonej, ciąglej z utwierdzeniem w pierwszej komorze i ułożyskowanym podparciem na ścianach komory trzeciej. Dzięki temu wprowadzono korzystniejszy układ statyczny płyty pomostu, wyeliminowano dylatację w środku rozpiętości płyty,

co w połączeniu ze sprężeniem wydłużyło trwałość wykonanego ustroju. Przyczółki oddylatowano od mostu za pomocą palczastych urządzeń dylatacyjnych o maksymalnym przesuwie 300 i 500 mm, dostarczanych przez firmę B2. Zastosowanie dylatacji palczastej w miejsce wielomodułowej poprawiło komfort użytkowania ze względu na ograniczenie hałasu podczas przejazdu pojazdów, co jest istotne zwłaszcza w przypadku obiektów miejskich.

Wykonawca przebudowy, ze względu na specyfikę pracy płyty ortotropowej, zwrócił się do Zakładu Technologii Materiałów i Nawierzchni Drogowych Instytutu Dróg i Mostów Politechniki Warszawskiej z prośbą o opracowanie projektu nawierzchni na moście. Zespół pod kierownictwem prof. dr. hab. inż. Piotra Radziszewskiego zaproponował nowoczesne rozwiązanie izolacji-nawierzchni, składające się z następujących warstw:

- warstwa izolacji natryskowej z metakrylanu metylu;
- warstwa izolacyjno-ochronna, pełniąca również rolę warstwy wyrównującej drobne nierówności istniejącej płyty pomostu z mieszanki SMA/MA 8;
- warstwa ochronna z mieszanki SMA 11;
- warstwa ściernalna z mieszanki SMA 8 z asfaltem wysokomodyfikowanym polimerami PMB 45/80-80 o nazwie handlowej „HIMA”.

Tak zaprojektowana nawierzchnia miała za zadanie przenosić naprężenia zmienne z płyty ortotropowej, stanowić dodatkową ochronę izolacji, wyrównywać drobne nierówności płyty pomostu, a jednocześnie zapewnić odpowiednią odporność na koleinowanie i ograniczenie emisji hałasu. Na etapie projektowania opracowano recepturę mieszanki SMA/MA 8 wraz z rozszerzonymi badaniami typu, badaniami trwałości zmęczeniowej, przyczepności do izolacji natryskowej oraz wykonano odcinek próbny, określając podstawowe parametry układania mieszanki. W efekcie uzyskano bardzo dobre parametry koleinowania warstw nawierzchniowych z zachowaniem odpowiedniej trwałości zmęczeniowej. Zaprojektowany układ nawierzchni został pozytywnie zaopiniowany przez Nadzór Naukowy Zamawiającego, ale mimo to zamawiający nie zdecydował się na zastosowanie proponowanego układu warstw. Pozostaje jedynie mieć nadzieję, że opisana nawierzchnia znajdzie zastosowanie w innych podobnych realizacjach. Ostatecznie ułożono nawierzchnię ze standardowych mieszanek mineral-

no-asfaltowych SMA i MA. W celu poprawy widoczności w warunkach nocnych zastosowano jasne kruszywo w warstwie ściernalnej nawierzchni.

### Ocena wybranej metody przebudowy

Na podstawie doświadczeń uzyskanych podczas projektowania i realizacji prac związanych z przebudową określono najważniejsze wady i zalety przyjętego sposobu poszerzenia oraz wzmocnienia ustroju. Zastosowane rozwiązanie niesie ze sobą konieczność wykonania znacznej liczby węzłów łączących rury skratowań z nową i istniejącą konstrukcją, jak również zakotwień i dewiatorów. W istniejącym ustroju stalowym utrudnia to pracę w trudno dostępnych miejscach, a także wymaga spawania do użytkowanej przez wiele lat konstrukcji. Konieczne jest szczególnie uważne projektowanie węzłów w celu uniknięcia lokalnej koncentracji naprężeń, a także precyzyjna analiza i realizacja kolejności oraz sposobu sprężenia, tak aby uniknąć uszkodzeń istniejącego ustroju. Mimo wad, metoda ma też wiele zalet. Przede wszystkim dzięki sprężeniu zewnętrznemu uniknięto stosowania wielkogabarytowych elementów konstrukcyjnych. Montaż odbywał się ze znajdujących się na pomoście dźwignów kołowych „segment po segmencie”, co znacznie usprawniło proces realizacji. Taki sposób wzmocnienia jest również korzystny ze względu na fakt zwiększenia nośności przy minimalnym zwiększeniu ciężaru. Wykonanie sprężenia po odcięciu starych, a przed montażem nowych wsporników powoduje maksymalne wykorzystanie sprężenia do zmniejszenia wartości sił wewnętrznych w istniejącym fragmencie konstrukcji. Nie bez znaczenia jest także estetyka mostu, zwłaszcza że znajduje się on w terenie miejskim. Naszym zdaniem dzięki zewnętrznemu skratowaniu uzyskano bardzo ciekawy i estetyczny wygląd obiektu.

Zbliżająca się do końca przebudowa obiektu pozwala sformułować wniosek o słusznym wyborze metody przebudowy. Dzięki ścisłej współpracy pomiędzy projektantem i wykonawcą dobrano technologię znacznie usprawniającą przebudowę, przy jednoczesnym spełnieniu warunków nośności, trwałości i bezpieczeństwa konstrukcji, o czym świadczą terminowe oddanie do użytkowania pierwszej części przeprawy i prawidłowe jej użytkowanie.

*Wszystkie fotografie – archiwum firmy Mosty Gdańsk Sp. z o.o. i B Grupa  
Przyjęto do druku: 09.06.2015 r.*