

Jerzy **BROŚ**
Sławomir **BIEGAŃSKI**
Biuro Projektowo-Konsultingowe
BPK MOSTY S.C. *S. Biegański, J. Broś, R. Höffner*

WZMOCNIENIE I PRZEBUDOWA PREFABRYKOWANEJ ESTAKADY DROGOWEJ W LESZNIE.

1. Wstęp.

Ze względu na zły stan techniczny wiaduktu drogowego im. Grota Roweckiego w Lesznie oraz ze względu na konieczność dostosowania nośności do klasy wymaganej przepisami dla obiektów położonych w ciągach dróg krajowych, właściciel obiektu tj. Urząd Miasta Leszna podjął w roku 2003 decyzję o jego kompleksowej przebudowie.

2. Historia obiektu.

Obiekt wybudowany został w latach 1978-1980. Inwestorem była Zachodnia Dyrekcja Okręgowa PKP w Poznaniu. Dokumentację projektową sporządziło Poznańskie Biuro Projektów Dróg i Mostów Transprojekt a dokumentację zamienną w zakresie posadowienia opracował Instytut Inżynierii Lądowej Politechniki Poznańskiej.

Obiekt zrealizowało jako generalny wykonawca Przedsiębiorstwo Robót Kolejowych Nr10 w Poznaniu. W procesie realizacji inwestycji wymienione zostały m.in. Przedsiębiorstwo ENERGOPOL 3 Poznań w zakresie robót fundamentowych, KPRM Kielce oraz PREFABET w zakresie elementów prefabrykowanych systemu Płońsk.

W latach 1987-1989 sporządzono ocenę stanu technicznego obiektu oraz projekt techniczny jego remontu podzielony dokumentacyjnie na dwa etapy: etap I – estakady główne, etap II – estakady zjazdowe.

W zasadniczej części remont przewidywał wymianę izolacji płyty pomostowej i nawierzchni drogowej połączoną z częściową wymianą istniejącego betonu wyrównawczego, wymianę elementów wyposażenia obiektu oraz naprawę uszkodzeń podpór.

Całość prac remontowych realizowano sukcesywnie do roku 1997 na podstawie aktualizowanej dokumentacji projektowej. W latach 1999-2003 sporządzono szereg ekspertyz i orzeczeń dotyczących stanu technicznego obiektu po wykonanym remoncie oraz możliwości podniesienia nośności obiektu do wyższej klasy obciążeń.

3. Opis obiektu.

Wiadukt im. gen. Grota Roweckiego usytuowany jest w ciągu drogi krajowej nr 12 Wschowa – Gostyń (trasa W-Z w Lesznie). Wiadukt składa się z dwóch niezależnych konstrukcyjnie estakad głównych: estakady północnej (estakada wyjazdowa z Leszna do

Wschowy) i estakady południowej (estakada wjazdowa do Leszna) oraz usytuowanych prostopadle dwóch estakad zjazdowych: północnej, do dworca kolejowego PKP i południowej, w ul. Polną. Obiekt przekracza dwutorowe linie kolejowe nr 271 Wrocław Gł. – Poznań Gł. i nr 14 Łódź Kaliska – (Tuplice) Granica Państwa.

Każda z estakad głównych, usytuowanych na niezależnych podporach, odseparowanych pasem rozdziału, posiada jezdnię o dwóch pasach ruchu i zewnętrzny chodnik dla pieszych. W strefach węzła estakad głównych i zjazdowych jezdnie obu estakad głównych są poszerzone o dodatkowe pasy ruchu. Obiekt zaprojektowano z prześł wolnopodpartych, o schemacie trójpłaszczyznowych układów słupowo-ryglowym.

Prześła wykonano z belek prefabrykowanych, strunobetonowych typu Płońsk Franowo o dł. nominalnych 18m, 21m i 24m oraz belek żelbetowych o dł. 12m. Dźwigary główne stężono poprzecznikami i płytą pomostową (beton wyrównawczy). Zespolecie dźwigarów belkowych z płytą pomostową uzyskano za pomocą zbrojonych zamków. Beton wyrównawczy o zmiennej grubości, zależnej m.in. od strzałki odwrotnej prześła sprężonych oraz geometrii niwelety podłużnej obiektu..

Łożyska stalowe, ruchome (przegubowo-przesuwne) wałkowe i stałe (przegubowo-nieprzesuwne) stykowe osadzone na podlewkach cementowych.

Podpory pośrednie (słupy i oczepy) zrealizowano jako żelbetowe, prefabrykowane o przekroju prostokątnym (wyjątkiem oczepy podpór w strefie węzła, które wykonano jako monolityczne).

Przyczółek nr1 żelbetowy, o układzie słupowo-koźłowym wykonano z elementów prefabrykowanych, słupy osadzone w pozostawionych w monolitycznej ławie fundamentowej otworach (tzw. szklanki), rygle połączone z ławą fundamentową monolitycznymi wieńcami. Całość zwieńczono prefabrykowanym oczepem.

Przyczółek nr2 żelbetowy, masywny, prefabrykowany w zakresie korpusu i monolityczny w zakresie ławy fundamentowej. Ława z podłużnymi żebrami w formie kielicha dla montażu elementów korpusu. Monolityczne skrzydła równoległe wydłużone zostały obustronnymi, prefabrykowanymi, żelbetowymi murami oporowymi.

Posadowienie - projekt techniczny zakładał fundamentowanie głębokie na palach wielkośrednicowych $d=120\text{cm}$. Trudności w realizacji robót palowych spowodowały przerwanie prac w pierwszej fazie ich realizacji i sporządzenie projektu zamiennego dla bezpośredniego sposobu posadowienia podpór na ławach fundamentowych. Dla filarów w strefie torów kolejowych zastosowano posadowienie na studniach prefabrykowanych, żelbetowych, typu skrzyniowego.

System odwodnienia powierzchniowego obiektu zrealizowano spadkami poprzecznymi jezdni i chodników $i=2\%$ oraz spadkami podłużnymi obiektu, wynikającymi z jego niwelety podłużnej. Odbiór wody opadowej żeliwnymi wpustami przykrawężnikowymi, usytuowanymi na co drugiej podporze.

Wyposażenie:

- hydroizolacja estakady północnej - natryskowa z żywicy poliuretanowej Conipur 255, estakady południowej - bitumiczna, termozgrzewalna Trebolit BS 6000,
- dylatacje bitumiczne Tarco / Thorma Joint,
- wpusty odwodnieniowe i rury spustowe żeliwne, sączki ze stali nierdzewnej,
- krawężniki kamienne o wys.18/20cm, bariery energochłonne typu SP05/SP06/SP10,
- balustrady stalowe, spawane, typu miejskiego,
- osłony przeciwporażeń typowe, stalowe, spawane,
- płyty przejściowe, żelbetowe z betonu $R_w=300\text{ kG/cm}^2$ o wymiarach 0.20x4.00m,

- oświetlenie w postaci opraw elektrycznych pojedynczych na słupach stalowych.

4. Podstawowe parametry geometryczne.

Estakady główne: północna i południowa, składają się z 24 przęseł każda, a w tym: 18 przęseł o $L_c=21.00\text{m}$, 2 przęseł o $L_c=20.75\text{m}$, 2 przęseł o $L_c=12.00\text{m}$, 1 przęsła o $L_c=24.00\text{m}$ i 1 przęsła o $L_c=18.00\text{m}$ (długości podano w osiach podpór).

Układ przęseł w estakadzie południowej:

- $L_c=20.75+13 \times 21.00+2 \times 12.00+2 \times 21.00+24.00+18.00+3 \times 21.00+20.75=485.50\text{m}$

Układ przęseł w estakadzie północnej:

- $L_c=20.75+13 \times 21.00+2 \times 12.00+21.00+18.00+21.00+24.00+3 \times 21.00+20.75=485.50\text{m}$

Układ przęseł w obu estakadach zjazdowych: $L_c=5 \times 21.00+20.75=125.75\text{m}$

Łączna długość obiektu: $L=2 \times 485.50+2 \times 125.75=1222.50\text{m}$.

5. Nośność obiektu.

Obiekt zaprojektowano na obciążenie klasy I zgodnie z PN-66/B-02015 z uwzględnieniem obciążenia wyjątkowego ciągnikiem kołowym K-80. Analiza konstrukcji przy obciążeniach wg PN-85/S-10030 pozwoliła ustalić nośność jej poszczególnych elementów:

- przęsła $L_c=18 / 24\text{m}$ - nośność odpowiadająca klasie obciążeń C,
- przęsła $L_c=21\text{m}$ i podpory - nośność odpowiadająca klasie obciążeń B,
- przęsła $L_c=12\text{m}$ - nośność odpowiadająca klasie obciążeń A.

6. Ocena przyczyn złego stanu technicznego obiektu.

6.1. Rozwiązania techniczne przyjęte na etapie projektowania:

- zastosowanie prefabrykowanych belek strunobetonowych typu Płońsk Franowo dla obiektu o stosunkowo złożonej geometrii,
- zastosowanie schematu konstrukcji wieloprzęsłowej z przęseł swobodnie podartych, determinującego wielość przerw dylatacyjnych,
- przyjęte usytuowanie dźwigarów sprężonych w przekroju poprzecznym powodujące przeciążenie dźwigarów skrajnych (determinujących nośność całego obiektu),
- brak płyty pomostowej zespolonej z dźwigarami – niewłaściwa współpraca dźwigarów w układzie poprzecznym,
- zastosowanie hydroizolacji natryskowej z żywicy poliuretanowej w polskich warunkach technologicznych i bez warstwy ochronnej z asfaltu twardolanego,
- zastosowanie dylatacji bitumicznych przy spadkach wypadkowych (poprzecznych i podłużnych) większych od 4% - dylatacje mają tendencję do samopoziomowania,
- zbyt duży rozstaw wpustów odwodnieniowych (na co drugiej podporze).

Przyjęte rozwiązania projektowe można uznać za nie do końca właściwe tylko z perspektywy 26 lat od chwili opracowania dokumentacji podstawowej budowy obiektu oraz ok. 8-10 lat od chwili opracowania dokumentacji remontu obiektu. Jest to możliwe

dzięki dzisiejszemu stanowi wiedzy technicznej, wynikającemu z doświadczeń w eksploatacji i utrzymaniu obiektów o zbliżonym charakterze. Szereg wątpliwości w tym zakresie uregulowały stosowne przepisy i praktyka inżynierska.

6.2. Zastosowanie hydroizolacji poliuretanowej

Stosowanie hydroizolacji w postaci membran powłokowych z żywic poliuretanowych, układanych metodą natryskową wymaga zastosowania kompletnego systemu, przewidzianego dla ich ułożenia oraz bezwzględnego zachowania reżimów technologicznych.

Stosowanie przedmiotowej izolacji wymaga zachowania poniższych warunków:

- całość prac należy wykonać przy szczególnej dbałości o oczyszczenie i odpylenie powierzchni płyty pomostowej, przygotowanie podłoża należy prowadzić drogą śrutowania betonowej płyty pomostowej,
- należy uniemożliwić zanieczyszczenie pyłami przygotowanej powierzchni, wymagane jest zastosowanie oplandekowania strefy robót w postaci namiotów,
- należy stosować wyższe klasy betonu płyty pomostowej (min B35) o ograniczonej nasiąkliwości,
- należy unikać przerw dylatacyjnych (konstrukcje ciągłe lub płyty pomostowe uciążone),
- szczególnie starannie wykonać detale związane z montażem wyposażenia,
- jako warstwę ochronną należy stosować jednowarstwowo asfalt twardolany o grubości 4cm (nasiąkliwość poniżej 0.5%),
- dla obiektów o nawierzchni drogowej w spadku można przewidzieć zbrojenie nawierzchni drogowej siatkami polipropylenowymi lub z włókna szklanego.

Nie zachowanie powyższych warunków stosowania poliuretanu jako hydroizolacji oraz zastosowanie jako warstwy wiążącej i ściernalnej betonu asfaltowego, nie spełniającego warunków nasiąkliwości nawet dla betonu asfaltowego o strukturze częściowo zamkniętej (nasiąkliwość 4.4%) spowodowało na estakadzie północnej, gdzie przedmiotową izolację zastosowano, powstanie uszkodzeń typowych dla braku przyczepności izolacji do podłoża betonowego oraz nawierzchni do izolacji.

6.3. Mankamenty wykonawcze:

- niestaranne wykonanie monolitycznych elementów żelbetowych konstrukcji: poprzecznic dźwigarów głównych, zamków, elementów wspornikowych,
- niedostateczne otuliny prętów zbrojeniowych zarówno w elementach prefabrykowanych jak i monolitycznych,
- brak zespolenia betonów płyty pomostowej (betonu wyrównawczego) z górną powierzchnią dźwigarów głównych,
- transport i montaż elementów prefabrykowanych powodujący szereg uszkodzeń mechanicznych,
- niestaranne wykonanie i montaż elementów wyposażenia obiektu: dylatacji, wpustów odwodnieniowych,

- brak zachowania reżimów technologicznych przewidzianych dla układania hydroizolacji z żywic poliuretanowych układanych natryskowo,
- warstwy bitumiczne nawierzchni drogowej o zaniżonych parametrach (nasiąkliwość powyżej 4% przy wymaganej poniżej 2% dla betonów asfaltowych o strukturze zamkniętej),
- zastosowanie jako warstwy ochronnej izolacji 2cm warstwy asfaltu piaskowego.



Rys. 1. Widok ogólny obiektu w kierunku Wschowy - estakada główna południowa.

7. Opis stanu projektowanego - założenia:

- obiekt spełnia wymogi polskich norm i rozporządzeń MTiGM,
- na podstawie dok. archiwalnej i przeprowadzonych badań betonu przyjęto klasę betonu B35 dla dźwigarów Płońsk Franowo i klasę B30 dla elementów podpór,
- nośność obiektu po przebudowie odpowiada klasie obciążeń B wg PN-85/S-10030 (tab.3), co pozwala na dopuszczenie obiektu do eksploatacji przy obciążeniu przez pojazdy o ciężarze 400kN (tab.5) - zgodnie z zał. nr2 pkt.2 Rozp. MTiGM nr735,
- pomost obiektu zaprojektowano na obciążenie klasy A wg PN-85/S-10030 oraz na obciążenie pojazdem specjalnym klasy 100 (wg umowy standaryzacyjnej NATO – STANAG 2021) - zgodnie z załącznikiem nr2 pkt.3 Rozp. MTiGM nr735,
- zakres przewidzianej przebudowy obiektu nie powoduje zmiany sposobu zagospodarowania terenu i użytkowania obiektu, nie zmienia jego formy i nie narusza postanowień planu miejscowego.

8. Zakres przebudowy obiektu:

- zmiana schematu statycznego swobodnie podpartych przęseł nr17 (L=18.00m), nr18 (L=21.00m), nr19 (L=24.00m) estakady północnej i przęseł nr18 (L=24.00m) i nr19 (L=18.00m) estakady południowej – uzyskanie ustrojów ciągłych,

- wykonanie nowej płyty pomostowej, żelbetowej, zespolonej z dźwigarami gł.,
- ułożenie nowej hydroizolacji płyty pomostowej i montaż elementów odwodnienia,
- wykonanie nowych, żelbetowych kap chodnikowych i pasa rozdziału,
- montaż elementów wyposażenia obiektu mostowego.
- ułożenie nawierzchni drogowej: 4cm asfaltu twardolanego i 5cm SMA,
- wzmocnienie ław fundamentowych części filarów,
- wykonanie napraw miejscowych i powierzchniowych konstrukcji od spodu.



Rys. 2. Widok ogólny obiektu w kierunku Leszna - estakada główna południowa.

9. Zakres działań zmierzających ku zwiększeniu nośności obiektu:

- odciążenie dźwigarów skrajnych (determinujących nośność obiektu) drogą korekty geometrycznej położenia jezdni - szerokość pasa rozdziału zwiększona do 3.0m,
- redukcja momentów przęsłowych dla przęsła nr19 ($L=24.00\text{m}$), usytuowanego na estakadzie północnej drogą zmiany schematu statycznego z układu swobodnie podpartych przęseł nr17 ($L=18.00\text{m}$), nr18 ($L=21.00\text{m}$) i ($L=24.00\text{m}$) na ustrój ciągły, trójpřęsłowy,
- redukcja momentów przęsłowych dla przęsła nr18 ($L=24.00\text{m}$), usytuowanego na estakadzie południowej drogą zmiany schematu statycznego z układu swobodnie podpartych przęseł nr18 ($L=24.00\text{m}$), nr19 ($L=18.00\text{m}$) na dwupřęsłowy ustrój ciągły,
- efekt uciążlenia konstrukcji przęseł swobodnie podpartych przez wprowadzenie ciągłej płyty pomostowej, zespolonej z półkami górnymi prefabrykowanych dźwigarów strunobetonowych Płońsk Franowo oraz płyty zespolonej, spinającej przęsła w strefach podporowych, w poziomie stopek dźwigarów (wariant uciążlenia konstrukcji zasugerowany przez Pana Prof. Witolda Wołowickiego, sprawującego nadzór naukowy nad przedmiotową inwestycją),
- zespolenie z dźwigarami głównymi nowej, żelbetowej płyty pomostowej o min. grubości 0.14m (w środku rozpiętości przęsła); płyta pomostowa nad filarami, na których usytuowano dwa łożyska stałe uciążlona pozornie (w strefie uciążlenia

pozornego przewidziano brak kotew zespalających na szerokości $2 \times 1.00 + 0.05\text{m}$, dodatkowe zbrojenie podłużne i wkładkę ze styropianu o grubości 15mm, ułożoną na półkach górnych dźwigarów głównych); w strefach pełnego uciąglenia konstrukcji przewidziano dodatkowe zbrojenie podłużne, kotwy zespalające osadzono w zmiennym rozstawie, zróżnicowanym dla stref podparcia, stref przejściowych oraz strefy środka rozpiętości.

10. Parametry geometryczne obiektu po przebudowie:

Układ przęseł w estakadzie południowej:

- $L_c = 20.75 + 13 \times 21.00 + 2 \times 12.00 + 2 \times 21.00 + [24.00 + 18.00] + 3 \times 21.00 + 20.75 = 485.50\text{m}$
W nawiasie [] rozpiętości przęseł nr18/19 o zmienionym schemacie statycznym.

Układ przęseł w estakadzie północnej:

- $L_{c1} = 20.75 + 13 \times 21.00 + 2 \times 12.00 + 21.00 + [18.00 + 21.00 + 24.0] + 3 \times 21.0 + 20.75 = 485.50\text{m}$

- $L_c = 0.225 + 485.50 + 0.225 = 485.95\text{m}$

W nawiasie [] rozpiętości przęseł nr17/18/19 o zmienionym schemacie statycznym.

Układ przęseł w obu estakadach zjazdowych:

- $L_{c1} = 5 \times 21.00 + 20.75 = 125.75\text{m}$; $L_c = 125.75 + 0.225 = 125.975\text{m}$

Łączna długość obiektu (w punktach podparcia skrajnych przęseł):

- $L = 2 \times 485.50 + 2 \times 125.75 = 1222.50\text{m}$.

Szerokość wiaduktu (łączna dwóch estakad głównych z poszerzonym do 3.00m pasem rozdziału) jest skokowo zmienna na podporach nr10, nr14, nr17, nr21, nr24 i wynosi w zakresie podpór nr1-nr10 i nr21-nr24:

- $B_c = 0.24 + 1.50 + 0.86 + 7.00 + 3.00 + 7.00 + 0.86 + 1.50 + 0.24 = 22.20\text{m}$ (21.72m w świetle między balustradami) – układ 2x7szt. dźwigarów prefabrykowanych

oraz w zakresie podpór nr10-nr14 i nr17-nr21 poszerzona o pasy włączenia i wyłączenia ruchu na estakady zjazdowe:

- $B_c = 0.24 + 1.50 + 0.86 + 10.00 + 3.00 + 10.00 + 0.86 + 1.50 + 0.24 = 28.20\text{m}$ (27.72m w świetle między balustradami) – układ 2x9szt dźwigarów prefabrykowanych.

Szerokość wiaduktu w węźle na skrzyżowaniu estakad głównych z estakadami zjazdowymi wynosi w zakresie podpór nr14-nr17:

- $B_c = 6.00 + 0.24 + 1.50 + 0.86 + 10.00 + 3.00 + 10.00 + 0.86 + 1.50 + 0.24 + 6.00 = 40.20\text{m}$

Szerokość estakad zjazdowych wynosi:

- $B_c = 0.20 + 0.50 + 0.68 + 7.00 + 0.68 + 1.50 + 0.20 = 10.76\text{m}$ (10.36m w świetle między balustradami) - układ 7szt dźwigarów prefabrykowanych.

11. Założenia realizacyjne.

Ze względu na zróżnicowany stan techniczny estakady północnej i południowej przewiduje się realizację przebudowy obiektu w dwóch zasadniczych etapach:

- etap I – estakada północna i estakada zjazdowa północna do dworca PKP (ruch drogowy prowadzony po estakadzie południowej w dwóch kierunkach),
- etap II – estakada południowa i estakada zjazdowa w ul. Polną (ruch drogowy prowadzony po przebudowanej estakadzie północnej w dwóch kierunkach).

12. Wnioski.

- 12.1.** Ocenę wytrzymałości analizowanego obiektu prowadzić należy pod kątem wykrycia elementów konstrukcyjnych determinujących jego nośność (o nośności przedmiotowego wiaduktu decydowały dwa skrajne, wewnętrzne dźwigary 24m z łącznej ich liczby 518szt.).
- 12.2.** Podniesienie nośności obiektu do klasy wyższej można uzyskać nie tylko drogą zmiany schematu statycznego i wzmocnienia konstrukcji ale również poprzez zmianę geometrii układu drogowego (zwiększenie szerokości pasa rozdziału pozwoliło w przedmiotowym wiadukcie na odciążenie najsłabszych dźwigarów).
- 12.3.** Analizę statyczno-wytrzymałościową istniejących obiektów należy prowadzić w oparciu o wyczerpujące badania materiału konstrukcji (niższa od oczekiwanej klasa betonu prefabrykowanych dźwigarów Płock Franowo ograniczyła możliwość podniesienia nośności przedmiotowego wiaduktu do klasy B).
- 12.4.** Specyfika prac remontowych realizowanych przy użyciu materiałów chemii budowlanej wymaga uwzględnienia poniższych uwag:
 - należy liczyć się z koniecznością wykonania w trakcie realizacji przebudowy obiektu uzupełniających badań wytrzymałościowych i chemicznych betonu,
 - przewidywany zakres uszkodzeń konstrukcji i prac naprawczych należy zweryfikować po oczyszczeniu konstrukcji (szczególnie w zakresie pęknięć i zarysowań),
 - należy liczyć się z koniecznością rozliczania określonych kategorii robót obmiarami powykonawczymi i na podstawie protokołów konieczności robót dodatkowych,
 - sporządzane w każdej z faz przejściowych operaty geodezyjne umożliwiają weryfikację przyjętych w dokumentacji obmiarów i zakresów robót (szczególnie robót rozbiórkowych),
 - przyjęte rozwiązania konstrukcyjne winny być zweryfikowane przez Jednostkę Projektową, w miarę postępu prac rozbiórkowych i konstrukcyjnych, w ramach nadzoru autorskiego.
- 12.5.** Należy rozważyć możliwość uelastycznienia zapisów Rozporządzenia MTiGM Nr735 z dnia 30.05.2000r. dotyczących remontu i przebudowy obiektów istniejących – próba respektowania zawartych w rozporządzeniu wszystkich wymogów może skłaniać projektanta do rezygnacji z remontu obiektu na rzecz budowy nowego, a więc rozwiązania nie zawsze uzasadnionego ekonomicznie.

13. Podsumowanie.

W czerwcu 2004r rozstrzygnięty został przetarg dotyczący realizacji opisanych robót budowlanych, który wygrało Płockie Przedsiębiorstwo Robót Mostowych o/Poznań. Pierwszy etap przebudowy obiektu (część północna) podzielony został na dwie fazy:

- faza I - fragment północnej estakady głównej od strony Leszna i estakada zjazdowa do dworca PKP, faza zrealizowana w roku 2004,
- faza II - pozostała część północnej estakady głównej, faza zrealizowana w roku 2005.

Estakada południowa (etap II) będzie przedmiotem oddzielnego postępowania przetargowego.

Zespół autorów artykułów zamierza przedstawić w wyczerpującej formie informacje i uwagi z realizacji przebudowy północnej części wiaduktu na konferencji przyszłorocznej.