

WZMOCNIENIE PRZESEŁ KRATOWYCH ORAZ PODPÓR MOSTU DROGOWEGO W BOGATYNI¹

Józef RABIEGA^{*}, Roman HÖFFNER^{**},
Paweł WĄTROBA^{**}, Maciej KOŻUCH^{*}, Rusłan KOSTIUK^{**}
^{*} Politechnika Wrocławska
^{**} PBW Inżynieria

W artykule opisano stan techniczny, sposób naprawy i wzmocnienia czterech przeseł kratowych i przebudowy jednego przęsła żelbetowego w drogowym moście w ciągu drogi wojewódzkiej nr 354 w Bogatyni. Przed przebudową obiekt posiadał ograniczoną nośność do klasy D (20 ton). Po przebudowie jego nośność wynosić będzie 40 ton, tj. odpowiadać będzie klasie B według PN-85/S-10030. Zakres obecnej przebudowy w czterech przęsłach kratowych obejmował wymianę żelbetowej płytowej podbudowy nawierzchni jezdni na moście na nową, grubszą żelbetową płytę pomostową, wzmocnienie kratowych dźwigarów głównych z zastosowaniem tzw. trzeciego pasa górnego, wzmocnienie oraz naprawę i uzupełnienie ubytków przekrojów stalowych w prętach kratowych dźwigarów głównych i w elementach pomostu, zewnętrzne sprężenie podłużne dolnych pasów dźwigarów kratowych, wzmocnienie posadowienia podpór pośrednich i skrajnych oraz odnowę powłok malarskich na przęsłach i łożyskach. Jedno przęsło żelbetowe zostało przebudowane z zastosowaniem nowych dźwigarów prefabrykowanych typu Kujan. Przedmiotowy obiekt powstał w 1959 roku, a wiosną obecnego roku ukończono zasadnicze prace związane ze wzmocnieniem jego konstrukcji nośnej i podpór.

Słowa kluczowe: drogowy most kratowy, dźwigary prefabrykowane, wzmocnienie kratownic, przebudowa pomostu, sprężenie zewnętrzne, badanie stali.

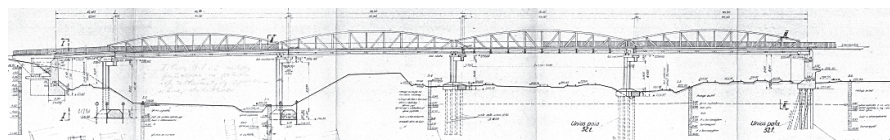
1. WPROWADZENIE

1.1. Historia obiektu w Bogatyni

Przedmiotowy most drogowy, znajdujący się w km 1+736 drogi wojewódzkiej nr 354 w Bogatyni (ul. Młodych Energetyków) posiada bogatą historię swego istnienia. Głównie dotyczy to czterech przeseł kratownicowych, które przetransportowano tu po II wojnie światowej (w roku 1959) ze zniszczonego

¹ DOI 10.21008/j.1897-4007.2017.24.21

w trakcie działań wojennych mostu kolejowo-drogowego z 1892 r. przez rzekę Odrę w Siekierkach [1].



Rys. 1. Rysunek archiwalny – przekrój podłużny mostu w Bogatyni

Ich adaptacja w 1959 roku do przeprawy w Bogatyni polegała na przekonstruowaniu geometrii przęsła z prostokątnej na ukośną o kącie 67° . Zrealizowano to w ten sposób, że po roznitowaniu stężeń wiatrowych dolnych i wszystkich połączeń poprzecznic z pasami dolnymi obu dźwigarów kratowych przesunięto je względem siebie o długość jednego pola między poprzecznicami, tj. 3,55 m i ponownie znitowano z nowym, poszerzonym rusztem pomostu, w którym dano nowe, dłuższe poprzecznice pośrednie i skrajne, przy czym skrajne skośne poprzecznice wykonano z dwuteowników walcowanych. Przęsła obiektu przekraczają rzekę Miedziankę, w części zachodniej pod obiektem znajduje się tor PKP, prowadzący do kopalni węgla brunatnego, a w części wschodniej tory prowadzące do elektrowni „Turów”. Przed przebudową obiekt posiadał ograniczoną nośność do klasy D (20 ton). Po przebudowie szerokość użytkowa jezdni wynosi 7,00 m, a obu chodników po 1,50 m, a nośność obiektu będzie odpowiadała klasie B (40 ton).

1.2. Cztery przęsła stalowe

Ustrój nośny przęsła stanowią kratownicowe dźwigary z górnym pasem półparabolicznym z jazdą dołem. Rozpiętość teoretyczna dźwigarów głównych wynosi 35,50 m, a ich osiowy rozstaw 8,36 m. Konstrukcja dźwigarów kratowych i całych przęsła jest wykonana z płaskowników i kątowników, jako całościowo nitowana. Węzły kratownic są oddalone od siebie o 3,55 m. Między poprzecznicami przebiegają w odstępie 1,40 m podłużnice: dwie dwuteowe nitowane (te z Siekierk) o wysokości 400 mm w centrum przęsła i po dwie z dwuteowników 300 mm po obu ich stronach. W każdym polu między poprzecznicami występują stężenia dolne z dwóch kątowników $100 \times 100 \times 10$ mm. Na górnych pasach poprzecznic i podłużnic ułożona była płyta żelbetowa grubości 17 cm bez zespolenia z rusztem pomostu. Obustronne wsporniki chodnikowe wykonane były ze wsporników kratowych z kątowników $75 \times 75 \times 7$ mm i $100 \times 100 \times 10$ mm oraz podłużnic z ceowników 160 mm i z łączących na nich płytach żelbetowych grubości 18 cm. Wszystkie przęsła oparte są na podporach za pośrednictwem łożysk stalowych na masywnych betonowych przyczółkach i ramowych żelbetowych filarach, które wykonane są z oczepów opartych na dwóch ośmiobocznych słupach, na oddzielnych stopach fundamentowych. Na-

wierzchnia jezdni na obiekcie była bitumiczna grubości ok. 11 cm, a izolacja wykonana była z papy, nad którą była warstwa betonu ochronnego. Na stykach przęseł i na jednym z końców obiektu zastosowane było urządzenie dylatacyjne blokowe typu Waboflex SR8.

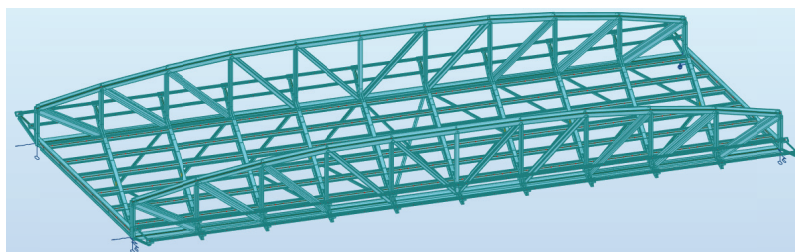
1.3. Jedno przęsło z prefabrykatów Kujan

Przęsło od strony Bogatyni, nad torem kolejowym, wykonane było z 22 belek strunobetonowych typu „Kujan” $L = 12,30$ m, według projektu biura „Transprojekt”. Przestrzeń między środkami belek wypełniona była betonem, a nad belkami znajdowała się 11-centymetrowa warstwa współpracującego nadbetonu. Po obu stronach występowały dwa wsporniki podchodnikowe o wysięgu 0,55 m. Przęsło oparte było na podporach bez pośrednictwa łożysk.

2. ANALIZA STATYCZNO-WYTRZYMAŁOŚCIOWA

2.1. Model obliczeniowy

W celu wyznaczenie wartości sił wewnętrznych w elementach konstrukcji przęsła kratowego zbudowano model obliczeniowy klasy $e^{1+2}p^3$ w programie Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015, obciążając go zgodnie z powierzchniami wpływu szukanych wielkości statycznych dla każdego rozważanego elementu. Podpory pośrednie zamodelowano w układzie klasy $e^{1+2}p^3$. Płyte oczepek (panel) oparto na podporach sprężystych o sztywności wyznaczonej niezależnie dla istniejących pali i projektowanych mikropali dla każdej z podpór. Sztywność pali istniejących wyznaczono przy założeniu ich osiadania na poziomie 0,01 D (gdzie D to średnica pala). Sztywność mikropali szacowano w zależności od ich długości i warunków gruntowych (wykorzystując wyniki próbnych obciążeń w zbliżonych warunkach gruntowych oraz na podstawie literatury technicznej) na poziomie $80000 \div 140000$ kN/m. Przyczółki zamodelowano w układzie klasy e^2p^3 . Płyte oczepek oparto na palach zamodelowanych jako pręty w ośrodku gruntowym o parametrach sztywności pionowej i poziomej jak dla gruntu według profili miarodajnych (przyczółek od strony Bogatyni) oraz na podporze sztywnej (przyczółek od strony Sieniawki).



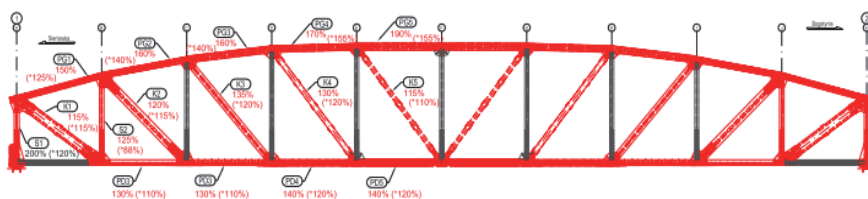
Rys. 2. Widok 3D modelu obliczeniowego przęsła mostu przed wzmocnieniem

2.2. Założenia do obliczeń

Obliczenia przeprowadzono przy następujących założeniach:

- w SGN uwzględniono osłabienie przekrojów poprzecznych spowodowane otworami na nity, wycięciami technologicznymi, ewentualną niestatecznością miejscową oraz ubytkami korozyjnymi,
- analizę statyczno – wytrzymałościową wykonano wg norm PN-85/S-10030 oraz PN-82/S-10052; elementy nieobjęte zakresem norm PN-S obliczane były na podstawie odpowiednich części norm PN-EN,
- zastosowano obciążenie ruchome klasy B,
- na podstawie przeprowadzonych badań wytrzymałościowych przy przyjęciu 5% kwantylu oraz na podstawie badań metalograficznych potwierdzających, że stal jest stałą zgrzewną, przyjęto wytrzymałość obliczeniową stali konstrukcyjnej pręseł na poziomie 160 MPa,
- węzły kratownicy modelowano jako sztywne, połączenia podłużnic z poprzecznicami przegubowe, belki podchodnikowe ciągłe, oparte na wspornikach pochodnikowych,
- uwzględniono brak zespolenia podłużnic oraz skrajnych (po około 1,0 m z każdej strony) odcinków poprzecznic z płytą pomostową, a także zdemonutowanie obu zewnętrznych podłużnic,
- wzmocnienie elementów stalowych wykonywane było w stanie bezużytkowym, przed zabetonowaniem płyty pomostu,
- sprężenie dolnych pasów dźwigarów kratowych wykonywane było po wzmocnieniu wszystkich pozostałych elementów kratownic stalowych oraz po zabetonowaniu płyt pomostowych.

2.3. Podsumowanie analizy obliczeniowej



Rys. 3. Elementy dźwigara kratowniczego do wzmocnienia

Na podstawie przeprowadzonych analiz statyczno-wytrzymałościowych w celu przystosowania obiektu do przenoszenia obciążeń ruchomych klasy B wg obowiązujących obecnie przepisów należało zaprojektować i wykonać wzmocnienie m.in. następujących elementów dźwigarów kratowych, pręseł z dźwigarów prefabrykowanych i podpór:

- pośrednich poprzecznic pręseł kratownicowych,

- słupków S1 i S2, krzyżulców K1, K2, K3, K4 i K5 oraz górnych i dolnych pasów dźwigarów kratownicowych,
- żelbetowego przęsła z dźwigarów prefabrykowanych na przęsło z nowych dźwigarów typu Kujan NG 10,70 m,
- elementów wszystkich podpór pośrednich i przyczółków oraz ich posadowienia.

3. ZAKRES WZMOCNIENIA PRZĘSEŁ I PODPÓR MOSTU

3.1. Szczegółowa inwentaryzacja

Przed przystąpieniem do analiz statyczno-wytrzymałościowych oraz przed rozpoczęciem prac nad projektowanym wzmocnieniem, należało wykonać inwentaryzację wszystkich elementów pierwotnej konstrukcji eksploatowanej tu od 1959r. wraz z ich uszkodzeniami. Szczegółowo zinwentaryzowano dźwigary kratownicowe z uwagi na zmienność sztywności poszczególnych elementów w każdym z pól kratownicy.

3.2. Zakres prac naprawczych i wzmocnienia

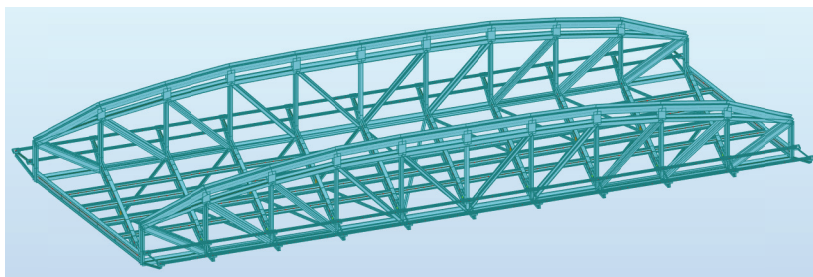
W celu naprawy pierwotnej konstrukcji oraz jej wzmocnienia do przenoszenia obciążeń użytkowych klasy B przeprowadzono prace w obrębie większości elementów obiektu, m.in.:

- wykonano naprawę zinwentaryzowanych uszkodzeń wszystkich pierwotnych elementów przęseł kratownicowych, poprzez uzupełnienie przekrojów dodatkowymi blachami i kształtownikami,
- wzmocniono niektóre pręty kratownic oraz poprzecznice pośrednie przęseł kratownicowych poprzez uzupełnienie przekrojów dodatkowymi blachami i kształtownikami oraz ich zespolenie z nowo projektowaną płytą pomostową,
- wymieniono podłużnice na wspornikach pochodnikowych,
- wykonano elementy zespolenia skrajnych i pośrednich poprzecznic przęseł kratownicowych oraz nowych podłużnic na wspornikach pochodnikowych;
- usunięto obie skrajne podłużnice przęseł kratownicowych,
- wzmocniono paraboliczne pasy górne kratownic poprzez dołożenie, powyżej istniejącego, dodatkowego pasa z kształtowników stalowych,
- wykonano nowe, żelbetowe płyty pomostowe i płyty chodnikowe przęseł kratownicowych, zespolone z konstrukcją stalową,
- zaprojektowano i wykonano szczelne przejścia elementów (prętów) dźwigarów kratownicowych przez płyty chodnikowe,
- wzmocniono dolne pasy kratownic za pomocą pary zewnętrznych prętów sprężających ze stali wysokiej wytrzymałości w układzie nad i pod pasem istniejącym i ze zmienną na długości przęsła siłą sprężającą,

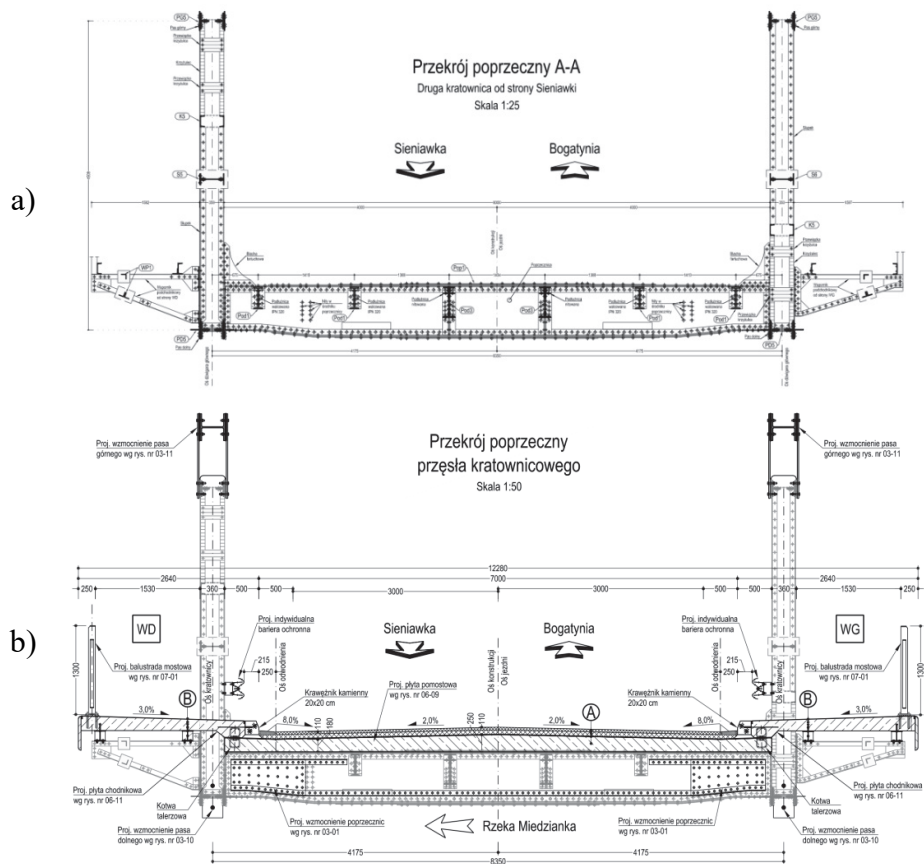
- rozebrano istniejące i wykonano nowe skrajne przęsło od strony Bogatyni z dźwigarów prefabrykowanych „Kujan NG 10,70m”,
- wykonano renowację stalowych łożysk przęseł kratownicowych,
- wzmocniono słupy podpory pośredniej przy rzece Miedziance dodatkowym rygłem żelbetowym o wysokości 1,00 m i szerokości 0,70 m,
- wzmocniono posadowienie fundamentów podpór pośrednich poprzez wykonanie dodatkowych mikropali iniekcyjnych, pomiędzy palami pierwotnymi; dodatkowo stopy fundamentowe nadbudowano i zespolono z nową warstwą betonu,
- wzmocniono przyczółki dla zapewnienia ich stateczności na obrót poprzez zainstalowanie w górnych partiach korpusów mikropali kotwiących,
- wzmocniono posadowienie przyczółka od strony Bogatyni dodatkowymi mikropalami pionowymi i ukośnymi pod nowo projektowanymi, bocznymi odsadzkami fundamentu (zespolonymi z pierwotną konstrukcją).

4. WZMOCNIENIE KRATOWNIC TRZECIM PASEM

Wzmocnienie półparabolicznych górnych pasów kratownic zrealizowano poprzez dołożenie powyżej istniejącego dodatkowego tzw. trzeciego pasa z kształtownika HD 400x216 ze stali konstrukcyjnej S235JR+M. Dodatkowy pas górny, również półparaboliczny, składa się z 6 odcinków na długości przęsła łączonych dwustronną spoiną czołową typu X. W węzłach pośrednich dodatkowy pas górny łączony jest z pasem istniejącym pionowymi słupkami o zmiennej wysokości i przekroju dwuteowym wykonanym z blach. Pionowe słupki kratownic łączone są z dodatkowym i istniejącym pasem górnym za pomocą 4 śrub sprężających M24 w każdym węźle. Dodatkowe pasy górne łączą się z istniejącymi w rozbudowanych węzłach skrajnych, wykonstruowanych za pomocą dodatkowych blach węzłowych o grubości 26 mm, usztywnionych środkiem o grubości 15 mm. Dodatkowe skrajne blachy węzłowe zamontowane są poprzez wymianę istniejących nitów pasa górnego, słupka S1 i krzyżulca K1 na śruby sprężające M24 klasy 10.9. Wykonanie skrajnych węzłów górnego pasa kratownicy wymagało jednoczesnej realizacji wzmocnienia słupków S1 i krzyżulców K1.



Rys. 4. Widok 3D modelu obliczeniowego przęsła mostu po wzmocnieniu



Rys. 5. Przekroje poprzeczne przęsła kratowego przed (a) i po wzmocnieniu (b)



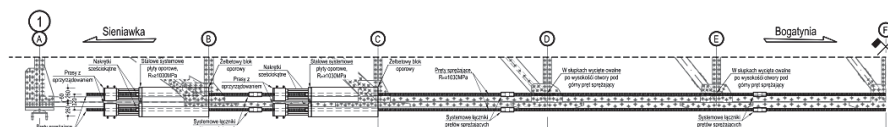
Rys. 6. Widoki dźwigara kratowego przed (a) i po wzmocnieniu (b)

5. ŻELBETOWE PŁYTY POMOSTOWE I CHODNIKOWE

W ramach wzmocnienia przęseł kratownicowych zaprojektowano i wykonano nowe żelbetowe płyty pomostowe, zespolone z istniejącymi poprzecznicami pośrednimi i skrajnymi z wyłączeniem obu skrajnych odcinków poprzecznic. Płyty pomostowe wykonano z betonu klasy C40/50. Szerokość płyt pomostowych na wszystkich przęsłach wynosi 8,0 m (w świetle pomiędzy istniejącymi dźwigarami kratownicowymi). Płyty pomostowe jezdni w przekroju poprzecznym mają grubość 25,0 cm w środku oraz 18,0 cm w osiach odwodnienia, przekrój daszkowy ze spadkami poprzecznymi o pochyleniu 2,0% zgodnie ze spadkami bitumicznej nawierzchni. Przy osiach odwodnienia wykształtowano kontrspadki płyt o pochyleniu 3,0%. Na wspornikach podchodnikowych wykonano nowe żelbetowe płyty chodnikowe z betonu klasy C40/50. Płyty chodnikowe zespolono z nowymi podłużnicami na wspornikach pochodnikowych. Szerokość płyt chodnikowych wynosi 2,40 m, spadek poprzeczny 3,0% w kierunku osi odwodnienia. Płyty chodnikowe dodatkowo przytrzymane są kotwami talerzowymi w rozstawie co 0,5 m na długości styku z płytą pomostową jezdni.

6. SPRĘŻENIE DOLNYCH PASÓW KRATOWNIC

Zaprojektowano wzmocnienie dolnych pasów kratownic za pomocą sprężenia. Sprężenie dolnego pasa realizowane było za pomocą pary prętów sprężających ze stali wysokiej wytrzymałości $R_m \geq 1030$ Mpa w układzie nad i pod pasem istniejącym i rozstawie osiowym 32,0 cm. Sprężenie pasów dolnych odbywało się ze zmienną siłą na długości przęsła, inną w skrajnych polach pomiędzy osiami B-C i I-J oraz inną w środkowych polach pomiędzy osiami C-I. Z uwagi na zróżnicowanie siły sprężającej na długości, pręty sprężające zostały zakotwione w 4 żelbetowych blokach oporowych dla każdego z pasów dolnych, zlokalizowanych w skrajnych i przedskrajnych węzłach o gabarytach 30,0 x 62,0 cm i długości 140,0 cm. Bloki oporowe wykonane zostały z betonu klasy C50/60 i zespolone z istniejącymi dolnymi pasami kratownic za pomocą śrub pasowanych M27 klasy 8.8 w miejscu istniejących nitów. Dla umożliwienia montażu pręty sprężające podzielono na 5 odcinków środkowych i 2 odcinki skrajne, łączonych na długości łącznikami systemowymi. Dla przeprowadzenia górnych prętów sprężających przez istniejące słupki kratownicy w osiach B – J wykonano owalne na kierunku pionowym otwory o średnicy $\varnothing 70$ mm i wysokości 140 mm. Naciąg prętów sprężających realizowano po wykonaniu i uzyskaniu odpowiedniej wytrzymałości przez płyty pomostowe jezdni i chodnikowe na podstawie technologicznego projektu sprężania.



Rys. 7. Widok z boku na sprzężenie dolnego pasa dźwigara kratownicowego

7. WZMOCNIENIE POSADOWIENIA PODPÓR

Przeprowadzona analiza statyczno – wytrzymałościowa wykazała niedostateczną nośność posadowienia wszystkich podpór mostu (filarów i przyczółków). Braki nośności istniejącego posadowienia podpór wynikały w głównej mierze ze zwiększenia normowej klasy obciążeń eksploatacyjnych (klasa B) oraz z nieuwzględnienia na etapie pierwotnego projektowania podpór sił poziomych. Dotychczasowa eksploatacja obiektu nie wykazała oznak niewłaściwej pracy fundamentów. Obciążenia stałe po przebudowie nie ulegają zasadniczym zmianom. Zwiększają się natomiast normowe obciążenia eksploatacyjne. Wzmocnienie posadowienia podpór pośrednich, zapewniono poprzez wykonanie dodatkowych mikropali iniekcyjnych pomiędzy palami pierwotnymi (instalacja poprzez otwory w oczepach – przewiert rdzeniowy koronką diamentową). Pierwotne oczepy nadbudowano i zespolono z dodatkową warstwą betonu. Wzmocnienie przyczółków stanowią mikropale kotwiące instalowane w górnych partiach korpusów (poprzez otwory rdzeniowe) oraz dodatkowe mikropale pionowe i ukośne pod nowo projektowanymi (zespolonymi z pierwotną konstrukcją) bocznymi odsadzkami fundamentu (tylko przyczółek od strony Bogatyni). Z uwagi na bardzo bliskie sąsiedztwo czynnej linii kolejowej nie było możliwości wzmocnienia posadowienia podpory od strony Bogatyni poprzez poszerzenie przedniej odsadzki fundamentu.

8. PODSUMOWANIE

Podstawowym efektem zrealizowanej modernizacji i wzmocnienia mostu była jego gruntowna odnowa. Zagwarantowała ona odpowiednią nośność obiektu jak dla drogi wojewódzkiej tj. klasy B (40 ton). Całkowity koszt tego przedsięwzięcia okazał się połową wysokości kwoty, która musiałaby być przeznaczona na obiekt nowy. Dzięki dodaniu trzeciego pasa górnego i wzmocnieniu prętów dźwigarów kratowych, sprzężeniu ich dolnych pasów, wymianie płyty pomostu i innym pracom naprawczym przedmiotowy most może być użytkowany przez kolejne dziesięciolecia.

LITERATURA

1. Rabięga J., *Historia mostów kolejowych na Odrze w pobliżu Siekierok*. XXVII Seminarium „Współczesne metody budowy, wzmacniania i przebudowy mostów”. Rosnówko 2017. Politechnika Poznańska.
2. Kordjak T., Warzocha M., *Ocena stanu technicznego i analiza nośności wiaduktu nad PKP w m. Turoszów w km 1+736 drogi wojewódzkiej nr 354*. PROMOST Consulting. Diagnostyka i Naprawy Konstrukcji. Warszawa 2009.
3. Biegun M., Biegun B., *Projekt wykonawczy remontu mostu w km 01+736 drogi wojewódzkiej nr 354 w m. Turoszów*. ALBIS, Bielsko-Biała 2012.
4. Wazowski M., Skalka P., Labus A., *Raport z przeglądu rozszerzonego obiektu mostowego. Most nr 125 w km 1+736 drogi wojewódzkiej nr 354 w m. Turoszów*. Aspekt Sp. z o.o. Jaworzno, 2009.
5. Karta obiektu. DODP we Wrocławiu, 1988.
6. Projekt techniczny wiaduktu drogowego nad torami kolejowymi stacji w Turoszowie. WZDP we Wrocławiu, 1959.
7. Höffner R., Rabięga J., Wątroba P., Kostiuk R., *Projekt wykonawczy dla zadania inwestycyjnego pod nazwą: „Remont mostu w ciągu drogi wojewódzkiej nr 354 w km 1+736 w miejscowości Turoszów”*, PBW Inżynieria, MOSTY 2016.
8. Rabięga J., *Badania gatunku stali konstrukcyjnej przęsła starego mostu*. XXVII Seminarium „Współczesne metody budowy, wzmacniania i przebudowy mostów”. Politechnika Poznańska, Rosnówko 2017.

STRENGTHENING OF TRUSS SPANS AND SUPPORTS OF A ROAD BRIDGE IN BOGATYNIA

Summary

The article describes technical condition, method of repair and strengthening of four truss spans and refurbishment of one concrete span in a road bridge located in a voivodeship road 354 in Bogatynia. Before the reconstruction the bridge had limited load capacity (D-class – 20 tons). After the reconstruction the load capacity of the bridge will be 40 tons (B-class according to Polish Norm PN-85/S-10030). The reconstruction of four truss spans included replacement of reinforced-concrete superstructure of the road surface to a reinforced concrete deck, strengthening of main truss girders using third top chord, repair of steel bracings, floor beams and stringers, external prestressing of bottom chords of truss girders, strengthening of piers and abutments and renovation of coatings on spans and bearings. The concrete span was rebuilt with new prestressed Kujan beams. The bridge was erected in 1959 and this spring the reconstruction and strengthening of its structure was finished.