

REMONT MOSTÓW KOLEJOWYCH W RAMACH PROJEKTU POIiŚ 7.1-79 PN.: „POLEPSZENIE JAKOŚCI USŁUG PRZEWOZOWYCH POPRZEZ POPRAWĘ STANU TECHNICZNEGO LINII KOLEJOWEJ NR 272 NA ODCINKU KLUCZBORK – OSTRZESZÓW”

Artur **KOŁAKOWSKI**
PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.
Centrum Realizacji Inwestycji Region Zachodni

W ramach zadań inwestycyjnych Polskie Linie Kolejowe S.A prowadzą szereg działań remontowych i modernizacyjnych linii kolejowych. W artykule opisano sposób realizacji remontu 4 mostów stalowych, które znajdowały się w ciągu linii kolejowej nr 272 objętej rewitalizacją na odcinku Kluczbork – Ostrzeszów w ramach Projektu POIiŚ 7.1-79. Prace polegały głównie na wzmocnieniu istniejących stalowych nitowanych przęseł za pomocą nowych pasów dolnych i górnych dźwigarów głównych oraz wymianie skorodowanych elementów konstrukcyjnych. Przeprowadzono również renowację podpór za pomocą zapraw typu PCC i montaż nowej nawierzchni kolejowej. W pracy przedstawiono stan przed i po wykonaniu prac remontowych. Efekty pokazują, iż zasadnym jest przebudowa i wzmocnienia przęseł, które były eksploatowane nawet 140 lat.

Słowa kluczowe: most kolejowy, remont, wzmocnienie, konstrukcje stalowe

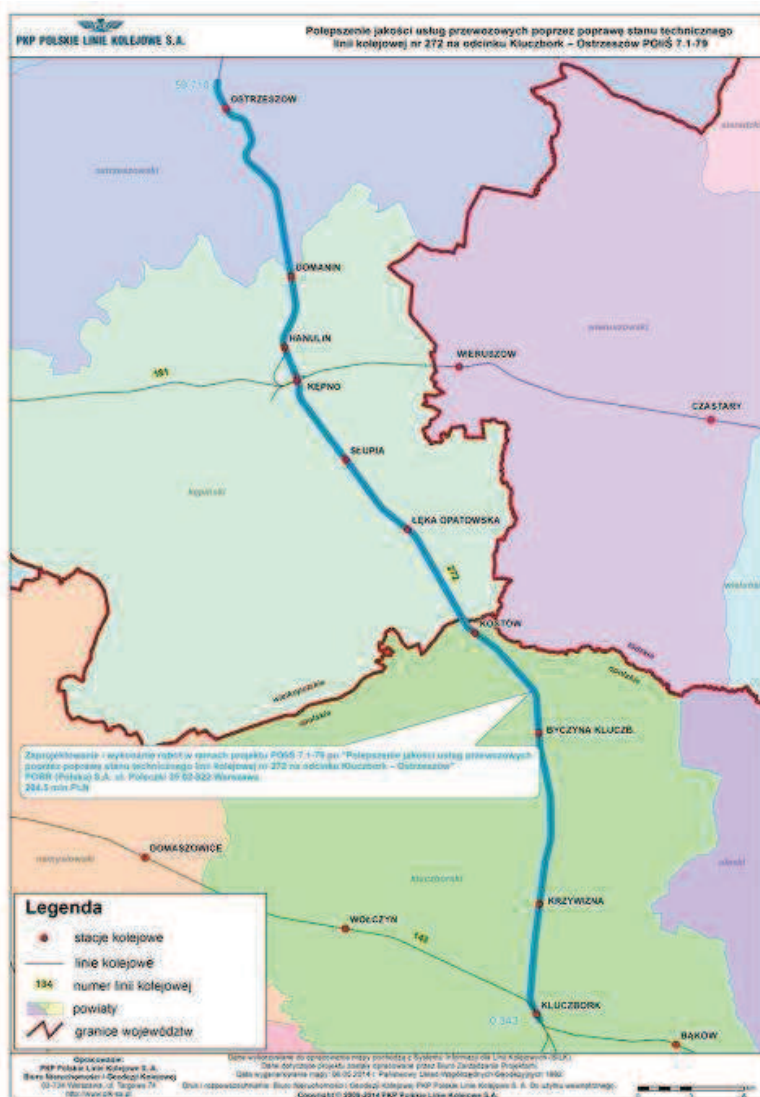
1. WPROWADZENIE

PKP Polskie Linie Kolejowe w wyniku prac inwestycyjnych przewidzianych w ramach perspektywy finansowej UE w latach 2007 – 2013 przeprowadziły remont m.in. 4 mostów stalowych znajdujących się w ciągu linii kolejowej nr 272 (Kluczbork – Poznań). Prace zostały zrealizowane w ramach Projektu POIiŚ 7.1-79 pn.: „Polepszenie jakości usług przewozowych poprzez poprawę stanu technicznego linii kolejowej 272 na odcinku Kluczbork – Ostrzeszów” realizowanego w latach 2014 - 2015. Powstanie linii to koniec XIX, a dokładnie jej otwarcie miało miejsce 10 grudnia 1875 roku. Około roku 1899 dobudowano drugi tor. Przedmiotowe obiekty znajdują się na początku linii w km 0,227; 4,010; 5,311 oraz 22,980. Wszystkie z nich znajdują się na terenie województwa Opolskiego i są w użytkowaniu Zakładu Linii Kolejowych w Opolu. Mosty zostały zbudowane w latach:

- Most w km 0,227 – 1915 r.

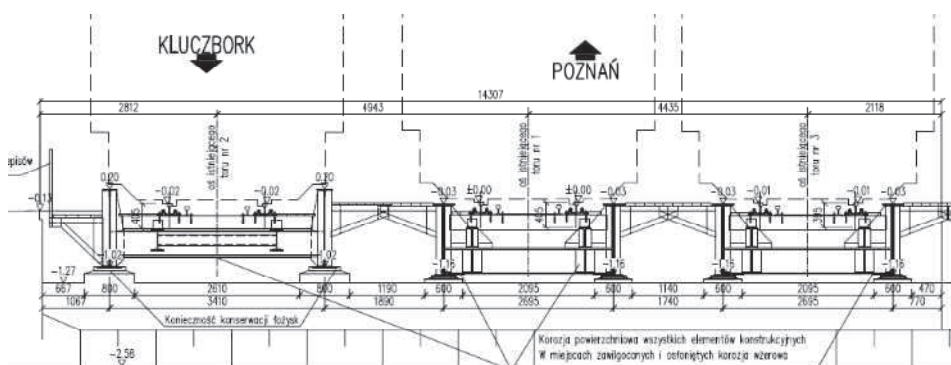
- Most w km 4,010 – 1875 r.
- Most w km 5,311 – 1955 r.
- Most w km 22,980 – 1875 r.

Obiekty od czasu wybudowania nie podlegały żadnym większym remontom oprócz wymiany mostownic oraz drobnych napraw zabezpieczenia antykorozyjnego przeseł.

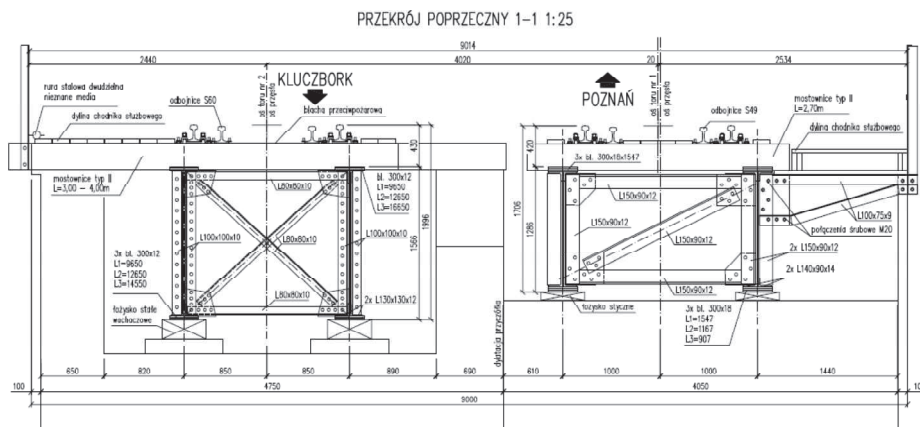


2. STAN ISTNIEJĄCY

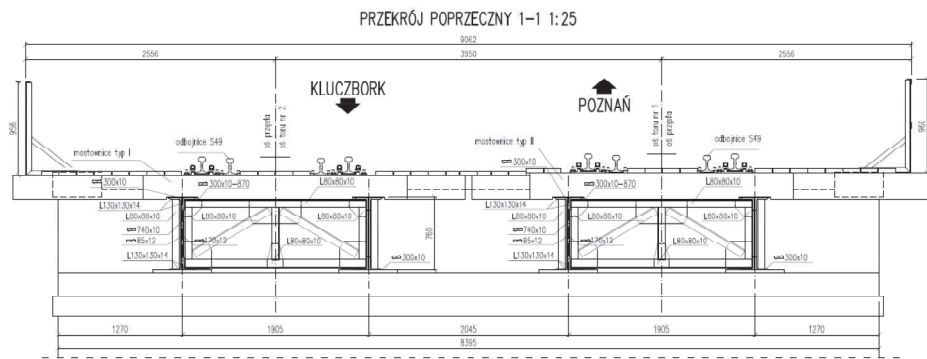
Posadowienie obiektów to przyczółki o konstrukcji: mieszanej żelbetowo-ceglanej w km 0,227 i żelbetowo-kamiennej w km 22,980, a także żelbetowej – w km 4,010 oraz 5,311. Przęsła to konstrukcje stalowe nitowane z jazdą bezpośrednią na mostownicach. Zabudowa nawierzchnia kolejowa to typ S-60 z odbojnicami z szyn S-49. Mostownice wspierają się na pasach górnych podłużnic i są do nich mocowane łącznikami z kątowników L150x150x10. Rozpiętości przęseł wahają się w przedziale od 7,50 m do 18,50 m w zależności od obiektu i toru w którym się znajdują. Przekroje poprzeczne (stanu przed remontem) przedstawiono na rysunkach 1 – 4.



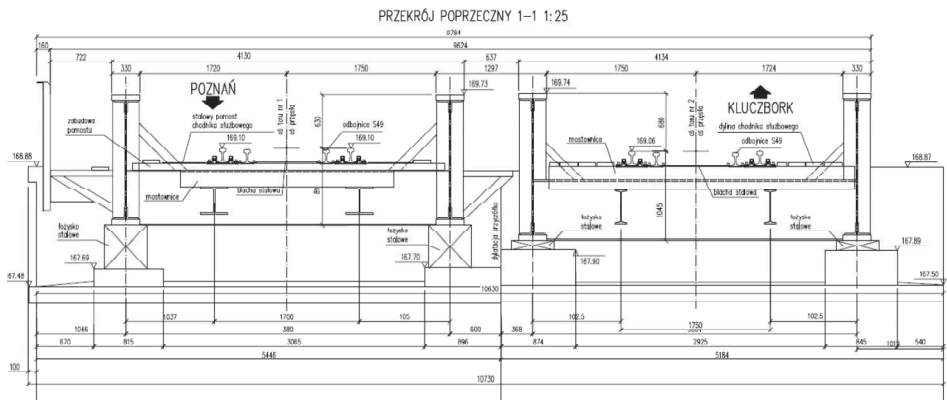
Rys. 1. Przekrój poprzeczny (stan przed remontem) – km 0,227



Rys. 2. Przekrój poprzeczny (stan przed remontem) – km 4,010



Rys. 3. Przekrój poprzeczny (stan przed remontem) – km 5,311



Rys. 4. Przekrój poprzeczny (stan przed remontem) – km 22,980

Ze względu na zły stan techniczny linii nr 272, która obecnie pełni bardzo ważną rolę alternatywnej trasy dla pociągów pasażerskich i towarowych z południa kraju na wybrzeże PKP Polskie Linie Kolejowe podjęły szereg działań inwestycyjnych, którym jednym z nich był Projekt POiS 7.1-79 pn.: „Polepszenie jakości usług przewozowych poprzez poprawę stanu technicznego linii kolejowej 272 na odcinku Kluczborok – Ostrzeszów”. Założono realizację jako rewitalizację linii w systemie „Projektuj i buduj”, bez uzyskiwania pozwolenia na budowę. Przed przystąpieniem do realizacji na znaczącej długości rewitalizowanego odcinka prędkości przejazdu pociągów oscyływały w granicach 20-30km/h, dlatego podstawowym celem inwestycji było przywrócenie prędkości rozkładowej pociągów pasażerskich do $v=120\text{km/h}$ oraz towarowych do $v=80\text{km/h}$ i przywrócenie dopuszczalnego nacisku osi na tor do 221 kN.

W wyniku rozstrzygnięcia postępowań przetargowych dnia 30 stycznia 2014 roku podpisano umowę na zaprojektowanie i wykonanie robót budowlanych

z Wykonawcą – Porr (Polska) S.A., obecnie Porr Polska Construction. Dnia 09 lutego 2014 roku podpisano umowę z firmą Ekocentrum Sp. z o.o., która była odpowiedzialna za prowadzenie nadzoru inwestorskiego (Inżynier Projektu). W zakresie obiektów inżynierskich podwykonawcą robót była firma Taumer Sp. z o.o, a jednostką projektową w zakresie omawianych obiektów był TestBridge S.C.

Zakres remontu dla omawianych mostów zgodnie z zapisami Programu Funkcjonalno-Użytkowego przewidywał dostosowanie obiektów do nośności klasy obciążeń $k = +2$ poprzez roboty naprawczo-remontowe polegające na wymianie zużytych lub skorodowanych elementów konstrukcyjnych, renowacji podpór, wykonaniu powłok antykorozyjnych i montażu nowej nawierzchni.



Rys. 5. Most w km 4,010 (stan przed remontem)

Uszkodzenia obiektów polegały głównie na:

- zniszczeniu zabezpieczenia antykorozyjnego konstrukcji stalowej i związana z tym korozja stali konstrukcyjnej oraz nitów,
- rysy na przyczółkach, uszkodzenia powierzchni przyczółków, ich korozja biologiczna,
- skorodowaniu i uszkodzeniu balustrad,
- silnej degradacji elementów drewnianych/stalowych chodników roboczych i elementów nawierzchni kolejowej.



Rys. 6. Most w km 5,311 (stan przed remontem)



Rys. 7. Most w km 5,311 (stan przed remontem)



Rys. 8. Most w km 22,980 (stan przed remontem)

3. ZAKRES REMONTU I PRZEBIEG PRAC

Wykonawca robót uwzględniając powyższe wytyczne początkowo rozważał całkowitą wymianę przęseł na nowe. Ze względu jednak na zapisy Instrukcji Id-2 mówiącej o konieczności stosowaniu toru na podkładach i podsypce tłuczniowej oraz ze względu, iż zadanie było realizowane w oparciu o zgłoszenie robót budowlanych Wykonawca podjął decyzję o wzmocnieniu istniejących przęseł stalowych.

Ze względu na brak dokumentacji archiwalnej i informacji o zastosowanej stali przyjęto, zgodnie z zaleceniami normowym oraz zgodnie z opracowaniem „Zalecenia do określania nośności istniejących przęseł stalowych” wydanego przez Międzynarodowy Związek Kolei UIC, poziom naprężeń jakie można dopuścić dla elementów konstrukcyjnych ze stali zgrzewnej i zlewnej na poziomie:

- dla rozciągania, ściskania i zginania 147 MPa,
- dla ścinania 84 MPa,
- ścinanie dla nitów 125 MPa,
- rozciąganie dla nitów 50 MPa.

Dodatkowo zlecono badania stali istniejących przęseł. Miały one na celu określenie składu chemicznego oraz sprawdzenie jej wytrzymałości. Wyniki okazały być się więcej niż optymistycznie, ponieważ wartość wytrzymałości na rozciąganie osiągnęła 237 MPa.

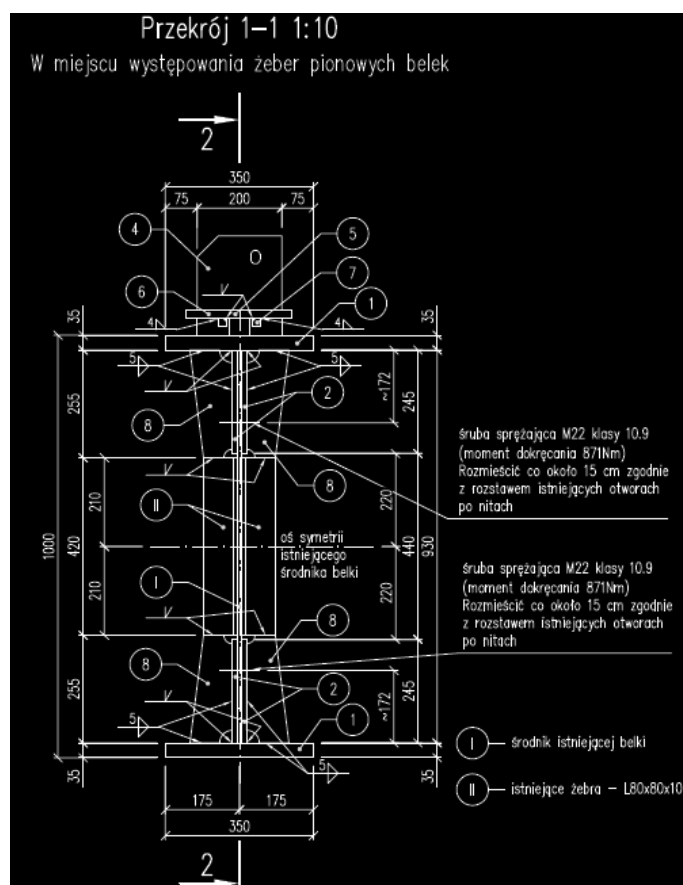
Badanie wykonano na 9 wycinkach stali.

Zaprojektowano wzmocnienie przęseł mostów poprzez:

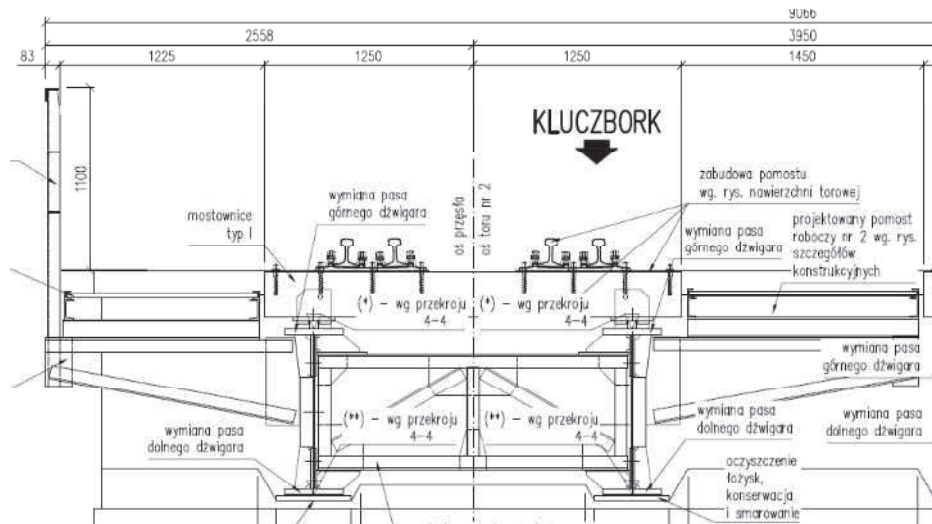
1. Demontaż pasów górny i dolnych;

2. Wykonanie oczyszczenia konstrukcji – środników dźwigarów głównych, podłużnic i stężeń poprzecznych;
3. Wymianę skorodowanych elementów konstrukcyjnych, które w wyniku korozji doznały znaczącego ubytku przekroju poprzecznego (powyżej 15%): blach węzłowych, poprzecznic, podłużnic i wiatrownic.

Na rysunku przedstawiono zaprojektowany przekrój poprzeczny dźwigara głównego mostu km 22,980. Należy zaznaczyć, że ze względu na właściwości stali pozostawionych elementów konstrukcyjnych nie było możliwości wykonania połączeń spawanych. W związku z powyższym zastosowano śruby sprężające w rozstawie i miejscach po dotychczasowych nitach konstrukcji. W celu ograniczenia naprężeń do przytoczonych wcześniej wartości zastosowano zabiegi konstrukcyjne polegające na przyjęciu większej grubości pasów górnych i dolnych lub zwiększeniu wysokości konstrukcyjnej dźwigarów głównych poprzez zastosowanie nakładek na istniejący środnik.



Rys. 9. Szczegóły konstrukcyjne wzmocnionego dźwigara głównego



Rys. 10. Projektowany przekrój poprzeczny przęsła km 5,311



Rys. 11. Most w km 4,010 – tor nr 2 przęsło po demontażu nawierzchni



Rys. 11. Dźwigary główne po montażu nowych elementów konstrukcyjnych km 4,010



Rys. 12. Most w km 0,227 po montażu nowej nawierzchni torowej.

Na obiekcie zamontowano nową nawierzchnię torową w postaci szyn S60 mocowanych przez podkładki Pm60 do mostownic opartych na podłużnicach za pośrednictwem klocków centrujących. Pomiędzy podkładkami szynowymi, a mostownicami ułożono blachę stalową grubości 5mm spełniającą funkcję

przeciwpożarową oraz blachę grubości 10mm spełniającą funkcję przeciwwykolejnicową.



Rys. 12. Montaż mostownic km 22,980

Ze względu na dobry stan techniczny istniejących łożysk stalowych, wykonano ich renowację poprzez piaskowanie i odnowę powłok antykorozyjnych.



Rys. 13. Łożysko mostu w km 22,980 po renowacji

Zabezpieczenie antykorozyjne przewidziano w postaci 3 warstw powłok malarskich dających możliwość tworzenia kompozytu składającego się z warstwy gruntującej (podkład wysokocynowy), pośredniej na bazie żywicy epoksydowej z wypełniaczem metalicznym oraz warstwy wierzchniej na bazie poliuretanu o wysokiej trwałości barw i odporności na kredowanie. Całkowita grubość powłok wynosił min. 240 μ m.

Renowacja przyczółków ze względu na rysy i ubytki powstałe wskutek korozji betonu polegała na oczyszczeniu powierzchni betonowych za pomocą piaskowania. Następnie zastosowano dwuskładnikową iniekcję rys przy zastosowaniu bezrozpuszczalnikowych żywic epoksydowych o małej lepkości (przystosowanej do sklejania wilgotnych rys). Ubytki wypełniono zaprawami naprawczymi typu PCC po wcześniejszym odpowiednim przygotowaniu powierzchni styków. W ramach kontroli uzyskanych efektów przeprowadzono badania *pull-off*, które dały pozytywne wyniki w postaci wytrzymałości na odrywanie średnio większej od 2,0 MPa (wymagania zgodnie ze STWiORB min. 1,5 MPa). Odwodnienie przyczółków wykonano poprzez ułożenie koryt betonowych za ścianką zapleczną i wyprowadzenie na skarpę poprzez rurę drenarską ϕ 100 mm. Wylot na skarpie nasypu umocniono kamieniem polnym.



Rys. 14. Most w km 4,010 po wykonaniu remontu

4. TERMINY I SPOSÓB REALIZACJI

Prezentowane obiekty inżynieryjne remontowano w trakcie zamknięć torowych jak również niezależnie od nich. W przypadku remontu przesł czasu wykonywanych robót wahał się pomiędzy 20 a 27 dniami. Podyktowane było to przyjętymi przez Wykonawcę terminami zamknięć torowych oraz koniecznością wykonywania w tym czasie nie tylko robót w zakresie mostów ale także w zakresie wymiany nawierzchni torowej, w tym rozjazdów na poszczególnych stacjach, regulacji sieci trakcyjnej, robót branży srk i innych robót towarzyszących. W przypadku remontu podpór prace były prowadzone niezależnie od ruchu kolejowego, lecz z zachowaniem ograniczenia prędkości pociągów obok miejsca robót.

L.p.	Obiekt [km+tor]	Termin zamknięcia torowego	Termin robót mostowych		
			OD	DO	ILOŚĆ DNI
1	km 4,010; tor2	16.02.2015-09.04.2015	18.02.2015	09.03.2015	20 dni
2	km 5,311 ; tor 2	16.02.2015-09.04.2015	18.02.2015	09.03.2015	20 dni
3	km 22,980 ; tor 1	19.02.2015-13.03.2015	07.08.2015	29.08.2015	23 dni
4	km 22,980 ; tor 2	17.03.2015-10.04.2015	16.03.2015	13.04.2015	27 dni
5	km 0,227; tor 2	20.04.2015-02.06.2015	27.04.2015	19.05.2015	23 dni
6	km 4,010, tor 1	05.05.2015-05.06.2015	06.05.2015	28.05.2015	22 dni
7	km 5,311 ; tor 1	05.05.2015-05.06.2015	06.05.2015	28.05.2015	22 dni
8	km 0,227 ; tor 1	17.06.2015-31.07.2015	29.06.2015	21.07.2015	23 dni
9	km 0,227 ; tor 3	17.06.2015-31.07.2015	18.06.2015	10.07.2015	23 dni

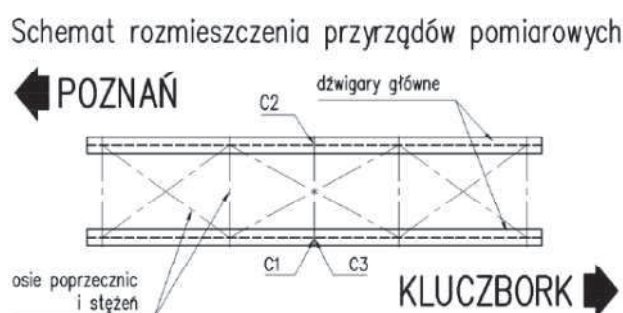
Remont przesła polegał na:

- demontażu istniejącej nawierzchni torowej,
- demontażu pasów górnych i dolnych,
- czyszczeniu konstrukcji stalowej,
- wymianie skorodowanych elementów konstrukcyjnych,
- wymianie skorodowanych nitów na śruby sprężająca,
- montażu pasów górnych i dolnych,
- montażu stołków centrujących,
- montażu mostownic,
- montażu chodników roboczych wraz z ich konstrukcją wsporczą,
- montażu nawierzchni torowej,
- wykonaniu próbnego obciążenia,
- oddaniu do eksploatacji.

Pozostałe roboty przewidziane dokumentacją projektową były wykonywane przy czynnym ruchu kolejowym.

5. PRÓBNE OBCIĄŻENIA KONSTRUKCJI

Przed oddaniem do eksploatacji obiekty zostały poddane próbnemu obciążeniu. Zakres próbnego obciążenia został określony zgodnie z normą *PN-89/S-10050 Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Wymagania i badania*. Wykonano próbę statyczną dla pomiarów ugięcia przęsła. Zgodnie z projektem próbnego obciążenia badanie wykonano przy pomocy lokomotywy SM-48 o masie 116 ton.



Rys. 15. Rozmieszczenie przyrządów pomiarowych – most w km 5,311

Tabela 1. Przemieszczenia zarejestrowane przez czujniki

Lp.	Czujnik	przem.	Numer odczytu					
			1	2	3	4	5	6
		czas	19:11	19:14	19:17	19:26	19:28	19:40
1	C1	z[mm]	-1.49	-1.49	-1.50	-1.50	-0.04	-0.03
2	C2	z[mm]	-1.34	-1.34	-1.34	-1.35	-0.13	-0.12
3	C3	z[mm]	-1.57	-1.62	-1.63	-1.63	-0.18	-0.14

Tabela 2. Maksymalne ugięcia dźwigarów

Ugięcia	Czujnik	
	C1	C2
Całkowite	-1.50	-1.35
Trwałe	-0.03	-0.12
Sprężyste	-1.47	-1.23
Obliczeniowe	-1.741	-1.741
Trwałe/Całkowite	2%	9%
Sprężyste/Obliczeniowe	84%	71%

Porównanie maksymalnych ugięć dźwigarów z wartościami teoretycznymi (zwiększonymi o wskaźnik procentowy który jest konsekwencją użycia cięższego pojazdu od tego przewidzianego w projekcie próbnego obciążenia) uzyskanymi z obliczeń pokazuje, iż analizowana konstrukcja spełnia warunki normowe. Ograniczenia normowe przedstawiają się jak poniżej.

- stosunek ugięć trwałych do całkowitych, < 20% - warunek spełniony,

- stosunek ugięć sprężystych do ugięć obliczeniowych, $< 100\%$ - warunek spełniony.

Oceniając wyniki próbnego obciążenia uwagę zwraca kilka czynników:

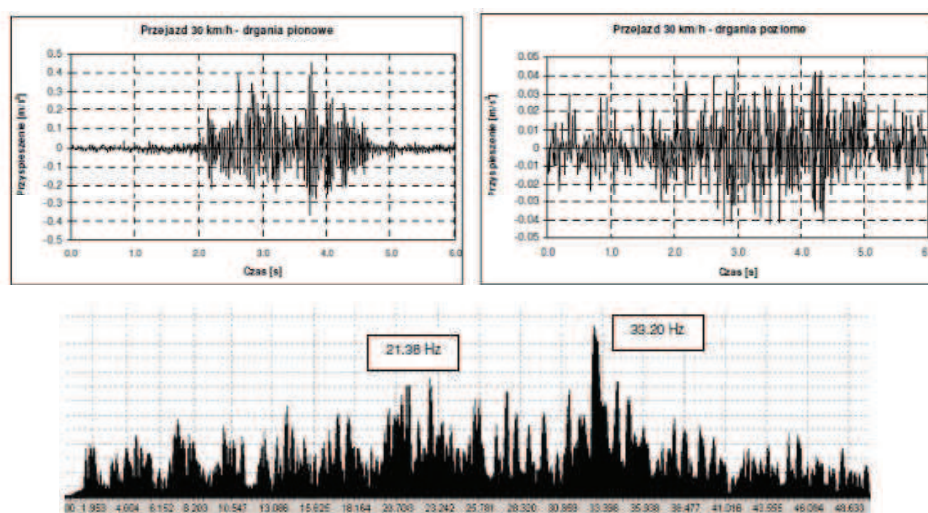
- a) ugięcie sprężyste w stosunku do obliczeniowego zawierają się w przedziale 71÷84%,
- b) różnica w ugięciu sprężystym pomiędzy dźwigarami,
- c) różnica w ugięciu trwałym pomiędzy dźwigarami.

- Ad a) taki stan rzeczy wynika z kilku względów. Po pierwsze w modelu obliczeniowym charakterystyki dźwigara głównego zostały przyjęte jak dla prostej blachownicy. W rzeczywistości pasy są mocowane do starego środnika za pośrednictwem „widelców”, które zwiększają nośność dźwigara wraz ze wzrostem wysokości dźwigara, zgodnie ze wzorem wytrzymałościowym, dodatkowo udział stężeń obiektu ma w rzeczywistości większy wpływ na sztywność całego przęsła niż uwzględniono to w obliczeniach.
- Ad b) jest to kwestia nierównomiernego obciążenia wynikającego z charakterystyki pojazdu – jedna strona jest bardziej obciążona niż druga. Protokół z ważenia stanowi załącznik do niniejszego opracowania,
- Ad c) różnica w ugięciu trwałym dla dźwigara nasłonecznionego i dźwigara w cieniu może wynikać z tego że dźwigar nasłoneczniony był nieco dłuższy przez całodzienne ogrzewanie i tym spowodował nieznaczne skrócenie całego rusztu nośnego. Co skutkowało tym że po obciążeniu większe ugięcie zostało na dźwigarze w cieniu o minimalnie mniejszej długości.



Rys. 16. Próbné obciążenia mostu w km 5,311

Wykonano również próbę dynamiczną za pomocą pojazdu testowego z prędkością 30 km/h w celu rozpoznania charakterystyki częstotliwościowej obiektu.



Rys. 17. Przyspieszenia drgań przęsła oraz widmo FFT sygnału pomiarowego zarejestrowanego w trakcie badań terenowych.

Pierwsza postać drgań giętych, wzbudzona na obiekcie podczas przejazdu lokomotywy z prędkością 30 km/h wyniosła $n_0 = 21.38$ Hz. Postać drgań o częstotliwości $n_T = 33.20$ Hz zidentyfikowano na podstawie zapisów drgań w kierunku pionowym i poziomym (poprzecznym do osi obiektu) oraz obliczeń dynamicznych z wykorzystaniem modelu obliczeniowego jako postać skrętna.

Z procedury zawartej w PN-EN 1991-2:2003 *Oddziaływania na konstrukcje. Obciążenia ruchome mostów.* rysunek 6.9 i 6.10 oraz równania (6.1), (6.2) – wynika, iż dla konstrukcji o rozpiętości przęsła 7,50 m szczegółowej analizy dynamicznej wymagają obiekty, których pierwsza częstotliwość giętych drgań własnych jest mniejsza od 10,67 Hz lub większa od 21,00 Hz. W sytuacji gdy częstotliwość drgań giętych nie mieści się w przedziale 10,67-21,00 Hz wymagane jest sprawdzenie warunku $n_T > 1,2 n_0$ oraz warunków v/n_0 (v/n_0)_{lim}, gdzie v – maksymalna prędkość nominalna w [m/s].

Przedmiotowy obiekt znajduje się w ciągu trasy z programową maksymalną prędkością ruchu do 120 km/h i charakteryzuje się pierwszą częstotliwością drgań skrętnych $n_T = 33.20$ Hz i całkowitą masą przęsła wynoszącą 11.20 t (1.5 t/m). Dla pomierzonych częstotliwości drgań skrętnych i giętych przęsła warunek $n_T > 1,2 n_0$ jest spełniony (33.20 Hz $>$ $1.2 \cdot 21.38$ Hz = 25.66 Hz). Dla lekkich obiektów z jazda bezpośrednia o rozpiętości przęsła 7.5 $L <$ 10.0 m wartość maksymalna (v/n_0)_{lim} zgodnie z Tablica F2 normy PN-EN 1991-2:2003 wynosi (v/n_0)_{lim} = 2.08 – 2.64 m w zależności od poziomu tłumienia drgań.

W przedmiotowym obiekcie dla $v = 120 \text{ km/h} = 33,33 \text{ m/s}$ iloraz v/n_0 wynosi $v/n_0 = 33,33/21,38 = 1,56$. Warunek $v/n_0 < (v/n_0)_{\text{lim}}$ jest więc spełniony, co oznacza, że obiekt nie wymaga wykonywania pełnej analizy dynamicznej.

Nie jest wymagane sprawdzanie przyspieszeń drgań w rezonansie. Wymagane i wystarczające jest użycie współczynnika dynamicznego w analizie statycznej. Procedurę taką przyjęto w analizach statyczno-wytrzymałościowych wykonanych w projekcie remontu obiektu.

6. PODSUMOWANIE

Efektem prac inwestycyjnych w ramach Projektu POIiŚ 7.1-79 jest przywrócenie prędkości pociągów pasażerskich $v=120\text{km.h}$ oraz towarowych $v=80\text{km/h}$ na całej długości remontowanego odcinka w tym na omawianych obiektach inżynierskich. Przed wykonaniem rewitalizacji prędkości przejazdu w większości nie były większe niż 30km/h . Pomimo wieku obiektów (w przypadku mostów w km 4,010 oraz 22,980 nawet 140 lat) remont w postaci wzmocnienia przęseł i renowacji podpór przyniósł oczekiwane efekty. Pokazuje to, że nie zawsze konieczna jest całkowita przebudowa obiektów mostowych i warto w przemyślany sposób wykonywać ich remonty oraz wzmocnienia. Poniesione nakłady finansowe były niewspółmiernie mniejsze niż w przypadku całkowitej wymiany przęseł oraz budowy nowych podpór. Efekty jednak są porównywalne, a czas eksploatacji obiektów wydłużył się o następne kilkadziesiąt lat.



Rys. 18. Most w km 0,227 po remoncie



Rys. 19. Most w km 0,227 po remoncie



Rys. 20. Most w km 4,010 po remoncie



Rys. 21. Most w km 5,311 po remoncie



Rys. 22. Most w km 22,980 po remoncie

LITERATURA

1. SIWZ dla Projektu POIiŚ 7.1-79 – Program Funkcjonalno-Użytkowy
2. Dokumentacja techniczna – Projekty Wykonawcze:
 - a. Remont (rewitalizacja) mostu w km 0,227
 - b. Remont (rewitalizacja) mostu w km 4,010
 - c. Remont (rewitalizacja) mostu w km 5,311
 - d. Remont (rewitalizacja) mostu w km 22,980
3. Projekty i sprawozdania Próbnych Obciążeń obiektów w km 0,227; 4,010; 5,311; 22,980

RAILWAY BRIDGE RENOVATION IN PROJECT POIiŚ 7.1-79: “IMPROVING THE QUALITY OF TRANSPORT SERVICES BY IMPROVING THE TECHNICAL CONDITION OF THE RAILWAY LINE NO 272 ON THE SECTION KLUCZBORK – OSTRZESZOW”

Summary

The paper describes way of renovation 4 steel bridges which are located within the railway line no 272. Renovation work included the reinforcement by replacement of the upper and lower belts of main girders and replacement of corroded other structural elements. Also carried out renovation of supports by using mortar PCC and the installation of new railway tracks. The paper presents the state before and after the renovation work. The effects show that it is reasonable to rebuild and strengthen the spans, which were operated up to 140 years.