XXIII konferencja naukowo-techniczna
szczecin-międzyzdroje, 23-26 maja 2007
awarie budowlane 2007
zapobieganie diagnostyka naprawy rekonstrukcje

Dr inż. Stefan PRADELOK, *stefan.pradelok@polsl.pl*
Dr inż. Piotr BĘTKOWSKI, *piotr.betkowski@polsl.pl*
Katedra Dróg i Mostów, Politechnika Śląska w Gliwicach

NAPRAWA I PRÓBNE OBCIĄŻENIE KRATOWEGO MOSTU KOLEJOWEGO

REPARATION AND TESTING LOADS OF TRUSS RAILWAY BRIDGE

Streszczenie W referacie opisano naprawę i próbne obciążenie kratowego mostu kolejowego. Przedstawiono sposób naprawy mostu przez wymianę uszkodzonego pręta kratownicy. Do zmiany schematu statycznego konstrukcji zastosowano aktywną podporę tymczasową z siłownikiem hydraulicznym. Podano technologię wymiany uszkodzonego krzyżulca. Zamieszczono opis próbnego obciążenia po naprawie i wnioski końcowe. Opisany obiekt jest stalowym mostem kratowym, jakich wiele na kolei. Przedstawiona metoda naprawy może mieć zastosowanie w przypadku innych obiektów kratowych, które doznały znacznych uszkodzeń.

Abstract Reparation and testing load of truss railway bridge is described in this paper. Manner of repair of bridge by exchange broken down element is presented. It employ active temporary support for change of static scheme of construction with hydraulic servo-motor. The paper presents testing load after repair and final conclusions. The construction described in this paper is a steel truss bridge, very popular on the railway. Presented method of repair can have employment in case of other truss bridges which have considerable damages.

1. Wprowadzenie

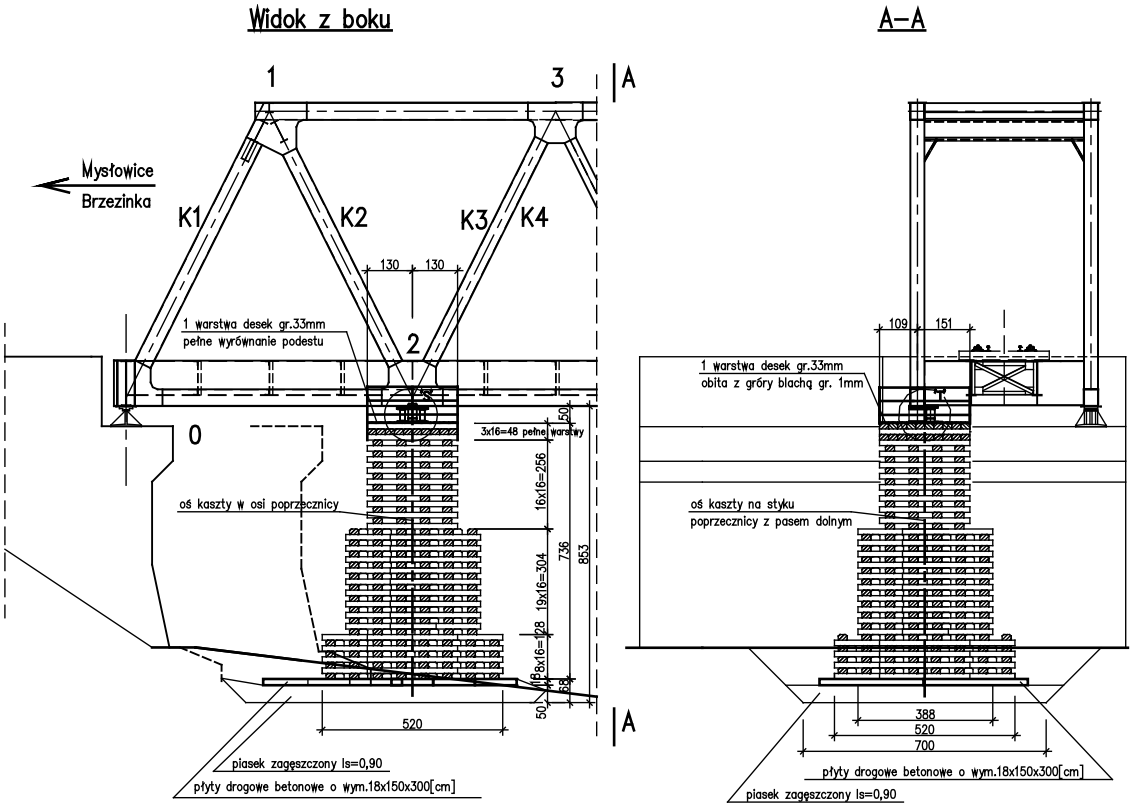
W dniu 18.11.2004r. doszło do wykolejenia jednego z wagonów w pociągu towarowym przejeżdżającym przez most nad Przemszą na linii kolejowej nr 180 Dorota-Jęzor-Brzezinka. W jego wyniku został przebity i odkształcony skrajny krzyżulec K1. Również nawierzchnia kolejowa na moście została mocno zniszczona. Natychmiast został wstrzymany ruch pociągów. Powołano komisję, która po przeprowadzeniu oględzin i ocenie uszkodzeń stwierdziła, że w celu przywrócenia ruchu należy obiekt tymczasowo zabezpieczyć i opracować projekt naprawy uszkodzonej konstrukcji.

W referacie [9] omówiono sposób tymczasowego zabezpieczania mostu wraz z jego szczegółową charakterystyką i opisem powstałych podczas wykolejenia uszkodzeń. Most został podparty w węźle 2 uszkodzonej kraty (rys. 1). Zabieg ten pozwolił na tymczasowe zabezpieczenie konstrukcji mostu z jednoczesną możliwością przywrócenia (w ograniczonym zakresie) przejezdności na moście.

W poniższym opracowaniu będzie przedstawiony sposób naprawy uszkodzonego mostu. W związku z poważną deformacją i znacznym zakresem uszkodzeń w krzyżulcu K1 zrezygnowano z jego prostowania. Podjęto decyzję o wymianie uszkodzonego fragmentu pręta na nowy.

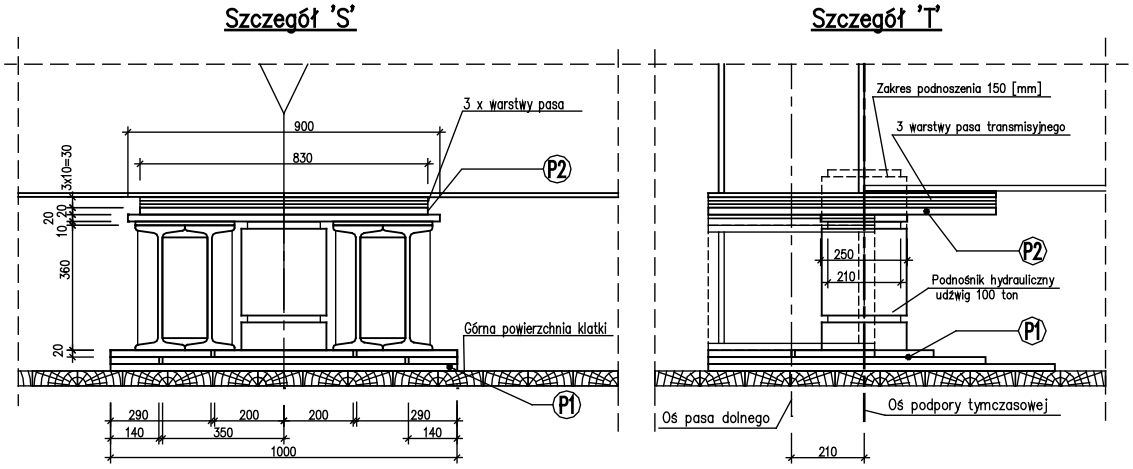
2. Odciążenie krzyżulca K1

W celu wymiany uszkodzonego krzyżulca K1 należało go odciążyć. Podparcie ustroju nośnego w węźle 2 na aktywnej podporze tymczasowej z siłownikiem umożliwiało wyzerowanie w nim sił osiowych.



Rys. 1. Usytuowania i konstrukcja podpory tymczasowej

Na górnej powierzchni klatki umieszczono centralnie (względem styku poprzecznicy z pasem dolnym dźwigara) pakiet blach P1, a na nich (pod stykiem poprzecznicy z pasem dolnym) ustawiono siłownik hydrauliczny o udźwigu 100 ton. Po obu stronach siłownika (pod pasem dolnym dźwigara) ustawiono dwa stalowe stołki. W celu minimalizacji ryzyka uszkodzenia pasa dolnego dźwigara kratowego zastosowano nad siłownikiem i stołkami podkładkę P2 z blachy stalowej z trzema warstwami gumowego pasa transmisyjnego (rys. 2).



Rys. 2. Szczegół podparcia węzła 2

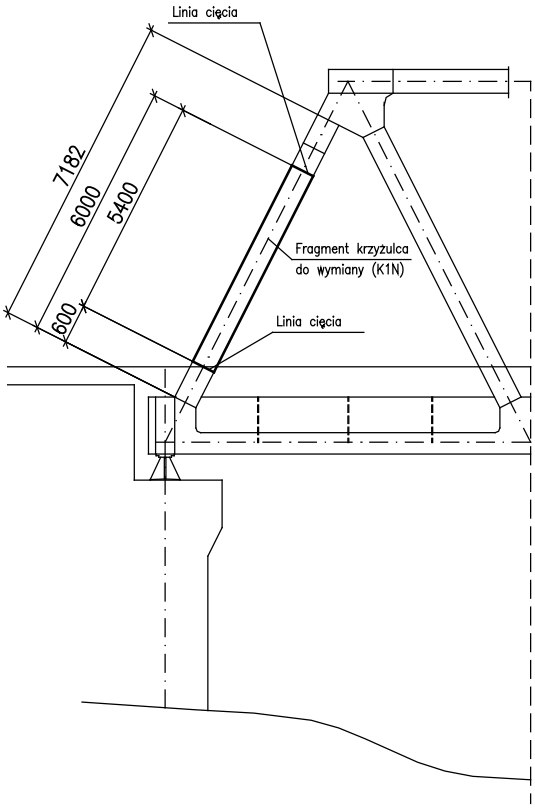
Następnie podniesiono siłownikiem most w węźle 2. Podnoszenie kontynuowano, aż do oderwania się pasa dolnego (pod uszkodzonym krzyżulcem K1) w węźle 0 od łożyska (rys. 1). Po oderwaniu się pasa dolnego od łożyska podbudowano konstrukcję za pomocą przekładek stalowych i zwolniono siłownik hydrauliczny. Pozostała przerwa (po zwolnieniu siłownika) pomiędzy pasem dolnym, a łożyskiem była nie większa niż 2mm.

W trakcie podnoszenia konstrukcji kontrolowano by łożysko stałe pod sąsiednim (nieuszkodzonym) krzyżulcem K1 było obciążone.

3. Technologia wymiany uszkodzonego krzyżulca

Nowy krzyżulec K1N został wykonany na warsztacie. Celem wykonania pełnego przetopu końcówki blach na obydwu końcach krzyżulca K1N zostały sfazowane jednostronnie pod kątem 45º z progiem nie większym niż 1mm.

Element K1N został dostarczony na budowę na 1 dzień przed przewidywanym montażem. Uszkodzony fragment krzyżulca K1 wycięto za pomocą piły uwzględniając zinwentaryzowane wymiary już dostarczonego na budowę nowego krzyżulca K1N (rys.3).

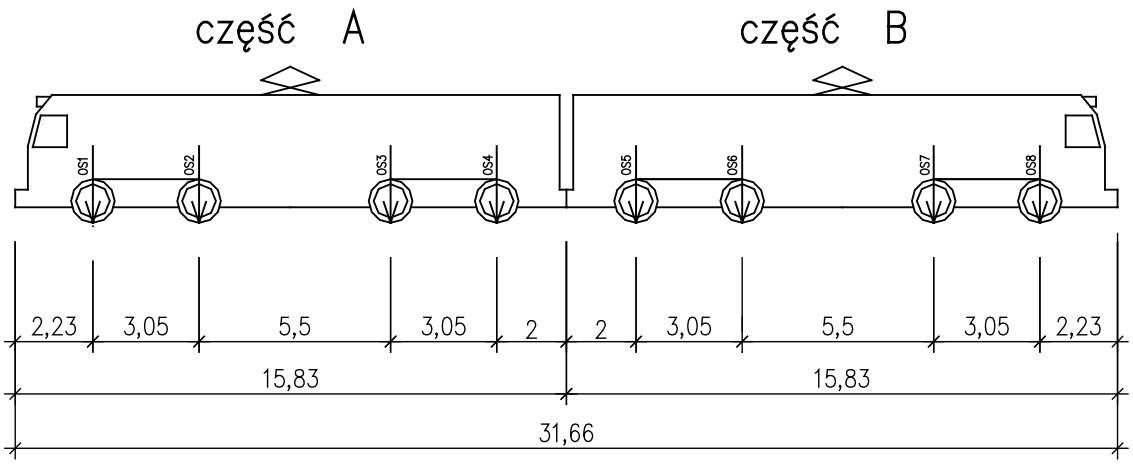


Rys. 3. Schemat cięcia uszkodzonego krzyżulca K1

Krawędzie cięcia zostały wyszlifowane. W odległości ok. 100 mm od miejsca cięcia wspawano do obydwu pozostałych przy kracie końcówek krzyżulca dodatkowe przepony z blachy gr. 6mm oraz z trzech stron podkładki gr. 3mm umożliwiające łatwiejszy montaż nowego krzyżulca K1N. W miejsce wyciętego fragmentu zamontowano nowy krzyżulec K1N i sczepiono go montażowo. Następnie wykonano spoiny łączące krzyżulec K1N z kratą. Były to spoiny czołowe na pełny przekrój. Po czym dokonano odbioru spoin przez kontrolę techniczną. Wszystkie otwory zostały uszczelnione tak, aby stworzyć przestrzenie zamknięte uniemożliwiające rozwój korozji. Następnie wykonano próbę szczelności. Po pozytywnym odbiorze wykonano zabezpieczenie antykorozyjne naprawianych powierzchni.

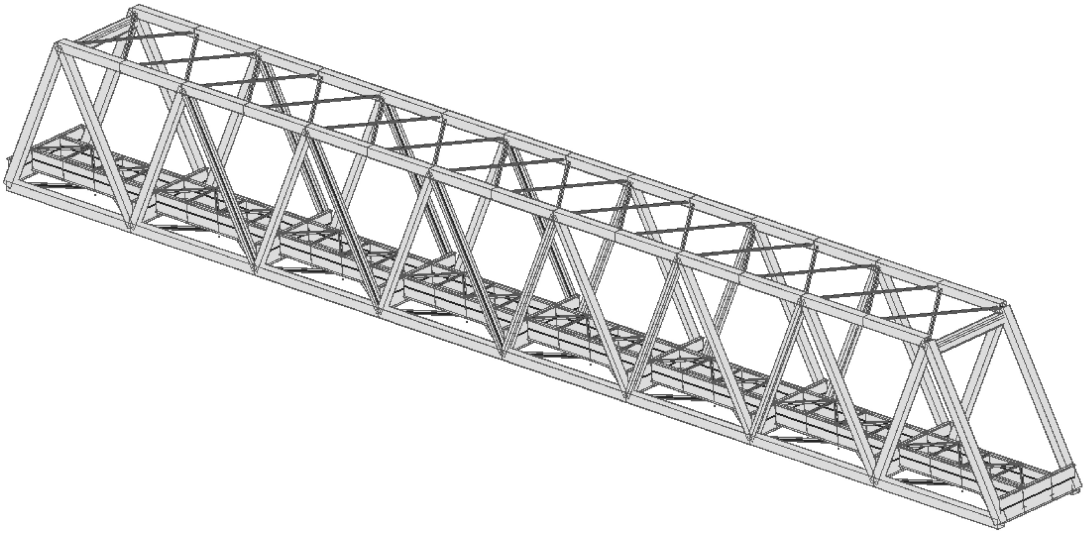
4. Program próbnego obciążenia statycznego

Do obliczeń statycznych przyjęto schemat lokomotywy ET 41 o całkowitej masie 167t.



Rys. 4. Schemat lokomotywy ET 41

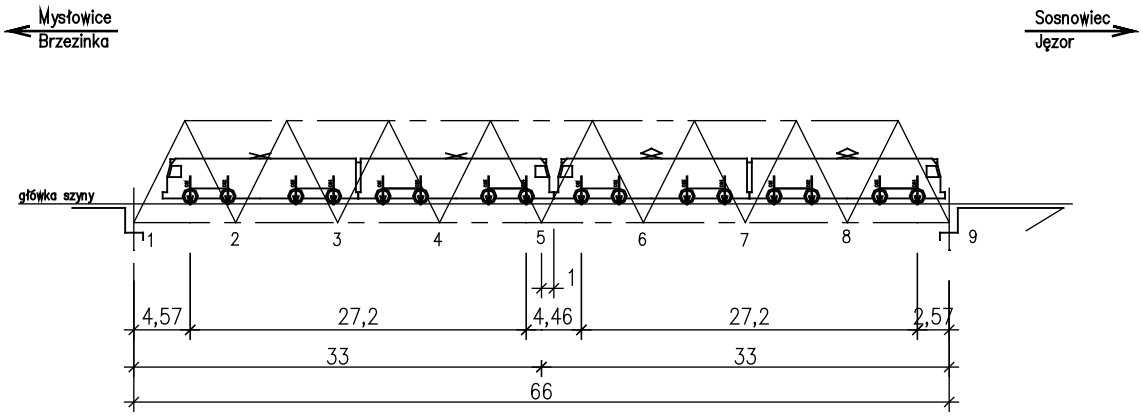
W celu określenia ugięć oraz poziomu wytężenia konstrukcji mostu zbudowano w programie Robot Milenium przestrzenny prętowy model obliczeniowy mostu. Wszystkim elementom nadano cechy fizyczne przez wprowadzenie charakterystyk (gęstości, modułu sprężystości, współczynnika Poissona) odpowiednich materiałów użytych do budowy mostu. Wszystkie analizy zostały wykonane w zakresie liniowej teorii sprężystości. Charakterystyki geometryczne zostały przyjęte na podstawie istniejącej dokumentacji i inwentaryzacji [1].



Rys. 5. Wizualizacja modelu obliczeniowego

Przewidziano jeden schemat S1 ustawienia obciążenia na moście (rys. 6) w którym wyznaczono teoretyczne przemieszczenia węzłów pasa dolnego kratownicy (tab. 1). Ustawienie dwóch lokomotyw typu ET41 (w schemacie S1) wywołuje ok. 60% odpowiednich naprężeń porównawczych w odniesieniu do obciążeń normowych klasy k=0.

Ponadto określono przemieszczenia teoretyczne węzłów konstrukcji przy równomiernym ogrzaniu pasa górnego kratownicy o Δt=5K (tab. 1).



Rys. 6. Schemat S1 ustawienia obciążenia próbnego

Znak „-” oznacza przemieszczenie w dół. Oznaczenia i numeracja punktów są zgodne z rys. 6.

Tablica 1. Przemieszczenia pionowe węzłów obliczone teoretycznie

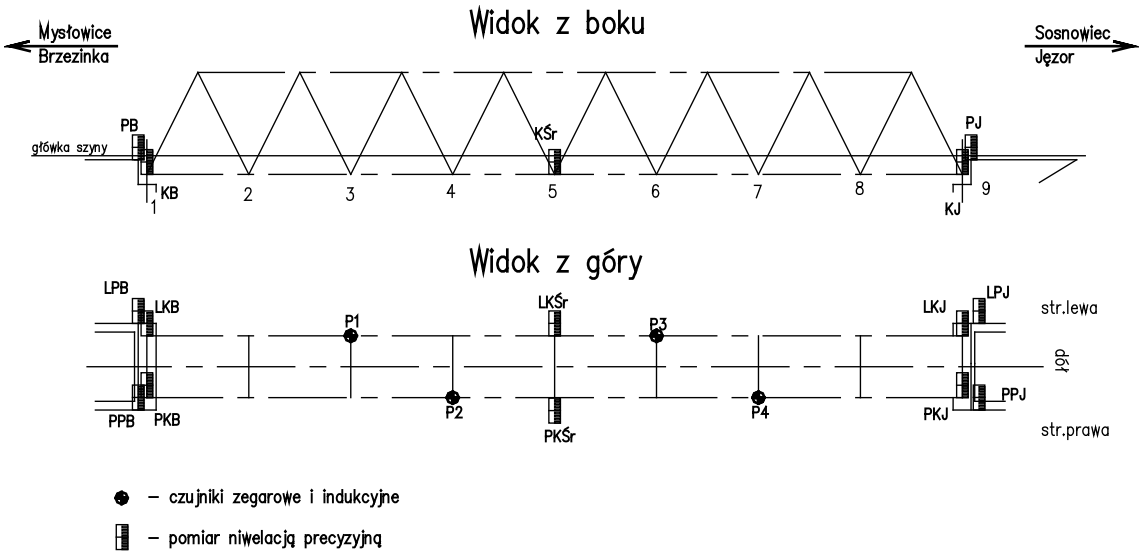
Węzeł	Przemieszczenie	
	ET41	Δt=5K
	[mm]	[mm]
1	0,0	0,0
2	-13,1	1,7
3	-23,8	3,0

Węzeł	Przemieszczenie	
	ET41	Δt=5K
	[mm]	[mm]
4	-31,1	3,7
5	-33,6	4,0
6	-31,1	3,7

Węzeł	Przemieszczenie	
	ET41	Δt=5K
	[mm]	[mm]
7	-23,8	3,0
8	-13,2	1,7
9	0,0	0,0

5. Próbne obciążenie statyczne

Próbne obciążenie statyczne przeprowadzono 21.02.2005r. Jako obciążenie użyte zostały dwie lokomotywy ET41 (zgodnie z projektem).



Rys. 7. Rozmieszczenie i oznaczenia punktów pomiarowych

Zrealizowano jeden, podstawowy schemat S1 obciążenia przęsła i przyczółków. Pomiary przemieszczeń pionowych konstrukcji przęsła wykonano za pomocą czujników zegarowych i niwelacji precyzyjnej. Do rejestracji ugięć przęsła wykorzystano cztery czujniki zegarowe. Do rejestracji osiadań przyczółków i ugięć przęsła użyto dwóch niwelatorów ustawionych na zewnątrz mostu.

Odczyty przemieszczeń konstrukcji przęseł i podpór wykonywano w tym samym czasie. Obciążenie znajdowało się na moście 45 min.

Odczyty przemieszczeń pionowych punktów środkowych dźwigarów uzyskano za pomocą niwelacji precyzyjnej. Natomiast przemieszczenia punktów P1 do P4 pochodziły z pomiarów czujnikami zegarowymi (tab. 2).

Znak „-” oznacza przemieszczenie w dół. Oznaczenia i numeracja punktów są zgodne z rys. 7.

Tablica 2. Przemieszczenie pionowe punktów pomiarowych na dźwigarach

Odczyt	Godz.	Przemieszczenie pionowe						Temperatura		
		LKŚr	PKŚr	P1	P2	P3	P4	Otocz.	Str. Lewa	Str. Prawa
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[°C]	[°C]	[°C]
S0	11:00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,0	9,0	4,0
S1 po najeździe	11:05	**-29,70**	**-28,20**	-21,11	-27,58	-25,54	---	---	---	---
S1 po 15 min	11:20	-29,40	-27,70	-21,13	-26,97	-25,54	---	5,0	9,0	4,0
S1 po 30 min	11:35	-28,00	-27,30	-20,99	-25,39	-24,76	---	4,0	12,0	4,0
S1 po 45 min	11:50	-28,00	-27,90	---	---	---	---	---	---	---
S0 po zjeździe	12:15	2,30	1,60	0,36	2,93	3,88	---	5,0	12,0	5,0
S0 po 15 min	12:35	2,60	1,40	0,60	3,53	4,08	---	5,0	10,0	6,0

6. Osiadania podpór

Osiadania przyczółków w kolejnych fazach obciążania mostu były mierzone w czterech punktach. W tab. 3 pokazano zmianę osiadań poszczególnych punktów podpór w czasie obciążenia i odciążenia, zgodnie ze zrealizowanym schematem S1. Wszystkie wartości osiadań określono w milimetrach. Zostały one odniesione do stanu początkowego przed rozpoczęciem obciążania mostu.

Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że podpory mostu są stabilne. Ich osiadania są równomierne i mają niewielką wartość. Całkowite osiadanie przyczółka w punkcie PPJ pod obciążeniem użytkowym wynosiło 0,10mm. W trzech pozostałych punktach pomiarowych na obu przyczółkach nie stwierdzono występowania osiadań trwałych, lub ich wartości są minimalne. Praktycznie można pominąć osiadania przyczółków.

Tablica 3. Przemieszczenie pionowe punktów pomiarowych na przyczółkach

Odczyt	Godz.	Przemieszczenie pionowe			
		LPJ	PPJ	LPB	PPB
		[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
S0	11:00	0,00	0,00	0,00	0,00
S1 po najeździe	11:05	0,00	**-0,10**	0,00	0,00
S1 po 15 min	11:20	0,00	**-0,10**	0,00	0,00
S1 po 30 min	11:35	0,00	**-0,10**	0,00	0,00
S1 po 45 min	11:50	0,00	**-0,10**	0,00	0,00
S0 po zjeździe	12:15	0,00	0,00	0,00	0,00
S0 po 15 min	12:35	0,00	0,00	0,00	0,00

7. Ugięcie przęsła

W tab. 2 przedstawiono przemieszczenia pionowe w środku rozpiętości obu mierzonych dźwigarów głównych. Natomiast tab. 3 pokazuje przemieszczenia pionowe punktów pomiarowych na przyczółkach.

W związku z praktycznym brakiem osiadań podpór wartości strzałek ugięcia dźwigarów przyjęto równe przemieszczeniu pionowemu punktów środkowych dźwigarów w kolejnych fazach obciążenia (tab. 2). Ugięcia maksymalne porównano z ugięciami obliczonymi w projekcie próbnego obciążenia.

Na podstawie pomierzonych przemieszczeń całkowitych *Uc* i trwałych *Ut* są wyznaczane przemieszczenia sprężyste (ugięcia) *Us*, które porównuje się z odpowiednimi wartościami obliczonymi teoretycznie *Uo* (tab. 1).

Ponadto sprawdzono warunki normowe w których:

a) stosunek ugięć trwałych *U*” do ugięć całkowitych *Uc* < 20 %,
b) stosunek ugięć sprężystych *Us* do ugięć obliczeniowych *Uo* < 100 %

Tablica 4. Zestawienie ugięć maksymalnych występujących w poszczególnych dźwigarach

Punkt	Ugięcia				Współczynniki	
	Uc	*Ut*	*Us*	*Uo*	*p=Ut/Uc*	*k=Us/Uo*
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[%]	[%]
LKŚr	29,7	0,0	29,7	33,6	0,0 %	88,4%
PKŚr	28,2	0,0	28,2	33,6	0,0 %	83,9%

Reasumując można stwierdzić, że ugięcia sprężyste przęsła mostu były w dużym stopniu zgodne z obliczonymi teoretycznie. Wynoszą one od 83,9% do 88,4% ich wartości.

Ugięć trwałych praktycznie nie zanotowano. Są tego dwie przyczyny. Pierwsza wynika z faktu, że badany most był przed naprawą eksploatowany przez wiele lat, a naprawa ograniczała się tylko do wymiany jednego krzyżulca (K1) mostu. Natomiast drugą przyczyną, która uniemożliwiła zarejestrowanie ewentualnych (nieznacznych) ugięć trwałych jest znaczny wzrost temperatury konstrukcji w trakcie badań (tab. 2).

Ta sama przyczyna (nierównomierny wzrost temperatury niektórych elementów mostu) tłumaczy brak symetrii ugięć obu dźwigarów oraz uniesienie konstrukcji po zjeździe obciążenia. Przeprowadzono obliczenia sprawdzające polegające na ogrzaniu pasów górnych mostu o $\Delta t=5K$. Uzyskane przemieszczenie węzła w środku rozpiętości mostu wynosi 4,0mm (tab. 1).

Uzyskane wartości ugięć sprężystych świadczą o poprawnej pracy konstrukcji mostu i dużej zgodności założonego modelu obliczeniowego z rzeczywistą konstrukcją mostu.

8. Wnioski

W Polsce posiadamy wiele stalowych mostów kratowych. Szczególnie na liniach kolejowych. Przedstawiona metoda naprawy może mieć zastosowanie w przypadku innych obiektów kratowych, które doznały znacznych uszkodzeń.

Naprawa mostu kratowego przez wymianę uszkodzonego pręta jest wykonalna pod warunkiem czasowej zmiany jego schematu statycznego, która doprowadzi do całkowitego odciążenia wymienianego pręta.

Zmianę schematu statycznego mostu kratowego można dokonać przez zastosowanie aktywnej podpory tymczasowej z siłownikiem hydraulicznym.

Tabor kolejowy, który aktualnie wykorzystuje PKP, jest znacznie lżejszy niż normowy.

Zmiana temperatury otoczenia w trakcie statycznego obciążenia próbnego ma istotny wpływ na rejestrowane wartości.

Uzyskane teoretycznie i pomierzone wartości ugięć sprężystych w mostach stalowych świadczą o dużej zgodności założonego modelu obliczeniowego z rzeczywistą konstrukcją mostu.

Literatura

1. Łącznica BJD. P.T. Most kolejowy w km 11,550 tor nr 1 nad rzeką Przemszą. PKP Biuro Projektów Kolejowych, 40-857 Katowice, ul. Wolnego 12, lipiec 1978r.
2. PN-66/B-02015, Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
3. PN-82/S-10052, Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
4. PN-85/S-10030. Obiekty mostowe. Obciążenia.
5. PN-89/S-10050, Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Wymagania i badania.
6. PN-92/S-10082. Obiekty mostowe. Konstrukcje drewniane. Projektowanie.
7. Badania, analiza i ocena nośności uszkodzonego w wyniku wykolejenia mostu kolejowego w km 11.230 linii PKP nr 180 Dorota-Jęzor-Brzezinka. Zakład Budowy Mostów, Politechnika Śląska Gliwice, grudzień 2004r.
8. Projekt i sprawozdanie z próbnego obciążenia statycznego mostu kolejowego w km 11.230 linii PKP nr 180 Dorota-Jęzor-Brzezinka. Zakład Budowy Mostów, Politechnika Śląska Gliwice, luty-marzec 2005r.
9. Bętkowski P., Pradelok S. Uszkodzenie i tymczasowa naprawa typowego kratowego mostu kolejowego, Konferencja Naukowo-Techniczna „Awarie Budowlane”, Szczecin-Międzyzdroje, 23-26 maj 2007r.