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

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

USZKODZENIE I TYMCZASOWA NAPRAWA TYPOWEGO KRATOWEGO MOSTU KOLEJOWEGO

DEFECT AND TEMPORARY REPAIR OF TYPICAL TRUSS RAILWAY BRIDGE

Streszczenie W referacie podano opis awarii kratowego mostu kolejowego. Przedstawiono sposób doraźnego (praktycznie natychmiastowego) przywrócenia ruchu na obiekcie przez zmianę schematu statycznego konstrukcji. Omówiono sposób wykonania stabilnej podpory tymczasowej z podkładów kolejowych. Zwrócono uwagę na niektóre problem analizy obliczeniowej. Opisany obiekt jest typowym stalowym mostem kratowym, jakich wiele na kolei, stąd zarówno metoda doraźnej natychmiastowej naprawy jak i sposób analiz mogą mieć zastosowanie w przypadku innych obiektów.

Abstract Failure of truss railway bridge is described in this paper. The temporary (practical immediate) manner of coming back railway traffic on the bridge by changing of the static scheme is given. The way of building stable bear with railway ties is shown. Take also into consideration some problem of static computation analysis. The object described in this paper is the typical steel bridge, very popular on the railway. The method of temporary repair and the way of static analysis may be applied in some others similar objects.

1. Wprowadzenie

Przedmiotem referatu jest kratowy most kolejowy nad Przemszą na linii nr 180 Dorota-Jęzor-Brzezinka [1, 2, 3]. Referat został napisany na podstawie opracowania, które powstało w celu przywrócenia do eksploatacji wyżej wymienionego mostu po wykolejeniu w dniu 18.11.2004. taboru kolejowego. Ocena stanu technicznego, projekt tymczasowego podparcia i projekt remontu zostały wykonane przez Zakład Mostów Politechniki Śląskiej w Gliwicach [4, 5].

Opisany w referacie obiekt jest typowym stalowym mostem kratowym (powstałym jako adaptacja typowego rozwiązania), jakich wiele na kolei. Wykolejenie taboru i powstałe w wyniku wykolejenia uszkodzenia mogą powtórzyć się na innym podobnym obiekcie. Stąd, co wymaga podkreślenia, zarówno metoda doraźnej natychmiastowej naprawy jak i sposób analiz mogą mieć zastosowanie w przypadku innych obiektów. Opisany sposób zmiany schematu statycznego przez wykonanie podpory tymczasowej (z podkładów z uszkodzonego na odcinku ok. 200 m toru) umożliwia szybkie (doraźne) przywrócenie ruchu na moście.

Ocenę aktualnego stanu technicznego konstrukcji oraz projekt naprawy uszkodzeń opracowano na podstawie: analizy istniejącej dokumentacji, oględzin konstrukcji, inwentaryzacji geometrycznej i inwentaryzacji uszkodzeń, analizy statycznej z uwzględnieniem rzeczywistych uszkodzeń konstrukcji, wykonanej programem MES.

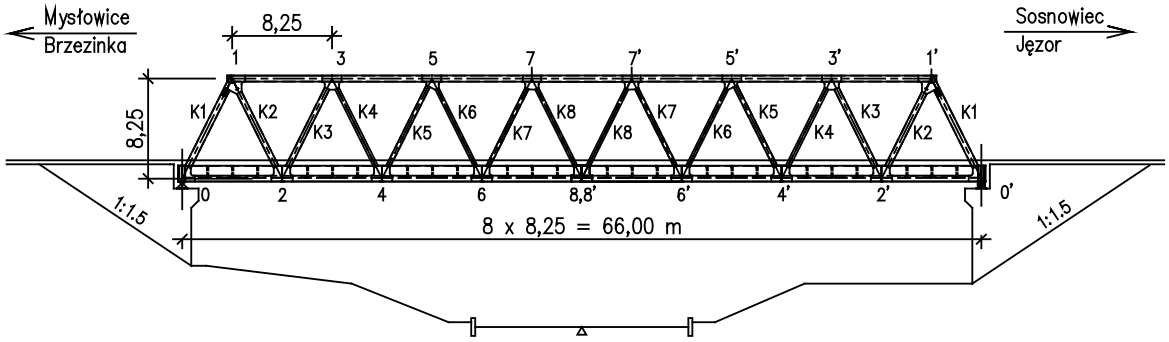
2. Charakterystyka obiektu

Omawiany most kolejowy znajduje się na jednotorowej linii PKP nr 180 Dorota-Jęzor-Brzezinka (DJB). Jest on oznaczony jako obiekt 620. Pod mostem przepływa Przemsza. W niedużej odległości znajdują się bliźniacze obiekty, po których przebiegają tory PKP relacji Katowice-Kraków. Most został zaprojektowany wg [6].

Konstrukcję nośną mostu stanowi kratownica spawano-nitowana z jazdą dołem, którą wykonano ze stali St3M [1] i [2]. Ustrój nośny został swobodnie podparty, a jego rozpiętość teoretyczna to 66,00 m (rys. 1). Dźwigary główne wykonano jako kraty o pasach równoległych ze skratowaniem typu „W". Pas górny, dolny i część krzyżulców ma przekrój skrzynkowy. Pozostałe krzyżulce oraz podłużnice i poprzecznice mają przekrój dwuteowy. Wysokość dźwigara kratowego i odległość pomiędzy węzłami wynosi 8,25m. Natomiast rozstaw dźwigarów głównych to 5,00 m.

Dźwigary główne stężone są poprzecznie w płaszczyźnie pasów górnych i dolnych stężeniem kratowym typu „X". Na moście zastosowano jezdnię otwartą typu ciężkiego S-49 na mostownicach. Mostownice zostały oparte za pośrednictwem podkładek centrujących na podłużnicach. Z kolei podłużnice podparte zostały na poprzecznicach. Rozstaw poprzecznic wynosi 8,25m, co odpowiada odległości pomiędzy węzłami.

W obiekcie wykonano żelbetowe przyczółki. Most wyposażono w staliwne łożyska. Od strony Mysłowic Brzezinki znajdują się łożyska stałe wahaczowe, a od strony Jęzora umieszczono łożyska ruchome, jednokierunkowo przesuwne, dwuwałkowe [1, 3, 4].



Rys. 1. Widok z boku

3. Uszkodzenie

W dniu 18.11.2004. doszło do wykolejenia w odległości ok. 100 m przed obiektem jednego z wagonów w pociągu towarowym jadącym od strony Mysłowic Brzezinki. W wyniku tego został przebity i odkształcony pierwszy krzyżulec K1 (rys. 1) znajdujący się po prawej stronie mostu (patrząc od Mysłowic Brzezinki w kierunku Jęzora). Również nawierzchnia kolejowa została mocno zniszczona na odcinku ok. 200 m [4, 5]. Uszkodzenia krzyżulca K1 zostały przedstawione na rys. 2.

W dniu następnym zespół złożony z przedstawicieli PKP dokonał wizji w terenie i podjął decyzję o zleceniu przeglądu specjalnego uszkodzonego mostu Zakładowi Mostów (ZM) Politechniki Śląskiej w Gliwicach. Przeglądu takiego w dniu 22.11.2004. dokonał zespół złożony z przedstawicieli PKP i ZM. Po przeprowadzeniu oględzin i ocenie uszkodzeń stwierdzono, że w celu przywrócenia ruchu należy opracować projekt naprawy uszkodzonej konstrukcji. Niezależnie PKP rozpoczęło prace związane z odtworzeniem zniszczonej nawierzchni kolejowej na obiekcie.

Rys. 2. Uszkodzenia krzyżulca K1

4. Ocena stanu technicznego mostu

Pomijając opisane powyżej uszkodzenia konstrukcji powstałe w wyniku wykolejenia należy uznać, że ogólny stan techniczny podstawowych elementów konstrukcyjnych mostu jest dość dobry. Podczas oględzin [4] przeprowadzonych w listopadzie i grudniu 2004 roku nie stwierdzono żadnych oznak świadczących o niewystarczającej nośności czy nieprawidłowej pracy statycznej ustroju nośnego.

Konstrukcja nośna jest w dobrym stanie technicznym. W żadnym z elementów (oprócz uszkodzonego podczas wykolejenia krzyżulca) nie dostrzeżono objawów odkształceń, deformacji czy pęknięć, które mogłyby świadczyć o ich przeciążeniu podczas eksploatacji.

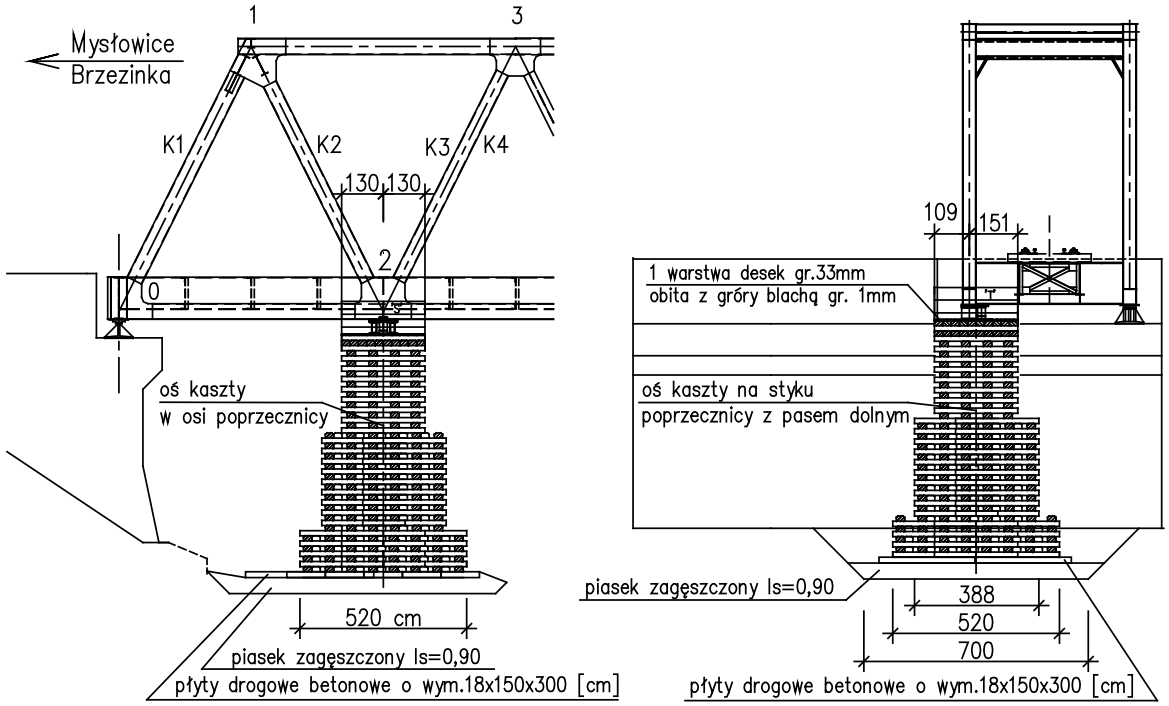
Przyczółki nie mają istotnych uszkodzeń. Zachowana jest ich stabilność oraz pierwotne gabaryty. Pewną nieprawidłowością jest ich nadmierne zalewanie wodami opadowymi, widoczne są silne zacieki [4] – nie jest to jednak związane z wykolejeniem taboru. Stan zamontowanych łożysk (klasycznych typu wahaniowego i wałkowego) jest dobry [4].

5. Doraźne przywrócenie ruchu na moście

Zdecydowano się odciążyć uszkodzony krzyżulec przez dodatkowe podparcie mostu podporą tymczasową umieszczoną w węźle kratownicy (zmiana schematu statycznego).

Usytuowanie oraz konstrukcję podpory tymczasowej przedstawiono na rys. 3. Oś pionowa podpory tymczasowej (kaszty) z podkładów kolejowych powinna przebiegać przez miejsce styku poprzecznicy z prawym pasem dźwigara dolnego w węźle 2.

Docelowo zalecono pilną naprawę uszkodzonego fragmentu krzyżulca.



Rys. 3. Usytuowanie i konstrukcja podpory tymczasowej

6. Modele obliczeniowe

W celu przeprowadzenia obliczeń statyczno-wytrzymałościowych zbudowano w programie MES przestrzenne prętowe modele obliczeniowe mostu – rys. 4, 5. Uwzględniono przesunięcie osi prętów względem osi węzła (offset). Nadano im cechy fizyczne przez wprowadzenie charakterystyk (gęstości, modułu sprężystości, współczynnika Poissona) odpowiednich materiałów użytych do budowy konstrukcji. Wszystkie analizy zostały wykonane w zakresie liniowej teorii sprężystości. Charakterystyki geometryczne zostały przyjęte na podstawie istniejącej dokumentacji [1] oraz inwentaryzacji [4], której część rysunkową przedstawiono w [5].

Analizy obliczeniowe wg [7] przeprowadzono na trzech modelach obliczeniowych: Model 1 - most nieuszkodzony, Model 2 - most uszkodzony bez dodatkowego podparcia, Model 3 - most uszkodzony z jedną podporą dodatkową. Ważnym założeniem w Modelu 3 jest sztywne dodatkowe podparcie. W praktyce konstrukcja podpory tymczasowej powinna eliminować możliwość ugięć i osiadań. W punkcie 8 referatu podano przykład budowy podpory zwracając uwagę na rozwiązania zapewniające sztywne i bezpieczne podparcie.

Model 2 różni się od Modelu 1 uszkodzeniem krzyżulca K1 zamodelowanym na odcinku 1 m w postaci ceownika wg rys. 6, 7. Przekrój krzyżulca uszkodzonego przyjęto wg rys. 7 uwzględniając rzeczywiste uszkodzenie. Zmniejszono również grubość ścianki tylnej ceownika jako efekt osłabienia przekroju na skutek wybrzuszenia. Dodatkowo uwzględniono przemieszczenie osi pręta na skutek zmian geometrii przekroju od uderzenia taboru.

Model 3 (różni się od Modelu 2 liczbą więzów podporowych) podparto dodatkowo w węźle nr 2 kratownicy (najbliższym podpory od strony uszkodzonego krzyżulca K1).

Model 1 wykorzystano do ustalenia nośności konstrukcji nieuszkodzonej, Model 2 - do oceny stopnia osłabienia mostu w wyniku awarii (w odniesieniu do wyników z Modelu 1), Model 3 - do oceny nośności mostu po zmianie schematu statycznego. Model 3 służy m.in. do oceny możliwości tymczasowego przywrócenia ruchu na moście.

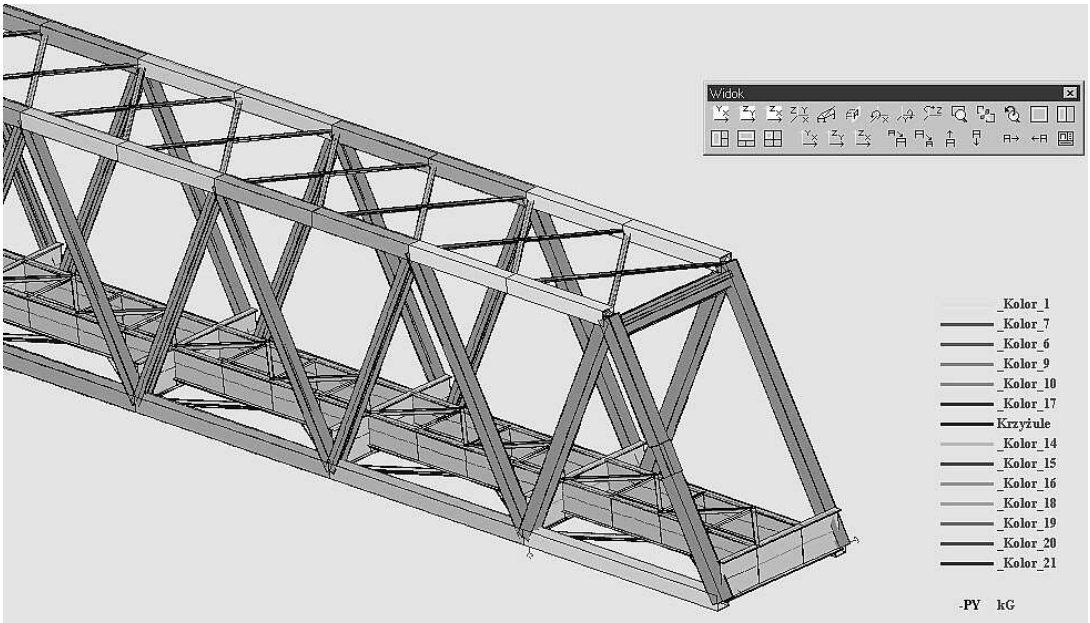
Most został zaprojektowany wg normy [6] z 1966 roku. W celu ustalenia obecnej nośności wyznaczono naprężenia w poszczególnych prętach (Model 1) wg obecnie stosowanych norm do projektowania i obciążeń [7, 8]. Naprężenia obliczeniowe od obciążeń stałych i użytkowych klasy k+0 wynoszą maksymalnie: w pasie górnym $\sigma_{pg,o}$=199,8 MPa, w pasie dolnym $\sigma_{pd,o}$=160,7 MPa, w krzyżulcu K1 $\sigma_{K1,o}$=158,4 MPa – stąd przyjęto, że obiekt spełnia wymagania dla klasy k+0 wg [8].

W celu oceny wpływu uszkodzenia (Model 2) i dodatkowego sztywnego podparcia (Model 3) wyniki odniesiono do tych z Modelu 1. W tablicy 1 podano wyniki w typowych dla mostu przekrojach: maksymalne naprężenia charakterystyczne w pasie górnym kratownicy, w pasie dolnym i w uszkodzonym krzyżulcu K1 dla obciążeń stałych (ciężar własny, elementy wyposażenia) i użytkowych klasy k+0. Wyniki z Modelu 1 przyjęto jako referencyjne (porównawcze - poziom odniesienia 100%) do dalszych analiz.

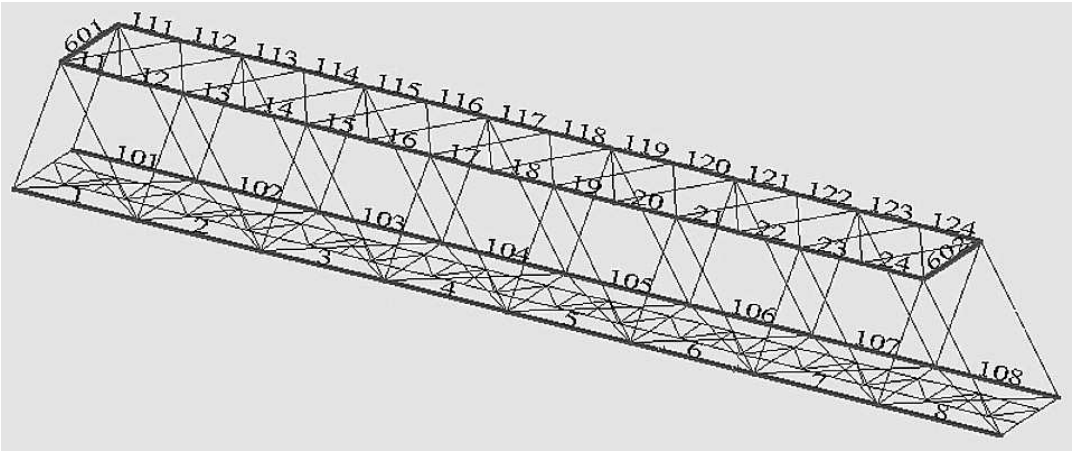
Analiza wyników z tablicy 1 prowadzi do następujących wniosków: uszkodzenie krzyżulca (Model 2) skutkuje znacznym wzrostem naprężeń w tym elemencie. Wprowadzenie dodatkowej sztywnej podpory (Model 3) prowadzi do odciążenia krzyżulca K1, wzrastają o 11 % naprężenia w pasie dolnym, ale w tym pasie dla obciążeń klasy k+0 występują pewne rezerwy nośności, co wykazano już powyżej ($\sigma_{pd,o}$=160,7 MPa). Możliwe jest więc, po dodatkowym podparciu, dopuszczenie obiektu do użytkowania. Ponadto, przy obciążeniu mostu tylko ciężarem własnym konstrukcji, naprężenia w uszkodzonym krzyżulcu są bliskie zera, takie podparcie powoduje odciążenie (wyłączenie z pracy krzyżulca K1), co zostało wykorzystane przy opracowaniu projektu trwałej naprawy mostu [9].

Tablica. 1. Procentowa zmiana naprężeń w wybranych przekrojach

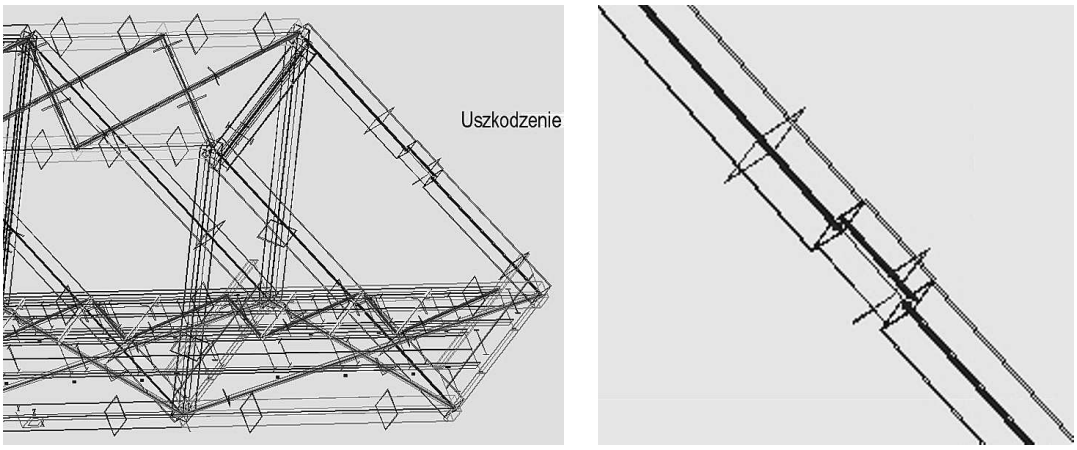
Model / Przekrój	Model 1	Model 2	Model 3
Krzyżulec K1	100%	159 %	22 %
Pas dolny	100%	103 %	111 %
Pas górny	100%	101 %	96 %



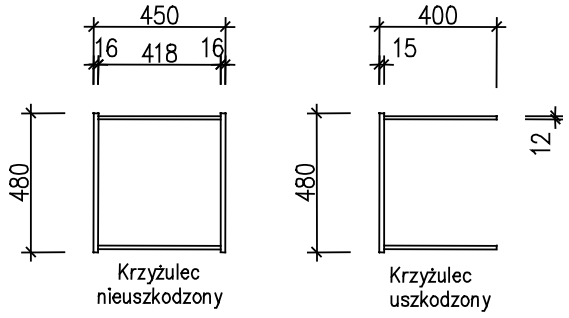
Rys. 4. Wizualizacja fragmentu modelu obliczeniowego



Rys. 5. Przykład modelu obliczeniowego



Rys. 6. Wizualizacja uszkodzonego fragmentu krzyżulca K1



Rys. 7. Przekroje krzyżulca K1 przed i po uszkodzeniu

7. Obciążenia

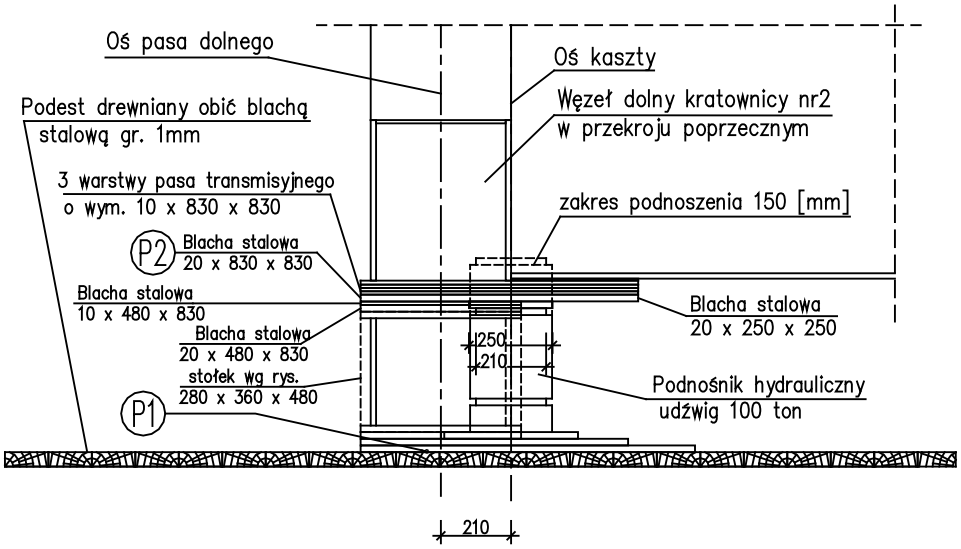
W celu określenia poziomów wytężenia konstrukcji w odpowiednich modelach obliczeniowych zastosowano obciążenia charakterystyczne i obliczeniowe wg normy [8] PN-85/S-10030: ciężarem własnym, elementami wyposażenia wraz z torem, taborem kolejowym oraz wpływem zinwentaryzowanych uszkodzeń.

Przyjęto ciężar objętościowy stali q_k=97 kN/m^3. Ciężar własny konstrukcji zwiększono poprzez przyjęcie większej gęstości materiału tak, aby otrzymać rzeczywisty ciężar konstrukcji kratownicy z nieuwzględnianymi w modelu elementami takimi jak blachy węzłowe, żebra usztywniające, przewiązki i przepony.

8. Budowa podpory tymczasowej

W celu odciążenia uszkodzonego krzyżulca K1 podparto ustrój nośny w węźle 2 na tymczasowej klatce z podkładów – rys. 3. Wykonanie podpory tymczasowej musi być szybkie, celem jak najszybszego przywrócenia ruchu na moście. Wymagane jest spełnienie kilku warunków związanych m.in. z zapewnieniem odpowiedniej sztywności poparcia. Poniżej podano sposób budowy podpory tymczasowej z podkładów kolejowych. Wykorzystano podkłady z uszkodzonego na odcinku ok. 200 m toru, który i tak musiał być rozebrany i wymieniony na nowy, co umożliwiło szybkie rozpoczęcie budowy podpory.

W miejscu ustawienia podpory tymczasowej należy utwardzić teren. Odpowiednie przygotowanie podłoża pod podporą ma wyeliminować osiadania (wciskanie) podpory. Po utwardzeniu podłoża można przystąpić do wznoszenia klatki z warstw podkładów zbitych klamrami. Każda następna warstwa podkładów musi być dobrze dopasowana do warstwy dolnej (celem wyeliminowania przemieszczeń). W celu uzyskania lepszego rozkładu obciążeń ostatnie trzy warstwy należy wykonać jako pełne. Budowę podpory należy zakończyć w odległości ok. 0,50 m od spodu kratownicy, pozostawiając miejsce na odpowiednie wykonstruowanie podparcia – rys. 8. Górną powierzchnię kaszty wyrównać deskami, ogrodzić poręczą i zabezpieczyć przed ogniem przez pokrycie blachą. Komunikację należy zapewnić za pomocą drabiny z istniejącego pomostu uszkodzonego obiektu.



Rys. 8. Szczegół podparcia węzła

Podpora tymczasowa musi zapewnić sztywne podparcie węzła kratownicy. Taki efekt można uzyskać tylko podnosząc most i opuszczając go na uprzednio przygotowane stanowisko – rys. 8. Nie jest możliwe uzyskanie odpowiedniej sztywności podparcia przez podbicie (podklinowanie węzła) bez podnoszenia mostu. Sztywna praca podpory tymczasowej jest ważnym założeniem w modelach obliczeniowych, dlatego poniżej, jako przykład, podano procedurę zastosowaną w opisanym obiekcie.

Na górnej powierzchni klatki należy centralnie (względem styku poprzecznicy z pasem dolnym dźwigara) umieścić pakiet blach P1 – rys. 8. Ustawić pod stykiem poprzecznicy z pasem dolnym siłownik hydrauliczny. Pod pasem dolnym dźwigara ustawić dwa stołki, ułożyć podkładkę z blachy. Następnie ułożyć blachę P2 – rys. 8. W celu minimalizacji ryzyka uszkodzenia konstrukcji pomiędzy górną powierzchnią blachy P2, a spodem ustroju nośnego umieszczono trzy warstwy gumowego pasa transmisyjnego. Wszelkie korekty wysokości należy wykonać poprzez dodanie podkładek z blachy stalowej pod blachę P2.

Po takich przygotowaniach można w węźle 2 podnieść konstrukcję siłownikiem. Podnoszenie należy kontynuować, aż do oderwania się pasa dolnego pod uszkodzonym krzyżulcem w węźle 0 od łożyska. Po oderwaniu się pasa dolnego od łożyska należy za pomocą przekładek stalowych podbudować konstrukcję na stołkach i zwolnić siłownik hydrauliczny. Pozostała przerwa (po zwolnieniu siłownika) pomiędzy pasem dolnym, a łożyskiem nie może być większa niż 2 mm. Przed przystąpieniem do podnoszenia należy przygotować pakiety blach przekładkowych o łącznej grubości co najmniej 150 mm.

W trakcie podnoszenia konstrukcji należy zwrócić szczególną uwagę by łożysko pod sąsiednim (nieuszkodzonym) krzyżulcem K1 było obciążone. Jest to bardzo ważne, gdyż będzie to jedyne łożysko stałe mostu.

9. Wnioski

Na liniach kolejowych intensywnie eksploatowanych awarie mostów powodują poważne problemy komunikacyjne. Konieczne jest szybkie przywrócenie ruchu na moście, w takim przypadku napawa może mieć charakter doraźny. W referacie podano sposób przywrócenia użyteczności mostu przez zmianę schematu statycznego konstrukcji. Odpowiednie sztywne dodatkowe podparcie kratownicy praktycznie eliminuje z pracy uszkodzony krzyżulec.

Takie tymczasowe przywrócenie ruchu na moście daje czas na opracowanie projektu trwałego usunięcia skutków awarii i logistyczne przygotowanie naprawy w taki sposób, aby powodowała jak najmniej utrudnień w eksploatacji obiektu.

W celu pełnego przywrócenia ruchu na moście należy przeprowadzić prace remontowe. Polegać one będą m.in. na wymianie uszkodzonego fragmentu krzyżulca K1 na nowy. Zakres prac został przedstawiony w referacie [9].

Literatura

1. Łącznica DJB. 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 1978 r.
2. Łącznica DJB. P.T. Most kolejowy w km 11,550 tor nr 1 nad rzeką Przemszą. Atesty stali, protokoły, metryki pali, zaświadczenia odbioru technicznego i inne. Razem 115 stron.
3. Łącznica DJB. P.T. Zabezpieczenie podparć konstrukcji kratownicy w km 11,230 tor nr 1 nad rzeką Przemszą. PKP Biuro Projektów Kolejowych, 40-857 Katowice, ul. Wolnego 12, wrzesień 1992 r.
4. Wizje lokalne i oględziny obiektu połączone z inwentaryzacją. Zakład Budowy Mostów, Politechnika Śląska, Gliwice, listopad-grudzień 2004 r.
5. 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 2004 r.
6. PN-66/B-02015. Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
7. PN-82/S-10052. Obiekty mostowe. Konstrukcje stalowe. Projektowanie.
8. PN-85/S-10030. Obiekty mostowe. Obciążenia.
9. Pradelok S., Bętkowski P. Naprawa i próbne obciążenie kratowego mostu kolejowego. XXIII Konferencja Naukowo-Techniczna Szczecin-Międzyzdroje, 23-26 maja 2007.