

dr hab. inż. Arkadiusz Madaj, prof. PP^{1*)}

ORCID: 0000-0002-6617-6290

mgr inż. Katarzyna Mossor¹⁾

ORCID: 0000-0002-1749-2529

Wzmocnienie przegubów przęseł mostu z zastosowaniem kotew wklejanych

Strengthening of hinges in bridge spans by application of bonded anchors

DOI: 10.15199/33.2021.04.05

Streszczenie. Przy wzmacnianiu mostów betonowych często konieczne jest mocowanie dodatkowych elementów stalowych. W artykule zaprezentowano wzmocnienie przegubów przęseł mostu drogowego z zastosowaniem elementów stalowych mocowanych za pomocą kotew wklejanych. Rozwiązanie to pozwoliło na skuteczne wzmocnienie przegubów, bez konieczności użycia ciężkiego sprzętu montażowego, przy wprowadzeniu niewielkich ograniczeń w ruchu na ważnej drodze krajowej. Na podstawie doświadczenia wskazano zalety kotew wklejanych oraz podano kilka praktycznych uwag dotyczących ich stosowania do wzmacniania obiektów inżynierskich.

Słowa kluczowe: most; przegub; wzmocnienie; kotwy wklejane.

Abstract. By strengthening of concrete bridges it is often necessary to place additional steel elements. In the paper the authors present hinges strengthening in a road bridge with steel elements installed on bonded anchors. The solution turned out to be efficient without the necessity to use heavy equipment or to close the bridge for traffic. The authors point out main advantages of bonded anchors and give some practical advice concerning their application.

Keywords: bridge; hinge; strengthening; bonded anchor.

W przypadku mostów z przęsłami o schemacie belki przegubowej (tzw. belki gerberowskiej) problematyczne jest zapewnienie trwałości i nośności przegubów. Wadą budowanych w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XX w. mostów z przęsłami zawierającymi przeguby (statycznie wyznaczalne, co m.in. upraszczało obliczenia statyczne) są trudności ich utrzymania. W związku z tym całkowicie zaprzestano ich stosowania, ale wiele obiektów tego typu jest jeszcze eksploatowanych, nawet w ciągu mocno obciążonych dróg krajowych.

Brak szczelności nawierzchni nad przegubami powoduje przenikanie wody, co sprzyja rozwojowi korozji. Próby uszczelniania nawierzchni są na ogół mało skuteczne, a remont przegubu wymaga uniesienia przęsła zawieszzonego, co jest technicznie trudne i w praktyce wymaga wyłączenia obiektu z eksploatacji. Obecnie tego typu mosty są przebudowywane i zastępowane nowymi, ale niekiedy do cza-

su przebudowy niezbędne jest np. wzmocnienie przegubu.

W artykule przedstawiono propozycję wzmocnienia przegubu z wykorzystaniem kotew wklejanych. Zastosowana metoda pozwoliła na wzmocnienie konstrukcji bez konieczności wyłączenia mostu z eksploatacji, a jedynie przy wprowadzeniu pewnych ograniczeń.

Kotwy wklejane

Kotwy wklejane, tzw. chemiczne, to elementy konstrukcyjne do wzmacniania obiektów inżynierskich. W przypadku mostów stosowane są tzw. **kotwy epoksydowe (klej na bazie żywicy epoksydowej)**, które nie nadają się do montowania w warunkach zimowych. Zastosowanie kotew wklejanych, w przeciwieństwie do kotew mocowanych mechanicznie, nie powoduje powstawania dodatkowych naprężeń w podłożu. Jest to szczególnie istotne, jeżeli wzmacniamy obiekt z betonu o małej wytrzymałości, niekiedy skorodowany lub/i spękany. Brak naprężeń powstających w czasie mocowania umożliwia mocowanie kotew blisko krawędzi i w narożach. **Kotwy charakteryzują się dużą nośnością,**

przy względnie krótkim odcinku kotwienia (zagłębienia w podłożu), dlatego możliwe jest ich skuteczne stosowanie w cienkich elementach betonowych [2]. W przypadku betonów o niewielkiej wytrzymałości należy lokalizować kotwy w możliwie dużej odległości, ponieważ o nośności połączenia decyduje nośność kotwy na wrywanie lub wylupywanie z betonu, a nie nośność trzpienia. Kotwy wklejane w porównaniu z mocowanymi mechanicznie mają większą odporność na drgania i wibracje podłoża, co w przypadku mostów jest bardzo ważne. Dodatkowo, dokładne wypełnienie otworu żywicą zapobiega powstaniu pęknięć i szczelin, co wpływa na zwiększenie nośności zakotwienia.

Doświadczenie autorów artykułu wskazuje, że zalecane przez producentów kotew procedury obliczania połączeń potwierdzają uzyskanie wymaganej nośności. Na przykładzie kilkakrotnego ich zastosowania w mostach nie zaobserwowano wystąpienia negatywnych zjawisk, np. pęknięć w miejscu mocowania zakotwień, czy ich wrywania. Zaleca się, aby w obiektach obciążonych dynamicznie, a więc mo-

¹⁾ Politechnika Poznańska; Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu

^{*)} Adres do korespondencji:

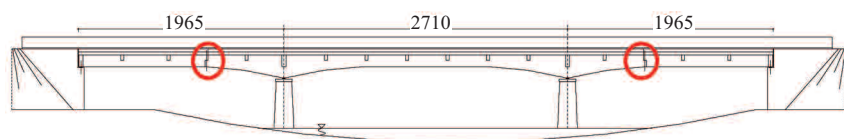
arkadiusz.madaj@put.poznan.pl

stach, stosować kotwy z podkładkami umożliwiającymi iniekcje, gdyż gwarantuje to brak występowania tzw. luzów pomiędzy kotwą a mocowanym elementem.

Przykład wzmocnienia przęseł

Wzmocnieniu poddano trójprzęsłowy, żelbetowy most drogowy, wybudowany w latach 1953 – 1954. Schematem statycznym mostu jest belka ciągła z przegubami, tzw. belka gerberowska. Rozpiętość teoretyczna przęseł wynosi 19,65 + 27,10 + 19,65 m. Analizowany obiekt to belka dwuwspornikowa, ze wspornikami o długości teoretycznej 7,40 m i dwa przęsła podwieszane, swobodnie podparte, o długości teoretycznej 12,0 m. Całkowita długość mostu wynosi 68,40 m (rysunek 1).

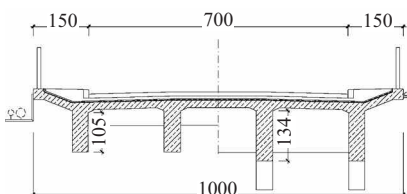
W przekroju poprzecznym most składa się z czterech dźwigarów. Pręsła podwieszane mają stałą wysokość 1,36 m, a przęsło wspornikowe zmienną: część środkowa – 1,60 m; nad podporą – 2,38 m, a na końcach wspornika



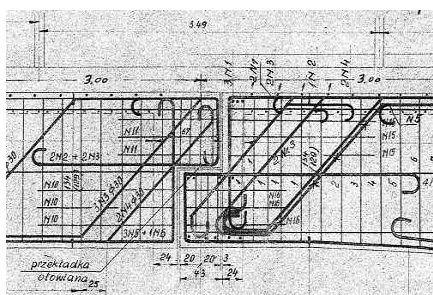
Rys. 1. Widok mostu z boku (okręgami zaznaczono miejsce lokalizacji przegubów)
Fig. 1. Side view (hinges marked in circles)

– 1,36 m. Grubość płyty pomostowej wynosi 0,18 m, natomiast całkowita szerokość mostu 10,0 m, w tym jezdnia szerokości 7,00 m i dwa chodniki po 1,50 m (rysunek 2). Most wyremontowano w 1993 r., ale pominięto przeguby (rysunek 3).

Negatywny wpływ na trwałość mostu ma przegub (rysunek 3, fotografia 1) zlokalizowany w szczelinie przerywającej ciągłość konstrukcji przęsła. W przypadku, gdy urządzenie dylatacyjne jest nieszczelne, wówczas przez szczelinę przenika woda. Badania po-



Rys. 2. Przekrój poprzeczny mostu
Fig. 2. Span cross-section



Rys. 3. Układ zbrojenia w przegubie (rysunek z projektu mostu)
Fig. 3. Reinforcement in the hinge (from design documentation)



Fot. 1. Widok ogólny mostu
Photo 1. General view of the bridge

twierdziły bardzo zły stan techniczny przegubów spowodowany rozwijającą się korozją [1]. Ponadto stwierdzono powstanie rysy ukośnej na bocznej powierzchni belki (wspornika, na którym opiera się sąsiednie przęsło) – fotografia 2. Niwelacja przęsła wykazała niewielkie załamanie niwelety w miejscu lokalizacji przegubu. **Prawdopodobną przyczyną uszkodzenia przegubu była korozja betonu oraz względnie duże obciążenie użytkowe przęsła.** Most znajduje się w ciągu bardzo ważnej drogi krajowej. Został zaprojektowany na początku lat pięćdziesiątych ubiegłego wieku, gdy obciążenie użytkowe było nieporównywalnie mniejsze. W związku z tym, że do czasu wybudowania nowego obiektu (w ciągu planowanej obwodnicy miasta) konieczne było utrzymanie ruchu na moście, niezbędne okazało się doraźne wzmocnienie prze-



Fot. 2. Widok przegubu z zaznaczonym miejscem powstania rysy ukośnej
Photo 2. Hinge side view with the crack

gubu oraz wprowadzenie niewielkich czasowych ograniczeń w użytkowaniu mostu.

Założenia przyjęte do projektu wzmocnienia

Przyjęto, że:

- konstrukcja wmacniająca będzie współpracowała z istniejącą żelbetową konstrukcją przegubu;

- aktualna nośność przegubu umożliwi przeniesienie przynajmniej obciążenia od ciężaru własnego;

- zaprojektowane wzmocnienie pozwoli na dopuszczenie obciążenia zmiennego odpowiadającego klasie B wg normy PN-85/S-10030, a całkowita nośność wzmocnionego przegubu gwarantuje bezpieczną eksploatację mostu przynajmniej przez 10 lat;

- beton konstrukcji w miejscu przegubu odpowiada klasie co najmniej C16/20.

Założenia do sposobu wykonania wzmocnienia:

- wzmocnienie będzie realizowane z zachowaniem ruchu (ograniczonym) na obiekcie;

- konstrukcję wmacniającą należy montować stopniowo, by nie osłabić nadmiernie konstrukcji przegubu; wykonywane w konstrukcji otwory zaleca się wypełniać sukcesywnie kotwami;

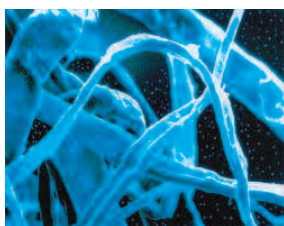
- ciężar elementów zastosowanych do wzmocnienia pozwoli na ich montaż bez użycia ciężkiego sprzętu;

- możliwa będzie modyfikacja systemu montażu w przypadku odstępstwa od nominalnych wymiarów konstrukcji.

Sposób wzmocnienia

Do wzmocnienia przegubu wykorzystano następujące podstawowe materiały konstrukcyjne:

- stal konstrukcyjną S355J2;



ARBOCEL – The Power of Reinforcement

– wyjątkowe włókna na bazie celulozy, redukujące ilość powstających rys/mikropęknięć i spękań tynków, szpachli i farb



Rettenmaier Polska

Sp. z o.o.

Bitwy Warszawskiej 1920 r. 7B

02-366 Warszawa

mobile +48 600 423 423

Tel + 48 22 608 51 00

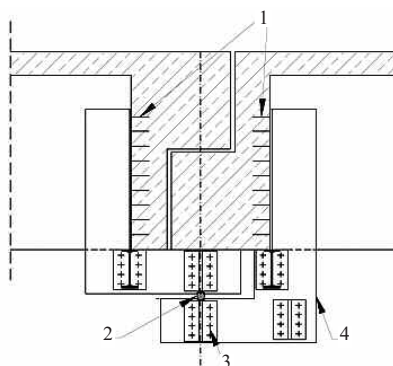
e-mail: arbocel@jrs.pl

- kształtowniki ze stali S355J2 lub S275J2;

- śruby sprężające M16 kl. 10.9;

- kotwy wklejane M16 przystosowane do obciążeń dynamicznych.

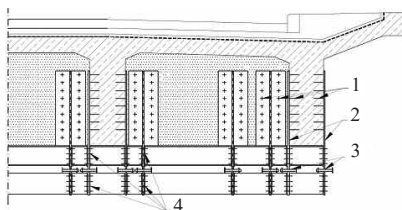
Do naprawy ubytków betonu w obrębie remontowanych przegubów zastosowano materiał polimerowo-cementowy PCC, a do rys iniekcję żywicą epoksydową. Połączenia elementów składowych wzmocnienia zrealizowano za pomocą sprężanych złączy doczołowych. Wszystkie elementy stalowe zabezpieczono przed korozją powłoką malarską. Sposób wzmocnienia przegubów pokazano na rysunkach 3 i 4.



Oznaczenie: 1 – kotwy wklejane; 2 – przegub; 3 – połączenie doczołowe; 4 – blachy konstrukcji przegubu

Rys. 3. Widok z boku na wzmocnienie przegubu

Fig. 3. Hinge strengthening – side view



Oznaczenie: 1 – kotwy wklejane; 2 – blachy konstrukcji przegubu; 3 – przegub; 4 – połączenie doczołowe

Rys. 4. Widok wzmocnienia przegubu w przekroju poprzecznym przęsła

Fig. 4. Hinge strengthening – cross-section

Istotnym elementem technologii montażu była bezpieczna eksploatacja konstrukcji przez cały czas wzmocnienia przegubów. Prace wykonywano przy częściowym wyłączeniu mostu z użytkowania, które polegało na ograniczeniu jezdni do jednego pasa ruchu zlokalizowanego centralnie i prędkości pojazdów do 30 km/h. Przed przystąpieniem do montażu konstrukcji wzmocniającej oczyszczono przeguby i powierzchnię ze skorodowanego betonu, a następnie wyrównano za pomocą

betonu PCC. W przypadku kolizji otworów do osadzenia kotw ze zbrojeniem dokonywano korekty usytuowania blach oraz dopuszczono rezygnację z maksymalnie dwóch kotw w jednej blasze. Na fotografiach 3 i 4 pokazano wzmocnione przeguby. Nie stwierdzono żadnych przemieszczeń przęsł. Potwier-



Fot. 3. Widok wzmocnionego przegubu

Fot. A. Przybecka

Photo 3. Hinge strengthening – view



Fot. 4. Fragment wzmocnienia przegubu

Fot. A. Przybecka

Photo 4. Part of the strengthened hinge

dono skuteczność stosowania kotw wklejanych do wzmocnienia przegubów obiektów mostowych, w tym elementów, na które oddziałują duże obciążenia. Metodę tę współautor artykułu stosował już kilkakrotnie, w tym do mocowania elementów konstrukcji oporowych do kabli sprężających [2, 3].

Literatura

- [1] Madaj Arkadiusz, Katarzyna Mossor, W. Siekierski. 2016. „Mosty z przęsłami przegubowymi – trwałość i warunki użytkowania na przykładzie wybranych obiektów”. *Archiwum Instytutu Inżynierii Lądowej* 24.
- [2] Madaj Arkadiusz, Witold Wołowicki, Michałina Węgrzynowska. 2006. „Wzmocnienie sprężonego mostu ramowego budowanego metodą wspornikową”. *Inżynieria i Budownictwo* 7 – 8.
- [3] Madaj Arkadiusz, Katarzyna Mossor. 2017. „Analiza skuteczności sprężenia zewnętrznego wielodźwigarowego mostu drogowego o przęsłach z dźwigarów kablobetonowych”. *Materiały Budowlane* 536 (4): 47 – 50.

Przyjęto do druku: 15.03.2021 r.