XXIV awarie budowlane
XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna
Szczecin-Międzyzdroje, 26-29 maja 2009

Prof. dr hab. inż. WITOLD WOŁOWICKI
Politechnika Poznańska
Instytut Inżynierii Lądowej

OCENA PRZYCZYN ZARYSOWANIA STREFY ZAKOTWIENIA KABLI PODCZAS BUDOWY MOSTU AUTOSTRADOWEGO

ESTIMATION OF CAUSES OF ANCHORAGE CABLES ZONE CRACKING DURING ERECTION OF THE HIGHWAY BRIDGE

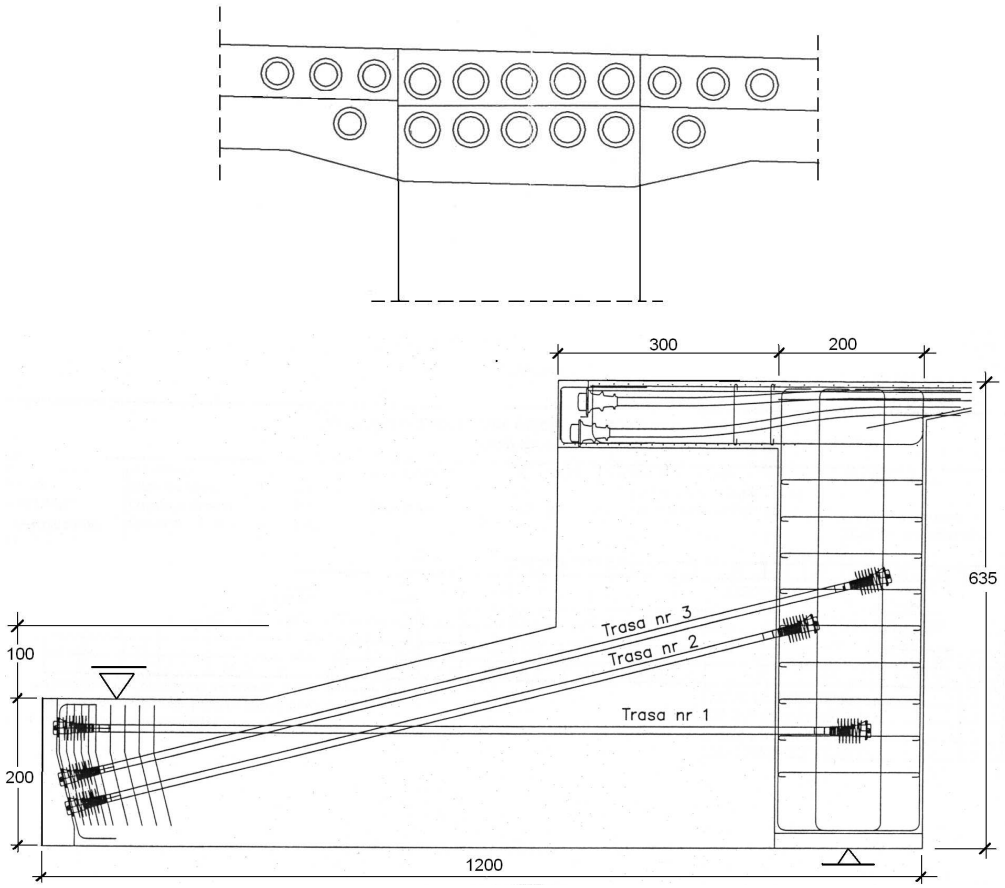
Streszczenie W referacie opisano przypadek zarysowania strefy zakotwienia kabli stwierdzonym po ich naciągnięciu. Wykazano, że przyczyną powstałego stanu było błędne rozmieszczenie zakotwień na czole dźwigarów. Bardzo przydatna okazała się metoda kratownicowa zarówno do oceny przyczyn zarysowania jak i do określenia sposobu wzmocnienia.

Abstract Some case of cracking of the anchorage cables zone is presented in these article. It was found that he main reason of this situation is incorrect arrangement of anchorage on the front of the girders. The most useful method for assessment cracking reasons and for making choice of the most efficient way of strengthening was the method based on truss.

1. Wstęp

Most autostradowy z betonu wstępnie sprężonego ma długość 93,5 m oraz szerokość pomostu pod każdą jezdnią po 17,4 m. W przekroju podłużnym ustrój niosący dla każdej jezdni składa się z dźwigarów trójprzęsłowych o rozpiętości 10 m+68,50 m+10 m, a w przekroju poprzecznym – z trzech dźwigarów w rozstawie 6,45 m połączonych płytą pomostową. Obiekt został zaprojektowany z betonu in-situ klasy B50. W przęśle środkowym dźwigary posiadają zmienną wysokość od 1,5 m do 3,5 m. Na podporach dźwigary są połączone z poprzecznicami o wysokości 6,35 m i szerokości 2,0 m. Płytę pomostową przedłużono o 4,0 m licząc od osi łożysk i połączono z dźwigarami przęseł skrajnych o zmiennej wysokości od 6,35 m (w miejscu połączenia z poprzecznicą) do 2,0 m (w miejscu połączenia z skrajnymi łożyskami). Konstrukcja przyczółków umożliwia oparcie dźwigarów zarówno na podporach pośrednich jak i na podporach skrajnych. A zatem obiekt można zaliczyć do mostów o utwierdzonych dźwigarach, w których momenty utwierdzenia przenoszą momenty pary sił rozdwojonych podpór umożliwiających zmiany długości ustroju wywołane procesami reologicznymi i różnicą temperatur. Zaprojektowano sprężenie przęsła środkowego kablami zakotwionymi na czole płyty pomostowej (w odległości 4,0 m od osi łożysk) oraz sprężenie od czoła przęseł skrajnych prętami zakotwionymi w poprzecznicach (w czasie budowy pręty zostały zastąpione kablami). W obrębie podpory pośredniej ma miejsce skokowa zmiana wysokości z 3,5 m licząc od górnej powierzchni poprzecznicy o wysokości 6,35 m do 3,0 m,

licząc od dolnej powierzchni poprzecznicy w odległości 4,0 m od podpory (rys. 1). Wszystkie kable z przęseł zostały wyprowadzone do czoła płyty pomostowej, a kablom usytuowanym w drugim rzędzie nadano, na ostatnim odcinku, trasy o promieniach kołowych odwrotnych wywołujących podczas naciągu składowe wyrywające kable z betonu. Ze względu na złożony układ konstrukcyjny obiektu budowę etapowano. Po wykonaniu fundamentów w pierwszej kolejności wykonano i sprężono przęsła skrajne łącznie z poprzecznicami, następnie elementy przyczółków, a później – przęsło środkowe.



Rys. 1. "Przęsło skrajne"

Po poprawnie wykonanym sprężeniu przęsła środkowego, zgodnie z dokumentacją projektową, po obu stronach przęseł zauważono rysy poziome w górnej części czół przęseł skrajnych pod zakotwieniami dolnego rzędu tych kabli (rys. 2 i 3).

Rysy początkowo były włoskowate, ale wkrótce uległy poszerzeniu do szerokości 1–2 mm. Rysy widoczne na czole dźwigarów przechodziły ukośnie na powierzchnie boczne i kończyły się w odległości ok. 40 cm od czoła na styku dźwigarów ze skosami. Stwierdzono ponadto, że górne krawędzie rys są cofnięte względem dolnych o ok. 1mm. Świadczy to o przesunięciu sprężonej płyty pomostowej względem dźwigarów, które w tej części nie są sprężone. Opisany stan zarysowania wystąpił prawie na wszystkich dźwigarach.

2. Analiza stanu zarysowania

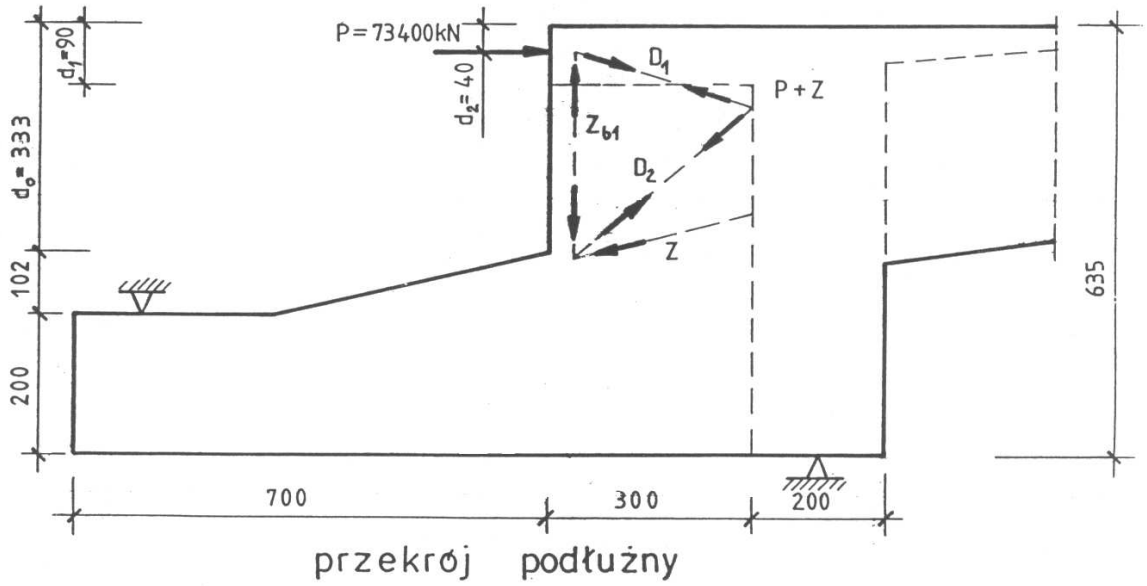
Obraz zarysowania świadczy o tym, że w wyniku sprężenia został przekroczony stan graniczny nośności strefy zakotwienia kabli. Charakter zarysowania wskazuje na przekroczenie wytrzymałości betonu na naprężenia głównie rozciągające, a efektem tego jest ścięcie płyty

pomostowej w strefie połączenia z dźwigarami. Do pełnej awarii nie doszło dzięki połączeniu płyty z sztywną poprzecznicą oraz dzięki współpracy strzemion wyprowadzonych z dźwigara do płyty. W mostowych konstrukcjach z betonu sprężonego w zasadzie wyklucza się zarysowanie betonu, ale w strefie zakotwienia kabli, jeżeli zostanie przekroczona wytrzymałość betonu na rozciąganie, dopuszcza się przyjęcie zbrojenia zwykłego i wtedy zarysowanie może mieć miejsce [3]. Jednak przy poprawnym zaprojektowaniu zbrojenia szerokość rys nie przekracza wartości granicznych (0,2mm). Tak znaczne przekroczenie granicznej szerokości rys wskazuje na to, że wobec braku kabli odgiętych z płyty do środnika dźwigarów skrajnych przyjęto zbyt mało zbrojenia poprzecznego (strzemion) w strefie połączenia płyty z dźwigarami.

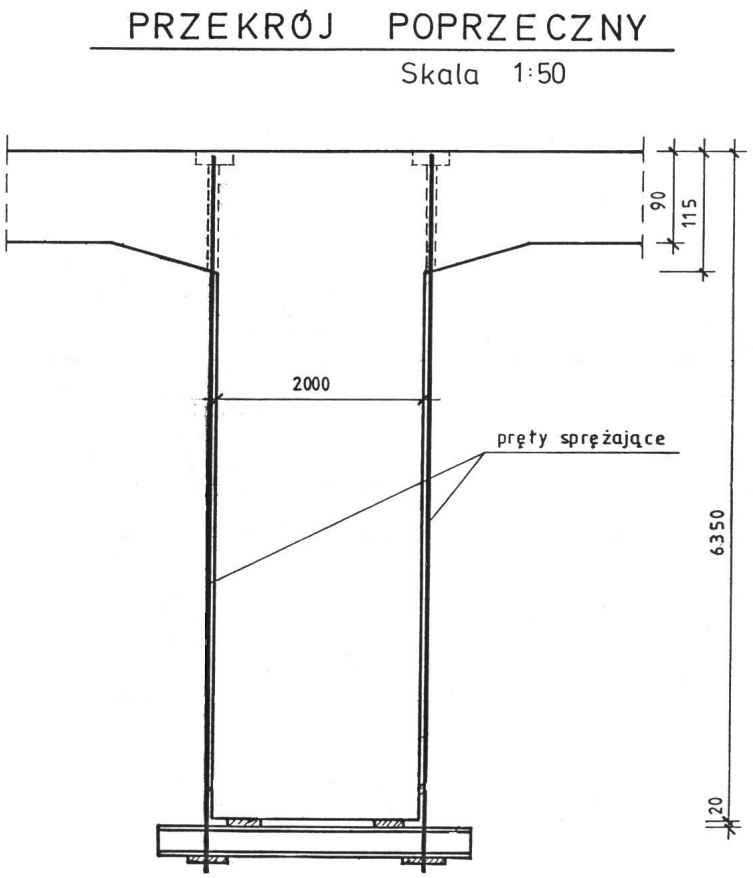
Rys. 2. Przykład zarysowania czoła

Rys. 3. Przykład zarysowania czoła

Niekorzystne dla strefy zakotwienia było prowadzenie kabli tylko w półce górnej (płycie pomostowej) oraz stosowanie promieni łuków pionowych zwiększających naprężenia rozciągające w płaszczyźnie połączenia z dźwigarami. Ponadto na nośność połączenia półki z dźwigarem mogło mieć wpływ przyjęcie styku technologicznego właśnie w płaszczyźnie tego połączenia, chociaż rysy były usytuowane ukośnie na wysokość skosów.



Rys. 4. Model obliczeniowy



Rys. 5. Propozycja wzmocnienia

Zwiększenie w okresie kilku miesięcy szerokości rys i przesunięcie czoła płyty względem dźwigarów zostało przypuszczalnie spowodowane wpływem procesów reologicznych oraz odkształceniem plastycznym strzemion przecinających rysy.
W celu oszacowania wartości sił rozwarstwiających połączenie półki z dźwigarem przyjęto do obliczeń model kratownicowy (rys. 4). Wypadkową siłę rozciągającą obliczono różnymi metodami opisanymi w [1] i [2]:
wg. E Grassera i G. Thielena

$$Z_{b1} = P(0{,}33 - \frac{d_2}{d_o}) \tag{1}$$

wg F. Leonhardta:

$$Z_{b1} = \frac{0{,}015P}{1 - \sqrt{1 - \frac{2d_2}{d_o}}} \tag{2}$$

wg. J. Schlaicha i K. Schafera:

$$Z_{b1} = P\frac{(2 - 3\frac{d_1}{d_o})^2}{12(1 - \frac{d_1}{d_o})} \tag{3}$$

wg. O. Theimera

$$Z_{b1} = 0{,}2P \tag{4}$$

Otrzymane z obliczeń wartości zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1.

Wzór przyjęty	(1)	(2)	(3)	(4)
Z_{b1} [kN]	15405	8578	11854	14680

Uwzględniając zbrojenie przecinające połączenie półki z środnikiem na odcinku 0,8 m od czoła otrzymano:
- dla wartości charakterystycznej (410 MPa):
  $Z_a = 7545\ kN$
- dla wartości obliczeniowej (340 MPa):
  $Z_a = 6257\ kN$

A zatem zbrojenie nie przenosi składowej siły Z_{b1} $(Z_a \langle Z_{b1})$, a więc możliwe było zarysowanie betonu i rozwarcie rys wskutek uplastycznienia strzemion.
Został przekroczony stan graniczny nośności strefy zakotwienia kabli, ale powstałe zarysowanie nie doprowadziło do awarii. Siła naciągu została utrzymana przez blok oporowy złożony z szerokiej poprzecznicy i niezarysowanej części płyty pomostowej.

3. Wnioski

Można przyjąć, że stwierdzony stopień uszkodzeń nie miał wpływu na obniżenie nośności przęseł, ale strefa zakotwień wszystkich dźwigarów wymaga bezwzględnie wzmocnienia. Nie ma bowiem żadnej gwarancji, iż w trakcie użytkowania obiektu autostradowego nie dojdzie do dalszego spadku nośności tej strefy, a tym samym całego ustroju. Zaproponowano wzmocnienie polegające na wprowadzeniu sprężenia zewnętrznego pionowymi prętami (rys. 4).
Opisany przypadek poucza, że:

- po pierwsze nie należy koncentrować zakotwień kabli wyłącznie w półkach dźwigarów,
- po drugie model kratownicowy może być skutecznie stosowany do obliczania nośności strefy zakotwień, a z wykorzystanych procedur jedynie propozycja F. Leonhardta (wzór 2) dała wynik znacznie różniący się w stosunku do pozostałych procedur.

Literatura

1. Madaj A., Wołowicki W.: Mosty betonowe. Wymiarowanie i konstruowanie, WKŁ 2002
2. Praca zbiorowa, Podstawy projektowania konstrukcji żelbetowych i sprężonych wg Eurokodu 2, Dolnośląskie wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław 2006
3. PN-91/S-10042 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetonowe i sprężone. Projektowanie.