

dr hab. inż. Krzysztof Żółtowski, prof. PG^{1*)}
mgr inż. Przemysław Kalitowski¹⁾
mgr inż. Piotr Żółtowski²⁾

Estakada E2 – kluczowy obiekt Obwodnicy Wałcza

The E2 overpass – crucial structure of Wałcz's bypass

DOI: 10.15199/33.2018.03.03

Streszczenie. W artykule przedstawiono uwarunkowania i przebieg projektowania estakady E2 z betonu sprężonego w ciągu Obwodnicy Wałcza. Pokazano efekt procesu optymalizacji projektu pierwotnego. Opisano przeprowadzone analizy wynikające z przyjętej technologii nasuwania podłużnego oraz istotne aspekty, które należy poruszyć przy wyborze tej technologii. Zaprezentowano modele numeryczne konstrukcji przęseł i metodę analizy z uwzględnieniem pracy konstrukcji w fazach budowy. Podkreślono ważną rolę, jaką odegrało zaprojektowanie dziobów montażowych (awanbeków) oraz podano zasady stosowane przy doborze konstrukcji awanbeków i pokazano istotne rezultaty przeprowadzonych analiz.

Słowa kluczowe: estakada; nasuwanie podłużne; metoda elementów skończonych; awanbek; analiza stateczności.

Abstract. Polish road infrastructure is still dynamically growing. The most popular material for bridge structures is concrete. Conditions and design process of the prestressed concrete overpass in line of Wałcz's bypass are presented. Original project and the effects of optimization is described. Analyses dictated by chosen technology – incremental launching – were done. Key aspects in this kind of technology are indicated. Numerical FEM model of spans and analysis method with construction phases are shown. Significant step in the project was designing of launching noses. The authors present rules which were preserved during designing of launching noses. Results of analyses are presented.

Keywords: overpass; incremental launching; finite element method; incremental nose; buckling analysis.

W ramach realizacji drogi S10, Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad w Szczecinie prowadzi inwestycję drogową pod nazwą: Budowa Obwodnicy Wałcza. Nowy odcinek drogi S10 omija Wałcz od strony północno-wschodniej. Na odcinku wschodnim przechodzi przez trudny, pagórkowaty teren charakteryzujący się zmiennymi warunkami gruntowymi. Na dziewiątym kilometrze inwestycji występuje mocno pofałdowany teren, częściowo biegnący w rejonie mokradeł i torfowisk na zachodnim brzegu jeziora Chmiel Duży. Te niesprzyjające warunki terenowe wymusiły na projektantach [3] wprowadzenie drogi na obiekt mostowy zwany estakadą E2. Projekt zakładał połączenie dwóch technologii budowy. Pierwszy odcinek zaprojektowano na estakadzie kablobetonowej, a drugi ze względu na złe warunki posadowienia przewidziano jako konstrukcję betonowaną nawisowo, o rozpiętości przęsła środkowego 120 m. Ze względu na złożoność problemów technicznych wynikających z projektu, inwestor (GDDKiA) zdecydował się na ogłoszenie przetargu na wykonanie w trybie „optymalizuj i buduj”. Dopuszczono więc zmiany m.in. dotyczące typu konstrukcji mostowych i technologii budowy. Przebieg trasy w planie i długość poszczególnych obiektów nie podlegały zmianie.

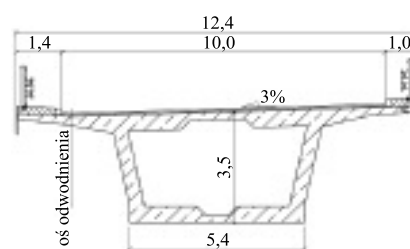
Wykonawca – Energopol-Szczecin, wpisując się w tryb zamówienia, zlecił opracowanie alternatywnie obiektu firmie YLE Inżynierowie [2]. Nowy wariant estakady E2 (rysunek 1) zakładał wykonanie obiektu przez nasunięcie, zmieniając rozstaw podpór, ale zachowując ich liczbę. Zaprojektowano posadowienie pośrednie na palach V-F o długości 8,0 m ÷ 23,0 m. Na rysunku 2 przedstawiono wersję pierwotną i zrealizowaną w profilu podłużnym. Główne parametry obiektu podano w tabeli.

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

²⁾ YLE Inżynierowie Sp. z o.o.

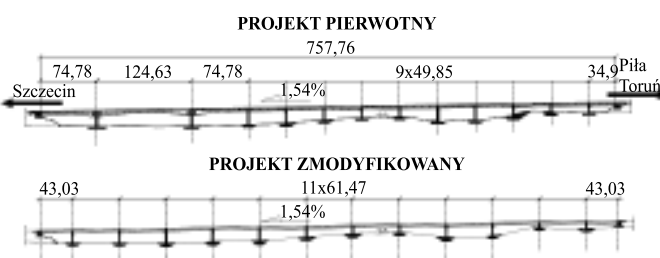
^{*}) Adres do korespondencji: zoltowk@pg.edu.pl

Ustrój nośny o przekroju skrzynkowym zaprojektowano jako żelbetowy, sprężony, z betonu B60 (C50/60), stali zbrojeniowej A-IIIIN i stali sprężającej o wytrzymałości charakterystycznej $R_m = 1860$ MPa. Przewidziano oddzielną konstrukcję każdej nitki.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny jednej nitki estakady po modyfikacjach

Fig. 1. Cross section of one line of span from the modified project of E2 overpass



Rys. 2. Porównanie pierwotnej i zrealizowanej wersji projektu w profilu podłużnym

Fig. 2. Comparison between original and realised version of project – longitudinal cross

Główne parametry geometryczne estakady E2

Main geometrical characteristics of the E2 overpass

Długość ustroju nośnego [m]	E-2/L = 760,45; E-2/P = 764,95
Liczba przęseł	13
Rozpiętość teoretyczna w osi trasy DK10 [m]	42,85 + 11 · 61,30 + 42,85
Szerokość całkowita obiektu [m]	12 + 1,1 + 12,4
Szerokość użytkowa [m]	2 · 10,00 = 20,00
Klasa obciążenia ruchomego	A+0,3K wg PN/85/S-10030 oraz MLC 100

Budowa

Kluczowym elementem budowy, poza pracami fundamentowymi, był **montaż przęseł techniką nasuwania podłużnego**. Wykonano obszerne studium zagadnienia, które zakończono opracowaniem projektu technologii montażu [4] będącego efektem współpracy zespołu YLE i Energopolu-Szczecin. Konstrukcje obu nitek wysuwano równolegle, odcinkowo z dwóch wytwórni, zlokalizowanych za przyczółkiem, za pomocą urządzeń hydraulicznych umieszczonych na przyczółku nr 14 (fotografia 1). Ustrój nośny każdej nitki estakady podzielono na 25 segmentów montażowych o długości ok. 30 m. Nasuwanie zrealizowano za pomocą stalowego dzioba montażowego (fotografia 2). W fazie nasuwania konstrukcja ustroju była sprężona osiowo kablami wewnętrznymi. Prowadzono je prostoliniowo w górnej i dolnej części przekroju. Po wykonaniu wszystkich segmentów ustrój nośny zostanie doprzężony krzywoliniowymi kablami zewnętrznymi umieszczonymi w środku przekroju skrzynkowego.



Fot. 1. Wytwórnia zlokalizowana za przyczółkiem (widok od strony przyczółka)
[Fot. K. Żółtowski]
Photo 1. Fabrication station localised behind abutment (view from abutment)



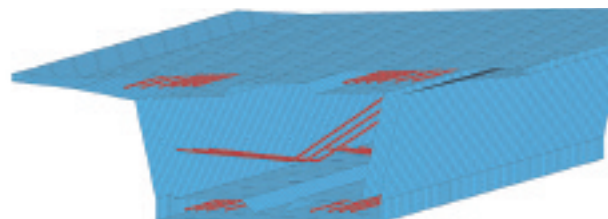
Fot. 2. Zastosowane dzioby montażowe w trakcie nasuwania obiektu
[Fot. K. Żółtowski]
Photo 2. Used launching noses during incremental launching process

Projektowanie

Realizacja ambitnego zadania poprzedzona została analizami nośności przęseł w fazie montażu. Pokonanie odcinka 61,50 m bez podpory pomocniczej stwarzało wiele trudności. Podstawowy model analityczny procesu budowy bazował na elementach belkowych (rysunek 3). Procedura obliczeniowa w środowisku MES SOFiSTiK pozwala na etapowanie procesu budowy z uwzględnieniem technologii sprężania i zjawisk reologicznych [1]. Efekt sprężenia wprowadzono za pomocą modułu TENDON SOFiSTiK umożliwiającego obciążenie ekwiwalentne po wprowadzeniu charakterystyk systemu sprężenia i naciągu oraz geometrii trasy ciągną (rysunek 4).



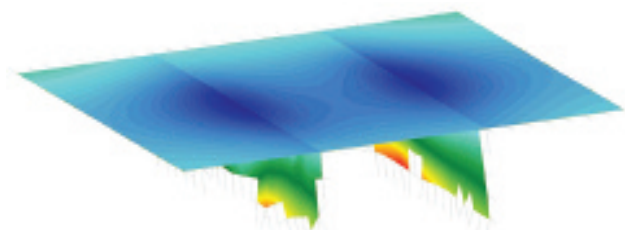
Rys. 3. Model belkowy konstrukcji przęseł (fragment)
Fig. 3. FEM beam model of spans (starting part)



Rys. 4. Wizualizacja geometrii zastosowanych kabli sprężających w przekroju modelu MES
Fig. 4. Visualisation of geometry of used prestressing tendons in FEM model

Ze względu na duże siły tnące sprawdzono efekt szerokości współpracującej. Zbudowano model powłokowy umożliwiający określenie nierównomiernych naprężeń w płycie dźwigara w przekroju nadpodporowym (rysunek 5). Wartości maksymalnych naprężeń w przekroju nadpodporowym uzyskane z modelu powłokowego wyniosły 160% naprężeń z ekwiwalentnego modelu belkowego poddanego tym samym obciążeniom. Znaczna różnica pomiędzy wynikami uzyskanymi z obu modeli skłoniła projektantów do przyjęcia odpowiednio dużego sprężenia osiowego, aby nie dopuścić do rozciągania w betonowym przekroju dźwigara.

Duża rozpiętość betonowego przęsła 61,50 m nasuwanego bez podpory tymczasowej była ogromnym wyzwaniem. Warunkiem jego nasuwania było zastosowanie awanbeków o długości 39 m (2/3 długości przęsła). Ich wymiary miały duży wpływ na maksymalne momenty zginające w obrębie pierwszych dwóch segmentów. Istotnym czynnikiem przy doborze długości awanbeku było również założenie o niedopuszczeniu do występowania maksymalnych momentów zginających w styku pomiędzy segmentami 1 i 2 (długość segmentu ok. 30 m). Na polskim rynku konstrukcje pomocnicze o tak dużej rozpiętości są rozwiązaniem deficytowym. Z tego względu Energopol-Szczecin zdecydował o wykonaniu nowych awanbeków (fotografia 2). Projektem zajął się zespół YLE, a ich wykonaniem firma Vistal. W procesie projektowania awanbeków analizowano ich nośność i stateczność. Konstrukcja racjonalnie zaprojektowanego dzioba montażowego powinna charakteryzować się: niewielkim ciężarem własnym; prostym montażem oraz łatwością transportu i składowania (podział na sekcje); zmienną po długości sztywnością giętą w kierunku pionowym (im bliżej do zamocowania awanbeku, tym większa reakcja będzie na niego oddziaływać); płaską

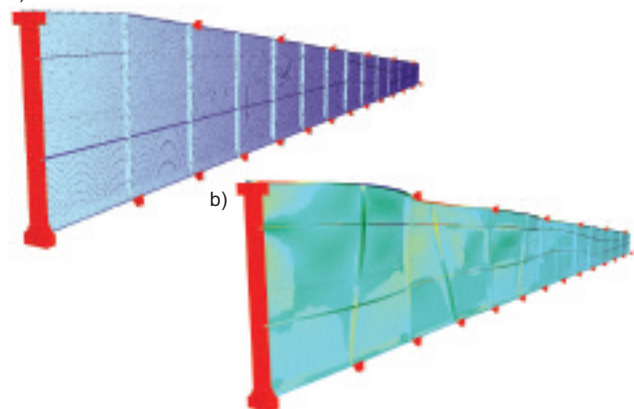


Rys. 5. Rozkład naprężeń w kierunku podłużnym, w sąsiedztwie przekroju nadpodporowego fragmentu zginanego przekroju skrzynkowego

Fig. 5. Longitudinal stresses' distribution in neighborhood of over-support cross section – bending box girder

powierzchnią styku z łożyskiem do nasuwania; wystarczającą podatnością skrętną do bezpiecznego przeniesienia sił przy występowaniu ewentualnych imperfekcji w trakcie nasuwania (np. różna wysokość łożysk do nasuwania). Na podstawie dotychczasowych doświadczeń przyjęto, że wymagania te spełnia blachownicowa konstrukcja dwudźwigarowa o zmiennej wysokości, połączona stężeniami. Na potrzeby projektowe wykonano i przeanalizowano powłokowy model numeryczny awanbeku (rysunek 6).

Uwzględniając zakładaną symetryczną geometrię i pracę dźwigara, na potrzeby analiz wytrzymałościowych uwzględniono w modelu tylko jeden dźwigar blachownicowy. Stężenia w punktach ich



Rys. 6. Model numeryczny awanbeku: a) wizualizacja modelu; b) postać wyboczeniowa dla najniższego wyznaczonego mnożnika obciążenia

Fig. 6. Numerical model of the launching nose: a) visualisation of model; b) buckling form for the smallest obtained load factor

zamocowania zastąpiono niepodatnymi warunkami brzegowymi. Model obciążono siłami reakcji działającymi na pas dolny blachownicy, wyznaczonymi z analizy modelu globalnego (rysunek 3) i określono naprężenia oraz dobrano iteracyjnie grubość blachy, aby spełnić warunki wytrzymałościowe. W przypadku każdego schematu pracy wykonano analizę wyboczeniową z wykorzystaniem rozwiązania problemu własnego stateczności [5]. Otrzymano mnożniki zadane obciążenia określające poziom krytyczny kilku pierwszych postaci wyboczenia. Rozmieszczenie i sztywność giętną żeber dobrano tak, żeby minimalna wartość mnożnika wynosiła więcej niż 3,5. Tak duży zapas bezpieczeństwa pozostawiono ze względu na możliwość wystąpienia imperfekcji wykonawczych dźwigara i procesu nasuwania.

Na początku lutego br. Energopol-Szczecin zakończył proces nasuwania przęseł estakady E2. W trakcie prac nie stwierdzono żadnych trudności. Sukcesu należy dopatrywać się w dobrej współpracy pomiędzy projektantem (YLE Inżynierowie Sp. z o.o.), wykonawcą (Energopol-Szczecin S.A.) i nadzorem inwestorskim (P.U.I. EKO-INWEST S.A., PBTk TRAKT Sp. z o.o.).

Literatura

- [1] Hartmann Friedel, Casimir Katz. 2007. *Structural analysis with finite elements*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- [2] Koncepcja i projekt wykonawczy estakady E2. YLE Inżynierowie Sp. z o.o.
- [3] Projekt Obwodnica Wałcza. Odcinek od km 3+920 do km 17+805. Konsorcjum firm WBP ZABRZE Sp. z o.o. i PxM – Projekt – Południe Sp. z o.o.
- [4] Projekt technologii nasuwania estakady E2. YLE Inżynierowie Sp. z o.o.
- [5] Żółtowski Krzysztof, Mikołaj Binczyk. 2018. „Launching of steel bridge girder. Application of nonlinear shell models// Shell Structures: Theory and Applications”. Volume 4/ ed. Wojciech Pietraszkiewicz, Wojciech Witkowski. Londyn. CRC Press Taylor & Francis/Balkema: 485 – 488.

Przyjęto do druku: 23.01.2018 r.



Stalprodukt S.A.

SUKCES
JEST
DOWODEM
ZREALIZOWANEGO
CELU

www.stalprodukt.com.pl

Największy producent kształtowników giętych na zimno w Polsce

Pobrano z mostwiedzy.pl

MOST WIEDZY

