

W artykule zaprezentowano zamiennie rozwiązania konstrukcyjne względem pierwotnych założeń projektowych, które umożliwiły wykonawcy sprawne wykonanie realizowanego obiektu.



Fot. 1. Zrealizowany obiekt MS-30 (fot. B. Sybidło)

Budowa wiaduktu w ciągu drogi ekspresowej S7

jako przykład skutecznej optymalizacji rozwiązań projektowych

mgr inż. Mateusz Stefańczyk,
mgr inż. Wojciech Janowicz,
Optem

Obiekt MS-30 stanowi część drogi ekspresowej S7 na odcinku Rychnowo – Olsztynek od km około 27+650 do km 38+900, który z kolei stanowił pododcinek zadania „Budowa drogi ekspresowej S7 odcinek Miłomłyn – Olsztynek”. Zakres obejmował zbudowanie m.in. 11 obiektów inżynierskich i 19 przepustów ekologicznych w ciągu 11,25 km trasy głównej oraz w ciągu około 19,50 km dróg serwisowych. Inwestycja znajduje się na terenie województwa warmińsko-mazurskiego. Zbudowana droga przyczynia się do rozwoju gospodarczego województwa i w konsekwencji całego kraju. Zapewnia przy tym bezpieczeństwo i komfort ruchu pojazdów. W ramach zadania należało wybudować drogę z uwzględnieniem optymalizacji pierwotnych rozwiązań projektowych obiektów inżynierskich (zamówienie typu „optymalizuj i buduj”). Wprowadzane zmiany musiały spełniać uwarunkowania § 36a *Prawa budowlanego*

w zakresie nieistotnego odstępiania od zatwierdzonego projektu budowlanego.

Generalnym Wykonawcą odcinka drogi S7 była firma Strabag Sp. z o.o., natomiast podwykonawcą odpowiedzialnym zarówno za projekt optymalizacyjny, jak i za roboty budowlane była firma Optem Sp. z o.o. Zamawiającym była Generalna Dyrekcja Dróg Krajowych i Autostrad Oddział w Olsztynie. Prace prowadzone były w okresie od kwietnia 2015 r. do listopada 2017 r.

Podstawowe parametry obiektu w projekcie pierwotnym Charakterystyka ogólna

Zaprojektowany obiekt stanowią niezależne konstrukcje dla każdego z kierunków jazdy. Schemat statyczny stanowi czteroprzęsłowa belka ciągła oparta przegubowo na podporach. W planie oś obiektu przebiega wzdłuż



I SUMMARY

Construction of a viaduct along the S-7 expressway as an example of the effective optimisation of design solutions

The article presents design changes in relation to the original design assumptions, which enabled the contractor to efficiently execute the viaduct.

Keywords: S-7, Miłomłyn – Olsztynek, bridge structures, expressway bridges, optimised bridge design, economic bridge design

Konstrukcja pomostu

Pomost obiektu (rys. 3a-b) zaprojektowano jako dwukomorową skrzynkę. Ustrój betonowy sprężono kablami wewnętrznymi biegnącymi w płycie górnej oraz dolnej, a także kablami zewnętrznymi usytuowanymi w komorach skrzynek. Stała wysokość konstrukcyjna wynosiła 3,25 m, a szerokość skrzynki – 14,10 m (jezdni lewa) i 11,59 m (jezdni prawa). Szerokość pomostu jezdni lewej miała wymiar 19,40 m, a prawej – 16,90 m. Pomosty obu jezdni oparte były na 3 łóżyskach dla każdej z podpór. Technologię montażu przyjęto jako nasuwanie podłużne.

Podpory

Przewidziano przyczółki masywne z wykształconą przestrzenią między ścianką zapleczną a czołem konstrukcji pomostu (korytarz umożliwiający dostęp do wnętrza skrzynki). Skrajne, boczne strefy półek podłożyskowych zabudowano ściankami osłonowymi z umieszczonymi w nich drzwiami dostępowymi.

Jako podpory pośrednie Projektant założył konstrukcje słupowe o przekroju sześciokątnym (rys. 4a). Słupy w górnej części zwieńczone są oczepem, na którym wykształcone są ciosy podłożyskowe.

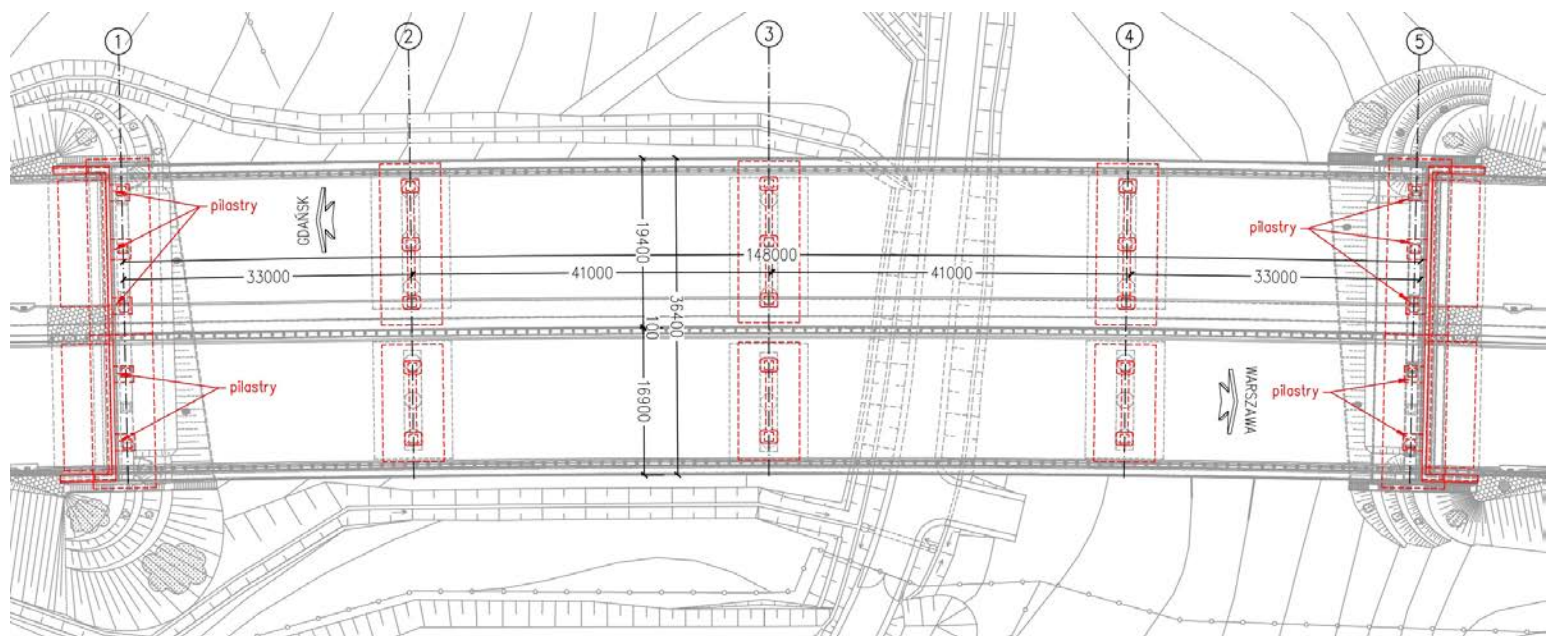
Wszystkie podpory obu jezdni posadowione są bezpośrednio. Warto nadmienić, że dla podpory w osi 2 rzędne posadowienia różnią się dla strony lewej i prawej – różnica wynosiła 2,50 m.

Rozwiązania optymalizacyjne

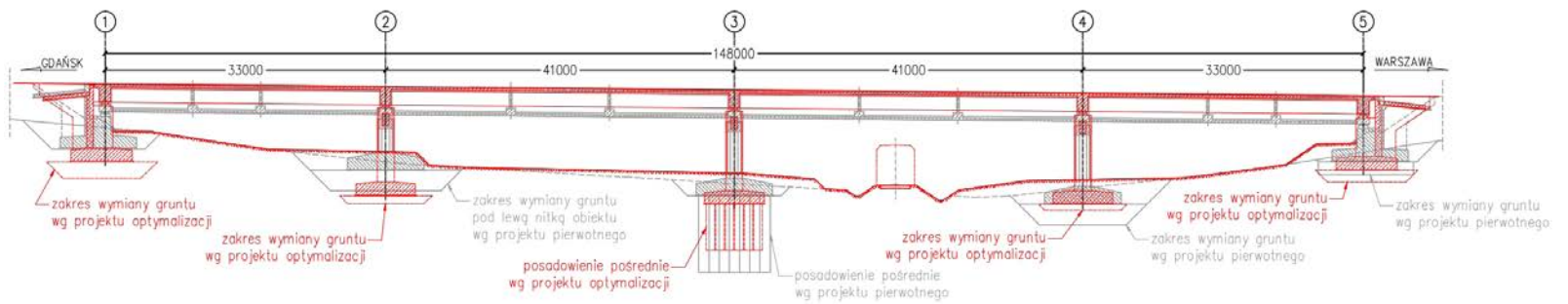
Dział projektowy firmy wykonawczej stanął przed zadaniem opracowania takich zmian w projekcie, które ułatwiają i przyspieszają realizację obiektu, spełniając jednocześnie uwarunkowania zmian nieistotnych wg Prawa

łuku o dużym promieniu ($R \approx 3300$ m). Nośność obiektu spełnia wymagania dla klasy „A” wg PN-85/S-10030 oraz dla pojazdu STANAG 150 wg umowy STANAG 2021. Parametry geometryczne (rys. 1-2):

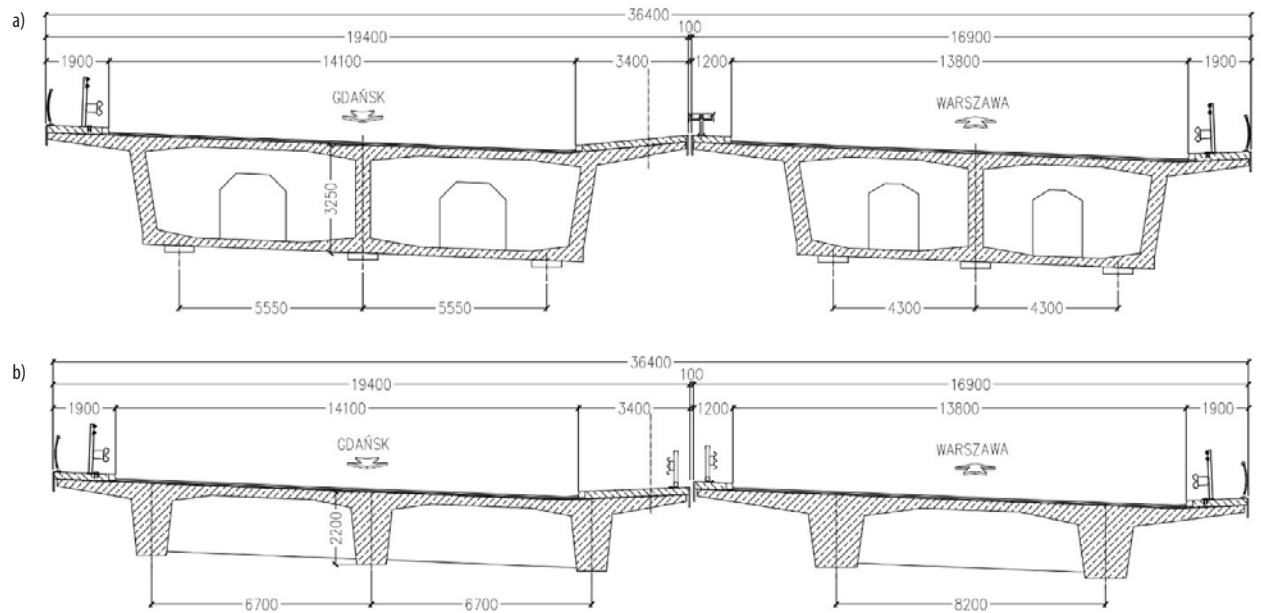
- długość ustroju nośnego: 150,50 m;
- rozpiętości przeseł: 33,00 +41,00 +41,00 +33,00 m.



Rys. 1. Widok z góry z zaznaczoną optymalizacją obiektu (na czerwono)

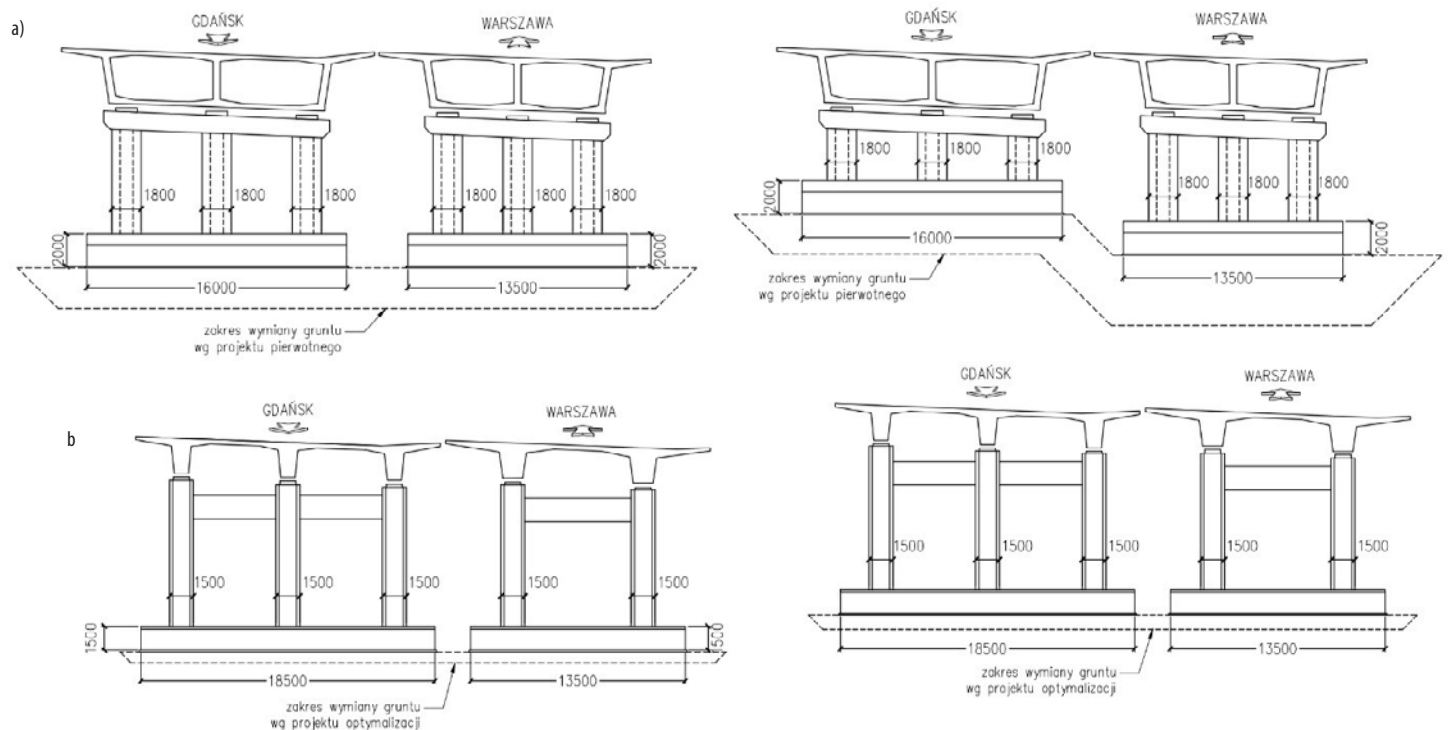


Rys. 2. Przekrój podłużny z zaznaczoną optymalizacją obiektu (na czerwono)



Rys. 3a. Przekrój poprzeczny – projekt pierwotny

Rys. 3b. Przekrój poprzeczny – projekt zoptymalizowany



Rys. 4a. Widok na podporę pośrednią typową (po lewej) oraz podporę w osi nr 2 (po prawej) – projekt pierwotny

Rys. 4b. Widok na podporę pośrednią typową (po lewej) oraz podporę w osi nr 2 (po prawej) – projekt zoptymalizowany

budowlanego. W grę nie wchodziła zmiana ani rozpiętości przęseł, ani długości całkowitej obiektu, ani szerokości pomostu. Pole manewru było w praktyce ograniczone do konstrukcji płyty pomostu, geometrii podpór oraz optymalizacji posadowienia obiektu.

Ustrój nośny

Biorąc pod uwagę powyższe, projektant dokumentacji zamiennej zaproponował zmianę na konstrukcję mono-

lityczną, czteroprzęsłową, ciągłą, z betonu sprężonego o przekroju poprzecznym trzybelkowym (jezdnia lewa) i dwubelkowym (jezdnia prawa) (rys. 3b). Wysokość dźwigara sprężonego wyniosła 2,20 m przy szerokości 0,90 m (L) i 1,25 m (P) oraz rozstawie 6,70 m (L) i 8,20 m (P). Grubość płyty miała wartość 0,30 m. Do wykonania pomostu przyjęto technologię podparcia na pełnym rusztowaniu (fot. 5), która wg wykonawcy wydawała się prostsza i szybsza w realizacji mimo konieczności przygotowania



Fot. 2. Betonowanie ustroju nośnego jezdni prawej (fot. R. Blicharski)



Fot. 3. Betonowanie ustroju nośnego jezdni prawej (fot. R. Blicharski)

podłoża pod konstrukcję rusztowania. Warto zwrócić uwagę, że betonowanie poszczególnych ustrojów (fot. 2) odbywało się w systemie ciągłym od podpory P5 do P1 (w stronę wyższej rzędnej niwelety). W pierwszej kolejności zabetonowano koryta dźwigarów, a po ich wypełnieniu płytę i wsporniki konstrukcji. Przekrój podzielono na 7 warstw, które betonowano odcinkami długości 15-25 m. Część płytowa wykonywana była całą szerokością przekroju (fot. 3). Do betonowania zaangażowane były trzy pompy, w tym jedna rezerwowa. Wykonawca uporał się z zadaniem w stosunkowo szybkim tempie. Dla jezdni prawej wbudowano 1805 m³ betonu w ciągu około 24 godzin, co pozwoliło uzyskać prędkość ok. 75 m³/godz. Na jezdnię prawą, trzybelską, przypadło 2040 m³ betonu wbudowanego w czasie ok. 30 godzin. Dało to prędkość ok. 70 m³/godz.

Podpory

Pierwotne bardzo masywne korpusy przyczółków (szerokości aż 3,10 m) mogły nastęrczać problemów technologicznych dla Wykonawcy podczas ich wznoszenia. Ponieważ istniała konieczność zachowania standardu betonu architektonicznego na elewacji, jakiegokolwiek rysy wynikające m.in. z dużej objętości betonu były niepożądanymi. Z tego względu oraz po dokonaniu ponownej analizy obliczeniowej, na którą wpływ miało chociażby zmniejszenie ciężaru pomostu, zaprojektowano przyczółki ścianowe

z wykształconymi pilastrami w osiach łożysk (rys. 1, fot. 4). Zaprojektowano ścianę o grubości 0,80 m, a pilastry miały wymiary 1,90 m (szerokość) i 2,30 m (grubość). Optymalizacja podpór pośrednich jest najbardziej widoczna dla jezdni prawej w kierunku Warszawy. W wersji przekroju skrzynekowego układ łożysk (3 sztuki na 1 podporze) wymusił wykonanie 3 słupów zwieńczonych ocepem podłożyskowym. Układ dwudźwigarowy dla obiektu zmodyfikowanego pozwolił zmniejszyć liczbę filarów oraz łożysk do dwóch na każdą oś (rys. 4b i fot. 5.). Dla wszystkich podpór pośrednich zamieniono również ocep zwieńczający na rygiel pomiędzy słupami a łożyska umieszczono bezpośrednio na słupach.

Mniejszy ciężar podpór przełożył się również na możliwość ograniczenia wymiarów fundamentów oraz korzystniejsze obciążenie podłoża. Szerokość ław przyczółków zmniejszono z pierwotnych 9,00 m do 7,20 m, natomiast fundamenty podpór pośrednich uzyskały szerokość 7,00 m, również przy wcześniejszych 9,00 m.

Warto również zwrócić uwagę na podporę w osi 2, która w pierwotnym kształcie miała zróżnicowaną rzędną posadowienia dla obu jezdni (rys. 4a). Fundament podpory lewej (w kierunku Gdańska) był posadowiony 2,50 m wyżej niż fundament podpory prawej. Zwiększało to czas wznoszenia filarów w omawianej osi poprzez wymuszenie wykonania najpierw głębszego fundamentu, następnie



Fot. 4. Konstrukcja przyczółka w trakcie budowy



Fot. 5. Konstrukcja podpory pośredniej w trakcie budowy oraz rusztowanie pod ustrój nośny jezdni lewej

słupów teźże podpory i zasypanie do rzędnej posadowienia podpory lewej. Z tego względu korzystniejsze dla wykonawcy okazało się wyrównanie poziomów posadowienia obu podpór, nawet kosztem lokalnego zwiększenia ilości materiału słupów względem wcześniejszego projektu.

Posadowienie

Dla potrzeb rozpoznania warunków gruntowo-wodnych wykonano na zlecenie wykonawcy dodatkowe otwory wiertnicze o głębokości 15,0-28,5 m oraz sondowania CPT-u o głębokości 17,0-19,0 m. Badania kontrolne podłoża potwierdziły zgodność warunków gruntowych z dokumentacją pierwotną.

Podsumowanie

W przypadku obiektów inżynierskich, jakimi są m.in. mosty i wiadukty, §36a *Prawa budowlanego* pozwala na dość ważne zmiany (określane formalnie jako nieistotne) w projekcie budowlanym, który został usankcjonowany pozwoleniem na budowę lub decyzją o zezwoleniu na realizację inwestycji drogowej. W praktyce dla tego typu konstrukcji granicę istotności zmian wyznaczają projekt zagospodarowania terenu (w tym przede wszystkim parametry geometryczne obiektu w planie), decyzja o środowiskowych uwarunkowa-

niach zgody na realizację przedsięwzięcia i ewentualnie pozwolenie wodnoprawne (dla obiektów nad ciekami wodnymi). Z punktu widzenia Wykonawcy oraz Zamawiającego kluczowe elementy, w których można poczynić największe oszczędności bez konieczności rewizji decyzji zezwalającej na realizację inwestycji, sprowadzają się do:

- posadowienia obiektu (zwłaszcza w przypadku posadowienia pośredniego),
- geometrii podpór,
- rodzaju konstrukcji pomostu (zmiana nie powinna ingerować w rzędne niwelety drogi na obiekcie).

Na przykładzie obiektu MS-30 pokazano jak własne zaplecze projektowe Wykonawcy umożliwiło stworzenie konstrukcji prostszej i zarazem szybszej w budowie bez konieczności zmiany dokumentów formalno-prawnych wydłużających termin zakończenia inwestycji. Wymagało to szczegółowej analizy obliczeniowej poszczególnych elementów obiektu oraz dużego doświadczenia umożliwiającego wyszukanie obszarów, w których optymalizacja mogła dać i ostatecznie dała najlepsze wyniki przy zachowaniu bezpieczeństwa konstrukcji. Podkreślić także należy ścisłą współpracę inżynierów na budowie oraz w biurze projektowym, bez której nie byłoby możliwe osiągnięcie omówionych rezultatów. □