

Bogumiła STRYSZYK¹
Adrian OWCZAREK¹
Paweł BARANIK²

WPLYW TARCIA NEGATYWNEGO W KONSTRUKCJACH GRUNTOWO-POWŁOKOWYCH NA PRZYKŁADZIE OBIEKTU ES-15B W CIĄGU OBWODNICZY METROPOLII TRÓJMIEJSKIEJ

1. Wprowadzenie

Tytułowy obiekt ES-15b został zaprojektowany w ramach kontraktu Budowy Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej – zadanie 1: węzeł Chwaszczyno (bez węzła) – węzeł Żukowo (bez węzła). W chwili tworzenia niniejszego referatu obiekt jest w trakcie realizacji i wchodzi w końcową fazę budowy. Jest to jeden z 26 obiektów mostowych, które należało zaprojektować i wybudować w ramach kontraktu. Funkcją ES-15b jest przeprowadzenie Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej (w skrócie OMT), będącą drogą klasy ekspresowej, nad Linią Kolejową nr 229 Pruszcz Gdański – Łeba, której przebudowa przebiegała równoległe do budowy OMT, zarówno w zakresie projektowania i realizacji. Wykonawcą kontraktu jest Budimex, natomiast rolę Projektanta pełni biuro Transprojekt Gdański.

Pomimo tego, że ES-15b nie jest największym realizowanym obiektem mostowym na OMT zadanie 1, okazało się że stanowił wyzwanie pod wieloma względami. Równoległa przebudowa LK229 wymagała szeregu uzgodnień i wpływała na zmiany projektowe podczas realizacji. Skomplikowane warunki gruntowe, zwłaszcza ze względu na duże wartości osiadań, wymagały wielu analiz w celu znalezienia odpowiedniego rozwiązania zarówno posadowienia samego obiektu jak i dojazdów przebiegających na wysokich nasypach wraz z murami oporowymi. Nad finalnym rozwiązaniem pracowało jednocześnie wiele osób, nie tylko od strony wcześniej wspomnianego Wykonawcy i Transprojektu Gdańskiego. W przedsięwzięciu mieli również swój ogromny udział Projektanci z firmy Optem, odpowiadający za prefabrykaty łukowe i mury z gruntu zbrojonego, oraz firmy Keller, po których stronie spoczywało posadowienie obiektu. Ze względu na wzajemny wpływ poszczególnych analiz obliczeniowych oraz bardzo dużą presję czasu Projektanci musieli działać w ścisłej współpracy, koordynowanej przez Biuro Techniczne Budimexu. Ostatecznie znaleziono finalne rozwiązanie, które można było przekazać do realizacji.

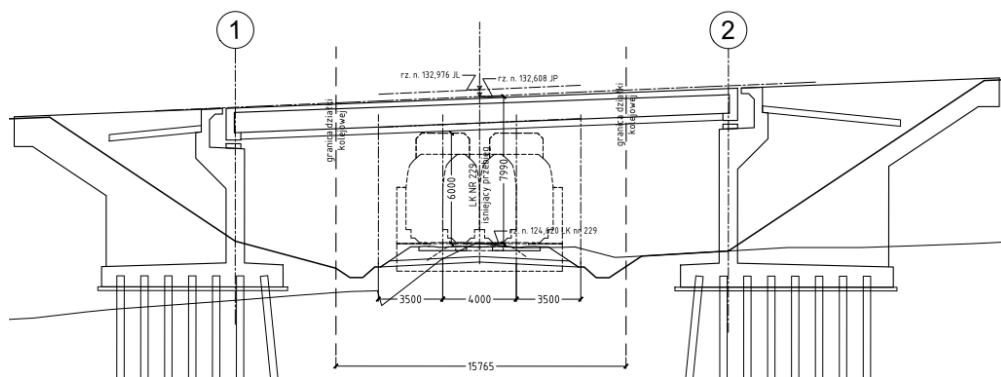
¹ mgr inż., Optem

² mgr inż., Budimex S.A.

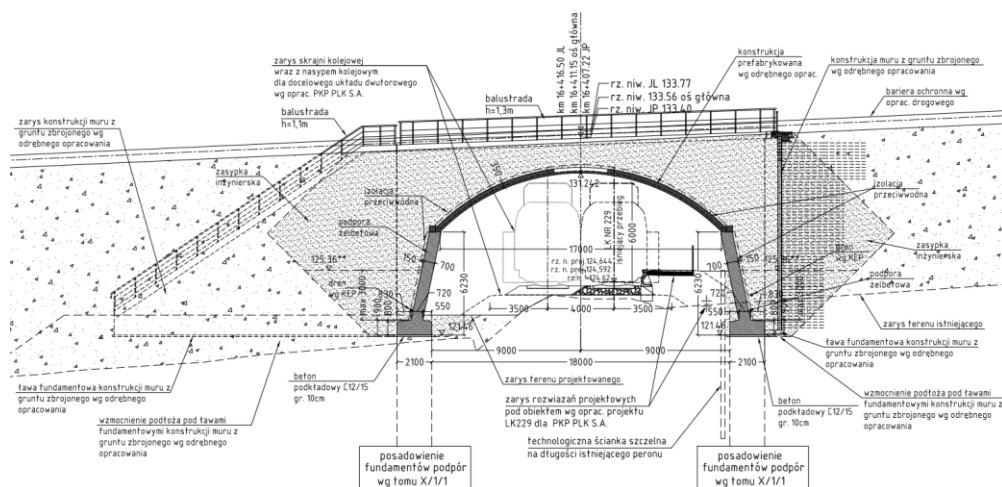
2. Charakterystyka i budowa obiektu

W fazach prac przedprojektowych, konstrukcja obiektu ES-15b była rozpatrywana w postaci jednoprzęsłowego ustroju wolnopodpartego o rozpiętości 26,8m z belek prefabrykowanych typu T27 (rys. 1). Jednak, między innymi ze względu na wysokie przyczółki sięgające ponad 11m oraz kąt 63 st. przecinania osi trasy OMT z linią kolejową, zdecydowano się na konstrukcję w postaci współpracującego z gruntem, prefabrykowanego, żelbetowego sklepienia łukowego opartego na pochylonych ścianach monolitycznych (rys. 2). Przy wyborze wariantu nie bez znaczenia był również przebieg trasy głównej w łuku poziomym przez obiekt, co wymagało dodatkowo znacznych poszerzeń ustroju nośnego w celu spełnienia warunków widoczności pojazdu na zatrzymanie – w przypadku wariantu na belkach prefabrykowanych typu T, ustroje nośne pod poszczególne jezdnie osiągały szerokość 22,2m dla jezdni lewej i 20,9m dla jezdni prawej.

Dla finalnego rozwiązania osiągnięto następujące parametry geometryczne obiektu (rys. 2) - światło poziome pod obiektem w licach góry ściany wyniosło 17,0m natomiast w licach, szerokich na 2,1m fundamentów - 18,0m. Wysokość monolitycznych ścian do spodu fundamentu wyniosła 6,23m, a strzałka sklepienia łukowego 3,56m. Długość obiektu, mierzona po osi toru kolejowego, ukształtowała się ostatecznie na poziomie 60,6m (rys. 3).

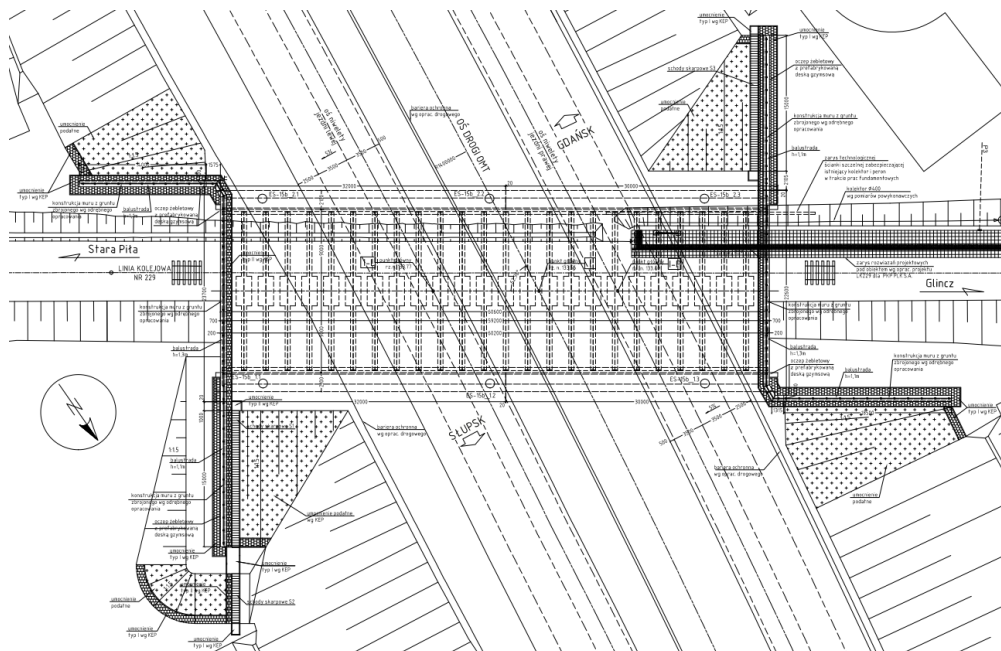


Rysunek 1. Szkic wstępnego rozwiązania – profil podłużny.



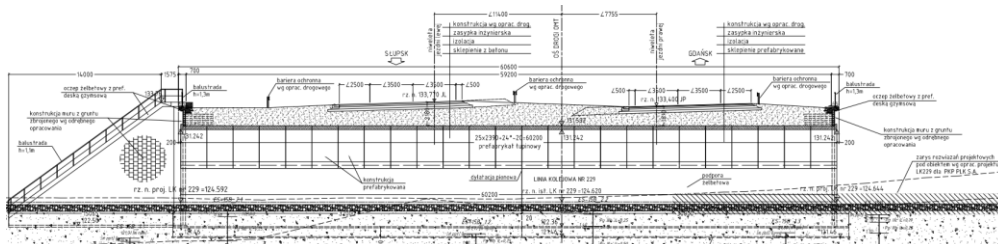
Rysunek 2. Rysunek ogólny finalnego rozwiązania – profil podłużny. [1]

Wpływ tarcia negatywnego w konstrukcjach gruntowo-powłokowych na przykładzie obiektu ES-15b w ciągu Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej.



Rysunek 3. Rysunek ogólny finalnego rozwiązania – widok z góry. [1]

Przy wyborze rozwiązania brano również pod uwagę walory utrzymania obiektu w czasie eksploatacji. Ze względu na zastosowanie zasypki nad ustrojem nośnym, droga na obiekcie przebiega w sposób ciągły wg rozwiązań branży drogowej (rys. 4), co pozwoliło ograniczyć asortyment wyposażenia mostowego w postaci łożysk i dylatacji. Odpowiednia grubość zasypki na obiekcie umożliwiła również zastosowanie wbijanych barier drogowych. Odwodnienie ustroju nośnego nie wymaga stosowania wpustów mostowych wraz kolektorami, do których ewentualny dostęp znajdowałyby się pod obiektem, nad torami, a w przyszłości trakcją kolejową. Wymienione wyżej elementy wyposażenia wymagałyby przeglądów, a w późniejszym czasie naprawie bądź wymianie. Niewątpliwym jest również walor estetyczny obiektu – łukowe sklepienie oparte na pochyłych ścianach wraz z oblicowaniem ścian czołowych i skrzydeł bloczkami drobnowymiarowymi jest bardziej przyjazne, choćby dla osób przebywających na peronie wchodzącym częściowo pod obiekt, niż wysokie, pionowe ściany przyczółków. Brak dylatacji mostowych w nawierzchni drogowej znacznie redukuje również hałas pojazdów przejeżdżających przez obiekt.



Rysunek 4. Rysunek ogólny finalnego rozwiązania – przekrój poprzeczny. [1]

Finalnie dobrana geometria obiektu pozwoliła spełnić uwarunkowania projektowe przebudowy LK229 dla PKP PLK S.A., które kształtowały się stopniowo podczas projektowania ES-15b. Należało uwzględnić między innymi następujące warunki: docelowy układ dwutorowy wraz z przyszłą elektryfikacją, nowe rzędne główek szyny oraz wcześniej wspomnianą infrastrukturę peronową wchodząca na około 15m pod obiekt (rys. 5). Ważnym czynnikiem był również fakt, że realizacja przebudowy LK229 rozpoczęła się wcześniej od budowy obiektu, co wymagało uwzględnienia odpowiednich zabezpieczeń aby nie doszło do uszkodzenia wykonanej już infrastruktury kolejowej. W tym celu przewidziano między innymi ściankę szczelną na długości już istniejącego peronu i znajdującego się za nim kolektora odwodnienia. Budowa obiektu ES-15b w dużej części przebiegała również pod ruchem kolejowym (rys. 5).



Rysunek 5. Ruch kolejowy w czasie budowy obiektu oraz widok od strony peronu. [2]

Posadowienie obiektu zrealizowano w postaci sztywnych kolumn SCC o średnicy 1,0m i długościach w zakresie 12,0-20,6m [3]. Z kolei na dojazdach do obiektu zastosowano szerokoprzestrzenną wymianę gruntów wraz z konsolidacją nasypami drogowymi o docelowej wysokości (rys. 6). Ze względu na różnice osiadań dojazdów i samego obiektu, skrzydła i ściany czołowe wykonano w postaci murów oporowych z gruntu zbrojonego w systemie biernym, co pozwoliło na etapowanie prac przy realizowaniu konstrukcji muru, gdzie w pierwszej kolejności wykonuje się bloki z gruntu zbrojonego, a po ustabilizowaniu się deformacji podłoża można dokonać instalacji elementów oblicowania w postaci betonowych bloczków drobnowymiarowych. Etapowanie wznoszenia ścian oporowych przebiegało równoległe do wykonywania zasympki obiektu (rys. 6). Cały proces wznoszenia obiektu, ścian oporowych i nasypu podlegał monitorowaniu osiadań i bieżącym kalibracjom modeli obliczeniowych.



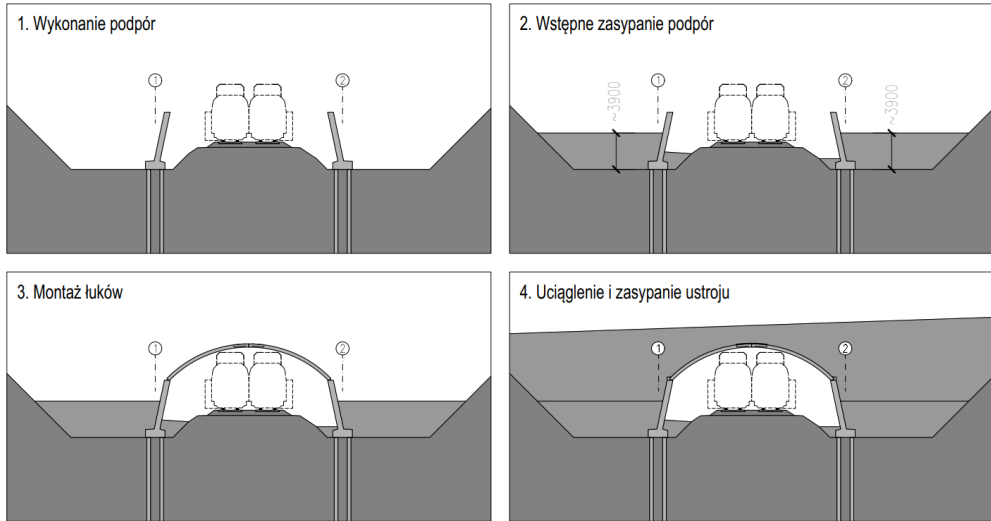
Rysunek 6. Widok na nasypy drogowo oraz etapowe wznoszenie ścian oporowych. [2][4]

3. Analiza wpływu tarcia negatywnego w obliczeniach

Firma Optem w ramach niniejszej realizacji opracowała Projekt Technologiczny prefabrykowanych łuków w systemie optemARCH. Pod względem konstrukcyjnym ES-15b w ciągu Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej to obiekt powłokowo-gruntowy. Jest to konstrukcja odmienna od klasycznych ustrojów przeszłowych opieranych na łożyskach. Różnicą jest to, że nie tylko podpory są elementem opieranym na i oddziaływującym wraz z gruntem, lecz sama powłoka, którą tworzą łuki optemARCH współpracuje z tzw. zasypką inżynierską tj. zagęszczonym gruntem o specjalnych parametrach. W przypadku tego typu konstrukcji nie należy rozpatrywać elementów przeszłowych łuków jako oddzielny element, lecz jako integralną część całego ustroju. Przemawia za tym wrażliwość konstrukcji gruntowo-powłokowych z prefabrykatów żelbetowych zarówno na zachowanie gruntu za ścianami podpór, jak i na posadowienie fundamentów, czy nawet warunki panujące w sąsiedztwie obiektu.

Wczesne opracowania projektowe obnażyły potrzebę współpracy pomiędzy firmami Optem, Keller i Budimex z uwagi na interakcję poszczególnych elementów konstrukcji obiektu ES-15b. Problemem okazały się skomplikowane warunki gruntowe, które szerzej zostały opisane w artykule „*Optymalizacja pod pełną kontrolą. Posadowienie obiektu ES-15B w ramach budowy Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej*” [5]. Należy przywołać uzyskiwane wartości osiadań. Dla konstrukcji nośnej posadowionej na sztywnych kolumnach SSC osiadania fundamentu w pierwszych analizach wynosiły niecałe 55mm. Konstrukcja murów oporowych (skrzydeł) w pierwszym etapie została zaprojektowana z gruntu zbrojonego z oblicowaniem z bloczków drobnowymiarowych w systemie czynnym optemBLOK. Po przeprowadzeniu obliczeń uzyskano osiadania muru ok. 200mm, podczas gdy osiadania nasypów na dojeździe do obiektu sięgały 200-270mm. Takie różnice uznano za nieakceptowalne. Obawy budziły nie tylko znaczne wartości osiadań nasypów, ale także ich potencjalny wpływ na pracę konstrukcji nośnej ES-15b. Kolejne kroki projektowe miały na celu ograniczyć osiadania nasypu oraz murów oporowych, a także wykazać w sposób numeryczny wzajemną interakcję poszczególnych elementów.

W obrębie nasypów oraz murów oporowych przyjęto wymianę gruntów rodzimych zgodnie z Projektem Keller. Dodatkowo zdecydowano o możliwie wczesnym wykonaniu nasypów na dojazdach do obiektu (ze względów wykonawczych w odległości 10m od konstrukcji), aby wymusić konsolidację gruntów jeszcze przed wzniesieniem obiektu. W wyniku prowadzonych prac zmieniono układ kolumn pod fundamentem. Kolejnym zabiegiem było zasypanie podpór monolitycznych przed montażem łuków. Wysokość wstępnego zasypania to 3.90m powyżej poziomu posadowienia (wysokość całej podpory to 6.13m). Dopiero w dalszej kolejności możliwe było przystąpienie do montażu łuków (rys. 7). Niosło to za sobą szereg korzyści. Powodowało to pożądane, wczesne obciążenie gruntu w bezpośrednim sąsiedztwie podpór obiektu, a także pozytywnie wpływało na pracę konstrukcji w fazach wznoszenia obiektu (część rozporu została przejęta przez grunt zasypowy za podporą) jak i w etapie jego późniejszej eksploatacji.



Rysunek 7 Etapy wznoszenia obiektu

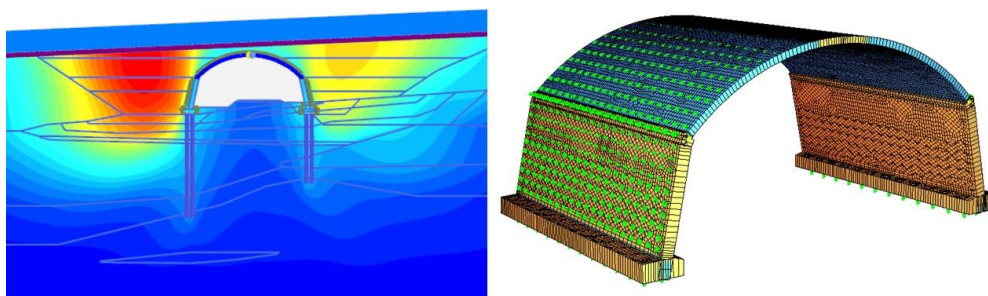
Przyjęty mur oporowy został przeprojektowany. Mając na względzie nośność, a także trwałość i estetykę samego oblicowania z bloczków drobnowymiarowych przyjęto system bierny. Warstwa licowa nie stanowiła już elementu kotwiącego geosiatki, a jedynie estetyczną osłonę. W przypadku znacznych różnic osiadań pomiędzy elementami pozwoliło to zapobiec powstawaniu rys i pęknięć oblicowania. Natomiast warstwa nośna z półmateracy gruntowych zbudowanych z geosyntetyków została wykonana stopniowo (rys. 8). Po każdym z etapów przewidziano 14-dniowy okres konsolidacji przed dalszym wznoszeniem muru.



Rysunek 8 Mur w systemie biernym z oblicowaniem z bloczków drobnowymiarowych optemBLOK w trakcie budowy

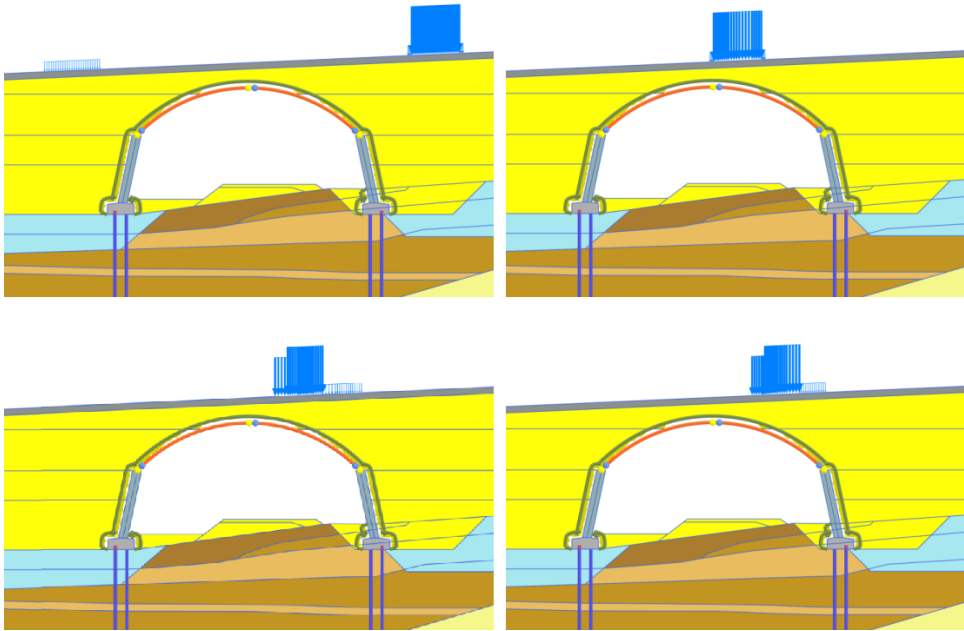
Jak pokazały późniejsze, dodatkowe analizy przy użyciu oprogramowania Plaxis 2D w płaskim stanie odkształcenia, opracowane wewnętrznie przez firmę Optem, a także przygotowane niezależnie także przez firmę Keller, znaczna różnica osiadań w relacji nasyp - fundamenty konstrukcji wpływa niekorzystnie na wartości sił wewnętrznych w ścianach i łukach. Wzrost sił przekrojowych powodowało tarcie negatywne pomiędzy znacznie osiadającym blokiem gruntu na dojazdach, a zasypką zalegającą bezpośrednio na konstrukcji.

Nawet pomimo licznych zabiegów mających na celu ograniczenie różnicy osiadań pomiędzy analizowanymi elementami do akceptowalnego zakresu należało uwzględnić wpływ tarcia negatywnego, które wciąż występowało (choć odpowiednio mniejsze niż pierwotnie). Maksymalne osiadania nasypu w sąsiedztwie podpory P1 zgodnie z Projektem opracowanym przez Keller uwzględniającym konsolidację wynoszą ostatecznie 103mm, natomiast osiadanie samej podpory P1: 33mm.



Rysunek 9. Od lewej: Przebieg przemieszczeń nasypu – model Plaxis 2D (Keller); Wizualizacja modelu MES w programie Sofistik (Optem)

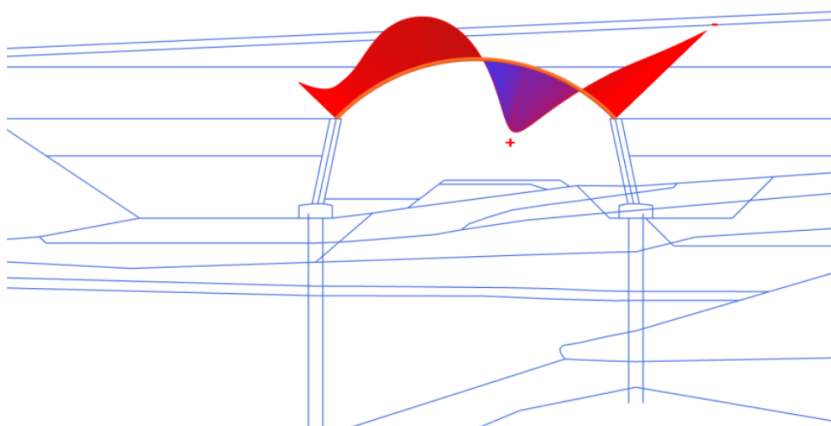
Należy nadmienić, że firma Optem w swoich analizach statyczno-wytrzymałościowych łuków od początku posługiwała się trójwymiarowym modelem belkowo-powłokowym wygenerowanym przy użyciu oprogramowania Sofistik (rys. 9). Grunt jako ośrodek nie został wymodelowany w całości, a jedynie odwzorowano poszczególne oddziaływania z nim związane (parcie / odpór na ścianach, podparcie podatne). Natomiast tarcie negatywne nie zostało uwzględnione w takim modelu. Chcąc nadal korzystać z zalet zastosowanego pierwotnie podejścia obliczeniowego należało uwzględnić powyższe, negatywne oddziaływanie w bazowych obliczeniach poprzez kalibrację modelu MES. W tym celu poszczególne fazy wznoszenia konstrukcji odwzorowane w modelu bazowym (Sofistik) zostały porównane z analogicznymi stanami w analizie geotechnicznej (Plaxis 2D). Porównanie sił wewnętrznych wykonano też dla fazy użytkowej. Uwzględnienie obciążenia zmiennego, ruchomego w analizie statyczno-wytrzymałościowej jest oczywiste jednak, jak pokazuje praktyka inżynierska, nieczęsto uwzględnia się obciążenie ruchome w analizie Plaxis 2D. W celu porównania wyników wytypowano 4 różne ustawienia obciążenia LM1 (rys. 10).



Rysunek 10. Ustawienia pojazdu LM1 – model Plaxis 2D (Keller)

W porównaniu posłużono się wartościami charakterystycznymi. Dla przykładu wartość minimalnego momentu zginającego na wezłowie P2 wynosi: -255.3 kNm/m (Plaxis); -160 kNm/m (Sofistik). Wartość maksymalnego momentu zginającego w ok. $\frac{3}{4}$ rozpiętości łuku to: 134.3 kNm/m (Plaxis); 97 kNm/m (Sofistik) (rys. 11 i 13). Dla modelu 2D w przypadku pierwszego przekroju charakterystyczny moment zginający jest o 59.5% większy, a w przypadku drugiego o 38.5% większy. W konsekwencji momenty zginające w analizowanych przekrojach zostały zwiększone w procesie wymiarowania o 60%.

Zwiększeniu momentów zginających nie towarzyszyło zwiększenie sił normalnych w łukach. Nie dokonano kalibracji sił normalnych z dwóch powodów. Po pierwsze wartości sił normalnych w łuku przy wezłowie podpory P2 są zbliżone do siebie w obu modelach: -918 kN/m (Plaxis), -961 kN/m (Sofistik). Różnica (<5%) wynika m.in. z dokładniejszego odwzorowania faz pracy łuku w programie Sofistik (rys. 12 i 14).

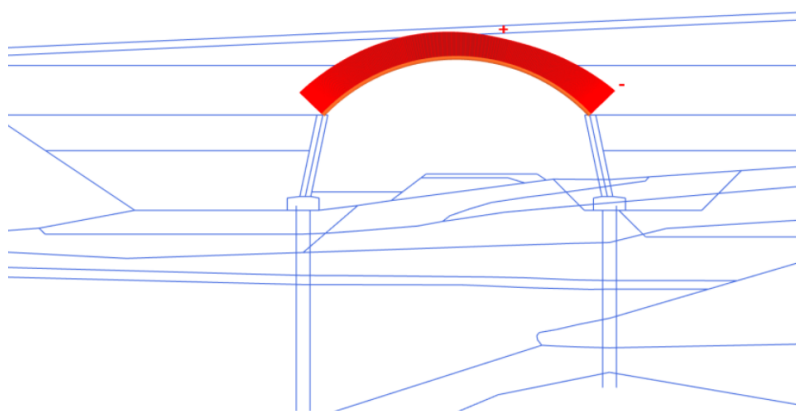


Bending moments M (scaled up 0,0313 times)

Maximum value = 134,3 kN m/m (Element 72 at Node 51569)

Minimum value = -255,3 kN m/m (Element 42 at Node 22187)

Rysunek 11. Wykres momentów zginających w łuku optemARCH. Minimalny moment na węzłowi P2. Wartości charakterystyczne w fazie użytkowej [kNm/m] – model Plaxis 2D (Keller)

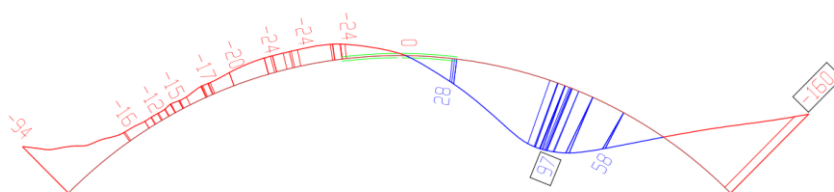


Axial forces N (scaled up $2,50 \cdot 10^{-3}$ times)

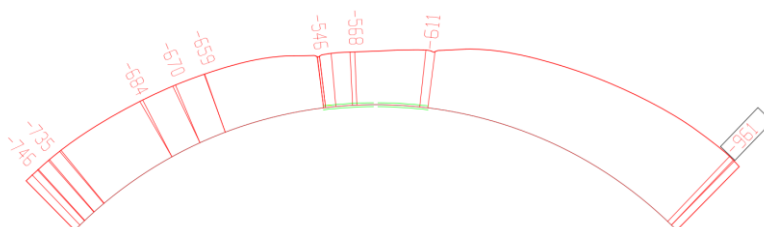
Maximum value = -640,1 kN/m (Element 8 at Node 56573)

Minimum value = -910,8 kN/m (Element 42 at Node 22187)

Rysunek 12. Wykres odpowiadających sił normalnych w łuku optemARCH. Wartości charakterystyczna [kN/m] – model Plaxis 2D (Keller)



Rysunek 13. Wykres momentów zginających w łuku optemARCH. Minimalny moment na węzłowie P2. Wartości charakterystyczne w fazie użytkowej [kNm/m] – model Sofistik (Optem)



Rysunek 14. Wykres odpowiadających sił normalnych w łuku optemARCH. Wartości charakterystyczna [kN/m] – model Sofistik (Optem)

Ponadto przyjęcie do wymiarowania przekrojów łuków odpowiednio zwiększonych momentów zginających bez zwiększania sił normalnych jest w tym przypadku podejściem bezpiecznym. Przy otrzymywanym poziomie sił normalnych nie ma niebezpieczeństwa miażdżenia betonu w przekrojach. Natomiast zwiększenie momentów zginających bez zwiększenia sił normalnych w przekroju zginanym ze ściskaniem powoduje jego większe wyężenie.

W końcowej fazie projektowej zdecydowano o zwiększeniu zbrojenia w ustroju nośnym łuków. Dobrane zbrojenie przed i po kalibracji modelu MES w programie Sofistik zestawiono w tablicy 1.

Tablica 1. Zestawienie zapotrzebowania na zbrojenie w analizowanych przekrojach.

Wybrane przekroje charakterystyczne	Dobre zbrojenie [cm ² /m]				przyrost [cm ² /m]	przyrost [%]
	przed kalibracją		po kalibracją			
1/4 L łuku - zbrojenie górą	Φ12/16 co 150mm	10.47	Φ16 co 150mm	13.40	2.93	28.0%
1/2 L (klucz łuku) - zbrojenie górą	Φ16 co 150mm	13.40	Φ16/20 co 150mm	17.17	3.77	28.1%
1/2 L (klucz łuku) - zbrojenie dołem	Φ16 co 150mm	13.40	Φ16/20 co 150mm	17.17	3.77	28.1%
3/4 L łuku - zbrojenie dołem	Φ12/16 co 150mm	7.54	Φ16/20 co 150mm	13.40	5.86	77.8%
Węzłowie łuku P2 - zbrojenie górą	Φ20 co 150mm	20.94	Φ25 co 150mm	32.72	11.78	56.3%

Szczegółowa analiza osiadań wymagana była także ze względu na charakter pokonywanej przeszkody na tym odcinku OMT. Z uwagi na skrajnię kolejową pod obiektem ES-15b i częściowo znajdujący się pod nim peron kolejowy wraz z powiązaną infrastrukturą zdecydowano o podniesieniu całej konstrukcji o 50mm, tak aby zapewnić bezpieczny zapas wobec skrajni kolejowej.

4. Wnioski

Podczas prac projektowych każdorazowo warto spojrzeć szerzej na cały kontrakt. Chociaż każdy z obiektów jest inny, to warto zaznaczyć, iż sąsiadujący z rozpatrywanym ES-15b obiekt również wymagał wzmocnienia w następstwie szczegółowych analiz wytrzymałościowych i geotechnicznych.

Trudności w realizacji obiektu ES-15b wynikały nie tylko z konieczności skoordynowania wielu elementów konstrukcji i panujących niekorzystnych warunków gruntowych, ale także z faktu, iż obiekt w sposób bezkolizyjny łączy trasę drogi publicznej i linię kolejową. W konsekwencji wymagana była współpraca z dwoma inwestorami publicznymi jednocześnie (GDDKiA i PKP PLK).

Proces opracowywania projektów powinien być zawsze procesem otwartym. Nawet jeśli przygotowanie Projektu Technologicznego Prefabrykatów Łukowych nie obejmuje analizy podpór, posadowienia czy pozostałych elementów, nie należy ograniczać się do wydzielonego zakresu umownego. Praca konstrukcji nie zna sztucznych podziałów przyjętych przez projektantów na potrzeby formalne.

Przykład obiektu ES-15b pokazuje jak istotne jest w przypadku konstrukcji gruntowo-powłokowych zagadnienie tarcia negatywnego zasypki, która na skutek różnicy osiadań między dojazdami, a samym obiektem posadowionym na sztywnych palach, generuje dodatkowe obciążenie. Jak się okazało, obciążenie to nie było pomijalne, generując niemal 60% wzrost momentu zginającego w najgorszym przekroju prefabrykatu łukowego. Brak uwzględnienia tego dodatkowego oddziaływania prowadziłoby do przekroczenia stanów granicznych nośności i użyteczności konstrukcji. To pokazuje jak ważne są w takich przypadkach dodatkowe analizy, między innymi w postaci modeli geotechnicznych w płaskim stanie odkształcenia, które pozwalają jednocześnie uwzględnić sposób posadowienia obiektu, warunki gruntowe na dojazdach, etapowanie oraz konsolidację gruntów w czasie.

Dodatkowy czas projektowania w ścisłej współpracy Projektantów różnych firm oraz Wykonawcy doprowadził do osiągnięcia dobrych, optymalnych i przede wszystkim bezpiecznych rozwiązań. Po zdiagnozowaniu problemu nierównomiernych osiadań obiekt-nasyp drogowy, można było zwyczajnie zastosować wzmocnienie wgłębne pod dojazdami do obiektu w celu wyrównania osiadań. Takie podejście wiązałoby się jednak z nieporównywalnie większymi kosztami niż dodatkowe dobrojenie prefabrykatów łukowych, zastosowanie systemu biernego murów oporowych oraz etapowania wznoszenia nasypów drogowych i zasypywania obiektu w celu wykorzystania konsolidacji gruntów.

W pracy zawodowej napotykamy czasami realizacje, które przebiegają stosunkowo sprawnie, a wszelkie problemy zostają szybko rozwiązywane. Natomiast to obiekty przy których spędzamy wiele godzin, które wymagają od nas szerszego spojrzenia i uwzględniania wielu niecodziennych zagadnień oraz współpracy i rozpatrywania punktów widzenia różnych stron kontraktu zapadają nam prawdziwie w pamięć. To one pozwalają nam wymieniać się doświadczeniami i stale rozwijać.

Literatura

- [1] Projekt wykonawczy. Budowa obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej. Zadanie 1: węzeł Chwaszczyno (bez węzła) – węzeł Żukowo (bez węzła). Obiekt: Estakada ES-15b. Opracowanie: Transprojekt Gdański
- [2] Strona internetowa inwestycji: metropolitalna-zadanie1.pl
- [3] Projekt wykonawczy. Budowa Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej. Posadowienie pośrednie obiektu ES-15b na sztywnych kolumnach SCC. Opracowanie: Keller Polska
- [4] Materiały własne firmy Budimex SA
- [5] Artykuł autorstwa Keller Polska: „Optymalizacja pod pełną kontrolą. Posadowienie obiektu ES-15B w ramach budowy Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej”, Wrocławskie Dni Mostowe 2024
- [6] Projekt technologiczny prefabrykatów łukowych optemARCH. Budowa Obwodnicy Metropolii Trójmiejskiej. Opracowanie: Optem Sp. z o.o.
- [7] Materiały własne firmy Optem Sp. z o.o.

THE IMPACT OF THE NEGATIVE SKIN FRICTION ON SOIL-SHELL STRUCTURES, AS THE EXAMPLE OF THE ES-15B FLYOVER IN THE TRI-CITY METROPOLITAN BYPASS

Summary

This paper presents an example of recently designed and built bridge structure – the ES-15B flyover. Construction was completely redesigned in order to optimize time and cost of the erection. Cooperation between the contractor and civil engineers representing different branches turned out to be vital during this process. The main challenge was to reduce settlement of the superstructure, retaining walls and approach embankments. A wide range of solutions was applied to obtain acceptable settlement level. Additionally, the negative skin friction effect was identified acting between superstructure and approach embankments. This phenomenon was included in the various numerical calculation methods and verified, resulting in the reinforcement increase in the arch superstructure. Construction of ES-15B is currently in the final phase of execution and is yet to be opened for the traffic.