



# Oszczędność czasu, optymalizacja rozwiązań projektowych

na przykładzie realizacji obiektów kolejowych  
z prefabrykatów żelbetowych

mgr inż. Bartłomiej Czerwonka  
mgr inż. Kamil Matczak  
mgr inż. Karolina Nicewicz  
mgr inż. Bogumiła Strzyżyk-  
Wieloszewska  
Optem

**B**iurowo projektowe Optem przeprowadziło szereg optymalizacji obiektów kolejowych w ścisłej współpracy z wykonawcami oraz projektantami pierwotnych konstrukcji. Dzięki znajomości organizacji robót oraz harmonogramów przedsięwzięć autorzy projektów technologicznych obiektów mogli tak dopracować szczegóły pierwotnych rozwiązań projektowych, aby otrzymać efekt najbardziej odpowiadający generalnym wykonawcom. Były to odpowiednio najniższa cena konstrukcji oraz cena ze szczególnym naciskiem na czas realizacji obiektu. W drugiej części artykułu została zaprezentowana analiza wpływu stosowania zamków pomiędzy prefabrykatami. Autorzy artykułu przeprowadzili analizę porównawczą pracy pojedynczego segmentu prefabrykowanej konstrukcji o przekroju prostokątnym, z układem współpracujących prefabrykatów, połączo-

## **I SUMMARY**

**Time saving and design solutions optimization based on the example of railway bridge structures made of precast concrete elements**

The article presents the variety of precast concrete elements optemARCH and optemFRAME. It describes how good cooperation between the participants of an investment process can provide the best construction solution and fine economic results.

The paper also presents the advantages and disadvantages of using a reinforced concrete connection between two precast concrete elements based on static calculations.

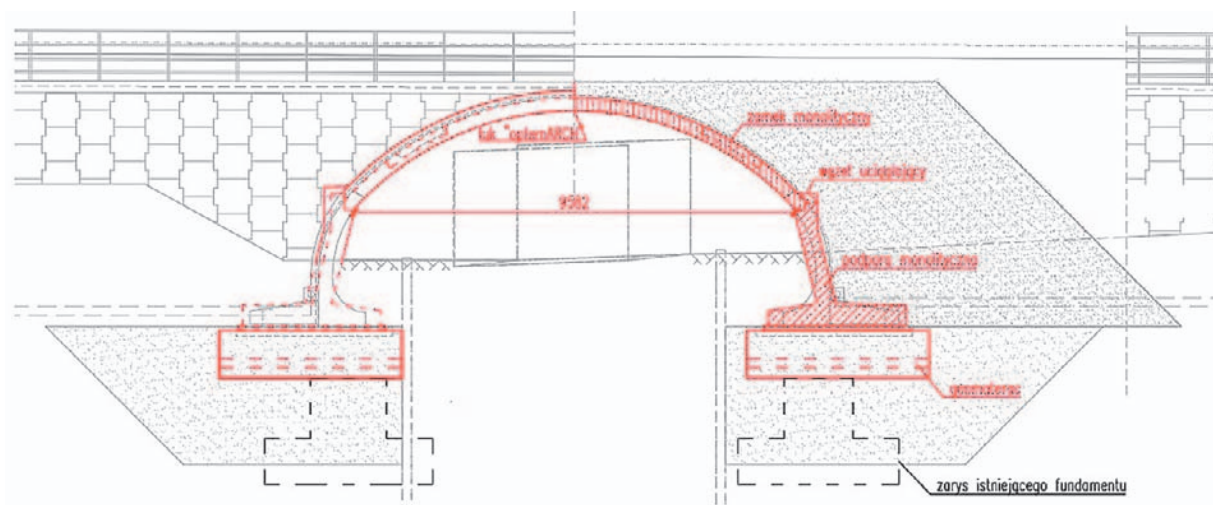
**Keywords:** precast concrete arch bridge system, railway, shell, design, concrete connection



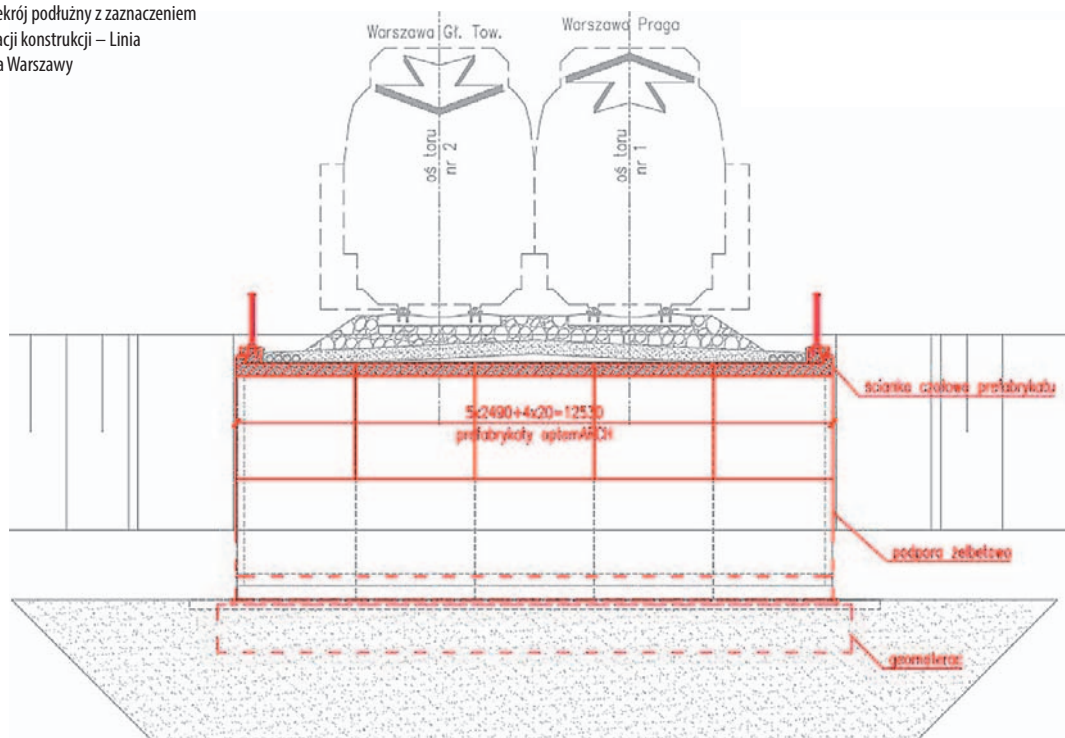
Fot. 1. Węzeł uciągający



Fot. 2. Zmontowane przejście pod torami – Linia Obwodowa Warszawy



Rys. 1. Przekrój podłużny z zaznaczeniem optymalizacji konstrukcji – Linia Obwodowa Warszawy



Rys. 2. Przekrój poprzeczny z zaznaczeniem optymalizacji konstrukcji – Linia Obwodowa Warszawy

nych zamkami. W podsumowaniu podano wady i zalety sprawdzanych rozwiązań.

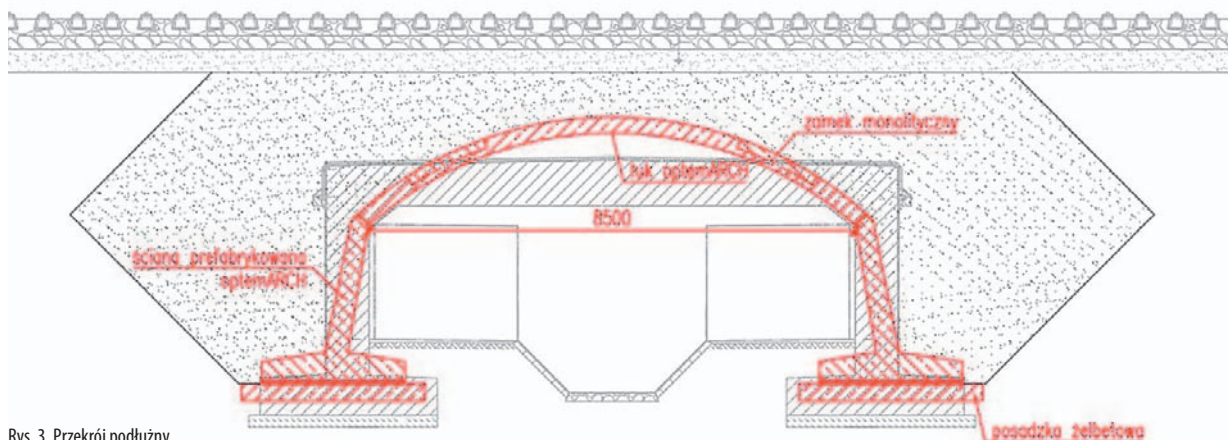
### Linia Obwodowa Warszawy

**Kiedy nie ma presji czasu, można zastosować podpory monolityczne**

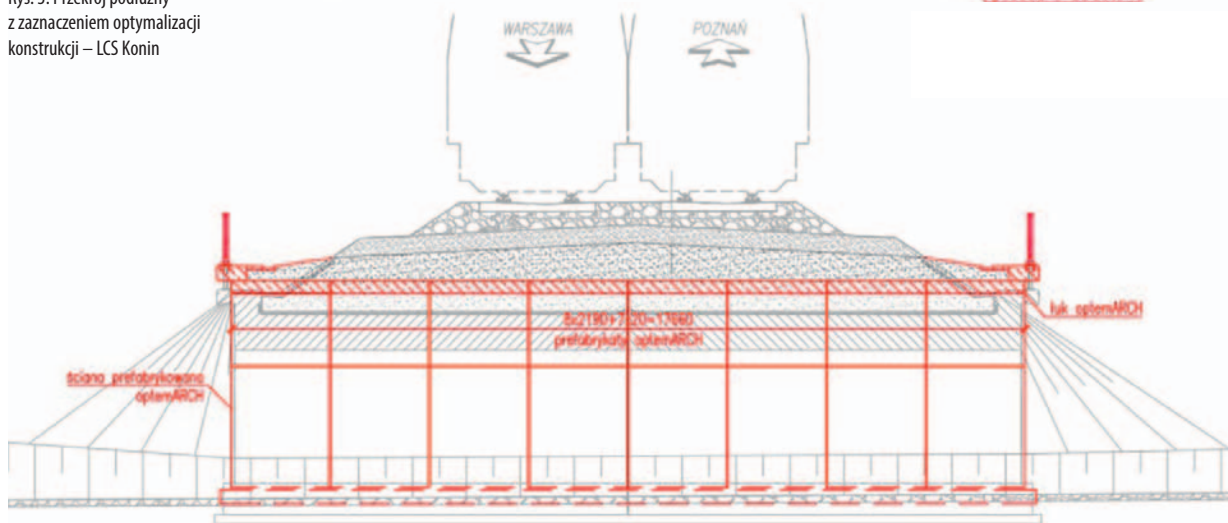
Inwestorem projektu jest PKP Polskie Linie Kolejowe SA, a generalnym wykonawcą STRABAG Sp. z o.o. Projekt został opracowany przez biuro projektowe Transprojekt Gdański Sp. z o.o.

Zadanie inwestycyjne polegało na remoncie linii obwodowej w Warszawie (odc. Warszawa Gołębki – Warszawa Zachodnia – Warszawa Gdańska). Projekt budowlany zakładał rozbiórkę istniejącego dwuprzęsłowego wiaduktu przeprowadzającego ciąg pieszy pod układem torowym. Pierwotnie w jego miejsce zaprojektowano jednoprzęsłowy, w całości prefabrykowany, wiadukt kolejowy. Jest to bardzo dobre rozwiązanie z uwagi na czas realizacji inwestycji oraz jakość wykonanych elementów. Montaż takich obiektów (10 podpór, 5 łukowych ustrojów nośnych) ▶

Artykuł omawia różnorodność rozwiązań z zastosowaniem prefabrykatów wielkogabarytowych do budowy mostów na przykładzie realizacji kolejowych. Szczegółowo została opisana analiza rozwiązań projektowych wraz z pokazaniem zmian w pierwotnych rozwiązaniach.



Rys. 3. Przekrój podłużny z zaznaczeniem optymalizacji konstrukcji – LCS Konin



Rys. 4. Przekrój poprzeczny z zaznaczeniem optymalizacji konstrukcji – LCS Konin



Fot. 3. Mury z gruntu zbrojonego z oblicowaniem z paneli żelbetonowych – Linia Obwodowa Warszawy

► zajmuje od dwóch do trzech dni. Elementy produkowane są w zakładach prefabrykacji, które posiadają odpowiednie certyfikaty jakości. Prefabrykaty są wytwarzane w halach, co chroni przed wpływem czynników pogodowych. Dzięki temu warunki dojrzewania elementów w formach są zawsze takie same, co pozwala na uzyskanie jednolitej, estetycznej powierzchni licowej.

Na etapie realizacji inwestycji okazało się, że istniejący odcinek linii kolejowej może być całkowicie wyłączony spod ruchu, co spowodowało, że czynnik czasu wykonania obiektów mostowych przestał być tak istotny. Z tego powodu producent prefabrykatów zaproponował rozwiązanie polegające na oparciu prefabrykowanych żelbetonowych łuków na podporach monolitycznych. Układ ten spięto w ramę, wykonując węzły monolityczne (fot. 1). Rozwiązanie to zostało uzgodnione i zaakceptowane przez głównego projektanta. Dzięki współpracy wykonawcy, projektanta oraz biura projektowego Optem udało się również zoptymalizować posadowienie obiektu. Zamiast trzech metrów wymiany gruntu i w związku z tym konieczności wbicia ścianki szczelnej, zastosowano

materace kruszywowe zbrojone geosiatkami o grubości 1 m. Do współpracy wykorzystano również pozostawione fundamenty istniejącego obiektu. Dzięki temu rozwiązaniu znacznie ograniczono liczbę wykopów do wykonania. Kolejnym aspektem, na który należy zwrócić uwagę, jest dobór rozwiązania technologii wykonania ścian na wlotach i wylotach obiektów. W opisywanych inwestycjach wykonawcy obiektów za każdym razem zdecydowali się na inne rozwiązanie. W tym wypadku inżynierowie z firmy Strabag zdecydowali się na zastosowanie gruntu zbrojonego z oblicowaniem panelami wielkogabarytowymi. Rozwiązanie to pozwala w dość szybkim tempie wznieść mur oporowy o estetycznym wyglądzie. Należy jednak przy tym pamiętać o doborze odpowiedniej jakości zasypki i trzymać się odpowiedniego reżimu technologicznego, aby nie dopuścić do odchyłek w geometrii murów.

### LSC Konin, linia kolejowa E20 na odcinku Warszawa – Poznań, szlak Podstolice – Kostrzyn Wielkopolski

#### Zmiana dokumentacji projektowej – oszczędność czasu w realizacji

Inwestorem były PKP Polskie Linie Kolejowe SA, a generalnym wykonawcą Torpol SA. Twórcą koncepcji jest biuro projektowe URS Polska Sp. z o.o.

Pierwotnie została zaprojektowana jednoprzęsłowa monolityczna rama żelbetowa. Takie rozwiązanie jest powszechnie stosowane w budownictwie mostowym ze względu na łatwość oraz niskie koszty wykonania. Jednak przez konieczność podziału robót na etapy wykonawca zdecydował się na całkowitą zmianę projektu budowlanego mostu w 267,333 kilometrze.

Głównym założeniem inwestycji było zachowanie ciągłości ruchu kolejowego, a prowadzenie robót w bezpośredniej bliskości torów możliwe było tylko przez cztery godziny w porze nocnej. Ze względu na możliwości organizacji robót na budowie zdecydowano się na nowy, jednoprzęs-



Fot. 4. Most przygotowany do drugiego etapu montażu – LCS Konin



Fot. 5. Nocny montaż prefabrykowanych łuków – LCS Konin



Fot. 6. Widok na monolityczny mur od czoła mostu – LCS Konin

słowy most żelbetowy wykonany z prefabrykatów. Ustrój nośny stanowią żelbetowe łuki podparte przegubowo na w całości sprefabrykowanych ścianach. Zrezygnowano z wykonania uciąglenia ław fundamentowych, dzięki czemu instalacja łuków mogła nastąpić już następnej nocy. Montaż połowy obiektu trwał tylko dwie doby. Aby zapewnić współpracę poszczególnych elementów, w łukach wykonano zamki, a prefabrykaty ścian ustawiono na płycie monolitycznej zbrojonej prętami stalowymi. Bezpośrednio po wykonanym montażu wykonawca mógł przejść do prac wykończeniowych, tj. wykonania uszczelnień przerw dylatacyjnych, wypełnienia betonem zamków pomiędzy prefabrykatami łukowymi oraz izolacji obiektu.

Spośród różnych wariantów wykonania murów oporowych wykonawca wybrał wariant ścian monolitycznych na wlocie i wylocie obiektu mostowego. Rozwiązanie

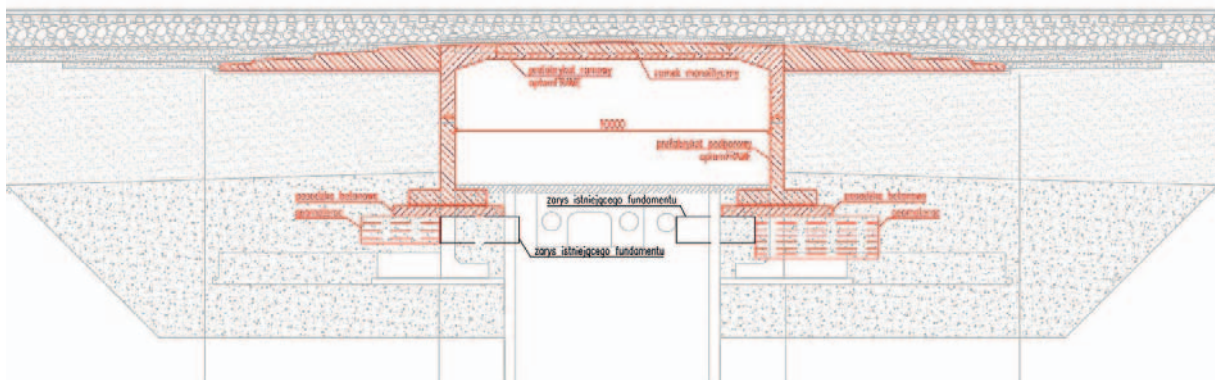
to jest powszechnie stosowane w budownictwie mostowym, jednak przy jego wyborze trzeba zwrócić uwagę, że roboty zasypowe można rozpocząć dopiero po wykonaniu i zaizolowaniu muru, a samo wykonanie ścian jest dość czasochłonne.

**LCS Kutno „Modernizacja linii kolejowej E20 na odcinku Warszawa – Poznań – pozostałe roboty, odcinek Sochaczew – Swarzędz – prace przygotowawcze”**

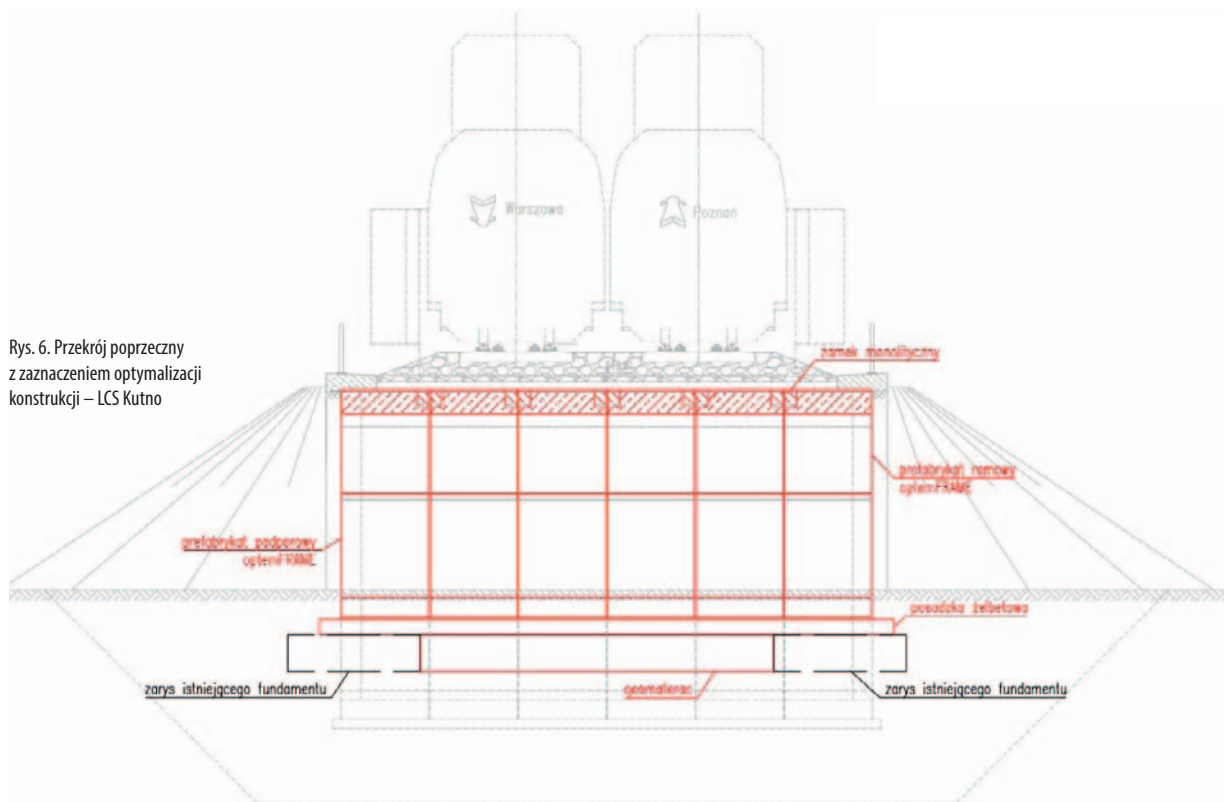
**Rekord ciężaru prefabrykatu, bardzo krótki czas na budowę wiaduktu**

Investorem projektu są PKP Polskie Linie Kolejowe SA, generalnym wykonawcą jest Strabag Sp. z o.o., a projekt jest autorstwa URS Polska Sp. z o.o.

Biuro projektowe Optem na zlecenie wykonawcy – firmy Strabag Sp. z o.o. – opracowało projekt wykonawczy za-



Rys. 5. Przekrój podłużny z zaznaczeniem optymalizacji konstrukcji – LCS Kutno



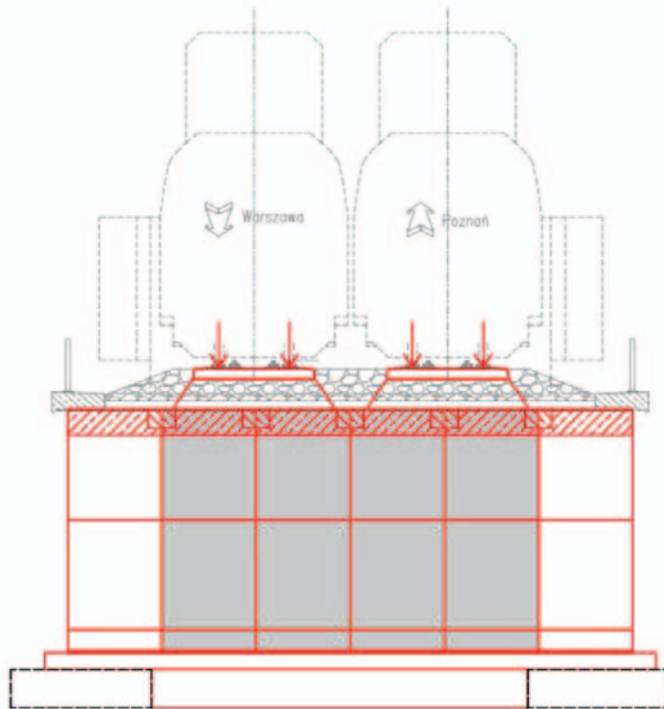
Rys. 6. Przekrój poprzeczny z zaznaczeniem optymalizacji konstrukcji – LCS Kutno



Fot. 7. Montaż prefabrykowanych segmentów górnych – LCS Kutno



Fot. 8. Nakładanie izolacji przy jednoczesnym wznoszeniu murów oraz wykonywaniem zasypek – LCS Kutno



Rys. 7. Rozkład obciążenia kolejowego na poszczególne segmenty – LCS Kutno

- mienny dla wiaduktu kolejowego w kilometrze 130,563. W tym przypadku producent prefabrykatów nie wprowadził istotnych zmian w geometrii konstrukcji. Głównym wyzwaniem przy realizacji tego obiektu był czas jednego miesiąca na jego wykonanie. Wykonawca w tym terminie musiał dokonać rozbiórki istniejącego podtorza, nasypów i skarp oraz jednoprzęsłowego obiektu mostowego, a następnie przystąpić do budowy nowego wiaduktu wraz z odtworzeniem trasy linii kolejowej. Z tego powodu liczbę robót do wykonania należało ograniczyć do minimum. W pierwszej kolejności wypłycono poziom posadowienia obiektu. Wymianę gruntu zastąpiono matracem kruszowym wzmocnionym geosiatkami oraz wykorzystano fundamenty istniejącego obiektu, dzięki temu ograniczono rozkop oraz uniknięto stosowania grodzic stalowych

do jego zabezpieczenia. Następnie wykonano żelbetową płytę fundamentową, a na niej ustawiono prefabrykaty podpór. Były one w całości sprefabrykowane, dlatego tak jak w przypadku realizacji w Koninie uniknięto wykonania monolitycznych dolewek, a do montażu górnych elementów można było przystąpić bez zbędnego przestoju. Na etapie projektu lokalizację przegubu w konstrukcji nośnej wiaduktu dobrano tak, aby ciężar górnego prefabrykatu nie przekraczał 34 t.

Ze względu na małą ilość dostępnego miejsca montaż prefabrykatów mógł się odbywać tylko z jednego ustawienia dźwigu. Górny element prefabrykowany był jak dotąd najcięższym, jaki firma Optem wyprodukowała. Niewątpliwą zaletą systemów prefabrykowanych jest możliwość przystąpienia do prac izolacyjnych niemalże od razu po ich ustawieniu. W celu włączenia sąsiadujących ze sobą prefabrykatów do współpracy wykonano monolityczne zamki. Na etapie projektu dokonano zmiany murów oporowych z prefabrykowanych na mury z gruntu zbrojonego z oblicowaniem z drobnowymiarowych bloczków betonowych optemBLOK. Dzięki temu otrzymano korzystniejszą cenę. Ściany były ustawiane wraz z postępowaniem zasypek przyobiektowych, dlatego nie generowało to wydłużenia realizacji w czasie. Dodatkowym atutem było to, że siatki z murów oporowych były prowadzone przez całą szerokość nasypu, zapewniając jego większą stateczność. Prace ukończono w wymaganym terminie i po miesiącu ruch kolejowy na obiekcie został przywrócony.

Pomimo krótkiego czasu realizacji obiektu prace przebiegały dość sprawnie. W dużej mierze dzięki temu, że wykonawca kładł spory nacisk na szczegółowość rozwiązań projektowych. Każdy detal projektu został dogłębnie omówiony oraz przeanalizowany. Dzięki temu podczas budowy nie dochodziło do zbędnych przestojów.

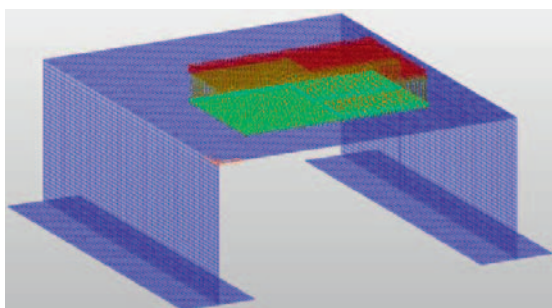
### Porównanie wpływu modelowania zamków na wartości sił wewnętrznych w konstrukcji prefabrykowanej

Nowo budowane obiekty kolejowe muszą wykazać się nośnością w klasie obciążenia  $k = +2$  lub  $k = +3$  według

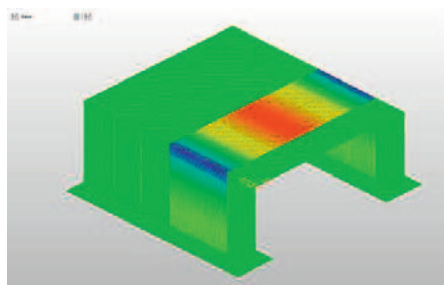
Przypadek obciążenia	Analizowany przekrój	Model z niezależnymi segmentami		Model z zamkami pomiędzy prefabrykatami	
		Przęsło	Naroże	Przęsło	Naroże
		Mxx	Mxx	Mxx	Mxx
		kNm/m	kNm/m	kNm/m	kNm/m
	Lokomotywa SM 48	174,2	-102,9	86,9	-50,9
	Ciągar własny + lokomotywa SM 48	437,1	-306,5	349,4	-251,3



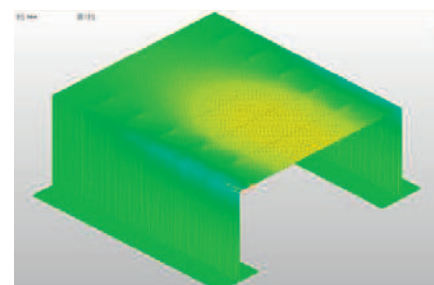
Fot. 9. Roboty przygotowawcze do ułożenia podtorza – LCS Kutno



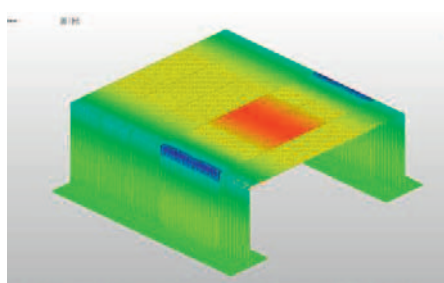
Rys. 8. Wizualizacja obciążenia lokomotywą SM 48 na obiekcie



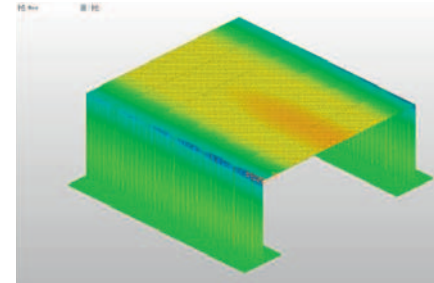
Rys. 9. Mapa momentów  $M_{xx}$  od obciążenia ruchomego, brak zamków scalających konstrukcję



Rys. 10. Mapa momentów  $M_{xx}$  od obciążenia ruchomego, uwzględnienie współpracy pomiędzy segmentami



Rys. 11. Mapa momentów  $M_{xx}$  od obciążenia charakterystycznego, brak zamków scalających konstrukcję



Rys. 12. Mapa momentów  $M_{xx}$  od obciążenia charakterystycznego, uwzględnienie współpracy pomiędzy segmentami

PN-85/S-10300. Obciążenia te są największymi typowymi obciążeniami, jakie występują na obiektach infrastrukturalnego budownictwa mostowego. Na przykładzie wiaduktu kolejowego w kilometrze 130,563 przeprowadzono analizę porównawczą wartości sił wewnętrznych pomiędzy ustrojem, w którym poszczególne segmenty pracują niezależnie, a takim, gdzie w górnej części rygla są wykonane monolityczne zamki. Na rys. 7 pokazano rozkład obciążenia kolejowego na poszczególne prefabrykaty.

### Analiza porównawcza

Na potrzeby analizy stworzono model MES klasy  $e^2, p^3$  z wykorzystaniem czterowęzłowych elementów skończonych. Grubości elementów w poszczególnych przekrojach odpowiadają rzeczywistym wymiarom konstrukcji. Zamodelowano przegubowe oparcie rygli ram na ścianach. Na etapie projektowania dokonano analizy porównawczej zachowania się konstrukcji z niezależnymi segmentami i konstrukcji połączonej zamkami. Zaprezentowane wyniki odnoszą się do dwóch przypadków obciążenia. Pierwszy uwzględnia jedynie obciążenie ruchome na obiekcie, drugi to obciążenia stałe i ruchome. Lokomotywa usytuowana jest w środku rozpiętości przęsła.

Porównując uzyskane wyniki w charakterystycznych przekrojach konstrukcji, widać duży wpływ połączenia ze sobą sąsiadujących segmentów. Scalenie poszczególnych prefabrykatów powoduje uzyskanie bardziej równomiernego rozkładu sił wewnętrznych po szerokości obiektu. Spadek wartości momentu od obciążeń ruchomych wynosi 50%. Przy uwzględnieniu obciążeń stałych uzyskujemy redukcję momentu na poziomie 20% w przęśle oraz 18% w narożu.

### Wnioski z przeprowadzonej analizy

Zastosowanie połączenia monolitycznego pomiędzy sąsiednimi segmentami obiektów prefabrykowanych znacząco zmienia rozkład sił wewnętrznych w konstrukcji.

Powoduje zmniejszenie wartości w najbardziej wyężonym przekroju obiektu kosztem ich niewielkiego wzrostu w pozostałych segmentach. Skutkuje to zmniejszeniem wskaźnika zbrojenia dla prefabrykatu, co bezpośrednio redukuje koszt jego wytworzenia. Wadą takiego rozwiązania jest wydłużenie czasu wznoszenia obiektu z uwagi na konieczność wykonania prac monolitycznych. Jednak prostota konstrukcji zamka sprawia, że roboty te nie są tak bardzo czasochłonne, a stosowanie uciągłych powoduje spadek kosztów budowy prefabrykowanych obiektów mostowych.

### Podsumowanie

W artykule zaprezentowano różnorodność możliwości zastosowań prefabrykatów do budowy obiektów mostowych. Pokazano, jak dobra współpraca pomiędzy uczestnikami procesu inwestycyjnego (projektantem, wykonawcą oraz opracowującym projekty technologiczne) prowadzi do znacznych oszczędności zarówno materiałowych, jak i czasowych. Przedstawiono również wielowariantowość stosowania murów oporowych na wlotach i wylotach obiektów. W końcowej części artykułu przedstawiono zalety stosowania zamków pomiędzy prefabrykatami prowadzące do oszczędności w zastosowaniu stali do 20%. □