

DAŻENIE DO OPTIMALNEGO PRZEKROJU POPRZECZNEGO OBIEKTÓW MOSTOWYCH Z ELEMENTÓW PREFABRYKOWANYCH NA PODSTAWIE WYBRANYCH REALIZACJI.

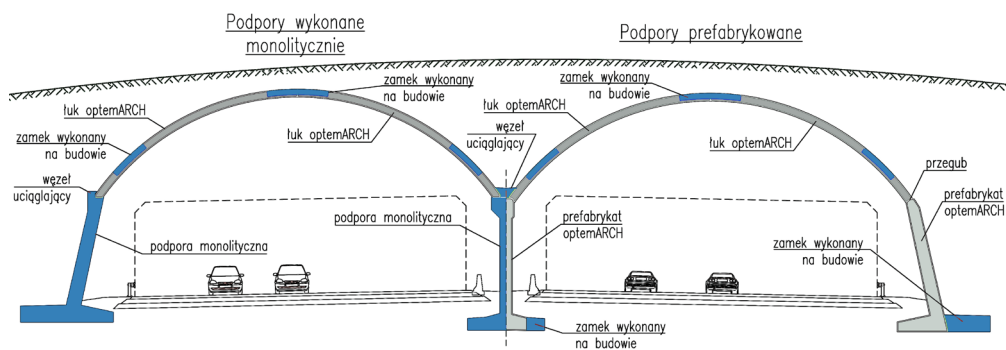
1. Wstęp

Systemy łukowych konstrukcji mostowych z prefabrykatów stanowią coraz powszechniejszą alternatywę dla typowych obiektów z klasyczną płytą pomostową lub dla obiektów z blach falistych. Zwłaszcza przy górnych przejściach dla zwierząt nad drogami rozwiązania łukowe są korzystnym wyborem pod względem funkcjonalno-estetycznym [1].

W przypadku analizowanego systemu optemARCH głównymi elementami są:

- żelbetowe prefabrykowane lub monolityczne ściany z ukształtowaną jednostronnie lub dwustronnie stopą fundamentową;
- żelbetowe prefabrykowane sklepienia.

System przewiduje konstrukcje zarówno jedno-, jak i wielonawowe (rys.1).

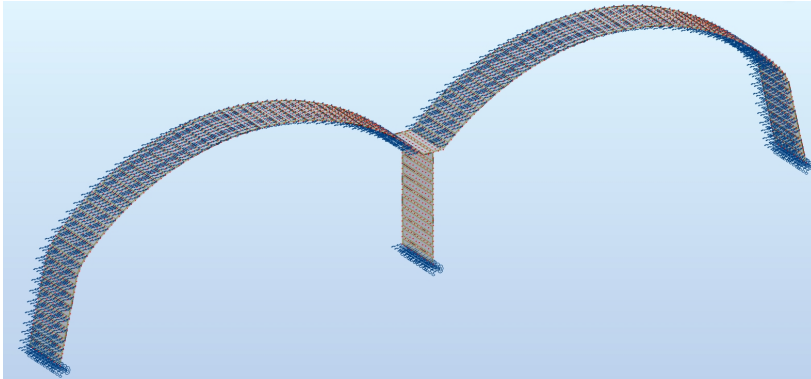


Rysunek 1. Schemat typowej, dwunawowej konstrukcji z prefabrykatów łukowych optemARCH

Na przykładzie 4 obiektów, zrealizowanych oraz będących w trakcie realizacji, przedstawiono poszukiwania środków skutkujących rozwiązaniem ekonomicznym i optymalnym pod względem technologicznym.

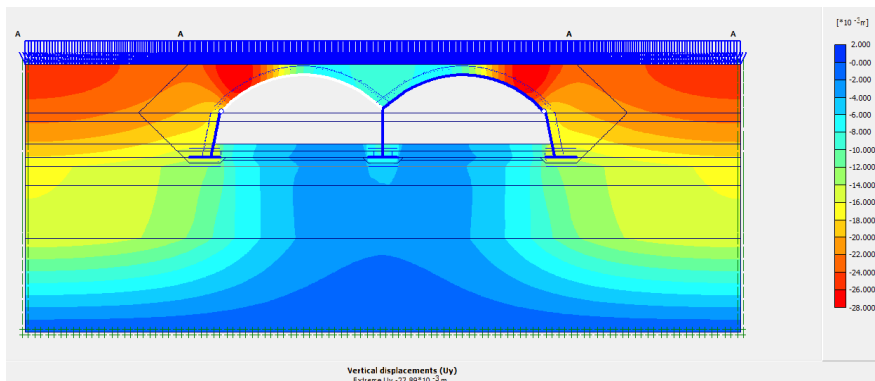
¹ mgr inż., Optem Sp. z o.o.

Wszystkie zaprezentowane obiekty zaprojektowano przy wykorzystaniu zaawansowanego oprogramowania MES [2]. Modele obliczeniowe zakładały analizę nieliniową uwzględniającą współpracę konstrukcji z ośrodkiem gruntowym w postaci podpór sprężystych (rys. 2). Na podstawie modułu odkształcenia ogólnego gruntu zasyпки wyznaczono ich sztywność. Wszystkie elementy (zarówno podpory, jak i łuki) zamodelowano przy użyciu elementów powłokowych MES.



Rysunek 2. Model obliczeniowy obiektu (PE-1.1) uwzględniający współpracę konstrukcji z gruntem

Biorąc pod uwagę skomplikowanie kwestii wzajemnego oddziaływania konstrukcji oraz zasyпки zdecydowano się na niezależną analizę w drugim programie inżynierskim (rys. 3). Umożliwił on zamodelowanie gruntu metodą elementów skończonych (grunt - elementy powierzchniowe, przejście dla zwierząt – układ prętowy) i uzyskanie naprężeń oraz osiadań w ośrodku gruntowym. Otrzymane rezultaty pokrywały się z wcześniejszymi obliczeniami [2].



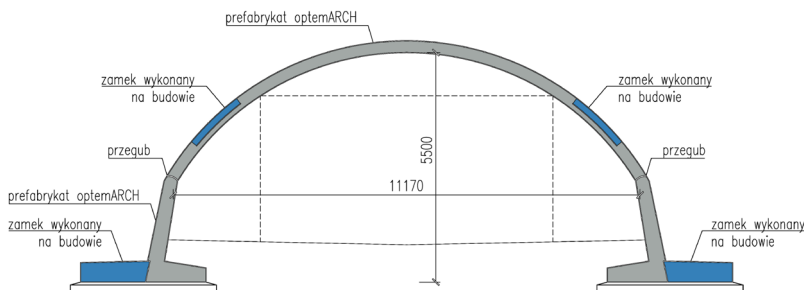
Rysunek 3. Model ośrodka gruntowego obiektu PE.1-1. Przemieszczenia UZ (mm) [2]

2. Obiekty jednonawowe PZ-2 i WS-19A

Dolne przejście dla zwierząt PZ-2 (rys. 4 i 5) zaprojektowano na drodze krajowej nr 20 będącej obwodnicą Kościerzyny. Ustrój nośny wykonany jest z prefabrykowanych łukowych elementów żelbetowych (segmenty o stałej szerokości). Każdy segment przejścia dla zwierząt opiera się przegubowo w specjalnych gniazdach na dolnych systemowych ścianach (prefabrykowanych). Na krawędziach elementów wykształtowano specjalne zamki

Dążenie do optymalnego przekroju poprzecznego obiektów mostowych z elementów prefabrykowanych na podstawie wybranych realizacji.

wylewane na mokro, które pełnią funkcję uszczelnienia między segmentami oraz zamki przypodporowe zapobiegające tzw. klawiszowaniu a w konsekwencji zniszczeniu izolacji. Prefabrykaty łukowe i ściennie założono z betonu C50/60 natomiast zamki wykonano z betonu C40/50. Rozpiętość łuku wynosi 11,17m, strzałka łuku ok. 3,1m natomiast wysokość obiektu w od spodu fundamentu do klucza łuku 5,5m. Minimalna wysokość naziomu wraz z warstwami nawierzchni wynosiła 65cm a maksymalna ok. 90cm.



Rysunek 4. Przekrój poprzeczny obiektu PZ-2

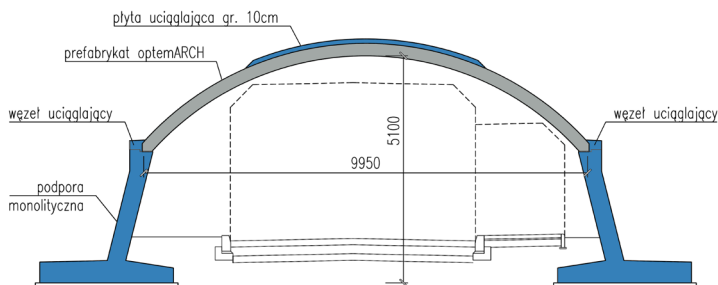
Był to jeden z pierwszych zrealizowanych obiektów w systemie optemARCH. Szybkie tempo prac montażowych (montaż wszystkich 27 prefabrykatów trwał 4 dni) potwierdziło w praktyce główną zaletę systemu prefabrykowanego, czyli czas wykonania konstrukcji i prostota montażu.



Rysunek 5. Obiekt PZ-2 przed oddaniem do użytku

W przypadku, gdy czas montażu nie gra kluczowej roli zaistniała potrzeba optymalizacji pierwotnych założeń celem zmniejszenia kosztów ogólnych konstrukcji. Na bazie omówionego wyżej obiektu (parabola łuku jest identyczna) zaprojektowano w ciągu drogi ekspresowej S7 (stanowiącej obwodnicę Radomia) wiadukt WS-19A (rys.6). Kluczowe różnice polegały m.in. na:

- 1) zamianie ścian prefabrykowanych na elementy monolityczne,
- 2) eliminacji z prefabrykatów zamków przypodporowych oraz wzdłuż krawędzi prefabrykatów łukowych i zastąpieniu ich wykonywaną na budowie płytą uciągającą gr. 10cm,
- 3) wykonaniu monolitycznego węzła uciągającego (rys. 7) w miejscu oparcia łuku na ścianie (na etapie montażu węzeł ten jest przegubowy).



Rysunek 6. Przekrój poprzeczny obiektu WS-19A

Rozpiętość łuku wynosi 9,95m, strzałka łuku ok. 2,3m natomiast wysokość obiektu od spodu fundamentu do klucza łuku 5,1m przy naziemiu wysokości ok. 1,0m. Wiadukty PZ-2 i WS-19A zaprojektowano na obciążenie klasy A wg PN-85/S-10030.

W przypadku zmiany rodzaju podpór zastosowanej w obiekcie WS-19A różnica w cenie wykonania elementu monolitycznego względem wersji prefabrykowanej sięgała nawet 30% na korzyść nowo wybranej technologii.

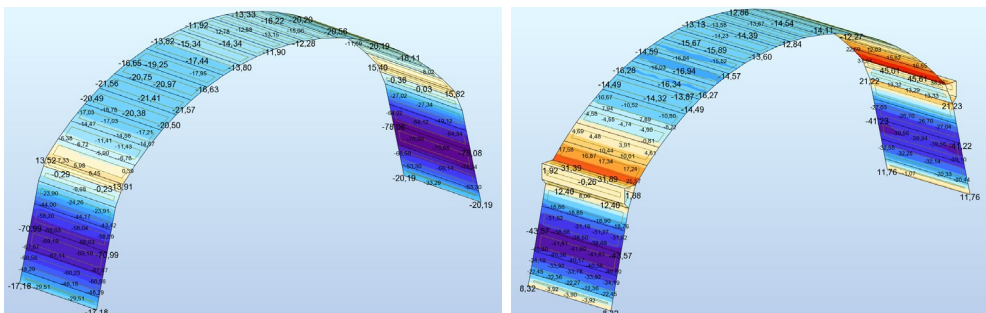


Rysunek 7. i 8. WS-19A - węzeł uciągający przed zabetonowaniem oraz obiekt w trakcie realizacji (widoczna górna płyta zespalająca)

Eliminacja na tym kontrakcie zamków zespalających na rzecz płyty zespalającej była wynikiem poszukiwania alternatywnego rozwiązania uciąglenia poszczególnych segmentów oraz usprawnienia procesu produkcji prefabrykatów.

Konsekwencją zastosowania podpór monolitycznych była konieczność wykonstruowania rejonu węzła przegubowego. Postanowiono zrezygnować z przegubu na rzecz uciąglenia prefabrykatu i części monolitycznej. Pozwoliło to zmniejszyć momenty zginające w ścianach, ale i przejąć obciążenia od rozporu łuku. W samym łuku różnice momentów od obciążeń stałych wynoszą ok. 20% (przy niewielkich wartościach samych momentów) natomiast w ścianach sięgają 30% (rys. 9 i 10).

Dążenie do optymalnego przekroju poprzecznego obiektów mostowych z elementów prefabrykowanych na podstawie wybranych realizacji.



Rysunek 9. i 10. Obiekt WS-19A z płytą zespalającą. Mapy momentów M_{xx} od obciążeń stałych dla modelu przegubowego (lewa str.) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (prawa str.)

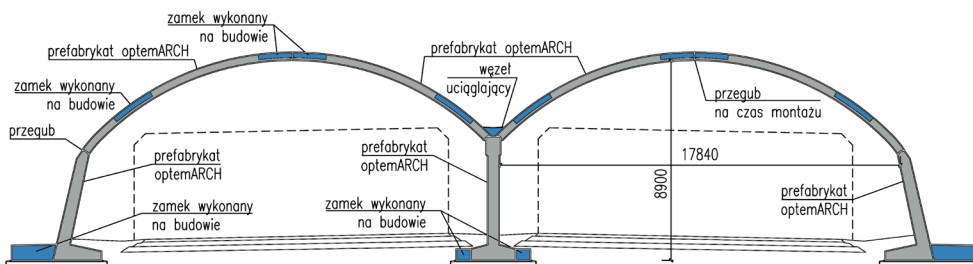
Aktualnie prowadzone są prace nad jednoprzęsłowym obiektem pod linią kolejową nr 20 (linia obwodowa Warszawy). Analogicznie do WS-19A posiada monolityczne podpory oraz węzeł w węzłowie, ale zdecydowano się na rezygnację z płyty zespalającej i powrót do wcześniejszych zamków uciągających (rys. 11). Powodem tej decyzji okazało się dużo mniejsze zużycie materiałowe (głównie stali zbrojeniowej) rozwiązania pierwotnego przy identycznej funkcjonalności.



Rysunek 11. Obiekt na linii obwodowej Warszawy. Aktualnie w trakcie realizacji. Widoczne zamki zamiast płyty uciągającej

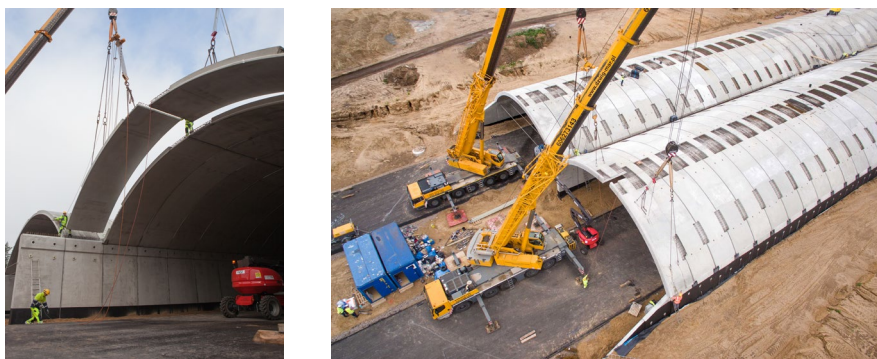
3. Obiekty dwunawowe PE-1.1 i PZDg 7.05

W ramach budowy drogi S-7 Gdańsk-Warszawa zaprojektowano i wykonano przejście górne dla zwierząt PE-1.1 (rys. 12). Konstrukcja składa się elementów łukowych opartych przegubowo na prefabrykowanych ścianach. Poszczególne segmenty sklepienia uciążone są za pomocą zamków znajdujących się w kluczu oraz w dolnej części łuków a także wzdłuż całej krawędzi prefabrykatów. Prefabrykowane ściany uciążone są monolitycznym fundamentem od strony zasypki. Dodatkowo przestrzenie pionowe między ścianami wypełnione są również betonem zapobiegającym wzajemnym przemieszczeniom poziomym ścian. Rozpiętość łuku wynosi 17,84m, strzałka łuku ok. 3,6m, natomiast wysokość od spodu fundamentu do klucza łuku 8,9m. Naziom liczy ok. 1,2m. Warto nadmienić, że opisywane tu przejście dla zwierząt jest jednym z nielicznych, jeżeli nie jedynym prefabrykowanym wiaduktem tego typu w kraju. W Polsce zazwyczaj stosuje się w tego typu obiektach konstrukcje z blach falistych.



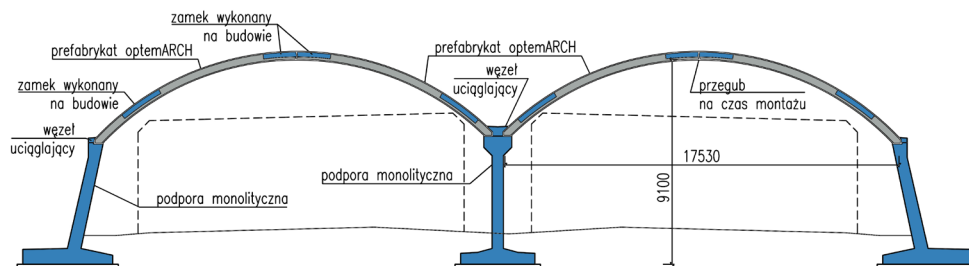
Rysunek 12. Przekrój poprzeczny obiektu PE-1.1

Z pewnością nowatorski w warunkach polskich był także montaż metodą „leaf by leaf” [2] (rys. 13 i 14). Umożliwiło to szybki montaż i swobodę ruchu pojazdów budowy. Zastosowana technologia z przegubem pomiędzy dwoma prefabrykatami łukowymi pozwoliła na praktycznie bezproblemowy montaż i zakleszczenie się sklepienia mimo pewnych niedokładności w ustawieniu ścian (brak równoległości przeciwległych segmentów). Całość konstrukcji (285 prefabrykatów) zmontowano w 38 dni roboczych.



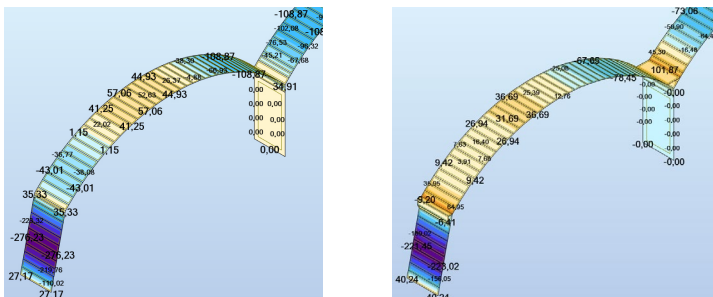
Rysunek 13. i 14. Obiekt PE-1.1 w trakcie realizacji metodą „leaf by leaf”

Kolejnym obiektem dwunawowym zaprojektowanym w systemie optemARCH jest wiadukt PZDg 7.05 (rys. 15) nad drogą S-5 Poznań-Wrocław. Podobnie jak miało to miejsce w przypadku WS-19A zmiany optymalizacyjne względem rozwiązania wcześniejszego polegały na zamianie prefabrykowanych ścian na monolityczne (wykonywane na budowie w segmentach długości 12,86m) oraz wykonaniu węzła uciągającego w miejscach oparcie łuków. Zamki zespalające na konstrukcji łuków pozostały niezmienione. Rozpiętość łuku wynosi 17,53m, strzałka łuku ok. 3,6m, natomiast wysokość od spodu fundamentu do klucza łuku 9,1m a naziom ok. 1,0m. Omawiane przejście dla zwierząt wkrótce będzie realizowane.

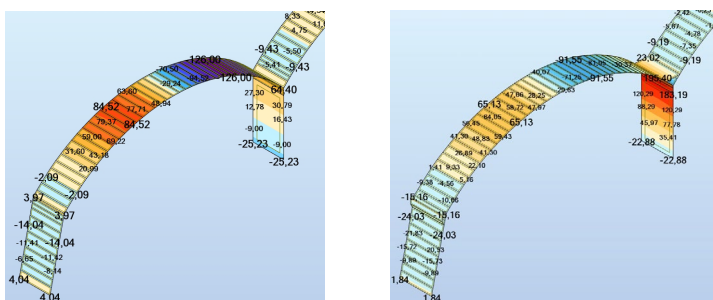


Rysunek 15. Przekrój poprzeczny obiektu PZDg 7.05

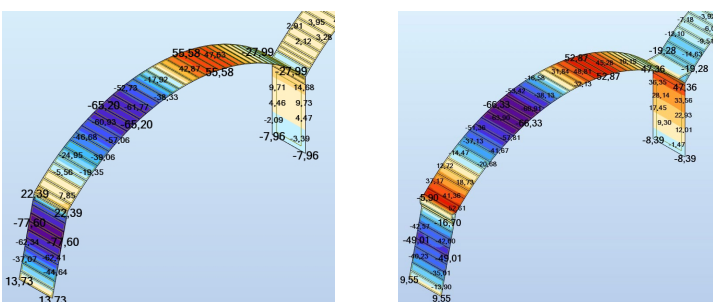
Przyjęcie uciążlenia w miejscach podparcia na ścianach pozwoliło uzyskać znaczące redukcje momentów zginających zarówno w elemencie łukowym, jak i w podporach (rys. 16 i 17). W przypadku obciążeń stałych różnica w przęśle łuku, podobnie jak w ścianach, sięgała 20% na korzyść konstrukcji z węzłami uciążlającymi w miejscach oparcia łuku. Dla obciążeń ruchomych (rys. 18-21) różnice są jeszcze większe i sięgają ok. 25% w łuku a w ścianach ok. 35%.



Rysunek 16. i 17. PZDg 7.05 - Mapy momentów M_{xx} od obciążeń stałych dla modelu przegubowego (lewa str.) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (prawa str.)



Rysunek 18. i 19. PZDg 7.05 – Maksymalne momenty M_{xx} w łuku od obciążeń ruchomych dla modelu przegubowego (lewa str.) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (prawa str.)



Rysunek 20. i 21. PZDg 7.05 – Maksymalne momenty M_{xx} w ścianach od obciążeń ruchomych dla modelu przegubowego (lewa str.) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (prawa str.)

4. Podsumowanie

Projektowanie konstrukcji współpracujących z gruntem jest złożone i wymaga zaawansowanych modeli obliczeniowych MES (rys. 2). Przyjęte założenia w postaci m.in. podatności gruntu zasypowego (przyjęto podpory sprężyste o odpowiedniej sztywności),

etapowania zasypywania obiektu, konstrukcji pomocniczych w postaci ściągów łuku w fazie montażu pozwoliły w późniejszym czasie na stosunkowo proste do uwzględnienia w obliczeniach optymalizacje konstrukcji i dopasowanie technologii do potrzeb.

W przypadku zaistnienia wymogu szybkiej realizacji (np. obiekty kolejowe, przy których konieczne są generujące spore koszty zamknięcia linii na czas budowy) lub gdy realizacja przebiega w okresie obniżonych temperatur konstrukcje prefabrykowane w całości sprawdzają się znakomicie i są rozwiązaniem ekonomicznym. Z drugiej strony analizy konstrukcji z wykorzystaniem części elementów systemu wykonywanych na budowie umożliwiły znaczące oszczędności finansowe.

Rozwój systemu konstrukcji, jak pokazano powyżej, jest zatem procesem ciągłym i wcześniej przyjęte założenia nie tylko można, ale i należy nieustannie weryfikować, aby spełnić współczesne, wysokie wymagania ekonomiczne.



Rysunek 22. Obiekt PE-1.1 w trakcie eksploatacji

Literatura

- [1] KUREK T. R., ŚLUSARCZYK R., Górne przejścia dla zwierząt w Polsce – wspólny sukces drogowców i przyrodników. Budownictwo i Architektura, Wyd. Politechniki Lubelskiej. 2014, vol. 13(1), s. 167-180.
- [2] STRYSZYK-WIELOSZEWSKA B., Budowa przejścia dla zwierząt jako przykład szybkiego montażu prefabrykowanych obiektów mostowych znacznych rozpiętości, referat w ramach VIII Ogólnopolskiej Konferencji Mostowców infraMOST 2017. Wisła 18-19 maja 2017r.

THE EFFORTS TO REACH OPTIMAL CROSS SECTION PROPERTIES OF BRIDGE STRUCTURES MADE OF PRECAST CONCRETE ELEMENTS BASED ON THE SELECTED PROJECTS.

Summary

The paper presents the process of optimising cross-sections of various types of precast reinforced concrete structures within the optemARCH bridge system.

The first type is a single span structure, in which special concrete joints were designed or, alternatively, a concrete plate on top of the structure. Additionally, in one case the supports were made of precast concrete and in the other of monolithic concrete (the supports together with the arch made a frame system).

The second type is a twin span structure with arches joined in the keystone with an assembly joint. There are two different ways of constructing the supports (monolithic frame vs precast elements) resulting in two skewback solutions.

The economical as well as structural analysis were made to reach optimal solutions. All objects are currently under construction.