

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

tekst: mgr inż. MATEUSZ STEFAŃCZYK, Optem

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:

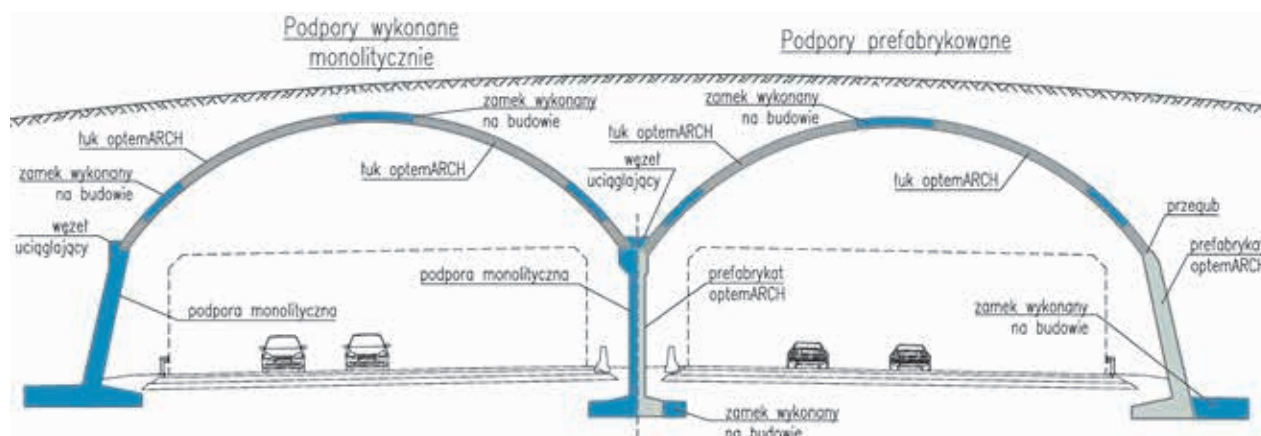
- żelbetowe prefabrykowane lub monolityczne ściany z ukształtowaną jednostronnie lub dwustronnie stopą fundamentową;
- żelbetowe prefabrykowane sklepienia.

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

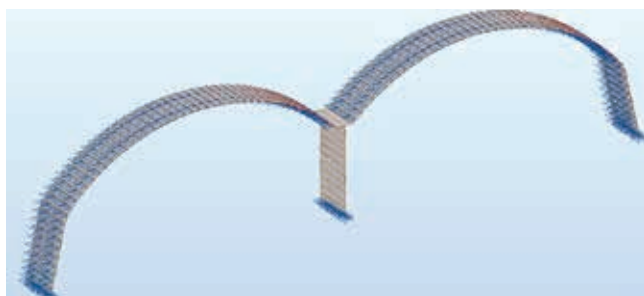
Na przykładzie czterech obiektów, zrealizowanych oraz będących w trakcie realizacji, przedstawiono poszukiwania środków skutkujących rozwiązaniem ekonomicznym i optymalnym pod względem technologicznym.

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 (ryc. 2). Na podstawie modułu odkształcenia ogólnego gruntu zasyпки wyznaczono ich sztywność. Wszystkie elementy (zarówno podpory, jak i łuki) zamodelowano przy użyciu elementów powłokowych MES.

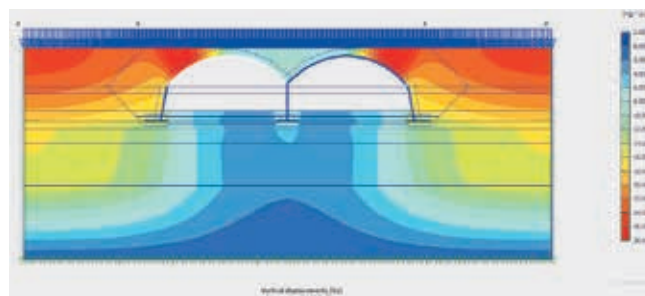
Biorąc pod uwagę skomplikowanie kwestii wzajemnego oddziaływania konstrukcji oraz zasyпки, zdecydowano się na niezależną analizę w drugim programie inżynierskim (ryc. 3). Umożliwił on zamodelowanie gruntu metodą elementów



Ryc. 1. Schemat typowej dwunawowej konstrukcji z prefabrykatów łukowych optemARCH



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

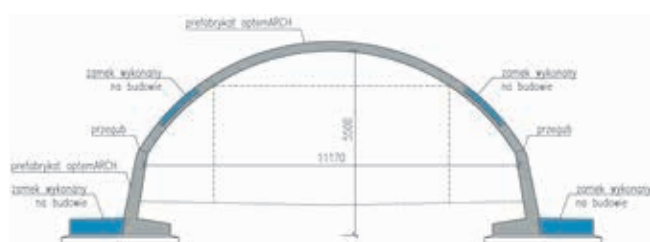


Ryc. 3. Model ośrodka gruntowego obiektu PE-1.1. Przemieszczenia UZ (mm) [2]

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].

Obiekty jednonawowe PZ-2 i WS-19A

Dolne przejście dla zwierząt PZ-2 (ryc. 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 wykształcono specjalne zamki wylewane na mokro, które pełnią funkcję uszczelnienia między segmentami, oraz zamki przypodporowe zapobiegające tzw. klawiszowaniu, a w konsekwencji zniszczeniu izolacji. Prefabrykaty łukowe i ścienne założono z betonu C50/60, natomiast zamki wykonano z betonu C40/50. Rozpiętość łuku wynosi 11,17 m, strzałka łuku ok. 3,1 m, wysokość obiektu od spodu fundamentu do klucza łuku 5,5 m. Minimalna wysokość naziomu wraz z warstwami nawierzchni wynosiła 65 cm, a maksymalna ok. 90 cm.



Ryc. 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 cztery dni) potwierdziło w praktyce główną zaletę systemu prefabrykowanego: czas wykonania konstrukcji i prostotę montażu.

W przypadku, gdy czas montażu nie grał kluczowej roli, zaistniała potrzeba optymalizacji pierwotnych założeń w celu zmniejszenia kosztów ogólnych konstrukcji. Na bazie omówionego wyżej obiektu (parabola łuku jest identyczna) zaprojektowano



Ryc. 5. Obiekt PZ-2 przed oddaniem do użytku

w ciągu drogi ekspresowej S7 (stanowiącej obwodnicę Radomia) wiadukt WS-19A (ryc. 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 o grubości 10 cm,
- 3) wykonaniu monolitycznego węzła uciągającego (ryc. 7) w miejscu oparcia łuku na ścianie (na etapie montażu węzeł ten jest przegubowy).



Ryc. 6. Przekrój poprzeczny obiektu WS-19A

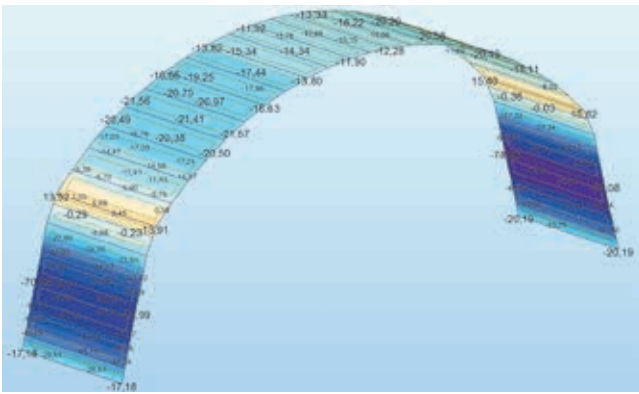
Rozpiętość łuku wynosi 9,95 m, strzałka łuku ok. 2,3 m, natomiast wysokość obiektu od spodu fundamentu do klucza łuku 5,1 m przy naziemie o wysokości ok. 1,0 m. Wiadukty PZ-2 i WS-19A zaprojektowano na obciążenie klasy A według PN-85/S-10030.

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.

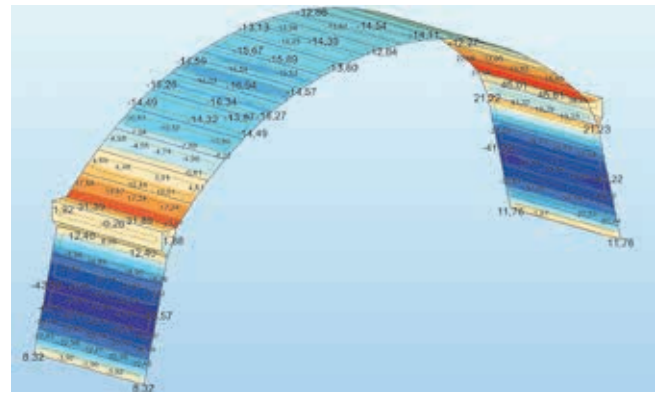
Eliminacja zamków zespalających na rzecz płyty zespalającej była wynikiem poszukiwania alternatywnego rozwiązania uciąglenia poszczególnych segmentów oraz usprawnienia procesu produkcji prefabrykatów.



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



Ryc. 9. i 10. Obiekt WS-19A z płytą zespalającą. Mapy momentów M_{xx} od obciążeń stałych dla modelu przegubowego (po lewej) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (po prawej)



Ryc. 11. Obiekt na linii obwodowej Warszawy, aktualnie w trakcie realizacji. Widoczne zamki zamiast płyty uciągającej

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% (ryc. 9 i 10).

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 (ryc. 11). Powodem tej decyzji okazało się dużo mniejsze

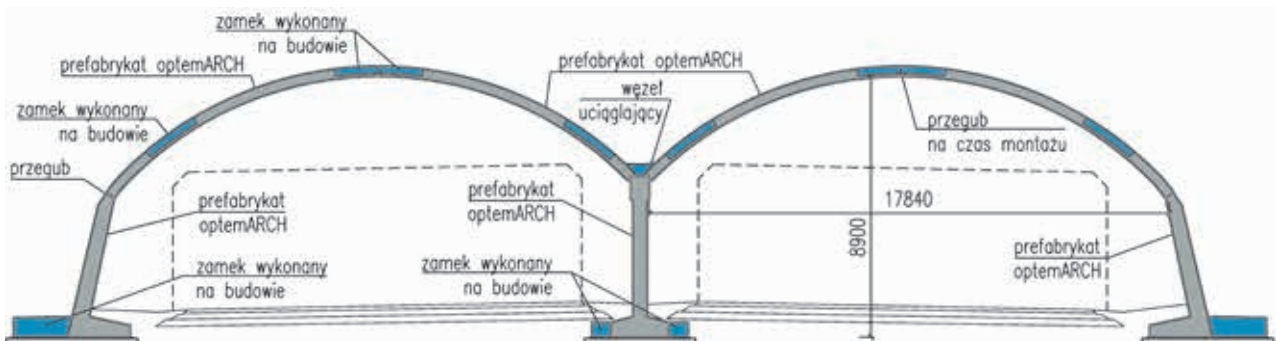
zużycie materiałów (głównie stali zbrojeniowej) rozwiązania pierwotnego przy identycznej funkcjonalności.

Obiekty dwunawowe PE-1.1 i PZDg 7.05

W ramach budowy drogi S7 Gdańsk – Warszawa zaprojektowano i wykonano przejście górne dla zwierząt PE-1.1 (ryc. 12). Konstrukcja składa się z elementów łukowych opartych przegubowo na prefabrykowanych ścianach. Poszczególne segmenty sklepienia są uciągłone za pomocą zamków znajdujących się w kluczu oraz w dolnej części łuków, a także wzdłuż całej krawędzi prefabrykatów. Prefabrykowane ściany uciągłono monolitycznym fundamentem od strony zasyпки. Dodatkowo przestrzenie pionowe między ścianami również wypełniono betonem zapobiegającym wzajemnym przemieszczeniom poziomym ścian. Rozpiętość łuku wynosi 17,84 m, strzałka łuku ok. 3,6 m, natomiast wysokość od spodu fundamentu do klucza łuku 8,9 m. Należy nadmienić, że opisane 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.

Z pewnością nowatorski w warunkach polskich był także montaż metodą *leaf by leaf* [2] (ryc. 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.

Kolejnym obiektem dwunawowym zaprojektowanym w systemie optemARCH jest wiadukt PZDg 7.05 (ryc. 15) nad drogą S5



Ryc. 12. Przekrój poprzeczny obiektu PE-1.1



Ryc. 13. i 14. Obiekt PE-1.1 w trakcie realizacji metodą leaf by leaf

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 o długości 12,86 m) oraz wykonaniu węzła uciągającego w miejscach oparcia łuków. Zamki zespalające na konstrukcji łuków pozostały niezmienione. Rozpiętość łuku wynosi 17,53 m, strzałka łuku ok. 3,6 m, natomiast wysokość od spodu fundamentu do klucza

łuku 9,1 m, a naziem ok. 1,0 m. Omawiane przejście dla zwierząt wkrótce będzie realizowane.

Przyjęcie uciąglenia w miejscach podparcia na ścianach pozwoliło uzyskać znaczące redukcje momentów zginających zarówno w elemencie łukowym, jak i w podporach (ryc. 16 i 17). W przypadku obciążeń stałych różnica w przęśle łuku, podobnie jak w ścianach, sięgała 20% na korzyść konstrukcji z węzłami uciągającymi w miejscach oparcia łuku. Dla



optemARCH

System prefabrykowanych obiektów inżynierskich

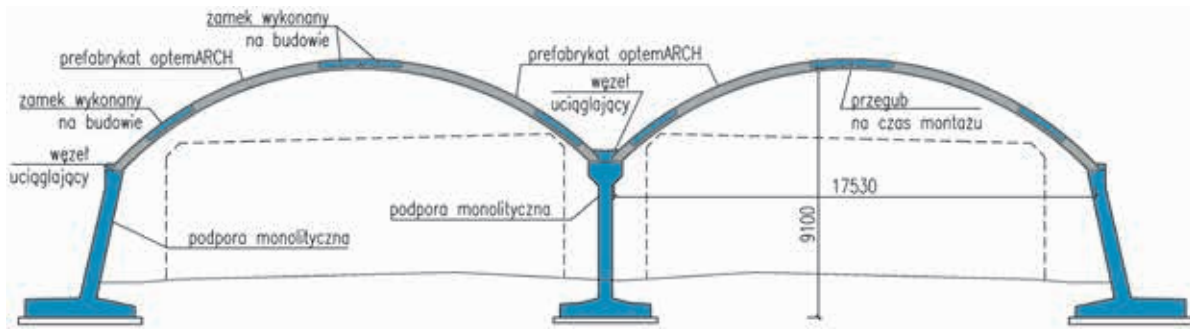
optemARCH jest systemem służącym do budowy:

- wiaduktów oraz mostów zarówno drogowych, jak i kolejowych,
- kładek dla pieszych oraz rowerzystów,
- przejść dla zwierząt.

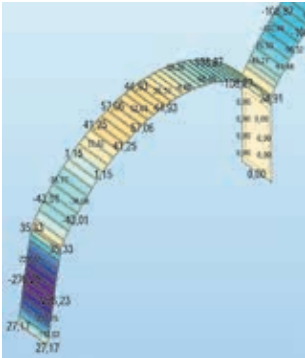
Stosując system optemARCH zyskujesz:

- ekspresową realizację, ze względu na prosty i szybki montaż niewymagający budowy rusztowań ani podpór tymczasowych, co powoduje niższe koszty budowy,
- wysoką trwałość elementów dzięki kontroli ich produkcji potwierdzonej certyfikatami,
- eksperckie wsparcie producenta prefabrykatów na każdym etapie realizacji przedsięwzięcia.

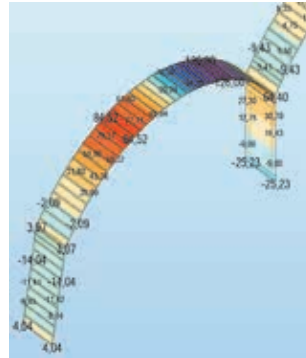
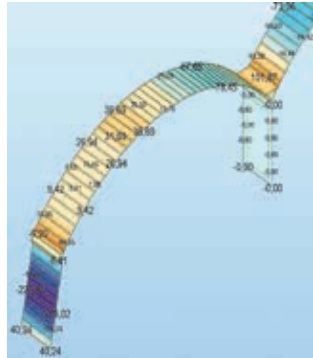
Nasz zespół projektowy opracowuje indywidualnie każdy projekt tak, aby uzyskać najlepsze rozwiązanie. Dostarczamy gotowe elementy na budowę oraz zapewniamy ich montaż. Oferujemy również kompleksowe wykonanie obiektu od wykopu po zasypkę.



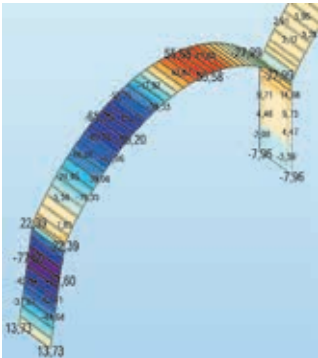
Ryc. 15. Przekrój poprzeczny obiektu PZDg 7.05



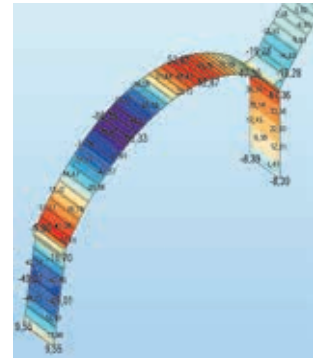
Ryc. 16. i 17. PZDg 7.05 – mapy momentów M_{xx} od obciążeń stałych dla modelu przegubowego (po lewej) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (po prawej)



Ryc. 18. i 19. PZDg 7.05 – maksymalne momenty M_{xx} w łuku od obciążeń ruchomych dla modelu przegubowego (po lewej) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (po prawej)



Ryc. 20. i 21. PZDg 7.05 – maksymalne momenty M_{xx} w ścianach od obciążeń ruchomych dla modelu przegubowego (po lewej) i z utwierdzeniem w miejscu podparcia łuku (po prawej)



obciążeń ruchomych (ryc. 18–21) różnice są jeszcze większe i sięgają ok. 25% w łuku, a w ścianach ok. 35%.

Podsumowanie

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

Ryc. 22. Obiekt PE-1.1 w trakcie eksploatacji



w formie ściągów łuku w fazie montażu pozwoliły w późniejszym czasie na stosunkowo proste do uwzględnienia w obliczeniach optymalizację 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. Jednocześnie 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.

Literatura

- [1] Kurek T.R., Ślusarczyk R.: *Górne przejścia dla zwierząt w Polsce – wspólny sukces drogowców i przyrodników*. „Budownictwo i Architektura” 2014, vol. 13, nr 1, s. 167–180.
- [2] Strzyżyk-Wieloszewska B.: *Budowa przejścia dla zwierząt jako przykład szybkiego montażu prefabrykowanych obiektów mostowych znacznych rozpiętości*. Materiały VIII Ogólnopolskiej Konferencji Mostowców infraMOST 2017. Wisła, 18–19 maja 2017.

