

# Metody budowy dużych betonowych obiektów wieloprzęśtowych

**budimex**

fol. P. Kosmider, fotolia

tekst: **mgr inż. MAREK HANACZOWSKI**, Budimex SA, Biuro Techniczne, **dr inż. JAKUB JAROSZ**, Budimex SA, Biuro Techniczne; Politechnika Łódzka, **dr inż. BARTOSZ RASIAK**, Budimex SA, Biuro Techniczne, **mgr inż. MICHAŁ STACHURA**, Budimex SA, Biuro Techniczne

## 1. Wstęp

W ostatnich latach w ramach nowej perspektywy finansowania inwestycji infrastrukturalnych i wynikającego z niej programu budowy dróg ekspresowych i autostrad powstało w Polsce wiele dużych, wieloprzęśtowych obiektów mostowych. Stanowią one zarówno przejścia przez rzeki, doliny, szlaki migracji zwierząt, jak i przeszkody, takie jak kolej czy węzły drogowe. Budimex SA jako lider budowy dróg ekspresowych i autostrad, wykonujący ok. 30% inwestycji w tym zakresie, ma na swoim koncie budowę betonowych obiektów wieloprzęśtowych o dużych długościach całkowitych przy zastosowaniu różnych technologii realizacji. Obecnie najpopularniejszymi i najczęściej wybieranymi technologiami są rusztowania stacjonarne, metoda nasuwania podłużnego, metoda betonowania nawisowego oraz metoda rusztowań przejezdnych. Doświadczenia grupy Ferrovial, w skład której wchodzi Budimex SA, wykazują, że w skali globalnej dużą popularnością cieszą się obiekty wykonywane metodą przęsła po przęśle z belek prefabrykowanych lub elementów prefabrykowanych łączonych za pomocą sprzężenia. Tego typu technologie niedopuszczone są wymogami obowiązujących w Polsce przepisów prawa, co

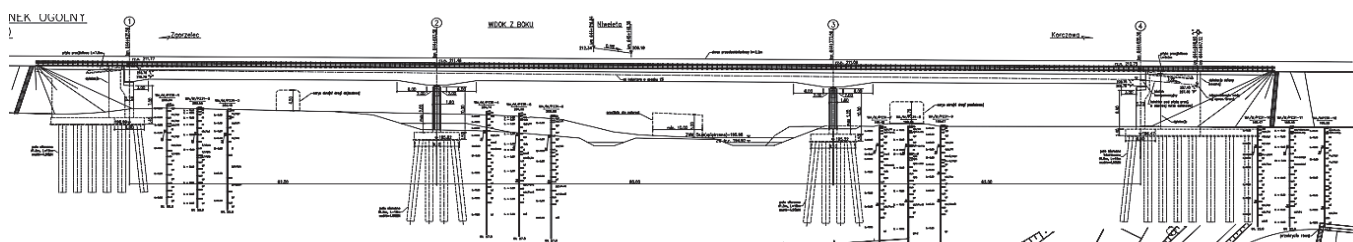
z pewnością powinno być przeanalizowane w kolejnych latach w kontekście ciągłego rozwoju branży na świecie i w kraju.

Definiowany warunkami kontraktu przez zamawiającego czas na zaprojektowanie i wykonanie obiektów jest bardzo krótki, co powoduje, że obiekty wieloprzęśtowe o dużych długościach znajdują się na ścieżce krytycznej harmonogramu. Zazwyczaj stanowią one również znaczącą pozycję kosztową w ramach realizacji całości zadania. Dobór optymalnej metody budowy, który powinien być uwzględniony już na etapie składania oferty, biorący pod uwagę zasoby sprzętowe oraz preferencje firmy wykonawczej, stanowi w tym przypadku klucz do pozyskania kontraktu, a następnie sprawnej realizacji.

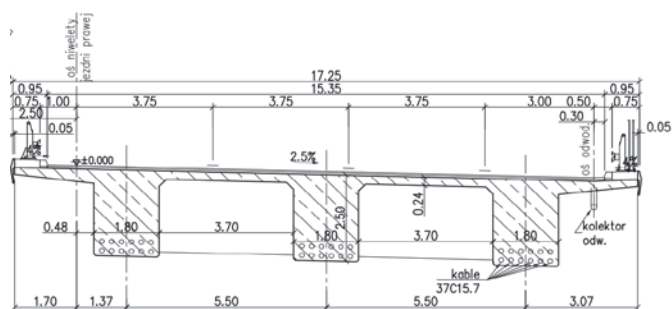
## 2. Technologie budowy

### 2.1. Rusztowania stacjonarne

Wznoszenie obiektów za pomocą rusztowań stacjonarnych jest metodą najstarszą i z reguły najmniej wymagającą w zakresie wykonawstwa. Jest ona szczególnie uzasadniona przy realizacji relatywnie krótkich obiektów, do długości całkowitej rzędu 300 m. Technologia budowy przy użyciu rusztowań



Ryc. 1. Przekrój podłużny przez obiekt MS-31



Ryc. 2. Przekrój poprzeczny przęsłowy nitki prawej ustroju nośnego obiektu MS-31

stacjonarnych jest najbardziej uniwersalną metodą budowy praktycznie dowolnych typów i rodzajów mostów. Szalunki stacjonarne mają zastosowanie podczas budowy obiektów charakteryzujących się skomplikowaną geometrią, zmienną szerokością czy wymyślnymi kształtami uniemożliwiającymi użycie innych metod, ale także mogą stanowić technologię uzupełniającą, pozwalającą przyspieszyć lub ułatwić realizację np. obiektów podwieszonych, czego przykładem jest stosowanie rusztowań stacjonarnych pod skrajnymi przęsłami na dojeździe do obiektu głównego. Ekonomiczne uzasadnienie ma w przypadku występowania dobrych warunków gruntowych oraz gdy przeszkody nie stanowią szerokie koryta rzek czy szerokie ciągi. W przypadku występowania w podłożu słabych, niejednorodnych gruntów oprócz zapewnienia nośności pojawia się ryzyko nieprzewidywanych osiadań rusztowań i szalunków, dlatego wymagane jest ich wzmocnienie lub też wymiana.

Metoda pozwala na etapowanie budowy na poszczególne przęsła, umożliwiając uzyskanie oszczędności w zakresie kosztów związanych z kupnem bądź dzierżawą szalunków. Możliwe jest także wykonywanie prac w jednym etapie, co z kolei skraca czas realizacji. Niewątpliwie dużą zaletą tej metody jest powszechna dostępność sprawdzonych systemów zarówno rusztowań, jak i szalunków.

Elementy szalunków oraz rusztowań są sprawdzane na stany graniczne nośności oraz stany graniczne użytkowości. Dodatkowo sprawdza się posadowienie rusztowań. Określane są podniesienia wykonawcze, uwzględniające m.in. konieczne do wprowadzenia podniesienia konstrukcyjne ustrojów, przewidywane odkształcenia rusztowań oraz styków.

Przykładową realizacją firmy Budimex SA w ostatnich latach z zastosowaniem rusztowań stacjonarnych jest obiekt MS-31 w ciągu autostrady A4 na odcinku Jarosław – Radymno, zaprojektowany przez mgr. inż. Tadeusza Stefanowskiego. Jest to obiekt trójprzęsłowy, o schemacie statycznym belki ciągłej oraz o rozpiętościach przęsła skrajnych wynoszących 62 m i rozpiętości przęsła środkowego równej 80 m. Całkowita szerokość obiektu wynosi 36 m. Przekrój podłużny mostu przedstawiono na rycinie 1.



Ryc. 4. Widok rusztowania obiektu MS-31



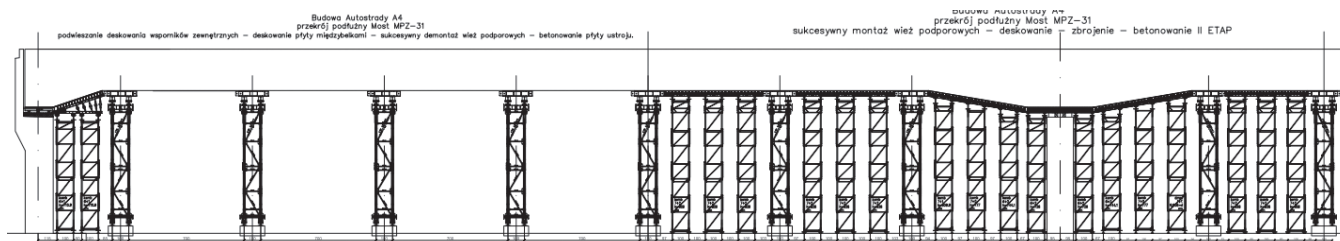
Obiekt składa się z dwóch niezależnych ustrojów nośnych pod każdą z nitk. Ustrój nośny zaprojektowano jako belkowy, sprężony. Ustrój pod jedną nitkę składa się z trzech belek usytuowanych w rozstawie co 5,5 m. Ich wysokość konstrukcyjna jest zmienna, wynosi 3,5 i 3 m w przekrojach podporowych (3,5 m – w przekroju nadfilarowym i 3 m – w przekroju przyczołkowym) oraz 2,5 m w przekroju przęsłowym. Szerokość belek przyjęto równą 1,8 m. Belki sprężono kablami 37-splotowymi. Płytę pomostu przewidziano o grubości 24 cm. Przekrój poprzeczny ustroju nośnego zaprezentowano na rycinie 2.

W celu realizacji ustroju nośnego mostu wykorzystano stacjonarne rusztowania systemowe. Ustrój nośny jednej nitki betonowany był w pięciu etapach, z tym że w przekroju poprzecznym z uwagi na stosunkowo dużą wysokość konstrukcyjną betonowano w pierwszej kolejności tylko belki, a dopiero po przestawieniu części wież podporowych – płytę między belkami oraz wsporniki zewnętrzne. Wieże potrzebne do betonowania płyty ustroju pozostawiono w celu podparcia wtórnego dla sprężenia ustroju. Projekt rusztowań stacjonarnych dla mostu przedstawiono na rycinie 3, a widok z realizacji obiektu na rycinie 4.

## 2.2. Nasuwanie podłużne

Inną powszechnie stosowaną metodą pozwalającą na realizację obiektów z betonu sprężonego o dużych długościach całkowitych jest nasuwanie podłużne. Czynniki decydującymi o zastosowaniu tej metody są m.in. stosunkowo długi obiekt, trudne uwarunkowania terenowe czy ograniczenia co do jego zajętości, wymagania decyzji środowiskowej, prosta geometria obiektu determinowana rozwiązaniami branży drogowej oraz zakres powtarzalności rozpiętości poszczególnych przęsła.

Do zalet opisywanej metody należy bez wątpienia możliwość organizacji większości prac na stosunkowo niewielkim obszarze, obejmującym przede wszystkim stanowisko montażowe (wytwórnię) oraz podpory docelowe i ewentualne podpory technologiczne, przewidziane na etap realizacji. Niewątpliwym



Ryc. 3. Projekt rusztowań stacjonarnych dla obiektu MS-31





Ryc. 5. Zdjęcia z realizacji obiektu E-118 w technologii nasuwania podłużnego

plusem tej metody w przypadku posiadania doświadczonego zespołu jest osiągnięcie znacznego tempa realizacji.

Koszty prowadzenia prac metodą nasuwania podłużnego wiążą się przede wszystkim z koniecznością budowy wytwórni oraz zastosowania elementów technologicznych, takich jak dziób montażowy (awanbek), urządzenia trakcyjne i ewentualne dodatkowe podpory montażowe. Dodatkowym aspektem związanym ze specyficznymi warunkami statyczno-wytrzymałościowymi generowanymi przez nasuwaną konstrukcję, wynikającym z konieczności spełnienia przez poszczególne przekroje ustroju nośnego zarówno warunków przęsłowych, jak i podporowych, jest konieczność stosowania dodatkowego sprzężenia, tzw. sprzężenia centrycznego. W efekcie generuje to koszty wynikające ze wzrostu ilości stali sprężającej w stosunku do realizacji za pomocą rusztowań stacjonarnych. Wskaźnikowo jest to w granicach ok. 30–40%, lecz niebagatelne znaczenie ma tutaj kształtowanie przekroju poprzecznego oraz stosowanie podpór tymczasowych. Zwiększeniu w stosunku do zastosowania klasycznych rusztowań ulegają również ilości betonu oraz stali zbrojeniowej.



Ryc. 6. Stankowiska montażowe dla estakad zachodniej oraz wschodniej obiektu E-118

Ograniczenie tych wskaźników jest możliwe dzięki zastosowaniu podpór tymczasowych, lecz nakłady konieczne do zastosowania tego rozwiązania (np. wysokość podpór) należy każdorazowo rozpatrywać w odniesieniu do zysków materiałowych.

Jedną z najbardziej wymagających realizacji wykonanych w ostatnich latach przez Budimex SA była finalizacja budowy estakady E-118 w ciągu autostrady A4 przez Wiśłokę, zaprojektowanej przez mgr. inż. Jacka Głodka. Polegała ona m.in. na dokończeniu nasuwania ustrojów nośnych estakady zachodniej (od strony Tarnowa) na trzy ostatnie przęsła oraz estakady wschodniej (od strony Rzeszowa) – na dwa (ryc. 5). W tym celu zastosowano podpory tymczasowe (po jednym rzędzie na przęsło) oraz awanbeki o długości ok. 30 m [1].

Realizacja stanowiska montażowego jest jednym z bardziej kosztownych elementów metody nasuwania podłużnego. Zazwyczaj wytwórnię wykonuje się na nasypie ziemnym znajdującym się za jednym z przyczółków, jednakże niekiedy w tym zakresie stosuje się inne, nietypowe rozwiązania. W ramach budowy estakady wschodniej obiektu E-118 zastosowano stanowisko montażowe w formie żelbetowej ramownicy przestrzennej, co wynikało z faktu, że nasuwanie następowało od strony przęsła nurtowego, a nie od strony przyczółka (ryc. 6).

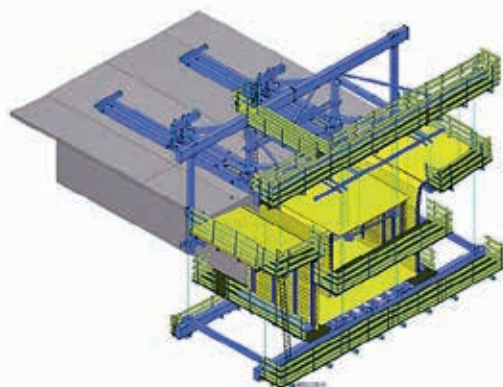
Nasuwanie każdej nitki ustroju nośnego zostało zrealizowane przez dwa zaczepy czynne z prasami naciągowymi o sile naciągu równej 4200 kN każda. Prędkość nasuwania wynosiła 3–5 m/h, a siła trakcyjna na łożyskach ślizgowych 5% siły normalnej.

### 2.3. Betonowanie nawisowe

Realizacja obiektów mostowych za pomocą betonowania nawisowego jest obecnie dość popularną w Polsce technologią, polegającą na odcinkowym betonowaniu lub montażu prefabrykowanych segmentów przy użyciu przesuwnej rusztowania lub urządzenia formującego.

Zasadniczo do zalet tej metody można zaliczyć niezależnie realizacji od charakteru przeszkody (np. trudno dostępny teren), mniejsze koszty związane z koniecznością stosowania rusztowań, możliwość niezależnego wznoszenia konstrukcji na kilku stanowiskach oraz wprowadzenie cykliczności i powtarzalności wykonywanych czynności.

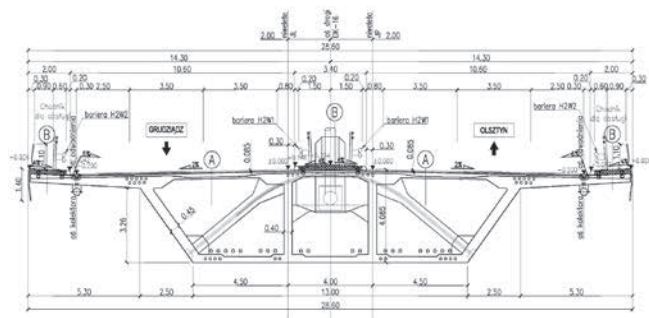
W trakcie realizacji konieczne jest zwrócenie uwagi na takie aspekty, jak utrata globalnej stateczności „wahadła”, możliwość zarysowania oraz zniszczenia konstrukcji. Stosuje się w tym przypadku symetrycznie rozstawione podpory tymczasowe bierne, podpory sprzężone lub też utwierdzenie dźwigara na podporze [2].



Ryc. 7. Rzut izometryczny wózka CFT do metody betonowania nawisowego

Niezwykle istotnym aspektem projektu technologicznego oraz samego wykonania jest kontrola geometrii, w tym podniesień wykonawczych przewidzianych dla poszczególnych wsporników, tak aby finalnie segment zamykający został wykonany właściwie. Niebagatelne znaczenie ma tutaj również projekt urządzenia formującego (tzw. wózka), wykonywany i dostosowywany zazwyczaj na potrzeby danego obiektu. Należy zaznaczyć, że ciężar urządzenia formującego stanowi główne obciążenie w fazie realizacji, dlatego bardzo istotne jest dopasowanie projektu ustroju nośnego oraz wózka (ryc. 7).

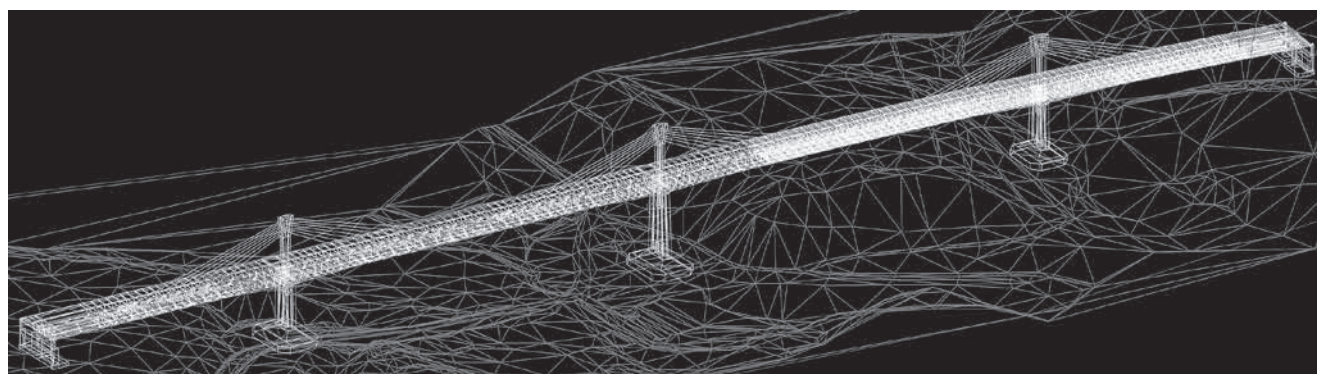
Aktualnie realizowany w technologii nawisowej przez Budimex SA jest obiekt MS-3 DK-16 w ciągu południowej obwodnicy Ostródy (DK 16), zaprojektowany przez mgr. inż. Tadeusza Stefanowskiego. Jest to czteroprzęsłowy most typu extradosed, o rozpiętości skrajnych przęseł wynoszącej 132,5 m oraz rozpiętości przęseł centralnych równej 206 m (ryc. 10). Pomost obiektu zaprojektowano w formie cienkościennej skrzynki trójkomorowej o zmiennej wysokości konstrukcyjnej, mieszczącej się w zakresie od 4 do 6 m. Przekrój poprzeczny przęsłowy przedstawiono na rycinie 8.



Ryc. 8. Przekrój poprzeczny przęsłowy przez ustroj nośny obiektu MS-3, DK-16, zob. podpis ryc. 9

System podwieszenia wantami zaprojektowany został w jednej płaszczyźnie pionowej, obie nitki drogowe usytuowane są na jednym ustroju nośnym o szerokości całkowitej 28,6 m. Ze względu na znaczny gabaryt poprzeczny ustroju przewidziano sprężenie poprzeczne kablami 3L15,7 (ryc. 9).

Pylony zaprojektowano o wysokości równej 26 m, z czego pylon P4, ze względu na położenie w łuku poziomym, sprężony będzie etapowo kablami 3L15,7 o zmiennej długości. Zakotwienia czynne want przewidziano w pomoście w blokach pomiędzy wewnętrznymi środnikami, a w pylonach kable osadzone będą przez siodła.



Ryc. 10. Model objętościowy obiektu MS-3 DK-16 wraz z topografią terenu



Ryc. 9. Widoki podpór obiektu MS-3 DK-16 w trakcie realizacji

## 2.4. Szalunki przejezdne (MSS)

Technologia budowy mostów MSS jest rozszerzeniem metody deskowań stacjonarnych o elementy ruchome. Szalunki o danej geometrii przesuwane są wzdłuż wznoszonego obiektu. Głównym elementem konstrukcji urządzenia są dźwigary, najczęściej kratowe. Konstrukcję mostu można realizować na dwa sposoby – dźwigary nośne umieszczone pod obiektem (deskowanie wysuwane spod ustroju i przemieszczane po belkach nośnych) lub jeden dźwigar nośny umieszczony ponad wykonywanym ustrojem (deskowanie podwieszane do belki nośnej po zabetonowaniu otwiera się i przemieszcza na kolejną pozycję betonowania).

Budowa mostu metodą MSS polega na wykonaniu kolejnych przęseł ustroju nośnego sekcjami za pomocą przesuwanego deskowania. Jest to metoda dość nowa w Polsce i rzadko wykorzystywana. W metodzie MSS rusztowanie i deskowania są ruchome – segmenty są betonowane w miejscach docelowych. Metodę cechuje powtarzalność, ograniczenie kosztów z powodu tejże powtarzalności, duże zautomatyzowanie i dokładność (ryc. 11).

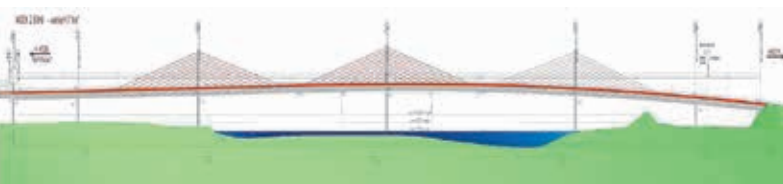
Jest to ekonomiczna i szybka metoda wznoszenia długich obiektów o powtarzalnych przęsłach małych rozpiętości. Niezbędne jest zagwarantowanie dojazdu pompie do betonu w każdej fazie wznoszenia ustroju, co czasem jest utrudnione. Przy dolnym usytuowaniu kratownic nośnych musi być zapewniona odpowiednia skrajna pionowa, by mogły one zmieścić się ponad terenem.

Najbardziej spektakularnym obiektem wybudowanym przez Budimex SA w technologii MSS jest most M-4 przez Wisłę koło Kwidzyna w ciągu drogi krajowej nr 90, zaprojektowany przez mgr. inż. Tadeusza Stefanowskiego (projekt budowlany wykonali mgr inż. Piotr Kokotkiewicz, mgr inż. Mariusz Łucki





Ryc. 11. Trawler przestawny do budowy metodą MSS – realizacja mostu M-4 w Kwidzynie



Ryc. 12. Widok z boku na most M-4 przez Wisłę w Kwidzynie

i mgr inż. Adam Nadolny). Jest to sześcioprzęsłowy obiekt typu extradosed, z podwieszonymi czterema środkowymi przęsłami. Całkowita długość przeprawy wynosi 808 m, a dwa centralne przęsła mają rozpiętość 204 m (ryc. 12). Pomost zaprojektowano jako skrzynkowy, jednokomorowy, z betonu wysokowartościowego klasy B80 [3], niespotykanego często w budownictwie mostowym.

Podpory lądowe posadowiono na palach prefabrykowanych wbijanych 40 x 40 cm o długości od 8 do 14 m, natomiast podpory główne mostu (trzy podpory nurtowe) na palach wielkośrednicowych  $\phi$  1800 mm o długości 14 i 28 m. W sumie na podporach głównych zastosowano 131 sztuk pali. Wysokość podpór wynosi do 17,5 m. Pomiędzy podporami docelowymi wykonane zostały podpory tymczasowe (ryc. 13). Posadowiono je na palach żelbetonowych wbijanych (podpory lądowe) oraz na rurach stalowych (podpory w nurcie Wisły – sześć sztuk).

### 3. Podsumowanie

W przypadku obiektów o znacznych długościach całkowitych przyjęta technologia determinuje konieczność zastosowania powiązanych z nią rozwiązań projektowych. Podjęcie decyzji o wyborze technologii realizacji poprzedzone jest analizą, na którą składa się wiele aspektów, takich jak rodzaj przeszkody i ograniczenia terenowe, możliwość zapewnienia dostępności, geometria projektowanej trasy w obrębie obiektu, warunki gruntowo-wodne, rozpiętości poszczególnych przęseł, jak również ograniczenia wykonawcze związane z czasem i preferencje wykonawcy.

Podczas projektowania i budowy obiektów o dużych długościach całkowitych oraz skomplikowanej technologii realizacji niezbędna jest współpraca wykonawcy z doświadczonym biurem projektowym lub jednostką naukowo-badawczą, która



Ryc. 13. Widok mostu M-4 w trakcie realizacji

pozwala na osiągnięcie finalnego sukcesu, tak jak miało to miejsce w przykładowych realizacjach. W ramach realizacji kontraktów firma Budimex SA posiada własne wyspecjalizowane jednostki projektowe – Biuro Techniczne oraz BT Projekt, które zapewniają zarówno wewnętrzny nadzór nad optymalną realizacją inwestycji w systemie zaprojektuj i zbuduj na każdym etapie procesu, jak i zasoby pozwalające na samodzielne sporządzenie kompleksowej dokumentacji projektowej.

Firma Budimex SA w ostatnich latach wykonała wiele kontraktów, w których dobór technologii okazał się kluczowy dla końcowego sukcesu. W artykule podsumowano doświadczenia zebrane w zakresie budowy dużych betonowych obiektów wieloprzęsłowych w odniesieniu do technologii ich wykonywania. W artykule opisano obiekty realizowane w ramach budowy autostrady A4, odcinek Jarosław – Radymno, obwodnicy Kwidzyna i obwodnicy Ostródy. Omówione zostały zalety i wady każdej z opisanych metod ze wskazaniem przykładów z fazy realizacji.

Reasumując, w przypadku projektów, których realizacja wiąże się z zastosowaniem skomplikowanych technologii budowy, wydaje się, że najlepszym rozwiązaniem jest przygotowanie ze strony inwestora jedynie projektu koncepcyjnego wraz z precyzyjnym, jednoznacznym, realnym, obiektywnym oraz technicznym zdefiniowaniem wymagań, lecz pozostawiającym wykonawcy swobodę w doborze metody wykonania, przyjęcia rozpiętości przęseł i kształtowania przekroju poprzecznego.

### Literatura

- [1] Malordy J., Frej G., Kubista R.: *Technologia budowy obiektu E-118 w ciągu autostrady A4 – nasuwanie podłużne dwóch estakad i betonowanie nawisowe mostu głównego*. Materiały VII Ogólnopolskiej Konferencji Mostowców *Konstrukcja i wyposażenie mostów*. Wisła 2015, s. 417–430.
- [2] Biliszczuk J., Machelski C., Hildebrand M.: *Bezpieczeństwo budowy mostów metodą betonowania wspornikowego. Budowa mostów betonowych metodą nawisową*. Warszawa 2003, s. 49–62.
- [3] Filipiuk S., Stefanowski T.: *Most extradosed przez Wisłę koło Kwidzyna*. „Inżynieria i Budownictwo” 2014, nr 1, s. 3–5.

