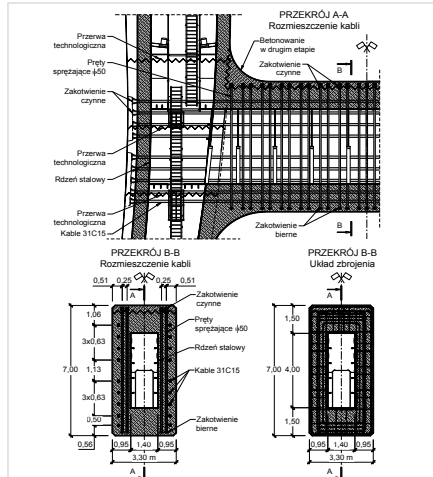


Ryc. 3. Konstrukcja pylonu



Ryc. 4. Układ sprężenia i zbrojenia oraz montaż górnego rygla pylonu

osiadań. Żelbetową płytę wieńczącą pale zaprojektowano z betonu klasy C30/37. Zastosowano cement CIII/A32,5N-LH/HSR/NA o niskim cieple hydratacji. W sumie masa zbrojenia stopy wyniosła 2458 t, a objętość betonu 8099 m³. Maksymalna temperatura podczas betonowania masywu nie przekroczyła 65 °C, a gradient temperatury 20 °C/m.

Pylon ma konstrukcję hybrydową (ryc. 3): nogi pylonu i dolna część gałęzi są żelbetowe, górne części ramion mają konstrukcję zespoloną, rygiel dolny jest betonową belką sprężoną, rygiel górny to sprężona konstrukcja zespolona. Wewnątrz pylonu został umieszczony rdzeń stalowy, który stanowił wewnętrzne deskowanie tracone oraz wspomaga płaszcz żelbetowy w przenoszeniu sił pionowych i momentów zginających. W strefie wpięcia want rdzeń przenosi siły poziome, przekazywane na ściany pylonu przez wanty, oraz stanowi stelaż umożliwiający precyzyjne ustawienie rur szalunkowych systemu podwieszenia. Rdzeń stalowy zespolono z żelbetowym płaszczem za pomocą stalowych sworzni. Ważnym elementem pylonu jest górny rygiel (ściskany i skręcany), który został sprężony dwukierunkowo i mocno zazbrojony (ryc. 4).

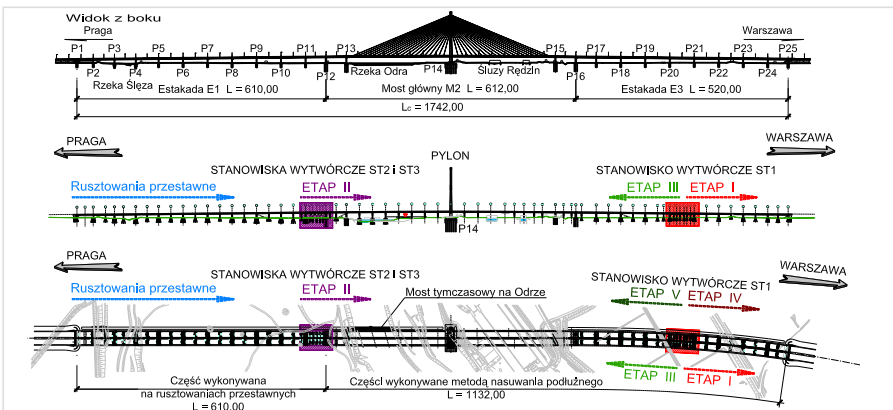
Ideę budowy przeprawy przedstawiono na rycinie 5. Przewidziano trzy stanowiska wytwórcze dla metody nasuwania podłużnego [4]:

- Stanowisko ST1 usytuowane w pobliżu podpory P20 estakady E3, z którego zostały wykonane kolejno obie nitki tej estakady. Umieszczenie stanowiska w środku długości estakady wynika z faktu, iż jest ona położona w planie na krzywej przejściowej i łuku kołowym. W pierwszej kolejności wykonano część północną nitki wschodniej, nasuwając konstrukcję w kierunku przyczółka P25, a później część południową, nasuwając w kierunku podpory P16. Po wykonaniu nitki wschodniej stanowisko zostało przemieszczone poprzecznie, w celu wykonania nitki zachodniej estakady.

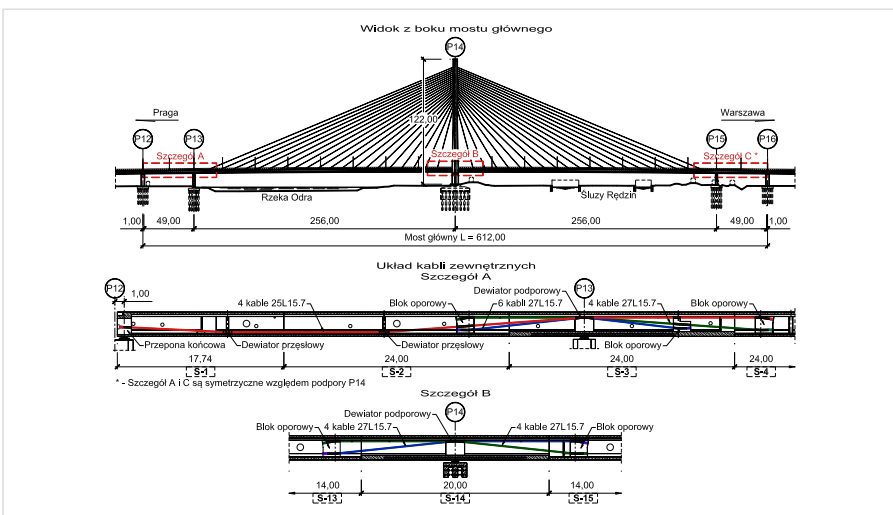
- Bliźniacze stanowiska wytwórcze ST2 i ST3 usytuowano między podporami P11 i P12. Przy ich wykorzystaniu był wykonywany most główny M2.

Dla realizacji estakady E1 zastosowano dwa zestawy rusztowań przestawnych.

Maksymalna rozpiętość przęsła w fazie nasuwania mostu M2 wynosiła 33,35 m. Obie nitki mostu były wznoszone równoległe. Wykonanie jednego segmentu o długości 14,0÷24,0 m trwało od dziewięciu do 14 dni. Po nasunięciu konstrukcji wykonane zostały dodatkowe prace, związane z uzupełniającym betonowaniem niektó-



Ryc. 5. Schemat realizacji mostu i estakad

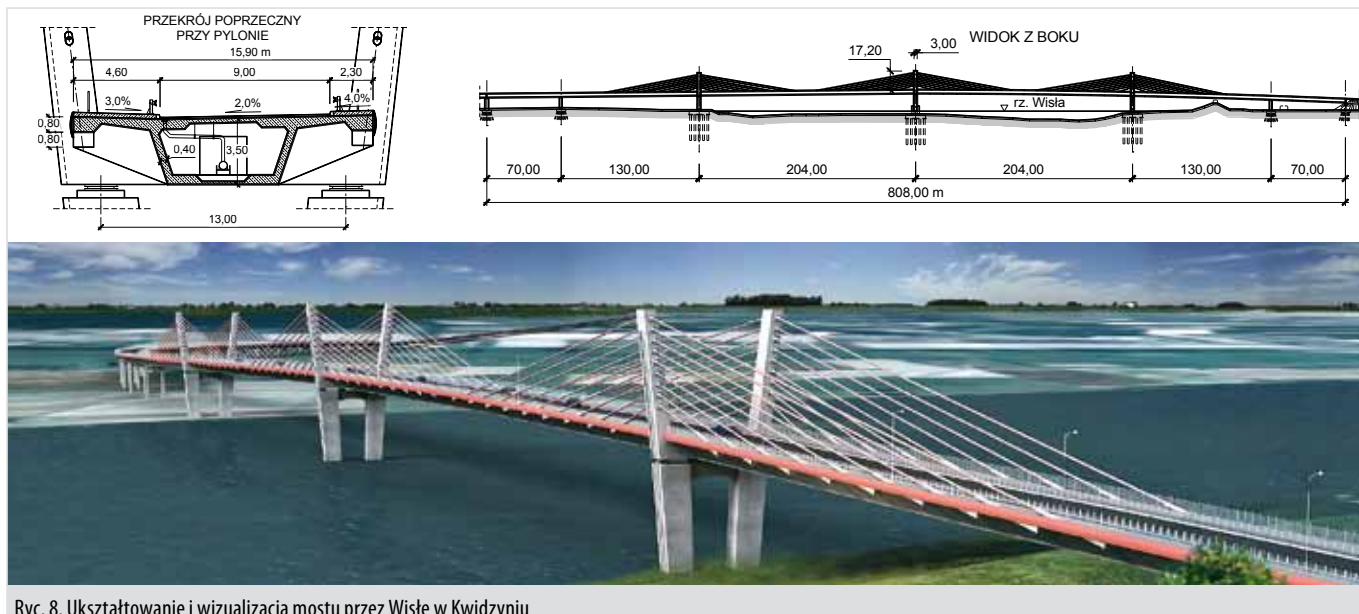


Ryc. 6. Schemat sprężenia docelowego przęsła mostu Rzędzińskiego



Ryc. 7. Widoki ukończonego obiektu





Ryc. 8. Ukształtowanie i wizualizacja mostu przez Wisłę w Kwidzynie

rych elementów (np. segmentów łącznikowych w estakadach, pogrubieniem płyty dolnej w segmentach podporowych) oraz osadzeniem dolnych zakotwień want w pomoście. Następnie zainstalowano i napięto zewnętrzne kable docelowe, których układ pokazano na rycinie 6. Po nasunięciu konstrukcji i jej sprężeniu nastąpiła korekta niwelety (uniesienie lub opuszczenie ustrojów nośnych na podporach montażowych) i napięcie want [4].

Oba dźwigary podwieszono do centralnie usytuowanego pylonu za pomocą 80 par want. Ciągna są zamocowane w skrajnych belkach co 12,0 m i w gałęziach pylonów w rozstawie co 1,8 m. Zakotwienia bierno przewidziano w pylonie, a czynne w pomoście. Postawiono warunek, by logarytmiczny dekrement tłumienia drgań want był większy od 3%, co wymagało zastosowania tłumików.

Podwieszenie stanowią ciągna firmy Freyssinet z siedmiodrutowych lin (L15,7 mm) o wytrzymałości charakterystycznej 1860 MPa. Tworzące je liny (w liczbie od 24 do 48) są poprowadzone w rurach zewnętrznych z HDPE koloru białego, mających spiralne żebro, zapobiegające wzbudzeniu deszczowo-wiatrowemu drgań.

Projekt konstrukcji mostu opracował Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław. Głównym wykonawcą było konsorcjum Mostostal Warszawa i Acciona. Koszt mostu wyniósł ponad 570 mln zł, co dało średni koszt 1 m² na poziomie 8770 zł.

Most Rędziński został oddany do użytku 31 sierpnia 2011 r. Na rycinie 7 pokazano widok obiektu po jego ukończeniu. Na temat budowy mostu zob. także: *Most Rędziński już otwarty*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2011, nr 5 (38), s. 24–26 oraz *Most Rędziński – betonowy kolos z cienką*

kreską pomostu, smukłym pylonem i czterema białymi wachlarzami. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2011, nr 6 (39), s. 32–35.

2. Most przez Wisłę w Kwidzynie (w budowie)

Nowy most przez Wisłę budowany jest w ciągu DK90, łączącej Kwidzyn z drogą krajową nr 1 oraz autostradą A1. Wybrano koncepcję mostu betonowego, sprężonego kablami o dużym mimośrodku (typu extradosed), który jest konstrukcją pośrednią między mostem podwieszonym i belkowym [1, 14, 15]. Oprócz sprężenia kablami umieszczonymi wewnątrz ustroju nośnego zastosowano kable zewnętrzne, kotwione w poprzecznicach, przechodzące nad podporami przez niskie pylony (dewiatory), co pozwoliło na uzyskanie znacznego mimośrodu siły sprężającej.

Przeprawa o łącznej długości 1867 m składa się z pięciu niezależnych konstrukcji [9]. Most główny nad korytem rzeki ma długość 808 m i jest sześcioprzęsłową belką ciągłą o rozpiętościach przęsła 69,3 + 130,0 + 204,0 + 204,0 + 130,0 + 70,0 m (ryc. 8). Przęsła mają przekrój skrzynkowy (wysokość 3,50 m) o pochylonych środnikach. Sprężenie zrealizowano przy zastosowaniu kabli wewnętrznych, umieszczonych w dźwigarze, oraz zewnętrznych, prowadzonych przez pylony. Odchylane są one w siódlach i kotwione w poprzecznicach, wyprowadzonych poza obrys skrzynki (ryc. 8). Kable podwieszenia składają się z 75 splotów o przekroju 7Ø5 mm [9].

Rozchylone na zewnątrz ramiona pylonów mają wysokość 17,2 m ponad powierzchnię płyty pomostowej i przekrój prostokątny, zmieniający się od 3,0 x 2,2 m u podstawy do 3,0 x 1,8 m na wierzchołku.

Utwierdzono je w poprzecznicach podporowych o szerokości 3,0 m. Ustrój nośny oparto na filarach, składających się z dwóch pochylonych słupów o przekroju prostokątnym, o wymiarach 2,5 x 2,0 m, spiętych w górnej części rygłem. Podpory nurtowe posadowiono na palach wierconych o średnicy 1,50 m i długości 25,0 m, pozostałe podpory na palach wbijanych [9]. Projekt mostu opracował Transprojekt Gdański, głównym wykonawcą jest konsorcjum firm Budimex oraz Ferrovia.

3. Most Milenijny przez Odrę w ciągu Obwodnicy Śródmiejskiej Wrocławia (2004)

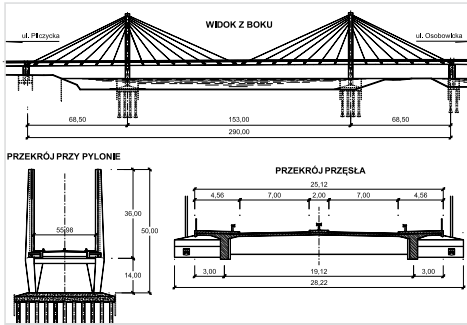
Prezentowany obiekt (ryc. 9) jest częścią przeprawy przez Odrę i basen kotwicowiska barek. Jej głównym elementem jest betonowy most podwieszony [7] o następujących parametrach:

- rozpiętości przęsła: 68,5 + 153,0 + 68,5 m;
- szerokość obiektu: 25,1 m;
- pomost dwudźwigarowy, belki o wysokości 2,70 m;
- dwa betonowe pylony typu H o wysokości 50,0 m (ponad teren) i 33,0 m ponad poziom pomostu;
- dwie płaszczyzny podwieszenia, kable iniektowane zaczynem cementowym, kotwione we wspornikach poprzecznic łączących belki krawędziowe pomostu.

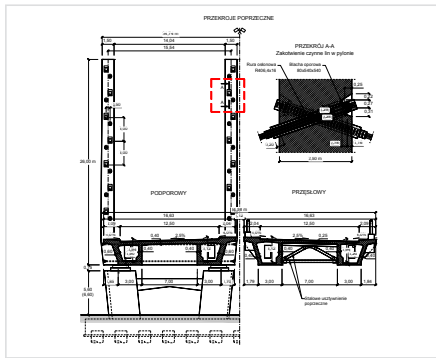
Obiekt wykonano w technologii betonowania wspornikowego. Projekt mostu wykonało BBR Polska (główny projektant Piotr Wanecki), budowę prowadziła Skanska.

4. Most przez Motławę w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska (2012)

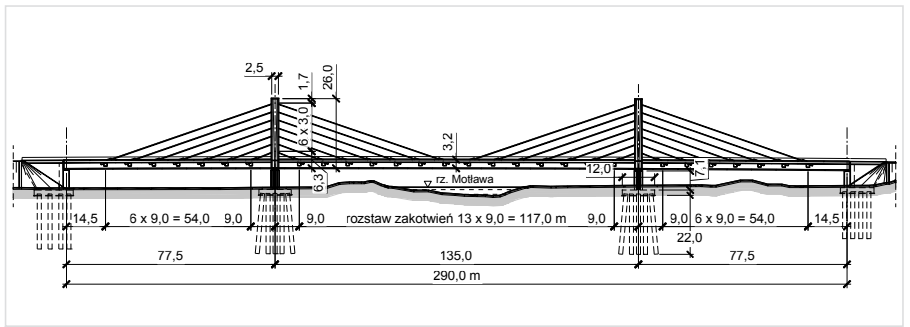
Najbardziej charakterystycznym obiektem w ciągu Południowej Obwodnicy Gdańska, będącej częścią trasy ekspresowej S7, będzie most typu extradosed przez Mo-



Ryc. 9. Most Milenijny we Wrocławiu



Ryc. 10. Przekrój poprzeczny mostu przez Motławę



Ryc. 11. Most przez Motławę – widok z boku

tławę [11]. Jest to betonowa, sprężona konstrukcja trójprzęsłowa, o rozpiętości przęsła głównego wynoszącej 135 m i całkowitej długości 292 m (ryc. 11). Ustroje nośne, odrębne dla każdej z jezdni, zaprojektowano w postaci dwóch szeroko rozstawionych dźwigarów skrzynkowych o wysokości 2,0÷2,5 m, stężonych kratownicowymi poprzecznikami stalowymi, zespolonymi z częścią betonową przekroju (ryc. 10).

Dźwigary sprężono kablami centrycznymi, z uwagi na metodę nasuwania podłużnego ustroju nośnego, oraz kablami krzywoliniowymi, bezprzyczepnościowymi, w osłonie HDPE, naciąganyymi po nasunięciu. Ciężna sprężające o dużym mimośródzie (w układzie harfowym) zakotwiono w stosunkowo niskich pylonach, zamocowanych w masywnych poprzecznikach podporowych po obu stronach każdego pomostu. Założono wykonanie obiektu w technologii nasuwania,

z zastosowaniem podpór tymczasowych, przyjmując maksymalną rozpiętość przęsła w tej fazie wynoszącą 45 m, co wymaga wykonania podpór tymczasowych także w nurcie rzeki. Po całkowitym nasunięciu pomostu wzniesione zostaną pylony oraz sukcesywnie zamontowane ciężna zewnętrzne, poczynając od najkrótszych.

Projektantem mostu są biura Transprojekt Gdański i Mosty Gdańsk, a generalnym wykonawcą firma Bilfinger Berger.

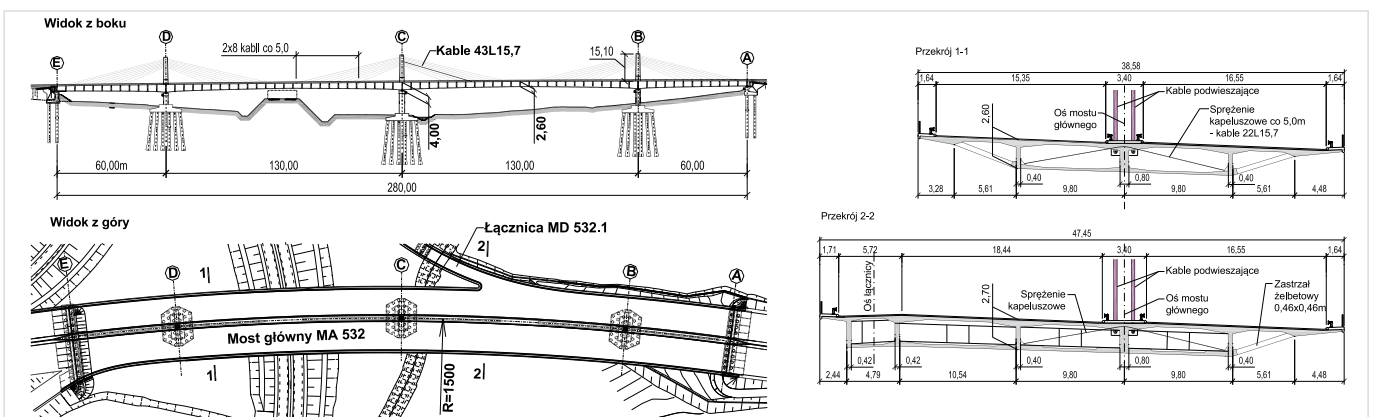
5. Most MA 532 przez dolinę potoku Kolejówka w ciągu autostrady A1 (2012)

Obiekt usytuowany jest w strefie węzła Mszana, prowadząc autostradę A1 nad doliną potoku Kolejówka. Obie jezdnie umieszczono na wspólnej konstrukcji w postaci dwukomorowego dźwigara skrzynkowego z betonu sprężonego. Ustrój nośny zaprojektowano jako czteropięsłowy, zakrzywiony w planie ($R = 1500$ m), wzmoc-

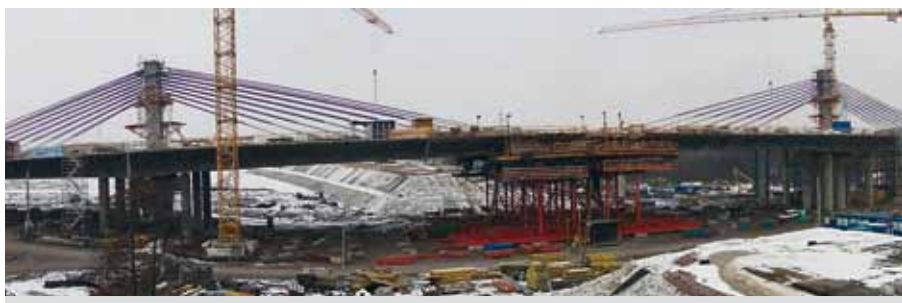
niony układem ciężen zewnętrznych o dużym mimośródzie (ryc. 12). Rozpiętości przęseł wynoszą 60,0 + 2 x 130,0 + 60,0 m. Dźwigar skrzynkowy ma zmienną wysokość od 2,60 m w przęśle do 4,00 m nad podporami.

Układ ciężnowy tworzą trzy betonowo-stalowe pylony (o wysokości 15,1 m ponad poziom pomostu), usytuowane nad centralnym środkiem dźwigara, i kable podwieszające o dużym mimośródzie. Ciężna te (typu VSL 43L15,7) są kotwione w sposób bierny w pylonach, natomiast zakotwienia czynne umieszczono wewnątrz skrzyni, przy centralnym środku. Podstawowe wymiary omawianego obiektu przedstawiono na rycinie 12.

Geometrię i konstrukcję mostu komplikuje wbudowanie łącznicy 532.1 w centralną strefę przęsła B-C. Z tego powodu szerokość obiektu jest zmienna i waha się od 38,58 m aż do 47,45 m. Ustrój nośny



Ryc. 12. Podstawowe parametry geometryczne obiektu MA 532



Ryc. 13. Budowa mostu MA 532

zaprojektowano z betonu klasy C50/60 i C60/75.

W omawianym obiekcie zastosowano dwa nietypowe rozwiązania konstrukcyjne.

- Wiotkie kable kapeluszowe zamiast stosowanych powszechnie dla zapewnienia współpracy poprzecznej elementów skrzyni sztywnych przepon bądź zastrzałów [1]. Liczbę sztywnych przepon zdecydowanie ograniczono.

- Włączenie łącznicy 532.1 w środkową część przęsła B–C. Łącznica obciąża niesymetrycznie przęsło, co powoduje przeciążenie skrajnego środka skrzyni. Zazwyczaj łącznice wbudowuje się w strefie podpór.

Aktualnie (luty 2012 r.) obiekt MA 532 jest w końcowej fazie realizacji. Stan zaawansowania budowy pokazano na rycinie 13. Most zaprojektowało biuro Complex Projekt (główny projektant Stefan Jendrzek), a wykonawcą jest firma Alpine Bau.

6. Mosty nad Łabą i stacją kolejową Vrsovice, Czechy (1988, 1993) [13]

Mosty te mają podobne ukształtowanie architektoniczne i konstrukcyjne. Główne przęsła o rozpiętości odpowiednio 123,2



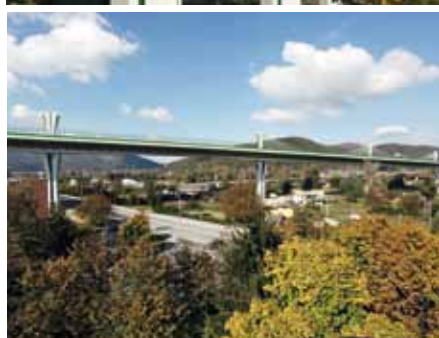
Ryc. 14. Most przez Łabę – wznoszenie konstrukcji [13]

m i 101,2 m podwieszono w osi do pojedynczych pylonów, wykonanych w postaci stalowych słupów wypełnionych betonem. Pomosty zmontowano z elementów prefabrykowanych z dodatkowo betonowanymi in-situ wspornikami, podpartymi zastrzałami prefabrykowanymi (ryc. 14).

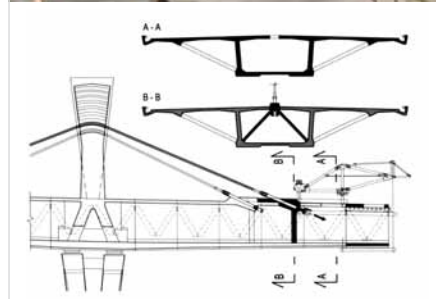
Projektantem obiektów było biuro Strasky Husty & Partners (SHP) z Brna.

7. Wiadukt w Povazskej Bystricy, Słowacja (2010) [13]

Autostrada D1 poprowadzona została przez miasto Povazska Bystrica na kilku wiaduktach. Największy z nich, o całkowitej długości 958,2 m (ryc. 15), jest belką ciągłą o rozpiętościach przęsła 34,2 + 48,8 + 70,8 + 6 x 122,0 + 68,0 m [13]. Ustrój nośny ma postać jednokomorowego dźwigara skrzynkowego, ze wspornikami podpartymi przez prefabrykowane zastrzały w układzie V (ryc. 16). Pomost podwieszony jest w osi mostu do siedmiu niskich pylonów o wysokości 14 m ponad poziom jezdni. Cięgna mają układ półpromienisty. Dźwigar opiera się na czterech łożyskach, usytuowanych w dwóch rzędach na filarach w kształcie litery H, złożonych z połączonych ze sobą



Ryc. 15. Wiadukt w Povazskej Bystricy [13]



Ryc. 16. Budowa wiaduktu w Povazskej Bystricy metodą wspornikową [13]

pochyłych słupów. Przęsła były wznoszone metodą wspornikową jako siedem symetrycznych wahadeł, wykonywanych jednocześnie przy użyciu siedmiu par trawelerów (ryc. 16).

Wysokość dźwigara o szerokości 30,65 m zmienia się od 6,00 m nad podporami do 4,70 m w środku przęsła. Stosunkowo wąski dźwigar skrzynkowy ma zmienną grubość śródników i płyty dolnej. Poprzecznie sprężona płyta pomostowa uzyskała stałe wymiary. Nad podporami pomost jest usztywniony przeponami w kształcie litery A, które przekazują obciążenie z pylonu na dwa rzędy łożysk.

Ze względu na dużą sztywność giętną pomostu zmiany naprężeń w olinowaniu, wpływające na zmęczenie, są bardzo małe – wynoszą ok. 25 MPa. Z tego powodu możliwe było zastosowanie tradycyjnego układu cięgien, w którym całe wiązki lin są odchylane w stalowych rurach, tworzących siodła. Każde cięgno składa się z 37 lin, umieszczonych w rurze z polietylenu. W siodłach osłony lin zostały usunięte, a cięgna zainiektowano w stalowej rurze. Projektantem obiektu było biuro SHP.

8. Projekt mostu przez Łynę w ciągu obwodnicy Olsztyna

Most przez Łynę będzie częścią obwodnicy Olsztyna w ciągu DK 16. Obiekt przekracza dolinę rzeki, którą wypełnia podmokły obszar torfowiska. Jest to teren, który ma nie tylko wartość biologiczną, ale także walor krajobrazowy.

Spośród trzech koncepcji [2] do realizacji wybrano betonowy most typu extrado-

sed o wspólnej konstrukcji nośnej dla obu jezdni, o przęsłach rozpiętości 60,0 + 120,0 + 60,0 m (ryc. 17). Przęsło główne zostanie podwieszane do dwóch niewysokich, stalowych pylonów, stabilizowanych wantami odciągowymi, kotwionymi w przęsłach bocznych.

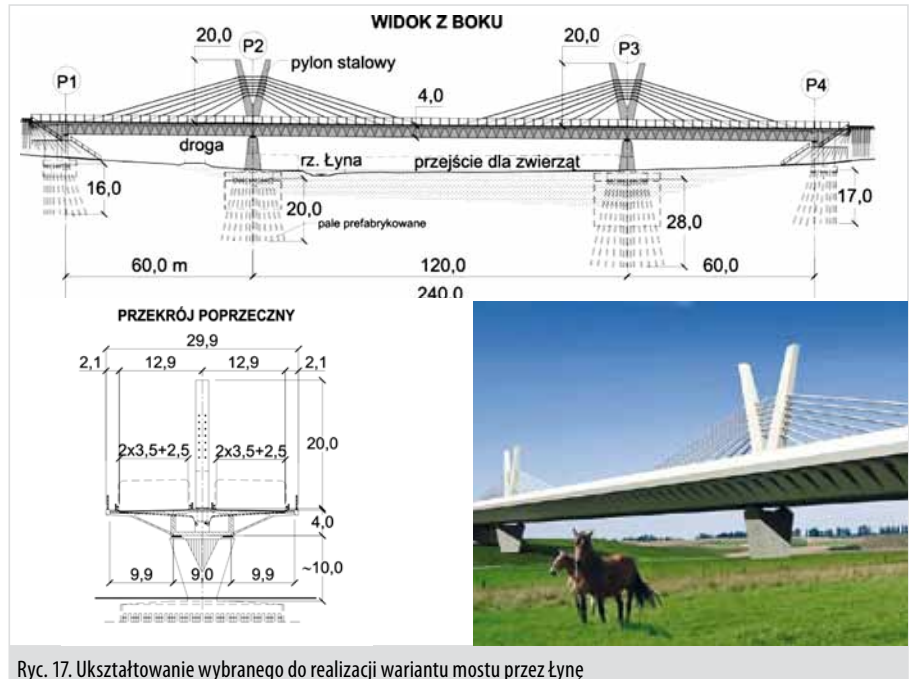
Ustrój nośny to jednokomorowa konstrukcja skrzynkowa o wysokości 4,00 m z betonu sprężonego. Wsporniki pomostu podparte są za pomocą betonowych zastrzałów w formie prefabrykowanych, trójkątnych płyt betonowych. Dźwigar zaprojektowano jako sprężony podłużnymi kablami wewnętrznymi i kablami zewnętrznymi, podwieszony do pylonów-dewiatorów w kształcie litery V, zamocowanych w konstrukcji pomostu. Przekrój trzonu i ramion pylonów jest skrzynkowy. Kable zewnętrzne zaprojektowano w formie dwóch jednopłaszczyznowych wachlarzy, złożonych z siedmiu par cięgien, zlokalizowanych centralnie w przekroju poprzecznym. W pylonie nie przewidziano kotwienia lin, zostaną one odchyłone przy użyciu siodeł. Zakotwienia czynne usytuowano pod płytą pomostową, wewnątrz dźwigara skrzynkowego. Zaprojektowano posadowienie obiektu na prefabrykowanych palach wbijanych.

Budowę ustroju nośnego przewidziano w technologii nasuwania podłużnego, przy użyciu podpór montażowych tylko w przęsłach skrajnych [2]. Zaproponowano nasuwanie konstrukcji z dwóch stron i scalenie jej przez wykonanie styku monolitycznego w środku głównego przęsła. Przyjęcie takiej technologii pozwoli na wykonanie mostu bez ingerencji w teren niecki bagna. Wizualizację mostu przedstawiono na rycinie 17. Projekt opracował Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław.

9. Most przez Odrę i Jezioro Antoszowickie, Czechy (2007) [13]

Niedaleko Ostrawy autostrada D47 przekracza Odrę i Jezioro Antoszowickie mostem o całkowitej długości 589 m. Ponieważ jest on usytuowany na terenach rekreacyjnych, istotne było zaprojektowanie smukłej, estetycznej konstrukcji, stąd też zaakceptowano projekt mostu podwieszanego do jednego pylonu (ryc. 18).

Trasa autostrady jest w łuku o promieniu 1500 m, przechodzącym w prostą. Główne przęsło o rozpiętości 105 m, przekraczające Odrę, podwieszono do pylonu o wysokości 46,81 m (37,31 m od poziomu pomostu), jak na rycinie 19. Z uwagi na symetrię cięgien podwieszających, odciaży zakotwiono w dwóch sąsiednich przęsłach, usytuowanych pomiędzy rzeką i jeziorem. Olinowa-



Ryc. 17. Ukształtowanie wybranego do realizacji wariantu mostu przez Łynę

nie ma układ półpromienisty, w pomoście zakotwienia są w rozstawie co 6,07 m, w pylonie co 1,20 m.

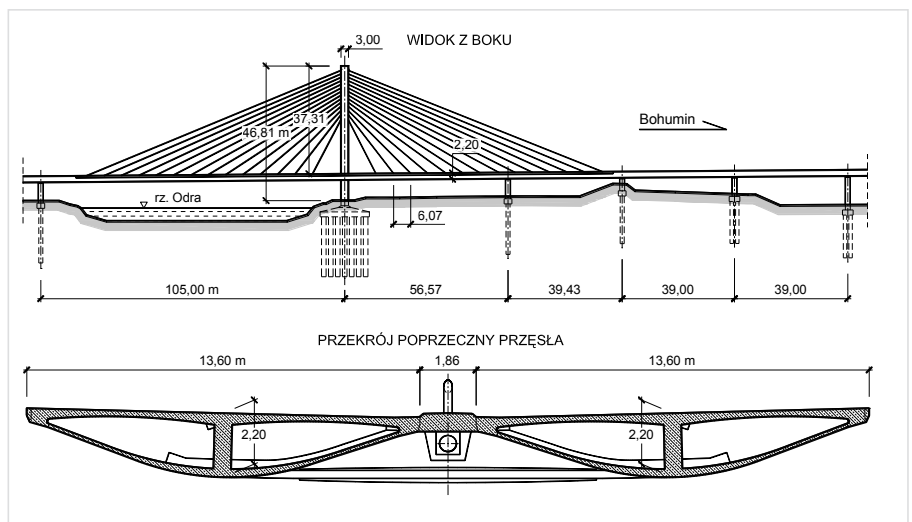
Ustrój nośny ukształtowano w postaci dwukomorowych dźwigarów skrzynkowych o wysokości 2,20 m, bez tradycyjnych zastrzałów (ryc. 19). Dolna płyta obu komór jest pochylona i wyoblona. W przęsłach podwieszonych dźwigary są ze sobą połączone płytą górną oraz stężeniami

poprzecznymi, tworzącymi prosty układ kratownicowy, przenoszący siłę z want na środki dźwigarów (ryc. 20).

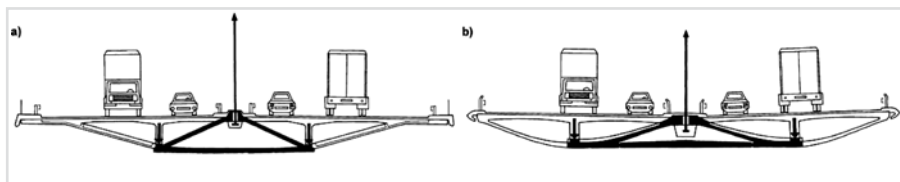
Wszystkie filary mają eliptyczny przekrój poprzeczny o szerokości 4,10 m i grubości 1,60 m. Filary, które przenoszą siły wyrwywające, są połączone z pomostem i fundamentami za pomocą betonowych przegubów, tworząc wahaczowe słupy. Sprężono je pionowymi cięgnami, zako-



Ryc. 18. Most podwieszony przez Odrę [13]



Ryc. 19. Most przez Odrę – geometria obiektu



Ryc. 20. Zasada pracy pomostów: a) mostu przez Łabę, b) mostu przez Odrę [13]

wionymi w fundamentach i w przeponach podporowych.

Pylon składa się ze stalowego rdzenia o ośmiokątnym przekroju poprzecznym, zespolonego z betonowym płaszczem. Wewnątrz jego górnej części zakotwione są wanty, część dolna jest wypełniona betonem. Pylon ma stałą grubość 3,0 m, jego szerokość poniżej pomostu wynosi 4,1 m, a powyżej 2,4 m. Zastosowano system podwieszenia VSL SSI 2000. Wanty składają się z 55 do 91 lin o średnicy 15,7 mm. Zakotwienia bierne znajdują się w pylonie, czynne w pomoście.

Ukształtowanie konstrukcyjne obiektu było związane z technologią budowy. Wykonawca zdecydował o wznoszeniu ustroju nośnego metodą przęsła po przęsle, przy pomocy dwóch zestawów deskowań podwieszonych do rusztowań przestawnych. Najpierw rozpoczęto budowę północnej

części mostu. Po ukończeniu pierwszych sześciu przęseł rozpoczęła się budowa części południowej. Gdy zbudowane zostały przęsła przyległe do pylonu, wzniesiono stalowy rdzeń pylonu i wykonano jego wypełnienie oraz płaszcz betonowy. Jednocześnie wykonano elementy łączące dźwigary oraz górną płytę, która została sprężona poprzecznie. Następnie zamontowano i naciągnięto wanty. Po tej operacji usunięto tymczasowe podpory. Most zaprojektowało biuro SHP.

10. Most przez Skawę w Zembrzycach (2010)

Most stanowi część obwodnicy Zembrzyc, znajdującej się w ciągu drogi wojewódzkiej nr 956. Przeszkodę stanowi Skawa, która jest rzeką górską, o nieregulowanym, szerokim korycie i nagłych zmianach stanu wody. Z uwagi na rodzaj przeszkody i lokalizację obiektu w malowniczym krajobrazie

Beskidu Małego zdecydowano, iż jego sylwetka powinna stanowić element charakterystyczny, orientacyjny. Zaprojektowano betonowy most, podwieszony do jednego pylonu, o belkowo-płytkowej konstrukcji pomostu [8]. Rozpiętości przęseł wynoszą 21,0 + 35,0 + 105,0 + 83,1 m (ryc. 21). Najdłuższe z nich podwieszono za pomocą pięciu par want w układzie wachlarzowym (ryc. 22).

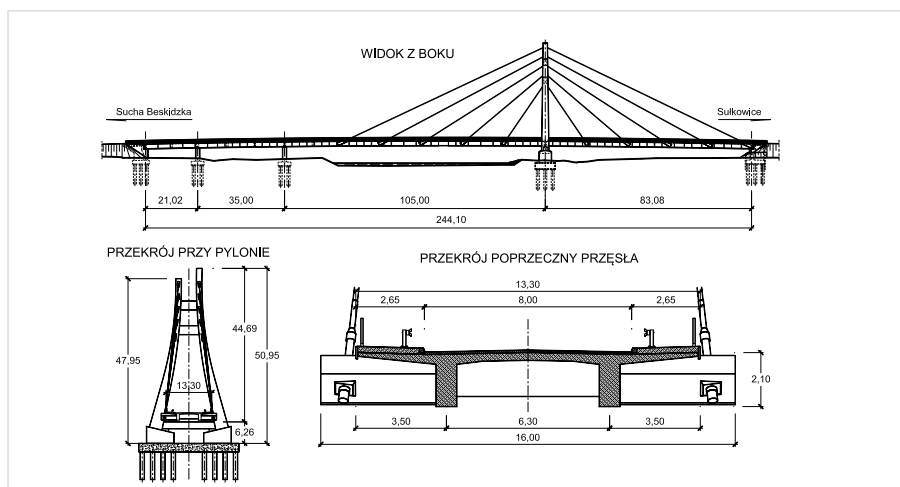
Konstrukcję nośną z betonu sprężonego klasy C35/45 tworzy układ belkowo-płytkowy (dwa dźwigary wysokości 2,20 m w rozstawie co 6,30 m) o szerokości 13,3 m, stężony sprężonymi poprzecznkami, przedłużonymi poza obrys dźwigarów, gdzie zakotwione zostały wanty. Asymetryczny betonowy pylon (beton klasy C35/45) o wysokości 50,95 m tworzą dwa zakrzywione ramiona, wyprowadzone z masywnych trzonów, stężone w ich górnej części dwoma ryglami. W dolnej części ramiona łączy belka, stanowiąca oparcie dla konstrukcji pomostu. Obiekt posadowiono na palach o średnicy 1,20 m i długości ok. 8,0 m. Most wzniesiono na rusztowaniach stacjonarnych. Projektantem obiektu było Biuro Inżynierskie Fijałkowski, a generalnym wykonawcą Mota-Engil Central Europe.

11. Most przez Wartę w Koninie (2007)

Most przez Wartę w Koninie [10] znajduje się w ciągu nowego odcinka DK25, stanowiącego powiązanie miejskiej sieci ulic z autostradą A2. Dolina Warty została przekroczona obiektem składającym się z czterech niezależnych konstrukcji [10]. Nad nurtem rzeki drogę poprowadzono dwujezdniowym, trójprzęsłowym mostem o długości 200 m i rozpiętościach przęseł 60 + 80 + 60 m. Był to pierwszy w Polsce [10] obiekt z betonu sprężonego kablami zewnętrznymi o dużym mimośrodzie (typu extradosed).

Ustrój nośny składa się z trójbelkowego rusztu, podwieszono do niskich pylonów, zamocowanych w dźwigarach. Kablobetonowe dźwigary zewnętrzne o wysokości 2,6 m mają szerokość 1,5 m, a szerokość dźwigara wewnętrznego wynosi 2,0 m. Szerokość pomostu jest równa 25,1 m. Poprzecznice podporowe zaprojektowano jako betonowe, poprzecznice przęsłowe to stalowe blachownice, zespolone z częścią betonową. Przekrój poprzeczny mostu pokazano na rycinie 23. Konstrukcję wykonano z betonu klasy C50/60.

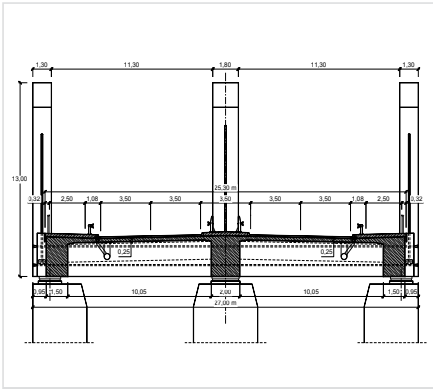
Nad podporami pośrednimi zaprojektowano pylony o zmiennym przekroju poprzecznym, rozszerzającym się ku górze. Ich wysokość wynosi 10,3 m, szerokość 1,3 m (zewnętrznych) i 1,8 m (wewnętrznych). Cięgna, składające się z 37 lub 42 splotów



Ryc. 21. Ukształtowanie mostu podwieszono przez Skawę



Ryc. 22. Widok mostu w Zembrzycach podczas wznoszenia i po ukończeniu



Ryc. 23. Most przez Wartę w Koninie – przekrój poprzeczny



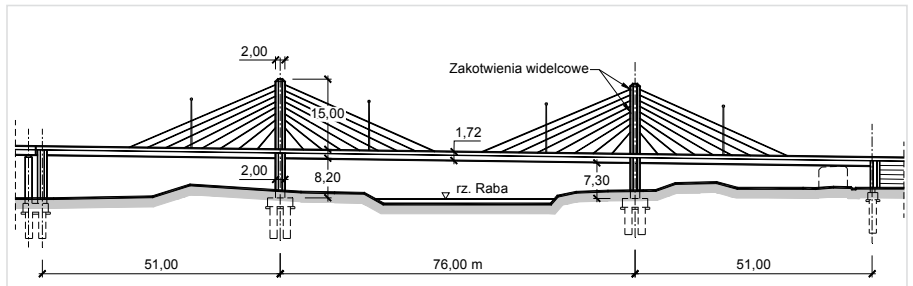
Ryc. 24. Widok mostu w Koninie w czasie budowy i po ukończeniu



7Ø5 mm w osłonach HDPE iniektowanych zaczynem cementowym, kotwione są w pylonie w sposób bierny, ze względu na stosunkowo nieduże wymiary jego głowicy. Czynne zakotwienia zlokalizowano w blokach kotwiących na zewnętrznych powierzchniach skrajnych dźwigarów i od spodu dźwigara wewnętrznego w rozstawie 10 + 12 + 12 m.

Ustrój nośny wzniesiono w technologii nasuwania podłużnego, w kolejności belka po belce, z zastosowaniem awanbeku. Po nasunięciu na pozycję docelową dźwigarów głównych zamontowano stalowe poprzecznicę, następnie wykonano żelbetową płytę pomostu oraz sześć pylonów, do których zamontowano sprzężenie zewnętrzne (ryc. 24).

Projekt obiektu wykonało biuro Transprojekt Gdański, a wykonawcą było konsorcjum firm Hydrobudowa 6 i PPRM Płock.

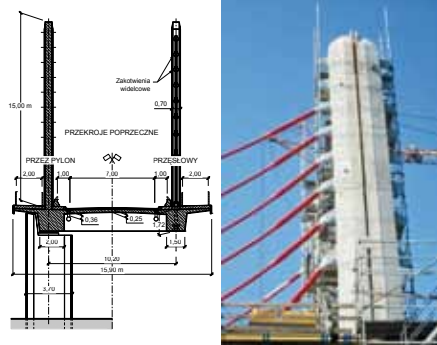


Ryc. 25. Most przez Rabę w Dobzycach – widok z boku i wizualizacja [12]

12. Most przez Rabę w Dobzycach (2012)

Most przez Rabę leży w ciągu budowanej obwodnicy Dobzyc [12]. Obiekt składa się z estakady dojazdowej i głównego mostu podwieszono, który zaprojektowano jako trójprzęsłowy ruszt z betonu sprzężonego, wzmocniony układem ciągnowym. Rozpiętości przęseł wynoszą 51,0 + 76,0 + 51,0 m. Ciągna podwieszające są podtrzymywane przez dwie pary kolumnowych pylonów, utwierdzonych w belkach pomostu. Ustrój nośny składa się z dwóch dźwigarów o stałej wysokości 1,72 m, w rozstawie co 10,20 m, stężonych poprzecznkami co 25,0 m. Płyta pomostowa ma grubość od 0,25 m do 0,36 m. Pylony wysokości 15,0 m mają stały przekrój prostokątny o wymiarach 0,70 x 2,00 m. Ciągna zakotwiono w pylonie w sposób bierny (system widelcowy), a czynny w pomoście, we wnękach dźwigarów belkowych. Zastosowano cięgna podwieszające systemu BBR VT Cona HiAm/HiEx. Beton ustroju nośnego C40/50.

Podstawowe parametry geometryczne mostu przedstawiono na rycinach 25 i 26. Przewidziano wykonanie mostu na pełnym rusztowaniu. Projekt obiektu wykonało



Ryc. 26. Przekrój poprzeczny i widok pylonu podczas budowy [12]

biuro Projekt Promost Consulting (Tomasz Siwowski i Piotr Żółtowski), a realizację prowadzi Mota-Engil Central Europe.

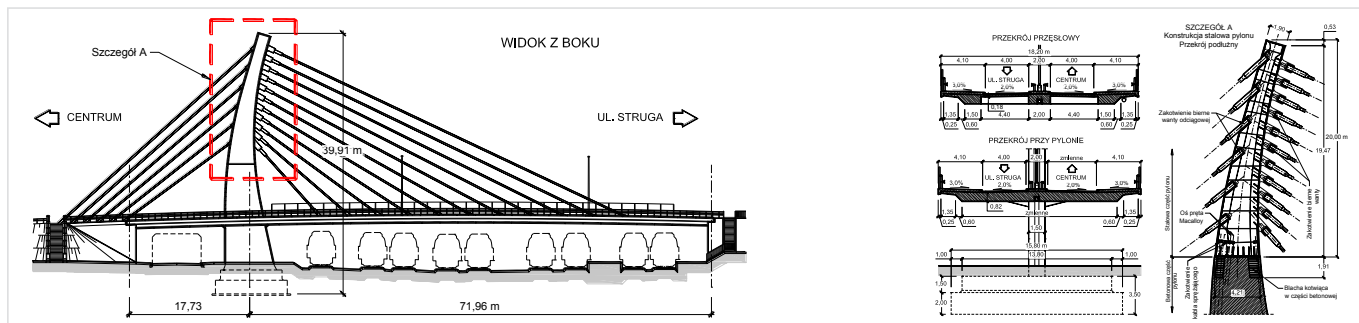
13. Wiadukt nad torami PKP w ciągu ul. Reymonta w Opolu (2010)

Wiadukt zaprojektowano w postaci konstrukcji podwieszonoj do jednego pylonu (ryc. 27), połączonej monolitycznie z pomostem o złożonej w planie geometrii. Rozpiętość głównego przęsła wynosi 71,96 m. Ustrój nośny w strefie pylonu stanowi betonowa płyta o grubości maksymalnej

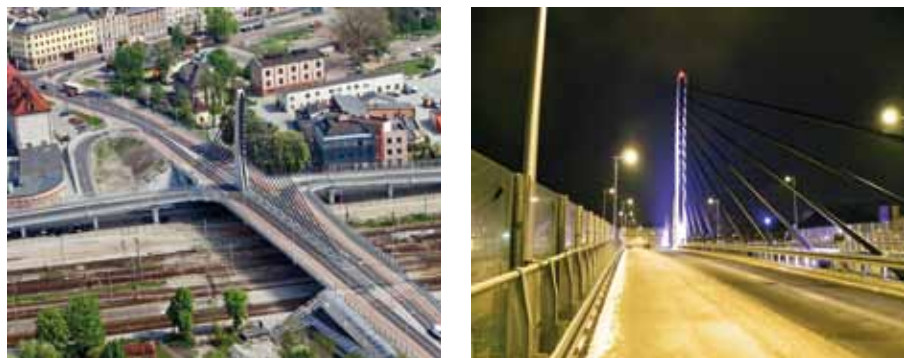
0,90 m, a w przęsłach tylnym oraz głównym ruszt trójdźwigarowy. Szerokość belki środkowej wynosi 2,00 m, skrajnych, o przekroju trapezowym 1,50 m (na krawędzi dolnej). Całkowita szerokość pomostu wynosi minimum 17,70 m, zwiększając się niesymetrycznie przy łącznicy, z uwagi na wykształtowanie zjazdu. Dźwigary połączono poprzecznkami o szerokości 1,00 m. Ustrój nośny wykonano z betonu sprzężonego klasy C50/60.

Pylon zaprojektowano jako konstrukcję hybrydową [3], monolitycznie połączoną z ustrojem nośnym przęseł. Poniżej pomostu i w części środkowej betonowy pylon (beton klasy C50/60), o grubości 1,50 m i zmiennej szerokości, został sprzężony podłużnie kablami ze stali o wysokiej wytrzymałości. W części górnej ma postać stalowej skrzynki, w której wykonowano zakotwienia bierne wszystkich want (ryc. 27). Pylon posadowiono bezpośrednio na masywnej stopie fundamentowej.

Podwieszenie w postaci jednej płaszczyzny zlokalizowano w osi konstrukcji. Zastosowano cięgna o liczbie splotów wy-



Ryc. 27. Ukształtowanie wiaduktu podwieszonoego w Opolu



Ryc. 28. Widoki wiaduktu w Opolu

noszącej od 52 do 69. Zakotwienia czynne want odciągowych znajdują się w betonowej skrzyni balastowej, stanowiącej przyczółek obiektu, a want przęsła głównego w niszach, wykształtowanych w środkowym dźwigarze pomostu.

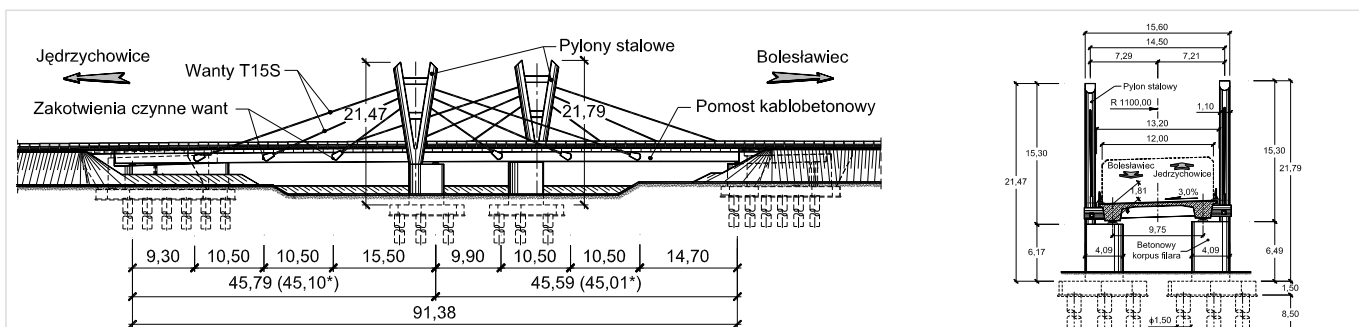
Projektantem obiektu było biuro Promost Jerzy Śliwka oraz Staehler + Knopikk Ing., a generalnym wykonawcą konsorcjum firm Himmel i Papesch oraz Mostmar. Widok ukończonego obiektu przedstawiono na rycinie 28.

14. Wiadukt nad autostradą A4 w ciągu DK 94 w Wykrotach (2008)

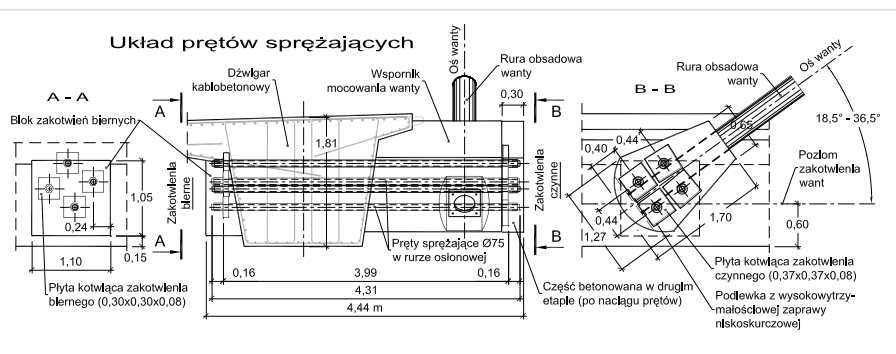
Wiadukt WD-22 zaprojektowano w związku z budową autostrady A4 na odcinku Zgorzelec – Krzywa. Przy projektowaniu przyjęto założenie, że ma to być obiekt o charakterystycznym ukształtowaniu. Wiadukt przeprowadza DK94 nad autostradą A4, kąt przecięcia jego osi z osią autostrady wynosi 38,36°. Jego długość jest równa 90,75 m, natomiast szerokość użyt-

kowa wynosi 11,00 m. Zdecydowano się na zastosowanie betonowego ustroju dwuprzęsłowego (beton klasy C40/50) o małej wysokości konstrukcyjnej, podwieszonoego do pylonów (ryc. 29). Konstrukcja nośna o rozpiętościach teoretycznych przęseł 45,47 + 45,28 m jest zakrzywiona w planie. Wolno stojące pylony stalowe, ukształtowane w postaci litery V, zamocowano w cokółkach żelbetowych, usytuowanych w pasie rozdziału autostrady.

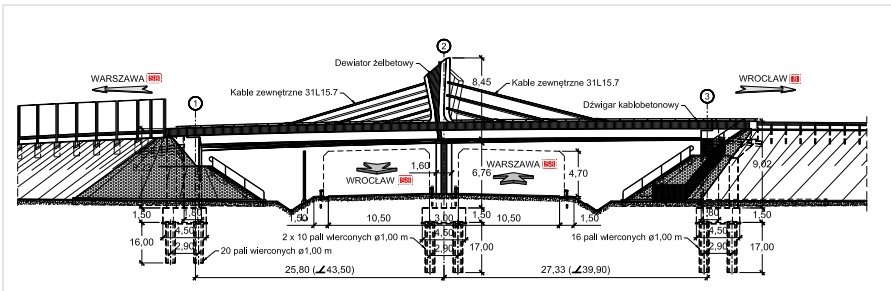
Przekrój poprzeczny stanowią dwa dźwigary w rozstawie co 9,75 m (ryc. 29), sprężone kablami 19T15S tak, że w przekroju przęsłowym są cztery kable, natomiast nad filarami osiem. Dźwigary główne połączone prostokątami do nich, żelbetowymi poprzecznkami w rozstawie co ok. 8 m. Po zewnętrznej stronie dźwigarów ukształtowano betonowe wsporniki, doprężone do nich czterema prętami o średnicy 75 mm, ze stali o wysokiej wytrzymałości (ryc. 30). Cięgna podwieszające typu 18T15S, 24T15S i najdłuższe 30T15S są zakotwione w sposób czynny we wspornikach i bierny w pylonach.



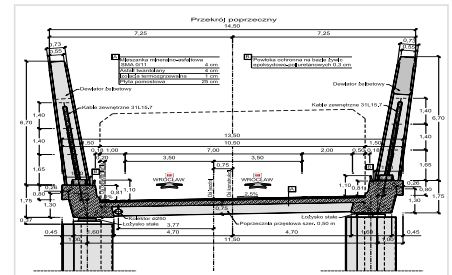
Ryc. 29. Widok z boku, przekrój poprzeczny i widoki ukończonego wiaduktu WD-22



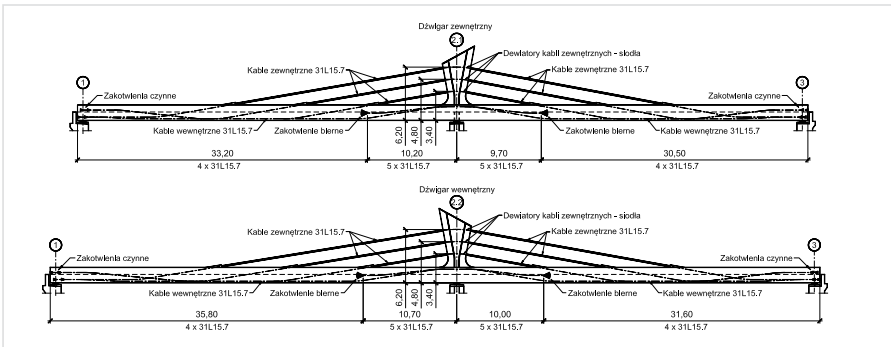
Ryc. 30. Widoki ukończonego wiaduktu WD-22 oraz konstrukcja sprężonych wsporników systemu podwieszonoego



Ryc. 31. Wiadukt WN-20 – widok z boku



Ryc. 32. Wiadukt w Oleśnicy – przekrój poprzeczny przy pylonie



Ryc. 33. Układ kabli sprężających dźwigary główne, wiadukt nad drogą ekspresową S8 w Oleśnicy



Ryc. 34. Wizualizacja wiaduku w Oleśnicy

Stalowe pylony o wysokości 15,30 m mają przekrój skrzynkowy, a ich górne części spięte są ryglami [5]. Pylony zamocowano sztywno w niezależnych żelbetonowych filarach, doprężając ich podstawy do cokołów za pomocą sześciu prętów o średnicy 75 mm ze stali o wysokiej wytrzymałości. Obiekt posadowiono na palach o średnicy 1,20 m i długości 8,50 m.

Projekt mostu opracował Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław. Głównym wykonawcą było DTP Terrassement.

15. Wiadukt nad drogą ekspresową S8 w Oleśnicy (2012)

Wiadukt powstaje w ciągu łącznicy węzła Dąbrowa, nad drogą ekspresową S8, w pobliżu Oleśnicy [6]. Konstrukcję nośną stanowi ustrój dwuprzęsłowy z betonu sprężonego (ryc. 31). Rozpiętości teoretyczne przęseł, mierzone wzdłuż osi wiaduku, wynoszą 43,50 + 39,90 m, natomiast ich szerokość jest stała i wynosi 13,50 m. Obiekt jest zakrzywiony w planie, wpisany w łuk o promieniu 350 m. Skos konstrukcji jest zmienny od 32,5° do 46,5°.

W przekroju poprzecznym przęsło ma ustrój dwubelkowy, z płytą pomostową o grubości 0,25 m zagłębioną pomiędzy krawędziowo usytuowanymi dźwigarami, wyprowadzonymi ponad jezdnię i pełniącymi tym samym funkcję betonowych barier sztywnych (ryc. 32). Wysokość dźwigarów wynosi 1,75 m, ich rozstaw – 11,50 m. Dźwigiary główne połączono prostopadłymi do nich poprzecznicami w rozstawie co ok. 4,0/4,8 m, o szerokości 0,50 m i stałej wysokości 0,75 m. Na przyczółkach przewidziano ukośne poprzecznice skrajne

o przekroju 1,25 x 0,75 m. Ustrój nośny zaprojektowano z betonu klasy C40/50.

Każdy dźwigar sprężono pięcioma kablami 31L15,7, złożonymi z równoległych, siedmiodrutowych lin. Ciężna wyprowadzone poza obrys dźwigarów pełnią rolę sprężenia zewnętrznego, prowadzonego na dużym mimośrodku ponad filarem, gdzie oparte są poprzez siódła w betonowych dewiatorach (pylonach), zamocowanych w przęsłach (ryc. 33). Wewnątrz przekroju betonowego kable prowadzone są w wiotkich kanałach stalowych, natomiast na odcinkach zewnętrznych w kanałach z rur stalowych o średnicy 139,7/4 mm. Obciążenia zastępcze, wynikające z oddziaływania kabli sprężających na dźwigiary, wyznaczono przy założeniu, iż po sprężeniu konstrukcji wyężenie kabli nie przekracza $0,75 f_{pk}$ (wytrzymałości charakterystycznej stali na rozciąganie). W fazie eksploatacji, po zajściu strat reologicznych, wyężenie kabli nie przekracza $0,65 f_{pk}$ i $0,55 f_{pk}$, odpowiednio w kablach wewnętrznych i zewnętrznych. W lutym 2012 r. obiekt był w końcowej fazie realizacji (ryc. 34).

Projekt wiaduku opracował Zespół Badawczo-Projektowy Mosty-Wrocław. Głównym wykonawcą jest Mota Engil Central Europe.

Podsumowanie

W artykule przedstawiono przykłady konstrukcji cięgnowej (wantowej lub typu extradosed), budowanych w ostatnich latach w Polsce.

Na pełną ocenę polskich osiągnięć w tej dziedzinie trzeba poczekać do ukończenia m.in. mostów w Kwidzynie, Gdańsku czy w ciągu autostrady A1, w pobliżu Wodzi-

ślawia Śląskiego. Dotychczasowe doświadczenia płynące z eksploatacji i badań istniejących obiektów są pozytywne i wskazują, że polscy inżynierowie opanowali zasady projektowania i budowy takich konstrukcji.

Porównując niektóre krajowe rozwiązania z projektami wykonanymi np. przez SHP [13], widoczne natomiast jest, że mamy jeszcze wiele do zrobienia w zakresie poprawy kształtowania architektonicznego i estetyki mostów podwieszonych.

Zestawione w tabeli 1 podstawowe charakterystyki geometryczne analizowanych mostów wskazują, że niektóre polskie rozwiązania dorównują osiągnięciom światowym. Podane parametry geometryczne mogą być też pomocne w kształtowaniu takich konstrukcji. Otwartą kwestią pozostaje sformułowanie ściślejszych kryteriów podziału między mostami podwieszonymi i konstrukcjami typu extradosed.

Literatura

- [1] Biliszczuk J.: *Mosty podwieszane. Projektowanie i realizacja*. Wydawnictwo Arkady. Warszawa 2005.
- [2] Biliszczuk J., Barcik W., Onysyk J., Stępień K.: *Projekt mostu nad Łyną w ciągu obwodnicy Olsztyna*. Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Aktualne realizacje mostowe”, Wrocław, 24–25 listopada 2011. DWE. Wrocław 2011, s. 161–168.
- [3] Biliszczuk J., Barcik W., Onysyk J., Szczepański J., Toczkievicz R., Tukendorf A., Ast A.: *Zastosowanie elementów prefabrykowanych do budowy pylonów mostów podwieszonych*. Materiały seminarium

Tab. 1. Zestawienie danych geometrycznych wybranych mostów

Nazwa mostu	Rozpiętość najdłuższego przęsła L [m]	Liczba pylonów	Wysokość pylonów H [m] H* [m]	H/L H*/L	tg α	Liczba płaszczyzn podwieszenia	Wysokość minimalna ustroju h [m]	h/L
Most Rędziński we Wrocławiu	256,0	1	122,0 ~100,3*	0,48 0,39*	0,42	4	2,58	1/99
Most przez Wisłę w Kwidzynie	204,0	3	20,7 ~17,2*	0,10 0,08*	0,19	2	3,50	1/58
Most Milenijny we Wrocławiu	153,0	2	50,0 ~36,0*	0,37 0,24*	–	2	2,70	1/57
Most przez Motławę w Gdańsku	135,0	2 x 2	26,0 ~21,0*	0,19 0,16*	0,34	2 x 2	3,20	1/42
Most MA 532 w ciągu autostrady A1	130,0	3	19,0 ~15,1*	0,15 0,12*	0,24	1	2,60	1/50
Wiadukt w Powazskiej Bystricy (Słowacja)	122,0	7	~14,0*	0,12*	–	1	4,70	1/26
Most przez Łynę w Olsztynie	120,0	2	26,0 ~14,7*	0,22 0,12*	0,30	1	4,00	1/30
Most przez Odrę i Jezioro Antoszowickie (Czechy)	105,0	1	46,8 ~37,3*	0,45 0,36*	0,40	1	2,20	1/48
Most przez Skawę w Zembrzycach	105,0	1	51,0 ~38,0*	0,49 0,36*	0,49	2	2,20	1/48
Most przez Wartę w Koninie	80,0	2	13,0 ~7,9*	0,16 0,10*	0,28	3	2,60	1/31
Most przez Rabę w Dobzycach	76,0	2	16,7 ~14,1*	0,22 0,19*	0,43	2	1,72	1/44
Wiadukt nad torami PKP w Opolu	72,0	1	35,5 ~26,6*	0,49 0,37*	0,47	1	0,90	1/80
Wiadukt w Wykrotach w ciągu autostrady A4	45,8	1	21,8 ~9,2*	0,48 0,20*	0,34	2	1,81	1/25
Wiadukt w Oleśnicy nad drogą S8	43,5	1	8,5 ~5,1*	0,19 0,12*	0,28	2	1,75	1/26

H – wysokość całkowita pylonu, H* – wysokość pylonu pomiędzy poziomem pomostu i zakotwieniem najdłuższego ciągu w pylonie, tg α – tangens kąta nachylenia najdłuższego ciągu

- Wrocławskie Dni Mostowe „Prefabrykacja w mostownictwie”, Wrocław, 23–24 listopada 2010. DWE. Wrocław 2010, s. 151–166.
- [4] Biliszczuk J., Barcik W., Onysyk J., Szczepanski J., Toczkiwicz R., Tomiczek M., Tukendorf A., Tukendorf K.: *Technological Aspects of Construction of a Concrete Cable-stayed Bridge Along the Highway Ring Road of Wrocław*. Proc. of fib Symposium “Concrete engineering for excellence and efficiency”, Prague, June 8–10, 2011. Prague 2011, pp. 427–430.
- [5] Biliszczuk J., Onysyk J., Barcik W., Prabucki P., Sułkowski M.: *Wiadukt podwieszony z betonu sprężonego nad autostradą A4 w Wykrotach*. „Inżynieria i Budownictwo” 2009, nr 6, s. 303–305.
- [6] Biliszczuk J., Onysyk J., Barcik W., Sułkowski M., Szczepanski J., Tukendorf K.: *Wiadukty nad drogami dwujezdniowymi o charakterystycznym ukształtowaniu*. Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Aktualne realizacje mostowe”, Wrocław, 24–25 listopada 2011. DWE. Wrocław 2011, s. 169–184.
- [7] *Budowa Mostu Tysiąclecia we Wrocławiu 2002–2004*. Skanska. Wrocław 2004.
- [8] Ciejka W.: *Obwodnica Zembrzyc z mostem przez Skawę*. „Nowoczesne Budownictwo Inżynieryjne” 2010, nr 5 (32), s. 34–37.
- [9] Filipiuk S.: *Projekt budowlany mostu przez Wisłę koło Kwidzyna*. Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Obiekty mostowe na autostradach i drogach ekspresowych”, Wrocław, 26–27 listopada 2009. DWE. Wrocław 2009, s. 155–160.
- [10] Nadolny A.: *Nowy most przez Wartę w Koninie*. Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Mosty podwieszane i wiszące”, Wrocław, 1–2 grudnia 2005. DWE. Wrocław 2005, s. 236–240.
- [11] Pawlik G., Nadolny A., Berger A.: *Najdłuższa estakada w Polsce, most extradosed o rekordowej rozpiętości przęsła oraz inne obiekty na południowej obwodnicy miasta Gdańsk*, Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Aktualne realizacje mostowe”, Wrocław, 24–25 listopada 2011. DWE. Wrocław 2011, s. 391–400.
- [12] Siwowski T., Żółtowski P., Ciejka W.: *Nowy most typu extradosed przez Rabę w Dobzycach*. Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Aktualne realizacje mostowe”, Wrocław, 24–25 listopada 2011. DWE. Wrocław 2011, s. 133–144.
- [13] Strasky J.: *Mosty o konstrukcji cięgnowej zaprojektowane przez biuro SHP w Brnie, Republika Czeska*. Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Aktualne realizacje mostowe”, Wrocław, 24–25 listopada 2011. DWE. Wrocław 2011, s. 97–118.
- [14] Toczkiwicz R.: *Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych mostów sprężonych typu extradosed*. Materiały seminarium Wrocławskie Dni Mostowe „Technologiczne aspekty w projektowaniu i budowie mostów betonowych”, Wrocław, 23–24 listopada 2006. DWE. Wrocław 2006, s. 233–240.
- [15] Trochymiak W.: *Najnowsze rozwiązania mostów sprężonych cięgnami zewnętrznymi*. „Inżynieria i Budownictwo” 2002, nr 3–4, s. 147–153.

ARTYKUŁ OPRAWOWANY NA PODSTAWIE REFERATU WYGŁOSZONEGO NA KONFERENCJI INSTYTUTU MATERIAŁÓW I KONSTRUKCJI BUDOWLANYCH POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ „KONSTRUKCJE SPRĘŻONE KS2012”, KRAKÓW, 21–23 MARCA 2012.