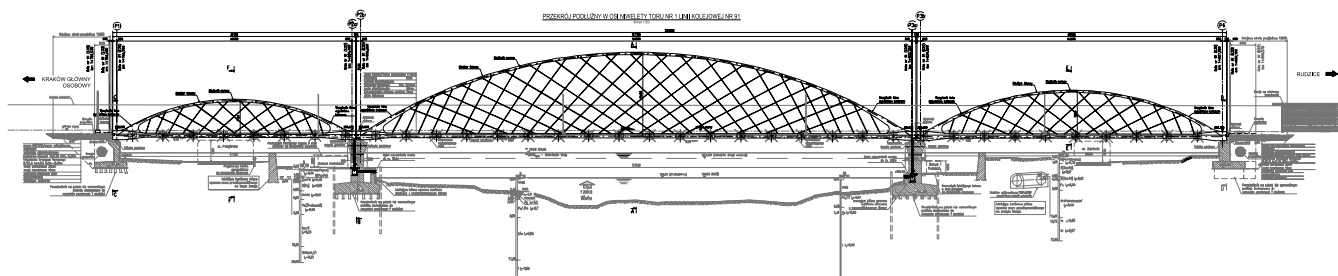


Technologia budowy mostu M1 nad Wisłą w Krakowie



tekst: inż. **WOJCIECH OSTRZOŁEK**, Strabag Sp. z o.o., film: **STRABAG Sp. z o.o.**

W Krakowie w ramach modernizacji linii kolejowej E30 na odcinku Kraków Główny Towarowy – Rudzice został rozebrany sześcioprzęsłowy, dwutorowy most kolejowy. W jego miejscu powstał nowy obiekt M1 [1]. Autorem koncepcji architektoniczno-konstrukcyjnej nowego mostu jest Bogusław Pilujski, a projektantem Radosław Sęk. Prace budowlane zostały zrealizowane przez STRABAG Sp. z o.o. na zlecenie PKP PLK S.A.



Ryc. 1. Przekrój podłużny mostu M1 [1]

1. Wstęp

Most M1 w km 1,785 linii kolejowej nr 91 to dwutorowy, trójprzęsłowy obiekt kolejowy o konstrukcji łukowej typu network arch. o przęsłach wolnopodpartych z pionowymi łukami stężonymi górą, płytą betonową sprężoną podłużnie i poprzecznie pomiędzy dźwigarami głównymi i wieszakami prętowymi usytuowanymi skośnie, mocowanymi przegubowo, z możliwością regulacji napięcia (ryc. 1).

Dane ogólne:

- rozpiętości teoretyczne przęseł $L_t = 49,50 \text{ m} + 116,00 \text{ m} + 63,50 \text{ m}$
- długości przęseł $L = 51,10 \text{ m} + 117,70 \text{ m} + 65,10 \text{ m}$
- długość konstrukcji nośnej $L = 234,20 \text{ m}$
- wysokość konstrukcyjna $h_k = 0,907 \text{ m}$ w przęśle
- szerokość całkowita $b = 13,06 \text{ m}$
- skos obiektu $\alpha = 90^\circ$
- nośność obiektu według PN-EN 1991-2:2007 $\alpha = 1,21$.

Łuki zaprojektowano w rozstawie osiowym 12,32 m jako dźwigary z profili HD o zróżnicowanych przekrojach. Strzałkę łuków zaprojektowano jako 15% rozpiętości przęseł. Stężenia poprzeczne są rurowe.

Płyta pomostowa została zaprojektowana z betonu sprężonego klasy C50/60 w formie koryta balastowego o grubości 0,65 m w środku przekroju poprzecznego przęsła i 1,15 m nad podporami. Płyta sprężona podłużnie oraz poprzecznie zawieszona jest na łukach za pomocą ukośnych wieszaków o regulowanej długości. Konstrukcję węzłową tworzy stalowa konstrukcja z dźwigara HD, zespolona z monolitycznym elementem z betonu zbrojonego (ryc. 2 i 3).

Dane materiałowe konstrukcji stalowej:

- dźwigary łuków – dwuteowniki walcowane, stal HISTAR 460
- blachy wieszaków i stężenia rurowe S355 J2
- wieszaki S460.

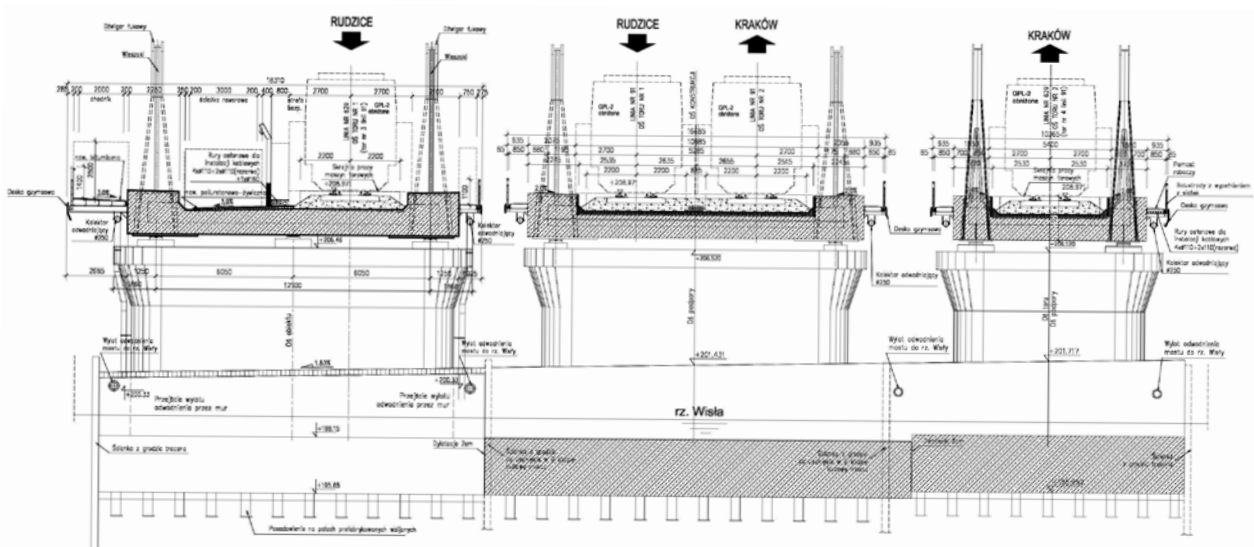
W bezpośrednim sąsiedztwie obiektu M1 wybudowano obiekt kolejowy M2. Powstaje również most kolejowy jednotorowy M3 z ciągiem pieszo-rowerowym (ryc. 4).



Ryc. 2. Most M1, fot. W. Ostrzołek



Ryc. 3. Widok na obiekty od strony mostu M2, fot. W. Ostrzołek



Ryc. 4. Przekrój poprzeczny podporowy obiektów (kolejno od lewej): M3, M1, M2 [1]

2. Fazy wykonywania obiektu

2.1. Rozbiórka obiektu istniejącego

Istniejący most stalowy, sześcioprzęsłowy, o konstrukcji blachownicowej z jazdą dołem posiadał niezależne przęsła pod każdym z torów oraz dodatkowy dźwigar po stronie zewnętrznej konstrukcji w torze nr 2, stanowiący konstrukcję wsporczą pod wodociąg DN 800. Rok budowy obiektu to 1879/1993 (według metryki). Rozpiętości teoretyczne przęseł $L_t = 36,90 \text{ m} + 37,10 \text{ m} + 4 \times 36,90 \text{ m}$.

Stalowa konstrukcja istniejącego obiektu była demontowana z wykorzystaniem konstrukcji rusztowań (umożliwiających podnoszenie i przesuwanie całych przęseł stalowych) oraz przy użyciu żurawi o udźwigu ponad 200 t (ryc. 5). Zdemontowana konstrukcja stalowa została wykorzystana jako elementy konstrukcyjne w obiektach kolejowych realizowanych w różnych częściach Polski.



Ryc. 5. Demontaż konstrukcji stalowej istniejącego mostu nad ul. Podgórską, fot. W. Ostrzołek

2.2. Posadowienie obiektu i podpory

Posadowienie obiektu M1 zaprojektowano jako pośrednie, na wbijanych żelbetonowych palach prefabrykowanych o wymiarach 40 x 40 cm na wszystkich podporach (ryc. 6). Długość pali wynosi od 9,0 m do 17,5 m. Pale wykonano z betonu klasy C40/50. Łącznie wbudowano 403 pale prefabrykowane.

Podpory obiektu wykonano jako masywne, żelbetowe, monolityczne, z betonu klasy C30/37 (fundamenty), C40/50 (trzony podpór) oraz C50/60 (ciosy). Fundamenty podpór przęsła nurto-owego zostały ograniczone stalową ścianką szczelną. W przęsłach



Ryc. 6. Pograżanie pali prefabrykowanych na podporze P1, fot. W. Ostrzołek

skrajnych zastosowano łożyska garnkowe, natomiast w przęsle nurtowym łożyska sferyczne.

2.3. Etapy wykonywania ustroju nośnego

Realizacja mostu M1 wymagała ścisłego przestrzegania założeń w projekcie etapów budowy obiektu. Wykonanie ustroju niosącego zostało szczegółowo zdefiniowane w projekcie wykonawczym dla każdego z przęseł. Każde było wykonywane w ponad 20 etapach. Realizacja kilku z nich była dużym wyzwaniem i wymagała szczególnego zaangażowania.

2.3.1. Rusztowanie płyty ustroju niosącego

Jako podparcie płyty ustroju niosącego w przęsłach skrajnych zastosowano podpory montażowe, natomiast w przęsle nurtowym wykorzystano dźwigary kratowe o długości 30 m i 24 m (ryc. 7) oraz dźwigary blachownicowe o wysokości 1,2 m i długości 12 m. Montaż rusztowania w przęsle nurtowym odbywał

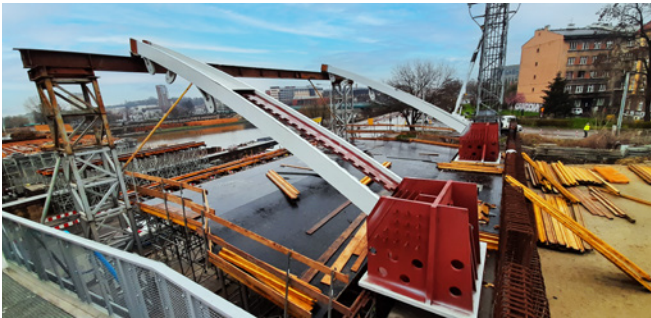


Ryc. 7. Montaż kratownicy H24 w przęsle nurtowym P2-P3, fot. W. Ostrzołek

się przy użyciu środków pływających na Wiśle. Jako podparcie rusztowania w przęśle nurtowym wykorzystano podpory rozebranego mostu.

2.3.2. Montaż wezłowski

Montaż konstrukcji stalowej rozpoczynał się przed zbrojeniem płyty ustroju niosącego przez zamontowanie wezłowski (ryc. 8). Wezłowski poszczególnych przęseł były montowane przy użyciu żurawi bezpośrednio ze środków transportowych.



Ryc. 8. Wezłowski zamontowane na podporze P1, fot. W. Ostrzołek

2.3.3. Zbrojenie i blachy wieszaków

Istotnym elementem realizacyjnym na etapie zbrojenia płyty ustroju niosącego było zamontowanie blach wieszaków (ryc. 9). Były one ponumerowane i przypisane do odpowiedniego cięgna prętowego. Położenie blach dolnych wieszaków określono w projekcie wykonawczym przez podanie współrzędnych. W związku z tym każda blacha była montowana w obecności geodety. Ciężar



Ryc. 9. Blachy wieszaków, fot. M. Franik



Ryc. 10. Zbrojenie wezłowski, fot. M. Franik



Ryc. 11. Zbrojenie płyty UN w przęśle P3-P4 wraz z zamontowanymi blachami wieszaków, fot. W. Ostrzołek

blach przekraczał 300 kg. Montaż blach wieszaków odbywał się w trakcie prowadzonych robót zbrojarskich przy wykonanym zbrojeniu dźwigara podłużnego płyty UN (ryc. 10 i 11). Proces ten wymagał dużej precyzji, co w odniesieniu do ciężaru elementów oraz pracy w warunkach polowych było ogromnym wyzwaniem. Po zamontowaniu wszystkich blach wieszaków przed przystąpieniem do betonowania były one inwentaryzowane geodezyjnie.

2.3.4. Betonowanie płyty ustroju niosącego w przęśle nurtowym

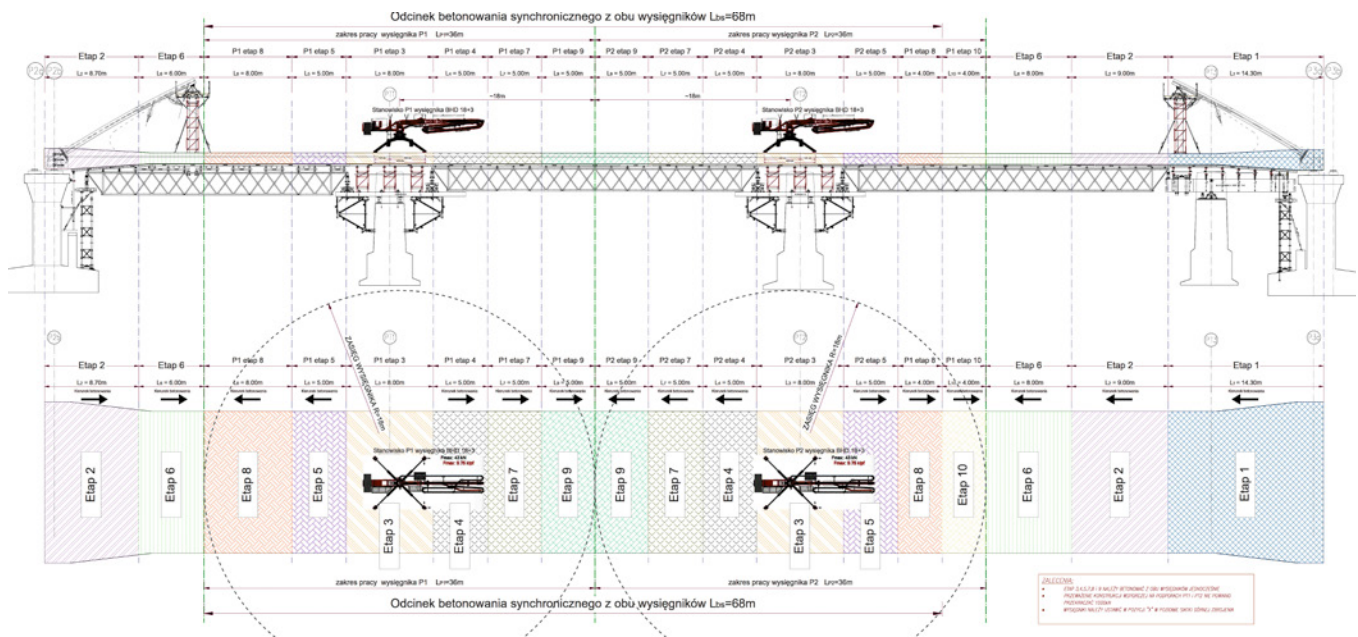
Proces betonowania płyty UN w przęśle nurtowym obiektu M1 był skomplikowanym przedsięwzięciem organizacyjnym. Pompy do podawania mieszanki betonowej o promieniu 70 m nie miały wystarczającego zasięgu, aby podać mieszankę betonową z bulwarów. Ustawienie sprzętu na barce z uwagi na kwestie techniczne oraz uzależnienie od stanu wody nie wchodziło w rachubę (ryc. 12).



Ryc. 12. Płyta ustroju niosącego przęśla P2-P3 przed betonowaniem, fot. M. Franik



Ryc. 13. Betonowanie płyty ustroju niosącego przęśla P2-P3, fot. M. Franik



Ryc. 14. Schemat betonowania płyty ustroju niosącego przęśła nurtowego [2]

Ze względu na pracę rusztowania betonowanie musiało być prowadzone w 10 etapach, z których większość odbywała się jednocześnie po obu stronach przęśła. Aby zapewnić ciągłość w budowywania mieszanki oraz bezpieczeństwo podparcia, w procesie betonowania wykorzystano stacjonarne pompy hydrauliczne BHD 18 + 3, ustawione na rusztowaniu przęśła nurtowego sąsiadującego obiektu M3. Betonowanie przęśła nurtowego trwało dobę, w tym czasie w budowano 1200 m³ betonu klasy C50/60 (ryc. 13). Schemat betonowania z poszczególnymi etapami przedstawiono na rycinie 14.

2.3.5. Montaż konstrukcji stalowej

Montaż konstrukcji stalowej łuków rozpoczynał się po za betonowaniu płyty UN w poszczególnych przęśłach. Elementy łuków były montowane na tymczasowych podporach montażowych i sukcesywnie ze sobą łączone przez spawanie. Do montażu wykorzystywano żurawie o udźwigu do 500 t i zasięgu pracy w promieniu 70 m, co pozwalało na operowanie z bulwarów (z brzegu; ryc. 15 i 16). W przypadku szczytowych elementów konstrukcji łuku przęśła nurtowego obiektu M1 zastosowano technologię wykorzystaną również podczas demontażu istniejącej konstrukcji stalowej mostu. Zworniki zostały zamontowane przez podnoszenie naciągach. Do montażu tych elementów wykorzystano specjalne konstrukcje wieżowe, które zwieńczono podłużnie i poprzecznie



Ryc. 15. Montaż stężeń konstrukcji stalowej przęśła nurtowego, fot. W. Ostrzolek



Ryc. 16. Montaż elementów łuku konstrukcji stalowej przęśła nurtowego, fot. W. Ostrzolek



Ryc. 17. Element łuku konstrukcji stalowej zamontowany przy użyciu cięgien sprężających, fot. W. Ostrzolek

podwójnymi dźwigarami HEB 400. Podnoszone elementy podano na płytę ustroju niosącego żurawiem o udźwigu 250 t. Następnie zostały przetransportowane na środek przęśła, gdzie podwieszono je do cięgien o dopuszczalnym obciążeniu 28,5 t (ryc. 17). Podnoszone elementy miały ciężar ok. 21 t. Obciążenie na jedno ciągnie nie przekroczyło 12 t. Do unoszenia elementów konstrukcyjnych wykorzystano cztery prasy o nośności 230 kN, zasilane przez pompy olejowe.

2.3.6. Demontaż rusztowania płyty ustroju nośnego

Dużym wyzwaniem realizacyjnym był demontaż rusztowań w przeszle nurtowym obiektu.

Ograniczeniem był z jednej strony oddany do użytkowania obiekt M2, z drugiej – budowany obiekt M3. Aby zapewnić naciąg wieszaków, demontaż rusztowań rozpoczęto od opuszczenia podparcia płyty ustroju nośnego na całej długości przęsła. Następnie kratownice podwieszono do płyty ustroju nośnego na czterech ściągach DW36. Zestawy kratownic o ciężarze ok. 120 t za pomocą siłowników zostały opuszczone na pontony i przetransportowane do nabrzeża bulwaru, gdzie je zdemontowano przy użyciu żurawi (ryc. 18).



Ryc. 18. Dźwigi kratowe opuszczone na zestaw pontonów, fot. W. Ostrzołek

2.3.7. Montaż i naciąg wieszaków

W obiektach nad Wisłą zastosowano ciągła prętowe systemu Macalloy 460 o rozmiarach M85, M90 oraz M100 o nośności charakterystycznej od 1750 kN do ponad 2500 kN (ryc. 19).

Proces montażu wieszaków przebiegał następująco:

1. Dla ustalenia długości cięgna wykonano pomiar odległości pomiędzy osiami otworów górnej i dolnej blachy wieszaka.
2. Cięgno montowano do górnej blachy wieszaka za pomocą sworzni. Na tym etapie dolny sworznień stanowił drewniany trzpień.
3. Po zamontowaniu wszystkich cięgien do górnych blach wieszaków wymieniono dolne sworznie z drewnianych na stalowe i sporządzono protokół montażu. Protokół ten zawierał informacje o długości rzeczywistej wieszaka oraz ustawieniu złączki montażowej po wybraniu luzów.
4. Kolejne fazy budowy (sprężenie poprzeczne i podłużne, demontaż rusztowania) realizowano aż do momentu ułożenia pełnego wyposażenia obiektu (balastu).
5. Po ułożeniu balastu sprawdzono siły w wieszakach. Wyniki przekazano projektantowi do analizy w celu podjęcia decyzji o korekcie (skrócenie lub wydłużenie).



Ryc. 19. Wieszaki w trakcie montażu, fot. W. Ostrzołek



Ryc. 20. Kontrola sił w wieszakach, fot. W. Ostrzołek

6. Po przejściu całego cyklu naciągu ponownie sprawdzono siły w wieszakach aż do osiągnięcia wartości założonych w dokumentacji projektowej i ostatecznej akceptacji projektanta (ryc. 20).

3. Podsumowanie

Obiekt M1 jest nowatorskim rozwiązaniem dla obiektów kolejowych. Jego konstrukcja jest ciekawa i wpisuje się w otaczający krajobraz. Całość robót udało się zrealizować w 24 miesiące. Realizacja prac w centrum miasta, nad rzeką i czynnymi jezdniami, przy intensywnym ruchu pieszo-rowerowym, z dodatkowym ograniczeniem w postaci istniejącego obiektu M2 oraz realizowanego w tym samym czasie obiektu M3 była ogromnym wyzwaniem inżynieryjnym. Dzięki zaangażowaniu całego zespołu kontraktowego we współpracy z projektantem firma STRABAG zrealizowała efektowny obiekt.

Literatura

- [1] Projekt wykonawczy „Most M1 w km 1.875 w torze nr 1 i nr 2 linii nr 91 nad rzeką Wisłą oraz ulicami Podgórską i Zabłocie w Krakowie”. BBF Sp. z o.o.
- [2] Deskowanie płyty ustroju nośnego w przeszle P2–P3. ULMA Construction Polska SA.

Referat zaprezentowany podczas Wrocławskich Dni Mostowych *Wyzwania współczesnego mostownictwa*, Wrocław, 24–25 listopada 2022 r.

www.strabag.pl



Czytaj więcej

