

Stosowanie prefabrykacji w mostach zespolonych



■ **prof. nadzw. dr hab. inż. Grażyna Łagoda**, Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Dróg i Mostów

■ **prof. nadzw. dr hab. inż. Marek Łagoda**, Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Dróg i Mostów; Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie

W budownictwie, zwłaszcza mostowym, zapewnienie jakości i trwałości na wysokim poziomie oraz czas wznoszenia budowli są czynnikami niezwykle istotnymi. Termin wykonania konstrukcji staje się szczególnie ważny, gdy mamy do czynienia z przebudową eksploatowanych lub z budową nowych obiektów, znajdujących się w ciągu lub nad czynnymi szlakami komunikacyjnymi. Czasowe ograniczanie ruchu związane z pracami budowlanymi albo budowa objazdów, ewentualnie obiektów tymczasowych, są bardzo kosztowne. Powstające przy tej okazji tzw. koszty społeczne niekiedy przekraczają wartość inwestycji.

Jak ważne jest zagadnienie przyspieszenia budowy konstrukcji mostowych świadczy np. fakt przeprowadzania w wielu krajach, a zwłaszcza w Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej, specjalnych konferencji i szkoleń poświęconych tej problematyce. Podczas ostatnich wielkich konferencji w Waszyngtonie, organizowanych przez Transportation Research Board (TRB) kilka sesji dotyczyło tylko tej tematyki.

1. Wprowadzenie

W Polsce przeżywalismy dosyć długi okres stosowania prefabrykacji. Nie wszystkie rozwiązania były technicznie poprawne, większość nie zapewniała na wymaganym poziomie trwałości konstrukcji i jej poprawnej pracy podczas eksploatacji obiektów. Tym można tłumaczyć ogólną niechęć większości inwestorów do prób wznowienia stosowania prefabrykowanych systemów. Świat jednak pokazuje już od wielu lat, że błąd tkwił nie w idei, ale w rozwiązaniach szczegółów. Na przykład w USA rozwinięte technologie przyspieszania budowy konstrukcji mostowych skracają czas zamykania dróg i tworzenia objazdów z sześciu miesięcy do pojedynczego weekendu. Wówczas przy wymianie lub budowie pojedynczego obiektu mostowego można dużo zaoszczędzić, nawet kilka milionów dolarów. Jednocześnie bardzo radykalnie zmniejszają się koszty społeczne ponoszone przez użytkowników dróg.

Zakłada się, że w najbliższym czasie realizowany będzie wielki program modernizacji sieci drogowej i kolejowej ze wsparciem z funduszy Unii Europejskiej. Budowa obiektów mostowych pochłania średnio 30% nakładów na budowę drogi [1, 2]. Obecnie nie ma w Polsce mocy wytwórczych mogących sprostać takim zamówieniom, zwłaszcza jeżeli w projektowaniu zostaną utrzymane technologie wznoszenia mostów w dotychczasowej strukturze organizacyjnej. Na wielokrotne zwiększenie frontu inwestycyjnego nie sposób odpowiedzieć wielokrotnym zwiększeniem liczby uprawnionych kierowników budów i doświadczonych majstrów, a także spawaczy, zbrojarzy, betoniarzy, cieśli itp. Tym bardziej że część wykwalifikowanych robotników, mając do wyboru pracę „w delegacji” w Polsce, wybiera kilkakrotnie lepiej płatną pracę w krajach Europy Zachodniej.

Szansą na poprawę sytuacji jest szeroko pojęta prefabrykacja i przeniesienie możliwie dużej części procesu technologicznego wytwarzania obiektu do zakładów wytwórczych w warunkach przemysłowych. Wytwarzając, np. elementy konstrukcyjne mostów zespolonych w wytwórni, możemy obok produkcji dźwigarów stalowych, zastosować zbrojenie przestrzenne, wykonywane automatycznie, formy wielokrotnego użytku dla płyt, beton o sprawdzonych własnościach, a wszystko to przy dużo mniejszym zatrudnieniu niż w warunkach improwiza-

cji na placu budowy. Do pracy w miejscu zamieszkania dużo łatwiej pozyskać pracowników, a także ustabilizować załogę. Proces technologiczny można tak zorganizować, by na placu budowy ograniczyć maksymalnie robociznę, zarówno przez wprowadzenie mechanizacji, jak i skracając czas konieczny na montaż elementów.

2. Idea prefabrykacji konstrukcji zespolonej

2.1. Założenia ogólne

Budowa mostów zespolonych może być prowadzona według wielu metod, z których najbardziej powszechna jest metoda klasyczna. Charakteryzuje się tym, że montaż stalowej konstrukcji nośnej wykonuje się w sposób tradycyjny, typowy dla technologii mostów stalowych. Może to być montaż „z kół” lub montaż metodą nasuwania podłużnego. Wówczas na jednym brzegu przeszkody dokonuje się scalania elementów w segmenty, które są nasuwane sekwencyjnie na wykonane wcześniej podpory. Po nasunięciu konstrukcji poważnych problemów nastręcza zwykle betonowanie współpracującej płyty pomostu.

Należy zabetonować płytę na bardzo dużej powierzchni, z podawaniem betonu na znaczne odległości. Konwencjonalnie wykonuje się szalunki na całej powierzchni pomostu i betonowanie odbywa się odcinkowo, w kolejności uwzględniającej schemat statyczny konstrukcji nośnej. Sposób ten wymaga znacznego czasu, najczęściej kilku miesięcy. W celu przyspieszenia procesu betonowania płyty pomostu można zdecydować się na zastosowanie tzw. wózka do betonowania. Jest to specjalna ruchoma konstrukcja, umożliwiająca odcinkowe betonowanie płyty. Proces betonowania rozpoczyna się od jednej strony przeszkody. Kolejność betonowania nie ma nic wspólnego z zasadami kolejności betonowania płyty współpracującej konstrukcji zespolonych. Powoduje to najczęściej zarysowanie płyty pomostu na znacznej jej długości. Konstrukcja „wózka” zwykle bywa bardzo ciężka (ryc. 1). Poza znacznym kosztem tego urządzenia, służącego do jednorazowego wykorzystania, duży problem powoduje często konieczność dodatkowego zwiększenia przekrojów dźwigarów głównych, zwłaszcza nad podporami.

Zastosowanie technologii prefabrykacji wytwarzania elementów konstrukcji mostowych i ich montaż zdecydowanie różni się od stosowanych konwencjonalnych technik budowy. Podstawowe dwa elementy to część stalowa dźwigarów i współpracująca z nią płyta pomostu, wykonana z betonu zbrojonego lub sprężonego. Prefabrykacja polega na tym, że w zakładzie produkcyjnym powstają główne elementy składowe zespolonych, stalowo-betonowych konstrukcji ustrojów nośnych przeseł mostowych. Segmenty stalowych dźwigarów wykonywane są w częściach wysyłkowych w wytwórni konstrukcji stalowych.

Tam produkowane są również specjalne łączniki, zapewniające współpracę dźwigarów z płytą pomostu oraz w miarę potrzeby z poprzecznymi integrującymi dźwigary. Drugi główny element systemu, tj. płyta pomostu, wykonywany jest w formie prefabrykatu z betonu zbrojonego lub sprężonego w zakładzie produkcyjnym. Płyty podzielone są na typy w zależności od ich lokalizacji w obszarze przęsła mostu. Do wytwarzania płyt prefabrykowanych pomostu służą inwentarzowe stalowe formy składane. Ich konstrukcja umożliwia w prosty sposób dopasować formę do odpowiedniego kształtu i typu prefabrykatu. Wytworzone elementy stalowe dźwigarów i prefabrykaty płyty pomostu są transportowane na miejsce budowy obiektu mostowego, gdzie następuje ich montaż. Może on być przeprowadzony na dwa sposoby:

- układanie płyt prefabrykowanych na wcześniej zmontowanej w położeniu docelowym konstrukcji stalowej
- układanie płyt prefabrykowanych pomostu na elementach konstrukcji stalowej przed docelową lokalizacją i montaż konstrukcji stalowej wraz z płytą pomostu (np. metodą nasuwania podłużnego) w położeniu ostatecznym.



Ryc. 1. Konstrukcja „wózka” do betonowania płyty pomostu

2.2. Układanie płyt prefabrykowanych na wcześniej zmontowanej konstrukcji stalowej

Ten typ montażu można już uznać za klasyczny, bowiem jest stosowany w Polsce już od początku lat 70. XX w. Na zmontowaną w całości konstrukcję stalową układane są jeżdżącym urządzeniem dźwigowym, począwszy od końca mostu (od przyczółka), prefabrykowane, betonowe płyty pomostu. Potem, wykorzystując fragmenty ułożonego pomostu, transportowane są i układane następne płyty, aż do ułożenia całości pomostu. Następnie wykonywane są połączenia płyt z dźwigarami stalowymi oraz połączenia wzajemne między płytami.

Przedstawione rozwiązanie zastosowano przy budowie wielu mostów zespolonych w Polsce. Należą do nich, oprócz wielu małych mostów, m.in. tak duże obiekty, jak mosty przez Wisłę w Puławach, w Krakowie, w Modlinie, most przez Bug w Turnie Małej, przez Wisłok w Tryńczy i wiele innych. Ich ponaddwudziestoletnia eksploatacja potwierdziła trwałość i poprawność technologiczną tego typu rozwiązania.

2.3. Jednoczesny montaż konstrukcji stalowej z płytą betonową pomostu

W przypadku takiego montażu w osi mostu przed podporą skrajną zlokalizowany jest plac montażowy, gdzie montowana jest część przęsła ustroju nośnego. Na złożonej na placu montażowym konstrukcji stalowej układane są prefabrykowane

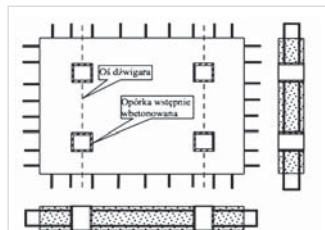
elementy pomostu, bez wykonywania między nimi wzajemnych połączeń i bez włączania do współpracy z elementami dźwigarów. W takim stanie stworzona sekcja ustroju nośnego zostaje przesunięta przy pomocy układów siłowników hydraulicznych nad przeszkodę w celu zwolnienia placu montażowego na potrzeby montażu następnych elementów i kolejnego nasunięcia nad przeszkodę. Po nasunięciu wszystkich sekcji następuje włączenie do współpracy płyt pomostu z dźwigarami stalowymi i wzajemne połączenie płyt ze sobą. Jest to w pełni uprzedmyślona technologia budowy mostów zespolonych, której modyfikacja, polegająca na betonowaniu prefabrykatów na placu montażowym, została zastosowana po raz pierwszy na świecie przy budowie mostu Siekierkowskiego przez Wisłę w Warszawie (ryc. 2).



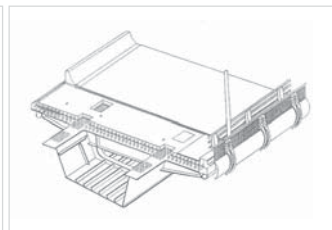
Ryc. 2. Stanowisko scalania konstrukcji stalowej, odcinek przeznaczony do betonowania płyty oraz część zabetonowanej i już przesuniętej konstrukcji

3. Połączenia prefabrykatów

Począwszy od początku lat 70. ubiegłego stulecia w Polsce zaczęto stosować konstrukcje zespolone typu stal – beton z prefabrykowanymi, betonowymi płytami współpracującymi. Stosowane są dwa typy płyt. Różnią się one rodzajem łączników zespalających. W pierwszym typie stosowane są opórki sztywne w postaci wstępnie wbetonowanych, stalowych kształtowników walcowanych, tworzących „okienka” w płycie nad dźwigarami stalowymi. Na rycinie 3 pokazano schematycznie ten typ płyty prefabrykowanej. Drugi typ różnił się jedynie tym, że w „okienkach” nie było sztywnych opórek. Pozostawiano wolne przestrzenie dla umieszczenia w nich łączników sworzniowych. Z płyty, na każdej krawędzi wystają stalowe pręty zbrojeniowe w postaci pętli.



Ryc. 3. Schemat konstrukcji płyty prefabrykowanej z wstępnie wbetonowanymi opórkami



Ryc. 4. Schemat francuskiego mostu zespolonego z płytami prefabrykowanymi [4] zaprezentowany w Barcelonie

Płyty są układane na konstrukcji stalowej. Włączenie płyt typu pierwszego do współpracy z konstrukcją stalową następuje po przyspawaniu dolnych krawędzi wstępnie wbetonowanych opórek do pasów górnych dźwigarów stalowych. W przypadku

stosowania płyt typu drugiego po ich ustawieniu na konstrukcji stalowej automatycznie spawane są w „okienkach” sworznie zespalające. Płyty są układane na konstrukcji stalowej w ten sposób, że pętle zbrojenia, wystającego z krawędzi płyt, zachodzą na siebie, tworząc przestrzeń, która dodatkowo jest zbrojona podłużnymi prętami stalowymi. Po przyspawaniu wszystkich opórek w typie pierwszym lub łączników sworzniowych w typie drugim oraz po uzbrojeniu styków prętami, wszystkie „okienka” i styki między płytami są wypełniane betonem.

Dokładnie takie same rozwiązania techniczne (ryc. 4) proponowali Szwedzi [3] oraz Francuzi [4] podczas międzynarodowego seminarium w Barcelonie, przedstawiając je jako technologię XXI w. Natomiast Japońskie Zjednoczenie Publicznych Autostrad propaguje [3] od 1997 r. rozwiązanie pomostów z prefabrykowanymi płytami betonowymi, ale ze sprzężeniem poprzecznym (ryc. 5). Wstępne sprzężenie jest wprowadzone poprzecznie w stosunku do osi podłużnej mostu, natomiast zbrojenie miękkie betonu ułożone jest w kierunku osi podłużnej mostu. Zbrojenie płyty prefabrykowanej, podobnie jak w polskim rozwiązaniu, wykonane jest z prętów tworzących pętle, wystające poza obrys płyty. W ten sposób pętle z dwóch sąsiednich płyt zachodzą na siebie. W owalne obszary między nimi wkładane są pręty w poprzek mostu, co zapewnia ciągłość płyty pomostu, umożliwiającą przenoszenie sił poprzecznych i momentów zginających. Płyty opierają się na krawędziach sąsiednich dźwigarów stalowych. Wystające pręty z boków płyt wraz z prętami pętlowymi lub sworzniami przyspawanymi do górnych pól dźwigarów stalowych po zabetonowaniu szwów zapewniają wzajemną współpracę stali i betonu.



Ryc. 5. Budowa mostu w Japonii z zastosowaniem prefabrykowanych płyt pomostu [4]

Argumenty przedstawiane przez inżynierów japońskich i europejskich, przemawiające za stosowaniem płyt prefabrykowanych, są takie same, jak argumenty polskich inżynierów, określone już prawie przed półwieczem. Należą do nich przede wszystkim:

- Podniesienie jakości, ponieważ wykonawstwo jest realizowane w wytwórniach o doskonałym usprzętowieniu i niezależnych od zmiennych warunków atmosferycznych panujących na budowie.
- Wszystkie prefabrykaty wykonywane są w tych samych, optymalnych z punktu widzenia jakości, warunkach.

- Poprawa bezpieczeństwa pracy.
- Czas wznoszenia konstrukcji zostaje znacznie zredukowany.
- Ograniczenie wpływów reologicznych na pracę konstrukcji zespolonej.
- Jedyne elementy wymagające betonowania in situ to połączenia.
- Pomost może być łatwiej naprawiany w przypadku uszkodzenia.

Wielkim nieporozumieniem i poważną stratą dla budownictwa mostowego zarówno z punktu widzenia naukowego, jak i ekonomicznego jest fakt, że niektórzy inwestorzy mostowi nie uznają tych argumentów i nie zgadzają się na stosowanie tej sprawdzonej technicznie i ekonomicznej technologii.

4. Podsumowanie

Prefabrykacja w budowie mostów zespolonych pozwala na realizację trzech priorytetów:

- Minimalizacja czasu trwania budowy.

Daje to korzyści ogólnospołeczne i ogólnogospodarcze. Koszty społeczne utrudnień w ruchu, spowodowanych budową lub modernizacją obiektu na czynnym szlaku komunikacyjnym, są ogromne, najczęściej wielokrotnie przekraczają koszt robót. Korzyści osiąga też wykonawca, bowiem nie zwiększając zatrudnienia może wykonać więcej obiektów.

- Maksymalizacja trwałości obiektu.

Obecnie ponoszone są wielkie koszty całkowitej wymiany bądź głębokiej modernizacji obiektów budowanych w latach 60. i 70. według projektów pomijających zagadnienie trwałości. Planowane otworzenie szerokiego frontu modernizacji dróg dotyczyć będzie rocznie mniej niż 2% sieci drogowej [5, 6]. Oznacza to, że wejście z obszerniejszymi remontami na obiekty obecnie wykonywane będzie możliwe nie prędzej niż za 50 lat.

- Minimalizacja koniecznej robocizny na placu budowy.

Niedobór kadry technicznej i wykwalifikowanych robotników staje się głównym zagrożeniem dla planu modernizacji sieci transportowej. Ten priorytet musi być realizowany już w projekcie technologicznym wykonawcy, który jest zainteresowany każdą możliwością obniżenia kosztów robocizny, wynajmu maszyn i zużycia materiałów.

Ponadto betonowanie w jednym miejscu płyty współpracującej daje duże oszczędności na koszcie szalunków i przede wszystkim na podawaniu betonu. Unika się również związanych z tym wielu problemów technicznych. Zastosowanie nasuwania konstrukcji z płytą znacznie skraca czas montażu mostu. Zastosowanie prefabrykatów betonowych pomostu zamiast betonowania na placu montażowym zwiększa dodatkowo oszczędności finansowe i czasowe. Można wówczas uniknąć również wpływu oddziaływań reologicznych dojrzewającego betonu.

Literatura

1. Witecki L.: *Przyspieszenie na drogach*. GDDKiA. Warszawa 2009
2. Maciejewski A.: *Eurorozwój*. GDDKiA. Warszawa 2009.
3. Łagoda G., Łagoda M.: *Metody przyspieszające budowę mostów. Doświadczenia zagraniczne*. „Mosty w 3 miesiące”. IBDiM Kielce 2008.
4. Villette S.: *Viaducs du nouveau boulevard périphérique est de Lille*. „Le Bulletin Ponts Métalliques” 1999, nr 19 (wyd. Office Technique pour l’Utilisation de l’Acier, Paris).
5. *Rocznik statystyczny Rzeczypospolitej Polskiej 2008*. GUS. Warszawa 2009
6. „Biuletyny Statystyczne” 2009, nr 1–9 (wyd. GUS).