

Mgr inż. TOMASZ KOŁAKOWSKI
Mgr inż. WITOLD KOSECKI
Dr inż. ANDRZEJ MARECKI
Europrojekt Gdańsk Spółka z o.o.

VFT® - prefabrykowane dźwigary zespalone z betonowym deskowaniem aktywnym

Istotna zmiana uwarunkowań ekonomicznych i wymagań technicznych, która nastąpiła w ostatnich latach w Niemczech, spowodowała zwiększenie zainteresowania mostami zespolanymi. Szczególnie inwestorzy publiczni zgłosili zapotrzebowanie na prawidłowe i sprawdzone rozwiązania. Impulsem do rozwoju mostów zespolek stały się następujące czynniki:

- eksploatacyjny (zwiększona nośność),
- utrzymaniowy (zwiększona trwałość),
- ekonomiczny (obniżka ceny stali).

Zainteresowanie obiektami zespolanymi potwierdziła liczba tego rodzaju obiektów w publicznych zapytaniach ofertowych. Dla projektantów stało się to powodem analizy systemu, szczególnie przejść o małych lub średnich rozpiętościach przęseł. W efekcie powstał ekonomicznie uzasadniony, przy rozpięto-



Rys. 3. Estakada nad doliną - dźwigary VFT w układzie ciągłym wieloprzęsto-wym



rys. 4. Wiadukt nad autostradą dźwigary VFT w układzie ciągłym w dużym skosie



Rys. 1. Wiadukt ramowy VFT nad autostradą



Rys. 2. Kładka ramowa VFT nad autostradą

ści od 20 do 100 m, system prefabrykowanych dźwigarów zespolek, tzw. VFT® (rys. 1, 2).

Od lat siedemdziesiątych wykonywano wielodźwigarowe ustroje belkowo-ptytowe z prefabrykowanych dźwigarów sprężonych z szerokimi półkami, które stanowiły jednocześnie deskowanie płyty pomostu. Niestety, ze względu na ciężar własny takich dźwigarów, graniczne rozpiętości przęseł wynosiły:

- 30 m w mostach kolejowych,
- 40 m w mostach drogowych.

Należy jednak podkreślić, że w zakresie tych rozpiętości pomosty z betonu sprężonego z płytą monolityczną były tańsze od dźwigarów zespolek, ze względu na wysoki stopień prefabrykacji i ułatwiony montaż. Kolejnym etapem rozwoju zespolek dźwigarów prefabrykowane było rozwiązanie polegające na konstruowaniu ustroju nośnego ze stalowych dźwigarów głównych, na których układano betonowe płyty typu filigran. Stanowiły one tracone deskowanie płyty pomosto-

wej. Zadaniem tych płyt było przenoszenie ciężaru betonu w fazie budowy i współpraca przy przenoszeniu obciążeń eksploatacyjnych w kierunku poprzecznym w czasie użytkowania obiektu. Odmianą omawianych rozwiązań było zastosowanie dźwigarów z betonu zbrojonego, co całkowicie eliminowało montaż elementów stalowych na budowie. To rozwiązanie było również korzystne dla wykonawcy, który mógł w ramach jednego przedsiębiorstwa realizować wszystkie prace budowlane.

Wymienione doświadczenia wykorzystano przy tworzeniu nowego systemu budowy mostów, wspomnianego VFT®. Głównym elementem tego systemu jest dźwigar z dwuteownika stalowego zespolonego z cienką, żelbetową półką prefabrykowaną. Usztywnia ona dźwigar podczas transportu i w fazie betonowania płyty pomostu oraz pracuje w kierunku podłużnym w fazie eksploatacji.

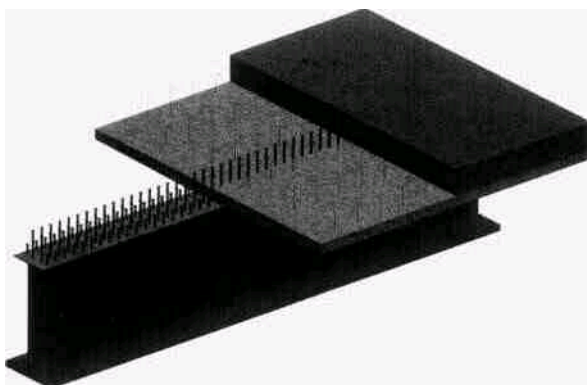
Indywidualna prefabrykacja i szybki montaż

Mówiąc o systemie VFT® należy pamiętać, że współuczestniczą w nim obok inwestora i projektanta:

- wytwórnia konstrukcji stalowych,
- zakład prefabrykacji,
- przedsiębiorstwo mostowe.

Dźwigary stalowe są wykonywane w wytwórni mającej właściwe uprawnienia. Z wytrasowanych blach są wykonywane spawane dźwigary o geometrii uwzględniającej odkształcenia w kolejnych fazach transportu, montażu i eksploatacji. Do połączenia konstrukcji stalowej z półkami prefabrykowanymi, jak i żelbetową płytą pomostu są stosowane przyspawane bolce stalowe zmiennej wysokości (rys. 5).

Po sprawdzeniu geometrii dźwigarów stalowych są one zabezpieczone antykorozyjnie. Cały proces odbywa się w wytwórni i nie stanowi zagrożenia w odniesieniu do środowiska naturalnego. Następnie dźwigary są ustawiane na stanowiskach montażowych w taki sposób, aby nie pojawiły się w nich

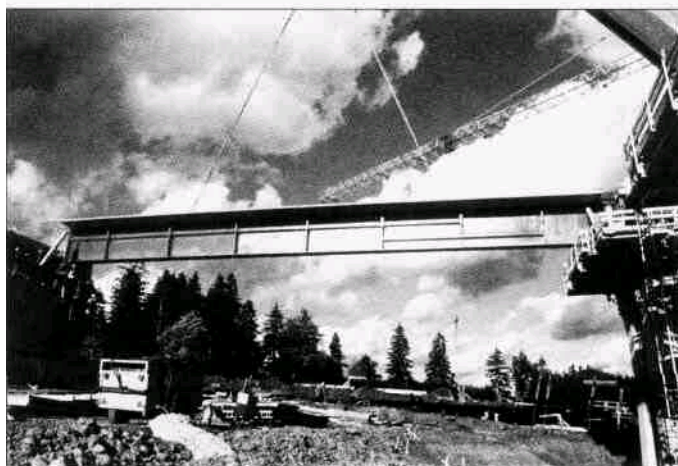


Rys. 5. Schemat ustroju nośnego z dźwigarami VFT

żadne naprężenia. Kolejna faza to ułożenie zbrojenia, zamknięcie deskowania wokół płyty i jej zabetonowanie. Po zabetonowaniu półek dźwigar jest podnoszony z deskowania i ustawiony na placu montażowym w taki sposób, aby zagwarantować stan beznapięciowy i zapobiec deformacjom spowodowanym skurczem młodego betonu. Po przyjętym okresie dojrzewania betonu dźwigar zostaje specjalnie usztywniony na czas transportu (rys. 6). Na placu budowy dźwigary ustawia się w planowanym położeniu na podporach przy użyciu dźwigów samojezdnych (rys. 7). Montaż ten jest szczególnie korzystny na budowach przecinających ciągi komunikacyjne. Okres zamknięcia ruchu jest bardzo krótki i dotyczy tylko podniesienia dźwigarów na podpory. Zabetonowane na dźwigarach półki betonowe są łączone krótkimi stężeniami poprzecznymi, które po ułożeniu zbrojenia górnego betonuje się. Nie ma potrzeby montażu dodatkowych stężeń poprzecznych. Skracza to okres



Rys. 6. Wysyłka dźwigarów VFT z wytwórni



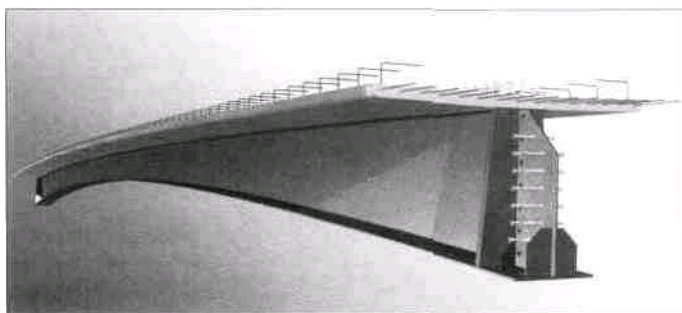
Rys. 7. Montaż dźwigarów VFT (przykłady)

budowy i znacznie ją upraszcza. Następną fazą budowy to deskowanie poprzecznie skrajnych i podporowych, które są betonowane do górnej powierzchni żelbetowych półek.

Końcowa faza budowy to zabetonowanie górnej części płyty pomostu, wykonanie kap chodnikowych, izolacji, nawierzchni, balustrad itp.

Założenia statyczne

Istotą systemu VFT® jest racjonalne wykorzystanie właściwości stali i betonu. Już w stadium montażowym ciężar własny

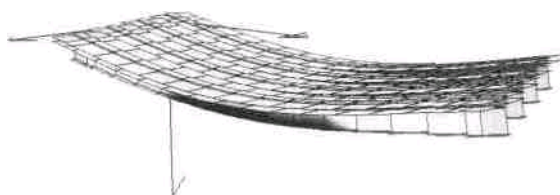


Rys. 8. Dźwigar VFT

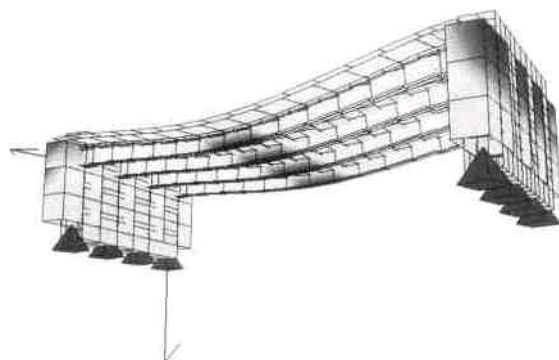
betonowanej płyty pomostu nie obciąża tylko przekroju stalowego, ale przekrój zespolony - co wpływa na redukcję naprężeń i odkształceń w tej fazie pracy ustroju zespolonego. W fazie końcowej przekrój zachowuje się jak konstrukcja w pełni zespolona, z tym że na skutek bardzo wczesnego - już w fazach montażu - wykorzystania efektu zespolenia oszczędność stali wynosi około 25%.

Proste połączenia dźwigarów VFT® (rys. 8) z innymi elementami masywnymi ułatwia ich stosowanie w układach jednoprzęstowych, ramach oraz układach wieloprzęstowych ciągłych.

Wymiarowanie musi uwzględniać zarówno fazy eksploatacji jak i montaż oraz transport elementów.



Rys. 9. Ugięcia ustroju nośnego od ciężaru prefabrykatów VFT



Rys. 10. Ugięcia układu ramowego od ciężaru płyty pomostowej

Analiza statyczna mostów z dźwigarów zespolonych VFT® za pomocą programu SOFiSTiK®

Korzyści wynikające ze stosowania dźwigarów zespolonych VFT® uzyskuje się dzięki bardzo dokładnej i pracochłonnej analizie statycznej na etapie projektowania (rys. 9, 10). Obliczenia statyczne mostów, z zastosowaniem dźwigarów zespolonych VFT®, wymagają wyznaczenia sił wewnętrznych i naprężeń przy założeniu różnych schematów statycznych. Konieczne są też zmiany geometrii przekrojów poprzecznych w poszczególnych etapach obliczeń.

Do analizy statycznej mostów z wykorzystaniem dźwigarów VFT® jest używane oprogramowanie firmy SOFiSTiK®. Umożliwia ono tworzenie przekrojów zespolonych, zmianę schematu statycznego oraz zmianę geometrii przekrojów poprzecznych w trakcie poszczególnych etapów obliczeń.

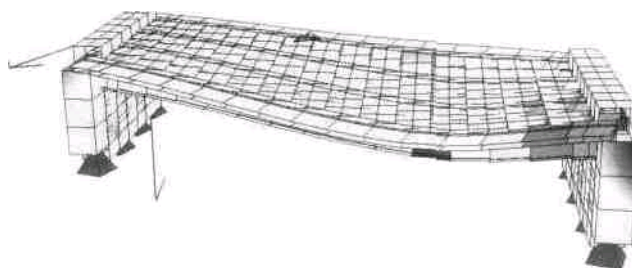
W pierwszym etapie obliczeń analizuje się dźwigary zespolone VFT® o schemacie belki swobodnie podpartej, uwzględniając ciężar dźwigara montowanego na budowie (dźwigar stalowy z prefabrykatem żelbetonowym).

W drugim etapie analizuje się wpływ skurczu prefabrykatu żelbetonowego (pracującego jako swobodnie podparty) oraz zmian sił wewnętrznych spowodowanych pęzaniem betonu prefabrykatu, w trzecim zaś rozpatruje się układ ramowy (lub ciągły), w którym uwzględnia się ciężar świeżego betonu płyty pomostowej, wykonywanej na budowie.

Czwartym etapem jest uwzględnienie ciężaru izolacji, nawierzchni, kap chodnikowych, poręczy i barier. W układzie tym przy przenoszeniu obciążeń pracuje już pełny przekrój zespolony, tj. dźwigar VFT® z płytą pomostową. Piątym etapem jest obliczenie wpływu skurczu płyty pomostowej oraz zmian sił wewnętrznych spowodowanych pęzaniem betonu płyty pomostowej od obciążeń stałych. Szóstym etapem obliczeń, koniecznym przy konstruowaniu mostów ramowych, jest uwzględnienie wpływu zmian temperatury. W etapie siódmym uwzględnienia się wpływ obciążeń ruchomych, tj. obciążeń tłumem pieszych, taboru samochodowym, pojazdem K (rys. 11).

W ósmym etapie należy dokonać kombinacji naprężeń w poszczególnych elementach od występujących obciążeń, w celu uzyskania maksymalnych i minimalnych naprężeń mogących wystąpić w każdym przekroju.

Właściwa analiza statyczna zapewnia zoptymalizowanie przyjętych przekrojów dźwigarów VFT®, co może z kolei doprowadzić do znacznego obniżenia kosztów budowy.



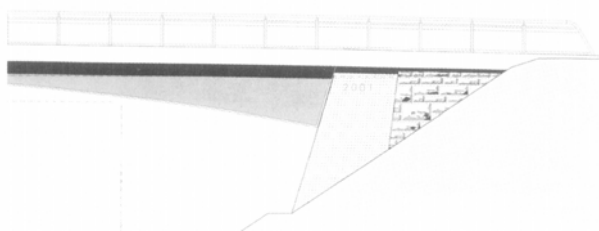
Rys. 11. Ugięcia układu ramowego od pojazdu K



Rys. 12. Most kolejowy z dźwigarów VFT



Rys. 13. Montaż dźwigarów VFT nad koleją - bez przerw w ruchu kolejowym



Rys. 14. Przyciółek wiaduktu ramowego VFT



Rys. 15. Filar i przyciółek wiaduktu VFT wieloprzęsłowego opartego na łóżyskach

VFT® - atrakcyjna alternatywa dla inwestora, przedsiębiorstwa mostowego i użytkownika

Od momentu opracowania systemu VFT® stał się on bardzo efektywnym sposobem budowy obiektów w szczególnie trudnych warunkach lokalnych. Dotychczas wybudowano w Niemczech około 80 tego rodzaju mostów (rys. 12-15). Wykorzystanie systemu przyniosło wymierne korzyści wszystkim uczestniczącym w procesie inwestycyjnym.

Inwestorom umożliwiło zamawianie ekonomicznych budowli o szczególnych, atrakcyjnych wymaganiach konstrukcyjno-architektonicznych. Wysoki stopień prefabrykacji umożliwia staranną kontrolę produktu i gwarantuje właściwe oraz ekologiczne zabezpieczenie antykorozyjne. Dzięki prostocie przekrojów bieżąca kontrola stanu obiektów jest ułatwiona, a koszty utrzymania są relatywnie niskie. Rezygnacja z podpór pośrednich, np. w wiaduktach nad autostradami, zwiększa bezpieczeństwo ruchu i nie wymaga kosztownych przerw w komunikacji oraz wytyczania i zabezpieczenia objazdów.

Przedsiębiorstwom mostowym zapewnia eliminowanie ryzyka wykonawczego. Rozwiązania w systemie VFT® są zgłaszane zwykle jako propozycje alternatywne. Zgłoszenie takie jest dokonywane przy świadomej kalkulacji kosztów opartej na realnym przedmiarze robót i znanym cyklu budowy i nie jest obciążone błędem w wycenie wynikającym z warunków narzucenych przez zamawiającego - często niemożliwych do spełnienia. Czytelniejsza jest też ocena tych propozycji, które nie muszą być rozpatrywane indywidualnie.

Użytkownik docenia zalety systemu VFT® dzięki bezkolizyjnemu wznoszeniu obiektu, bezpiecznemu dla korzystających z ciągów komunikacyjnych. Na drodze nie pojawiają się urządzenia zabezpieczające budowę, nie ma pojazdów roboczych, często kolidujących z ruchem, i uciążliwych zatorów. Mała liczba dźwigarów głównych powoduje, że niezbędne zamknięcia ruchu są krótkie. Dzięki walorom architektonicznym nowo wznoszone obiekty upiększają krajobraz.

Perspektywy rozwoju

System budowy VFT® przyjął się w ostatnich dwóch latach i jest traktowany jako rozwiązanie ekonomiczne i sprawdzone. O popularności systemu zadecydowały jego następujące cechy:

- niskie koszty budowy, z uwagi na oszczędności materiałów,
- krótki czas realizacji, wynikający z wysokiego stopnia prefabrykacji,
- pewna kalkulacja kosztów,
- łatwa kontrola stanu obiektu,
- trwałość obiektów.

System VFT® rozwija się i znajduje nowe obszary zastosowań. Zwiększa się jego zastosowanie w przejściach nad ciągami komunikacyjnymi, szczególnie tam, gdzie można zastąpić konstrukcje dwuprzęsłowe z środkową podporą pośrednią ramami jednoprzęsłowymi.

Istotnym elementem decydującym o sukcesie systemu VFT® w przetargach jest zmniejszanie kosztów związanych z organizacją i zabezpieczeniem ruchu, zarówno w ciągach komunikacji samochodowej, jak i kolejowej. Szczególne znaczenie może mieć system VFT® w budownictwie kolejowym, gdzie inwestycje są realizowane w trudnych warunkach przestrzennych i przy rygorystycznych ograniczeniach czasowych. System pozwala konstruować przęsła o bardzo małej wysokości konstrukcyjnej i małych odkształceniach. Dlatego z powodzeniem może być stosowany w modernizacji obiektów nad czynnymi trakcjami kolejowymi.

Rozwój systemu to konstruowanie mostów z dźwigarami VFT® nad przeszkodami wodnymi. Do transportu można użyć dróg wodnych, na których jedynym ograniczeniem gabaryto-



Rys. 16. Pierwszy krajowy dźwigar VFT, przewidziany do zastosowania w moście w Dębicy

wym są światła słuz. Możliwe jest również użycie dźwigarów VFT® jako elementów drugorzędnych w konstrukcjach kratowych i łukowych.

Uwzględniając wyżej wymienione uwagi należy sądzić, że system VFT® odegra w przyszłości ważną rolę w budownictwie mostowym.

Doświadczenia krajowe

Doceniając zalety systemu VFT® autorzy opatentowanej technologii, tj. biuro projektów Schmitt Stumpf Fruhauf und Partner Ingenieurgesellschaft im Bauwesen mbH z Monachium, wspólnie ze swym polskim partnerem, biurem Europrojekt Gdańsk Sp. z o. o., nawiązały ścisłą współpracę z Instytu

tem Badawczym Dróg i Mostów w Warszawie, w celu wdrożenia tej technologii w kraju. W efekcie tej współpracy powstał projekt przesła integralnego składającego się z czterech dźwigarów VFT® oraz wydano „Warunki techniczne projektowania i wykonania obiektów mostowych z przeszłami z dźwigarów VFT”.

Kolejnym etapem wdrożenia było opracowanie technologii wytwarzania elementów z krajowych materiałów, z wykorzystaniem krajowych możliwości produkcyjnych. Na targach Autostrada 2002 w Kielcach IBDiM wystawił pierwszy dźwigar VFT® w całości zaprojektowany i wykonany w Polsce (rys. 16). Proces projektowo-produkcyjny udowodnił, że technologia ta umożliwia realizację obiektów, których koszt jest znacznie niższy niż obiektów wykonywanych według technologii tradycyjnej. Do chwili obecnej Europrojekt Gdańsk Sp. z o. o. zaprojektował 10 obiektów mostowych z zastosowaniem technologii VFT®. Kilka z nich przewidziano do realizacji w roku 2003.

Artykuł sponsorowany

Artykuł powstał przy współpracy firm:



**SCHMITT STUMPF FRUHAUF
UND PARTNER**
Ingenieurgesellschaft
im Bauwesen mbH



SOFISTIK AG