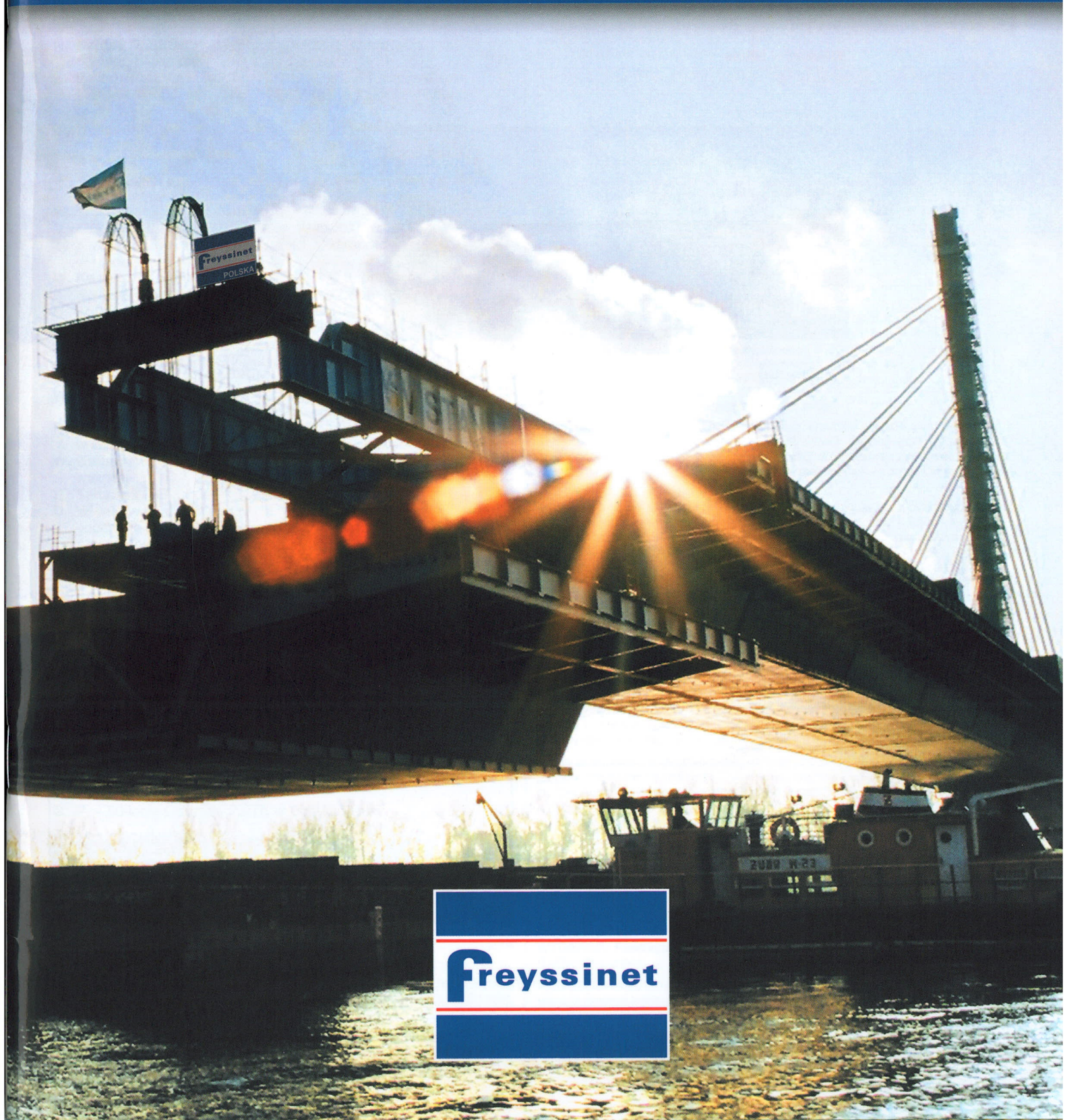


INŻYNIERIA BUDOWNICTWO

4/2005



Mgr inż. DAWID WIŚNIEWSKI
Prof. dr hab. inż. JAN BILISZCZUK
Politechnika Wrocławska
Prof. PAULO CRUZ
Universidade do Minho, Portugalía
Mgr inż. PAULO LOPES
Maprel (Grupa Mota-Engil), Portugalía

Prefabrykowane elementy żelbetowe do budowy małych mostów, przepustów i tuneli pod nasypami w Portugalii

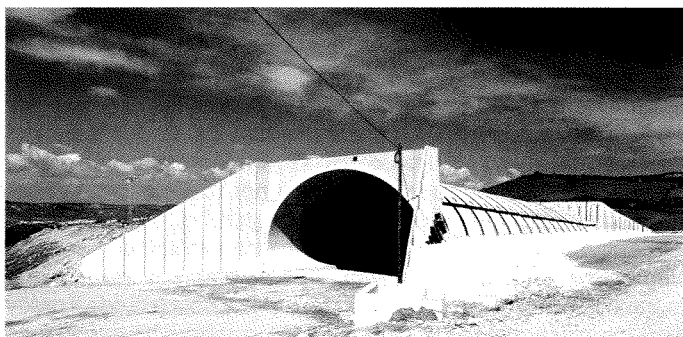
Rozbudowa sieci dróg, autostrad i linii kolejowych, która nastąpiła po wstąpieniu Portugalii do Wspólnoty Europejskiej w 1986 roku, spowodowała powstanie w ciągu ostatniej dekady ogromnej liczby mostów, wiaduktów, tuneli pod nasypami i innego rodzaju obiektów inżynierskich. Znacząca większość tych konstrukcji inżynierskich to obiekty małej lub średniej rozpiętości, z przęsłami odpowiednio od 1 do 10 m i od 10 do 40 m. Takie konstrukcje są stosunkowo nieskomplikowane i tanie, ale ze względu na dużą ich liczbę miały istotny wpływ na szybkość budowy i całkowite koszty inwestycji komunikacyjnych. Dlatego zarówno duże koncerny budowlane, będące głównymi wykonawcami tego rodzaju obiektów w Portugalii, jak i mniejsze przedsiębiorstwa współpracujące przy dużych kontraktach, poszukiwały nowych, bardziej efektywnych ekonomicznie rozwiązań technologicznych tej klasy budowli.

Jak się można było spodziewać, najlepszym rozwiązaniem, ze względu na koszt i szybkość budowy, okazały się betonowe konstrukcje prefabrykowane [1]. Portugalskie firmy zajmujące się wcześniej głównie prefabrykacją lekką (elementy stropowe, lekkie belki itp.) szybko dostosowały swoją ofertę do potrzeb rynku, wprowadzając szeroką gamę mostowych belek sprężonych, jak i różnego rodzaju ramowych bądź łukowych elementów żelbetowych do budowy drogowych konstrukcji inżynierskich. Dzięki współpracy z firmami z Francji, Włoch czy Hiszpanii oraz zaangażowaniu w opracowywanie i badania nowych produktów własnej kadry inżynierskiej, w niedługim czasie osiągnięto poziom odpowiadający poziomowi światowej czołówki. Obecnie największe firmy zajmujące się prefabrykacją na potrzeby budownictwa mostowego dysponują technologią, dzięki której są w stanie wznieść obiekty, od przepustów, przez mosty małej rozpiętości, aż do obiektów o przęśle rozpiętości $40 \div 50$, a nawet 90 m. Technologie stosowane w Portugalii do budowy z prefabrykatów mostów większych (różnego rodzaju prefabrykowane belki z betonu sprężonego) zostały opisane w pracy [6]. Dlatego w tym artykule przedstawiono tylko rozwiązania w postaci łuków lub ram żelbetowych, stosowane w obiektach o mniejszych przęsłach.

Stosowane rozwiązania systemowe

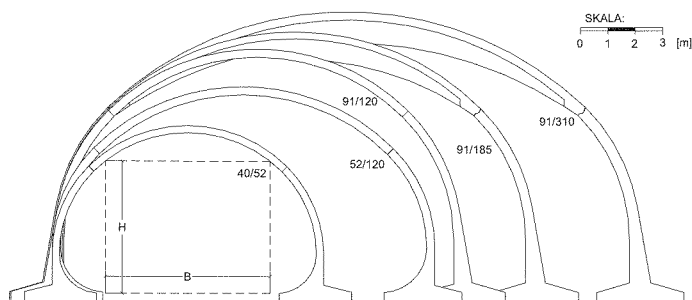
• **Konstrukcje Matiere.** Konstrukcje łukowe Matiere to rozwiązanie systemowe opracowane we Francji na początku lat osiemdziesiątych ubiegłego wieku przez firmę Matiere, zaprojektowane w celu zapewnienia szybkiego wznoszenia wiaduktów oraz przepustów i tuneli pod nasypami o skrajniach od $1,78 \times 1,92$ do $18,1 \times 5,7$ m. W Portugalii konstrukcje te, przy współpracy z macierzystą firmą, są od 1987 roku produkowane przez firmę Maprel. Od czasu rozpoczęcia produkcji tego rodzaju elementów zbudowano w Portugalii według tej technologii ponad 300 obiektów. Na całym świecie jest ich już kilka tysięcy (Francja, Hiszpania, Stany Zjednoczone, Japonia,

Irlandia i inne). Konstrukcję tunelu pod korpusem autostrady, przed zasypaniem, wykonanego z omawianych elementów, przedstawiono na rys. 1.

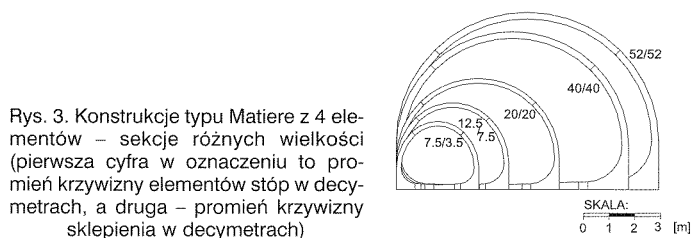


Rys. 1. Konstrukcja typu Matiere przed zasypaniem

Konstrukcje Matiere to żelbetowe, dwuprzegubowe obudowy łukowe. Zależnie od parametrów podłoża oraz rodzaju konstrukcji, mogą być one zamknięte od dołu lub otwarte. W przekroju poprzecznym konstrukcja składa się z trzech lub czterech elementów (zależnie od tego czy przekrój jest otwarty, czy zamknięty), umożliwiających prefabrykację i transport (rys. 2 i 3). Na cztery elementy przekroju poprzecznego składają się: płyta fundamentowa pomiędzy dwiema nogami podpierającymi skle-



Rys. 2. Konstrukcje typu Matiere z 3 elementów – sekcje różnych wielkości (pierwsza cyfra w oznaczeniu to promień krzywizny elementów stóp w decymetrach, a druga – promień krzywizny sklepienia w decymetrach)



Rys. 3. Konstrukcje typu Matiere z 4 elementów – sekcje różnych wielkości (pierwsza cyfra w oznaczeniu to promień krzywizny elementów stóp w decymetrach, a druga – promień krzywizny sklepienia w decymetrach)

pienie (element opcjonalny), nogi podpierające sklepienie (elementy pionowe tworzące częściowo ściany) i element zamykający sklepienie łukowe będące stropem konstrukcji. Wszystkie elementy są nieuzbrojone, z wyjątkiem sklepień konstrukcji większych rozpiętości (typy 91/185, 91/245 i 91/310), gdzie stosuje się dwa żebra usztywniające na każdy segment.

W kierunku podłużnym budowla według omawianej technologii jest złożona z zestawionych ze sobą kolejnych konstrukcji niezależnych (pierścieni), różnej długości, zależnej od typu konstrukcji i ciężaru elementów, jednak nie większej niż 2,50 m. Takie rozwiązanie cechuje się m. in. łatwością transportu i montażu elementów. Dzięki dylatacjom jest możliwe dopuszczenie małej różnicy osiadań na długości obiektu, bez niebezpieczeństwa zarysowania konstrukcji.

W przypadku konstrukcji z płytą fundamentową, elementy nóg ramy od strony wewnętrznej mają pozostawione zbrojenie pozwalające na uciąglenie elementów prefabrykowanych i płyty monolitycznej. Takie rozwiązanie umożliwia także uciąglenie konstrukcji na długości (gdy jest to niezbędne) przez połączenie fundamentu kolejnych sekcji (pierścieni).

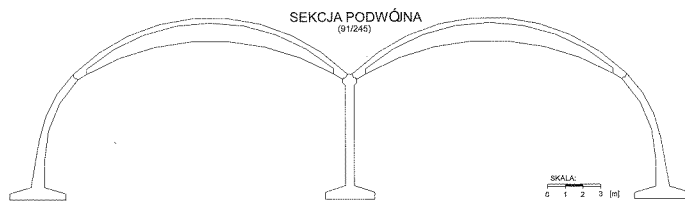
W przypadku konstrukcji bez płyty dolnej jest możliwe także uciąglenie podłużne, przez jednoczesne zabetonowanie zewnętrznej części stóp fundamentowych, przewidzianych technologicznie jako wykonywanych w drugiej fazie.

Grubość sklepienia (elementu zamykającego) jest stała na długości i w zależności od rodzaju konstrukcji i obciążenia wynosi najczęściej od 26 do 35 cm. Grubość elementów pionowych i stóp fundamentowych jest zmienna i zwiększa się w kierunku od przegubów do węzła sztywnego.

Stosunkowo niewielką w stosunku do rozpiętości grubość elementów zapewnia uwzględnienie współpracy gruntu otaczającego konstrukcję przy przenoszeniu obciążeń. Idea pracy tego rodzaju konstrukcji jest podobna do znanych już w Polsce konstrukcji podatnych z profilowanych blach stalowych typu Super-Cor [4]. Mała sztywność elementów żelbetowych powoduje, że pod wpływem obciążeń naziemem lub (i) obciążenia użytkowego konstrukcja odkształca się w kierunku gruntu, który dzięki odpowiedniemu zagęszczeniu zapewnia wystąpienie wystarczającej reakcji i podtrzymuje konstrukcję, zapobiegając jej nadmiernym odkształceniom, a tym samym zapewniając powstanie stosunkowo niewielkich sił wewnętrznych w elementach konstrukcji.

Elementy konstrukcji typu Matiere, podobnie jak wszystkie w Portugalii żelbetowe elementy prefabrykowane stosowane do budowy konstrukcji inżynierskich, są wykonane z betonu klasy C30/37 [2] lub wyższej i zbrojone stalą o wytrzymałości $400 \div 500$ MPa. Odpowiednie zagęszczenie betonu uzyskuje się dzięki stosowaniu form wyposażonych w wibratory o wysokiej częstotliwości drgań.

Rozwiązanie to jest stosunkowo lekkie i charakteryzuje się dużą efektywnością i szybkością montażu. Proces produkcji w przypadku dysponowania nowoczesnymi formami (umożliwiającymi wibrowanie betonu i podnoszenie konstrukcji w celu rozformowania) oraz robotami do formowania zbrojenia nie jest specjalnie skomplikowany. Pewnym ograniczeniem jest to, że rozpiętości sklepień nie powinny być większe niż 19 m. Niemniej jednak przez zastosowanie sekcji podwójnych (rys. 4) lub wielokrotnych jest możliwe przekroczenie nawet szerszych przeszkód. W tej sytuacji jedyną barierą stosowania tego rodzaju rozwiązania we wszystkich możliwych przypadkach są minimalne i maksymalne grubości nasypu nad kluczem sklepienia. Minimalna granica jest określana na około 0,5 m, a maksymalna zależy od rodzaju konstrukcji. W przypadku konstrukcji małych jest to kilkanaście metrów, a większych – kilka metrów. W przypadku konstrukcji największych warstwa gruntu nad terenem musi być ograniczana do minimum i z reguły nie przekracza $2 \div 3$ m.

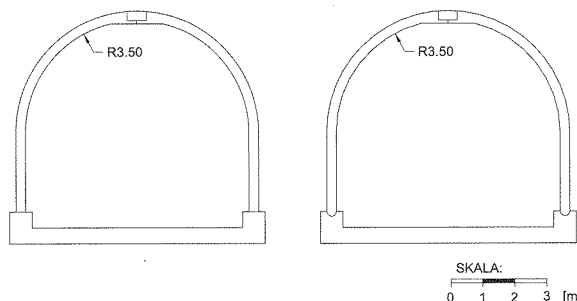


Rys. 4. Konstrukcja typu Matiere o sekcji podwójnej (pierwsza cyfra w oznaczeniu to promień krzywizny elementów stóp w decymetrach, a druga – promień krzywizny sklepienia w decymetrach)

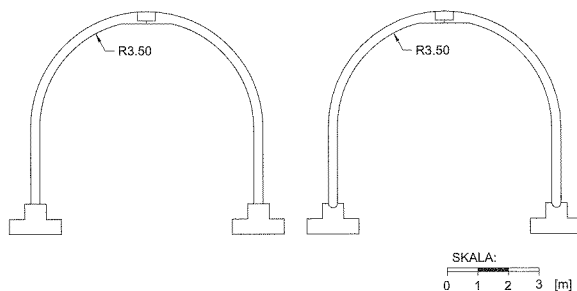
• **Konstrukcje Prefac.** Rozwiązanie to jest konkurencyjne w stosunku do wcześniej opisywanej konstrukcji Matiere. W Portugalii elementy tego rozwiązania są produkowane na podstawie licencji francuskiej firmy Prefac. Asortyment konstrukcji typu Prefac oferowanych przez firmę Civibrál, portugalskiego wytwórcę tych konstrukcji, jest znacznie mniejszy niż wcześniej opisywanych. Produkowane są tylko dwa rodzaje sekcji, umożliwiające przekraczanie przeszkód szerokości do 6 do 10 m. Niemniej jednak we Francji jest oferowana dużo szersza gama tego typu konstrukcji i prawdopodobnie w najbliższym czasie pojawią się one również na rynku portugalskim.

Konstrukcje Prefac to także żelbetowe obudowy łukowe, jednak różniące się znacznie pod względem geometrii, schematu statycznego i sposobu montażu od wcześniej opisywanych. Konstrukcje według tej technologii składają się tylko z dwóch elementów prefabrykowanych, połączonych ze sobą wykonywanym na miejscu węzłem monolitycznym w kluczu łuku. Utrudnia to montaż z uwagi na potrzebę tymczasowego podparcia elementów, z drugiej jednak strony pozwala uzyskać konstrukcję ciągłą, porównywalną z wykonywaną na miejscu.

Podobnie jak w przypadku rozwiązania Matiere, w zależności od parametrów podłoża oraz wielkości i rodzaju konstrukcji, sekcje mogą być zamknięte od dołu (rys. 5) lub otwarte (rys. 6). Połączenie obudowy z fundamentem może być wykonane jako przegubowe lub sztywne. W tej technologii fundamenty konstrukcji (zarówno w przypadku ław, jak i płyty) są projektowane jako wykonywane na miejscu. Wydłuża to nieznacznie czas wznoszenia budowli, ale jednocześnie zapobie-



Rys. 5. Konstrukcja typu Prefac zamknięta od dołu. Połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe (sekcja typu 3.5 – promień wewnętrzny sklepienia w metrach)



Rys. 6. Konstrukcja typu Prefac otwarta od dołu. Połączenie z fundamentem sztywne i przegubowe (sekcja typu 3.5 – promień wewnętrzny sklepienia w metrach)

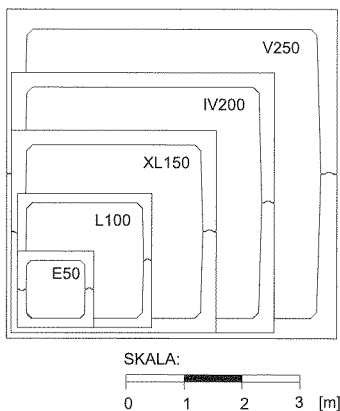
ga możliwości niedokładnego przylegania fundamentu do podłoża i spowodowanego tym nierównomiernego osiadania poszczególnych segmentów.

Dwa elementy prefabrykowane w przekroju poprzecznym konstrukcji są symetryczne, co pozwala na stosowanie jednej formy. Grubość elementów jest stała na całej długości, z wyjątkiem klucza łuku, w którym jest uformowane połączenie umożliwiające zabetonowanie bez potrzeby dodatkowego deskowania.

Podobnie jak w przypadku konstrukcji Matiere, wszystkie elementy zaprojektowane są jako nieuzębrowane i ze względu na możliwości transportowe mają szerokość nie większą niż 2,5 m. Identycznie jak w opisywanej wyżej technologii, kluczową sprawą we właściwej pracy konstrukcji jest prawidłowa współpraca z otaczającym ją nasypem jako elementem konstrukcyjnym, pozwalającym na znaczne zredukowanie przekroju elementów betonowych.

Rozwiązanie to charakteryzuje się podobnymi zaletami i jest stosowane przy podobnych ekstremalnych grubościach naziomu, jak w przypadku konstrukcji Matiere, niemniej jest w Portugalii stosowane rzadziej. Przyczyn tego faktu można szukać przede wszystkim w mniejszym asortymencie elementów konstrukcji (występują tylko konstrukcje średnich rozpiętości), braku możliwości wykonywania sekcji wielokrotnych i bardziej skomplikowanej technologii montażu. Wydaje się jednak, że w wielu przypadkach jest to rozwiązanie bardzo atrakcyjne i konkurencyjne cenowo.

- **Konstrukcje Box-culvert.** Są to konstrukcje ramowe, składające się z dwóch nałożonych na siebie prefabrykowanych elementów żelbetowych o kształcie litery U (rys. 7), tworzących sekcję prostokątną o wymiarach od $1,0 \times 1,0$ do $5,0 \times 5,0$ m, w zależności od typu. Stosuje się je głównie do budowy przepustów i przejazdów w przypadku dróg gruntowych pod nasypami, a także do budowy kanałów technicznych.



Rys. 7. Konstrukcje typu Box-culvert – sekcje różnej wielkości

W Portugalii konstrukcje według tej technologii, opracowanej przez miejscowe biura projektów, są budowane już od ponad piętnastu lat. W tym okresie powstało ponad pół tysiąca obiektów o różnym przeznaczeniu, przekrojach i obciążeniach.

Podobnie jak w przypadku wcześniej omawianych technologii, w kierunku podłużnym budowla typu Box-culvert jest złożona z zestawionych ze sobą kolejnych segmentów. Elementy składowe mają szerokość 2,5, 2,0 lub 1,5 m, uzależnioną od ciężaru elementów i stosowanych form. Takie rozwiązanie, tak jak w przypadku konstrukcji Matiere, pozwala na dopuszczenie małej różnicy osiadań na długości obiektu bez niebezpieczeństwa zarysowań, a jednocześnie ułatwia prefabrykację elementów, transport i montaż.

Elementy prefabrykowane U mają grubość, w zależności od typu konstrukcji, wielkości naziomu lub (i) obciążeń zmiennych od 15 do 30 cm. Płyta elementu U charakteryzuje się stałą gru-

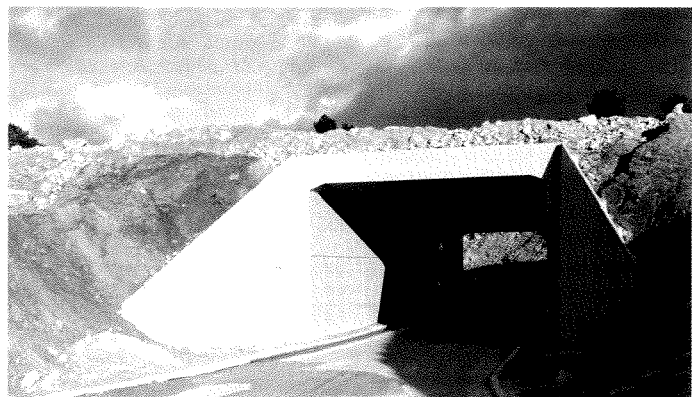
bością na długości, natomiast grubość nóg elementu zmniejsza się w kierunku od węzła do przegubu.

Z uwagi na to, że mniejsze konstrukcje typu Box-culvert mają stosunkowo dużą sztywność i odkształcają się nieznacznie, szczególnie przy mniejszej wysokości naziomu, trudniejsze jest wykorzystanie współpracy konstrukcji z otaczającym je nasypem. W budowlach o większych sekcjach zachowanie konstrukcji jest już bardziej sprzyjające uwzględnieniu współpracy konstrukcji z otaczającym ją gruntem, jednak również nie zawsze. Problematyka zachowania różnych typów konstrukcji Box-culvert została omówiona w artykule [5].

Konstrukcje Box-culvert są bezkonkurencyjne na rynku portugalskim w przypadku obiektów małych (rozpiętości do 5 m), ze względu na cenę i szybkość wykonania. Wyszczególnione ekipy są w stanie zmontować 25 m konstrukcji dziennie przy odpowiednio przygotowanym wcześniej podłożu. Możliwe jest to głównie dzięki wyeliminowaniu jakichkolwiek elementów monolitycznych. Również produkcja elementów jest stosunkowo nieskomplikowana i tania.

Jedynym ograniczeniem stosowania jest, podobnie jak w innych przypadkach, wysokość naziomu i (lub) wartość obciążeń użytkowych. Przy znacznej grubości gruntu zalegającej na stropie konstrukcji rozwiązaniem konkurencyjnym są najczęściej ustroje sklepione Matiere lub Prefac. Jak się można tego spodziewać, maksymalna wysokość naziomu jest funkcją rozpiętości przęsła i wynosi od kilkunastu metrów w przypadku sekcji najmniejszych do 2 m w przypadku sekcji największych. Warto tu wspomnieć, że konstrukcje typu Box-culvert mogą być również wykonane bez naziomu, czyli nawierzchnia może się znajdować bezpośrednio na konstrukcji.

- **Konstrukcje Opti-quadro.** Konstrukcje te (rys. 8) to w pewnym sensie rozwinięcie konstrukcji Box-culvert na większe rozpiętości. Rozwiązanie to zostało opracowane również we Francji na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku w biurze Matiere. W Portugalii jest stosowane dopiero od kilku lat i z powodzeniem zastępuje inne dotychczas stosowane rozwiązania (np. mosty płytowe ze sprężonych belek prefabrykowanych). Obecnie firma Makrel, będąca producentem tych konstrukcji, wytwarza elementy do budowy obiektów rozpiętości od 7,0 do 9,5 m, przystosowane do zasypania (jako obudowy tuneli pod nasypami), jak i do stosowania bezpośrednio pod nawierzchnią, gdy pełnią funkcję konstrukcji mostu. Różnica pomiędzy elementami przeznaczonymi do tych dwóch zastosowań wynika z potrzeby uformowania wspornika pod płytę przejściową (zastosowanie bezpośrednie), jak i pozostawienia zbrojenia umożliwiającego uciąganie poszczególnych elementów (pierścieni), które ma na celu wymuszenie współpracy pomiędzy elementami i rozłożenie obciążeń skupionych od kół pojazdów normowych na większą powierzchnię (również w zastosowaniach bezpośrednich).



Rys. 8. Konstrukcja typu Opti-quadro po zasypaniu

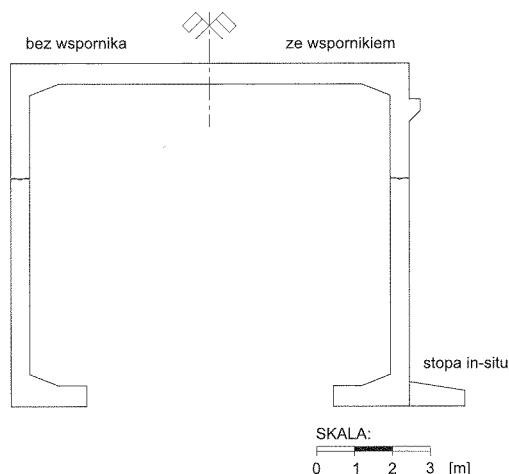
W przekroju poprzecznym konstrukcja Opti-quadro (rys. 9) składa się z elementu górnego o formie identycznej jak w przypadku rozwiązania Box-culvert oraz dwóch nóg pionowych prefabrykowanych w kształcie litery L. W przypadku konstrukcji zamkniętej od dołu (rys. 10) występuje jeszcze płyta dolna.

Podobnie jak w wypadku wcześniej omawianych rozwiązań, w kierunku podłużnym budowla wykonana według omawianej technologii jest złożona z zestawionych ze sobą kolejnych segmentów (pierścieni) długości nie większej niż 2,50 lub 2,00 m, zależnie od masy elementów. Identycznie jak w przypadku łuków Materie, jest możliwe uciągnięcie fundamentów poszczególnych elementów przez jednoczesne zabetonowanie zewnętrznej części stóp, przewidzianych do wykonywania na miejscu, lub (i) wykonanie ciągłego węzła przy połączeniu z elementami stanowiącymi płytę fundamentową.

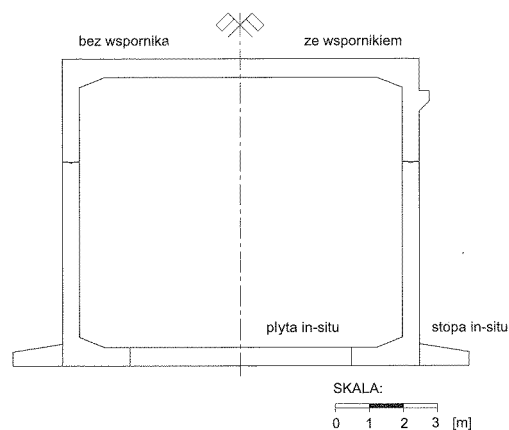
Grubość prefabrykatów jest stała na długości, jednak może być różna w pionowych i poziomych częściach konstrukcji. Wysokość przekroju płyty górnej powinna być mniejsza niż 55 cm, a grubości ścian powinny wynosić od 30 do 50 cm (ze stopniowaniem co 5 cm).

Podobnie jak w wypadku konstrukcji Box-culvert o większym przekroju, współpraca z otaczającym gruntem ma decydujący wpływ na pracę konstrukcji, co wymaga szczególnej uwagi przy jego układaniu.

Obiekty z elementów Opti-quadro, podobnie jak z wcześniej opisanych, wykonuje się szybko i za stosunkowo niską cenę. Elementy te są stosowane przede wszystkim tam, gdzie konstrukcje Box-culvert są zbyt małe, a wymagana mała wysokość konstrukcyjna nie pozwala na użycie konstrukcji łukowej



Rys. 9. Konstrukcja typu Opti-quadro otwarta od dołu. Wersja ze wspornikiem na płytę przejściową i zewnętrzną częścią stopy fundamentowej oraz bez tych elementów



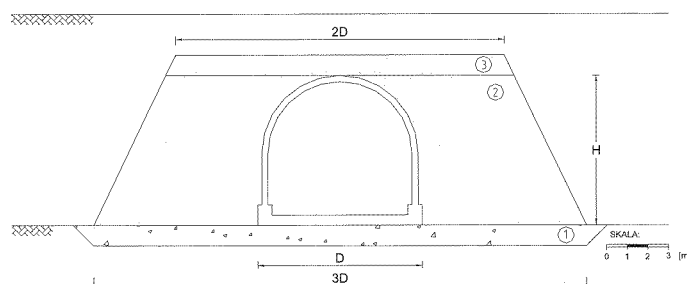
Rys. 10. Konstrukcja typu Opti-quadro zamknięta od dołu. Wersja ze wspornikiem na płytę przejściową i bez tego elementu

Matiere. W Portugalii nie ma większych doświadczeń ze stosowania tej technologii, ale biorąc pod uwagę doświadczenia francuskie można ocenić, że jest to rozwiązanie równie „dopracowane”, jak wcześniej opisane.

Technologia wykonania

W przypadku wszystkich opisywanych w artykule technologii, podstawowy wpływ na prawidłowe funkcjonowanie konstrukcji ma właściwe wykonanie fundamentu i nasypu w bezpośrednim ich sąsiedztwie. Związane jest to z tym, że otaczający budowlę grunt pełni funkcję nośną i – zależnie od podatności konstrukcji – w większym lub mniejszym stopniu współpracuje przy przenoszeniu obciążeń.

Nośna część bezpośrednio sąsiadującego z budowlą gruntu nosi nazwę nasypu technicznego lub konstrukcyjnego. Ze względu na położenie w stosunku do konstrukcji oraz funkcję, można je podzielić na (rys. 11): fundament, nasyp otulający i nasyp przekrywający [3]. Przyjmuje się, że nasyp techniczny powinien mieć szerokość nie mniejszą niż $3D$ u podstawy i nie mniejszą niż $2D$ w części górnej konstrukcji (D – rozpiętość przęsła konstrukcji). Warstwa przekrywająca powinna mieć grubość nie mniejszą niż 0,50 m (w technologii Box-culvert i Opti-quadro warstwa ta nie jest konieczna). W przypadku konstrukcji wykonanych w wykopie w gruncie o dobrych właściwościach nośnych, „nasyp techniczny” może być odpowiednio zmniejszony. Grubość warstwy podłoża pod konstrukcją zależy od obciążeń i nośności gruntu rodzimego.



Rys. 11. Ilustracja do definicji geometrycznej nasypu technicznego

Parametry geotechniczne i wymagania technologiczne dotyczące wykonania nasypu technicznego są różne w przypadku podłoża (fundamentu) i nasypu właściwego (warstwy otaczającej i przekrywającej).

Warstwa fundamentowa musi przede wszystkim charakteryzować się odpowiednią wytrzymałością, jednorodnością i możliwie najmniejszą podatnością na osiadania. W większości wypadków wystarczająca jest warstwa dobrze zagęszczonej i odpowiednio uziarnionej pospółki lub mieszaniny kruszywa łamanego. W przypadkach słabego gruntu rodzimego, poza wyżej wspomnianą warstwą, stosuje się wymianę gruntu do większej głębokości na charakteryzujący się większą nośnością.

Warstwa otaczająca i przekrywająca nasypu technicznego powinna charakteryzować się małą podatnością i dużą wodoprzepuszczalnością, przy stosunkowo niewielkim ciężarze obciążeniowym. Wymagane cechy uzyskuje się stosując odpowiednio uziarnione piaski i pospółki o dobrej zagęszczalności (0,95 według Proctora), zgęszczając (wibrując) grunt cienkimi warstwami (około 25 cm). Z uwagi na możliwość wystąpienia nieprzewidzianych deformacji trwałych konstrukcji podczas budowy, warstwy nasypu powinny układać się w ten sposób, żeby różnica poziomów po jednej i drugiej stronie konstrukcji nie była większa niż 50 cm.

Drugim bardzo ważnym czynnikiem jest właściwe zabezpieczenie połączeń elementów prefabrykowanych przed działaniem wody i przenikaniem gruntu do wnętrza konstrukcji.

W tym celu wszystkie szczeliny pomiędzy elementami są projektowane tak, aby zapewnić całkowitą szczelność konstrukcji i jednocześnie małe przemieszczenia od różnicy osiadań.

Podłużna dylatacja pomiędzy elementami nóg ramy i elementem zamykającym jest uszczelniana sznurem typu „comriband”, otoczonym asfaltem. Układa się go w przegubach łuku (lub nóg ramy) jeszcze przed nałożeniem elementu górnego. W momencie zmontowania konstrukcji, pod wpływem ciężaru sznur ten jest miażdżony uszczelniając połączenie.

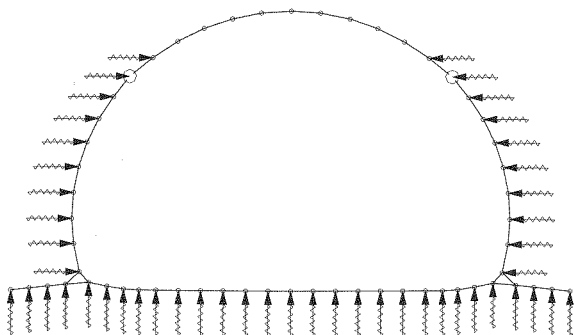
Dylatacje poprzeczne, jak również dodatkowo dylatacja podłużna, są zabezpieczane jedną lub dwiema warstwami specjalnej taśmy asfaltowej zbrojonej siatką poliestrową. Taśmy te przykleja się do konstrukcji na gorąco, po poprzednim przygotowaniu powierzchni konstrukcji przez malowanie emulsją asfaltową.

W celu dodatkowej ochrony połączeń i całej konstrukcji stosuje się geowłókniny. Chronią one taśmy przed kontaktem z ziarnami gruntu (co zwiększa trwałość), a w przypadku uszkodzenia taśm zabezpiecza przed przedostawaniem się ziaren do wnętrza konstrukcji.

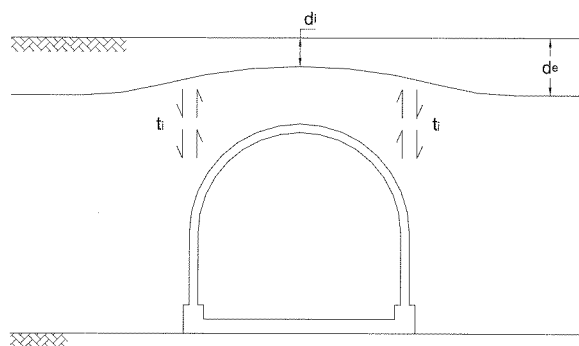
Metodologia obliczeń

Ze względu na znaczenie, jakie ma współpraca konstrukcji z otaczającym ją gruntem przy przenoszeniu obciążeń, bardzo ważne jest przyjęcie odpowiedniego modelu w analizie statycznej i wymiarowaniu. Uwzględniając dostępność programów obliczeniowych, można stwierdzić, że najodpowiedniejsze są skomplikowane modele, umożliwiające dyskretyzację w przestrzeni trójwymiarowej całego układu (konstrukcji i otaczającego ją gruntu) za pomocą objętościowych elementów skończonych. Porównywalne wyniki można także uzyskać przy znacznie prostszych modelach z elementów płaskich dwuwymiarowych o ograniczonej swobodzie odkształceń [5], umieszczonych w przestrzeni dwuwymiarowej. Ze względu na pracochłonność, obydwa wymienione typy modeli stosuje się obecnie głównie do analiz poznawczo-badawczych. W projektowaniu konstrukcji najczęściej wykorzystuje się dwuwymiarowe, uproszczone modele numeryczne (rys. 12). Konstrukcja jest dyskretyzowana za pomocą jednowymiarowych elementów prętowych danej geometrii i o cechach materiałowych, a grunt warstw fundamentowej i otaczającej – za pomocą podpór sprężystych określonej podatności. Warstwy nad sklepieniem konstrukcji modeluje się w postaci obciążenia zastępczego.

Przy wyznaczaniu obciążenia zastępczego od warstwy gruntu spoczywającego nad konstrukcją jest niezbędne uwzględnienie tzw. efektu *Marstona*, objawiającego się tym, że nacisk gruntu na strop konstrukcji jest większy niż ciężar gruntu na nim spoczywającego. Przyczyn tego efektu należy szukać w różnicy osiadań bloków gruntu nad stropem i w bezpośrednim sąsiedztwie z konstrukcją (rys. 13). Konstrukcja żelbetowa charakteryzuje się większą sztywnością niż grunt, a co się z tym wiąże, odkształca się mniej pod identycznym obciążeniem. Niemniej ze względu na brak swobody odkształceń,



Rys. 12. Model obliczeniowy konstrukcji typu Matiere w fazie eksploatacji



Rys. 13. Efekt Marstona

spowodowany tarciem pomiędzy cząsteczkami gruntu, zewnętrzne bloki gruntu niejako zapierają się na gruncie znajdującym się bezpośrednio nad stropem konstrukcji, powodując jego dociążenie. Więcej informacji na temat wyżej omawianego zjawiska, jak i sposobu modelowania tego rodzaju konstrukcji można znaleźć na przykład w [3, 5].

Wnioski

Prefabrykowane elementy żelbetowe do budowy małych mostów, przepustów czy tuneli pod nasypami są konkurencyjne w stosunku do tradycyjnych rozwiązań konstrukcyjnych monolitycznych z betonu zbrojonego i sprężonego, stosowanych dotychczas, jak i do stalowych konstrukcji gruntowo-powłokowych. Stosunkowo małe koszty produkcji elementów oraz prostota i duża szybkość montażu spowodowały, że stały się one popularne w Portugalii i innych krajach Europy, Ameryki czy Azji. Dotychczasowe doświadczenia ze stosowania tych konstrukcji są pozytywne. Można się spodziewać, że konstrukcje będą stosowane w obiektach określonej klasy. Jedyłą niewiadomą jest obecnie trwałość omawianych konstrukcji, choć biorąc pod uwagę stan pierwszych tego rodzaju budowli (mających już prawie 25 lat) oraz obserwowaną dużą trwałość obiektów z betonów wyższych klas, można się spodziewać, że nie będzie ona narażać na większych problemów.

W Polsce dotychczas były stosowane konstrukcje podobne do opisanych wyżej konstrukcji typu Box-culvert [7]. Wydaje się jednak, że po odpowiednim dostosowaniu do naszych warunków klimatycznych inne przedstawione rozwiązania mogą być również z powodzeniem wykorzystywane w budowie konstrukcji mostowych małych rozpiętości.

Podziękowania

Autorzy podziękują firmom Maprel i Civibril za udostępnienie danych i współpracę przy opracowaniu tego artykułu.

PIŚMIENICTWO

- [1] Cruz P. J. S.: Pré-fabricação de pontes: um meio de controlar custos, prazos e qualidade. Jornadas de Estradas e Pontes dos Países de Língua Portuguesa, Lisboa, 13 a 16 Novembro, Vol. II.
- [2] EC2-1-CEN European Prestandard prEN 1992-1-1. „Eurocode 2 – Design of concrete structures. Part 1: General rules and rules for buildings”, 1991.
- [3] Ferraz M., Lello J. C.: Passagens enterradas em betão armado pré-fabricado tipo PREFAC. Primeiro Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão, Porto 29-30 Junho 2000.
- [4] Machelski Cz., Antoniszyn G.: Siły wewnętrzne w mostowych budowlach gruntowo-powłokowych. „Drogi i Mosty”, nr 2/2003.
- [5] Sang P. S., Lopes P., Cardoso A., Figueiras J.: A problemática do cálculo de estruturas enterradas pré-fabricadas o caso particular dos BOX-CULVERT'S. Primeiro Congresso Nacional da Indústria de Pré-Fabricação em Betão, Porto 29-30 Junho 2000.
- [6] Wiśniewski D., Biliszczuk J., Cruz P.: Mosty z betonowych prefabrykatów sprężonych – praktyka portugalska. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 4/2004.
- [7] Kmita J., Rybak M.: Kierunki rozwoju prefabrykacji mostów w Polsce. „Inżynieria i Budownictwo”, nr 8-9/1975.