



SŁAWOMIR KARAS

Politechnika Lubelska
s.karas@pollub.pl



RAFAŁ MIŚKIEWICZ

Budimex
rafal.miskiewicz@budimex.com.pl

Most w 3 miesiące i inne obiekty na budowanej drodze ekspresowej S19

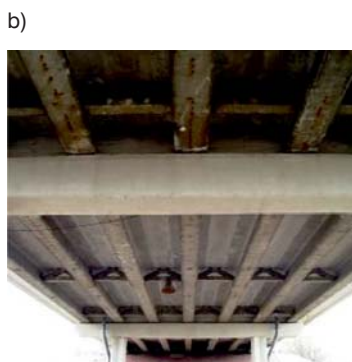
Tytuł artykułu ma odniesienie do programu badawczo-rozwojowego prowadzonego przez Instytut Badawczy Dróg i Mostów w Warszawie w latach 2007–2009 o tytule *Mosty w 3 miesiące* (M3M) [12]. Celem programu było opracowanie i zebranie nowych technologii – takich, które pozwalają skrócić budowę mostu do jednego kwartału. Cel programu został osiągnięty, jednakże jego wdrożenie nie nastąpiło. Szczególnie interesujące były koncepcje związane z prefabrykacją przyczółków i filarów mostowych oraz rozwiązania szczegółowe, pozwalające zredukować pracochłonność i czasochłonność wykonania elementów wyposażenia.

Trzeba też wyraźnie zaznaczyć, że prefabrykacja nie była celem programu a tylko jednym z jego oczywistych elementów. Termin „3 miesiące” nie był celem w sensie literalnym, a tylko sygnałem do poszukiwań szybkich w realizacji technologii. W programie zrealizowano zadanie budowy kładki dla pieszych w warszawskim Piasecznie na fundamentach gabionowych i o pomoście z żywic polimerowych, które zajęło mniej niż 3 miesiące. Program zakładał poszukiwanie rezerw czasowych w sposobie projektowania i przygotowywania inwestycji. To był optymistyczny element założonego programu. Złożoność procesu inwestycyjnego, jego wielokryterialność powoduje zawsze poszukiwanie optymalnej ścieżki, która jest rezultatem wielu bieżących stanów trudnych do ujednoczenia. Elementy takiego postępowania wystąpiły podczas budowy drugiego zrealizowanego w programie obiektu inżynierskiego, tj. tunelu pod torami E65 w rejonie stacji Warszawa-Praga.

Przy okazji, trzeba też się odnieść do stosowanych w Polsce systemów prefabrykowanych. Trzy z różnych stosowanych wariantów, patrz np. [2], zdominowały przestrzeń mostową w latach 70. do 90. Były to systemy skrótowo nazywane od prefabrykowanych dźwigarów, odpowiednio: Gromnik, Płońsk i WBS (fot. 1).

Żelbetowe belki Gromnik, o przekroju zbliżonym do prostokąta, o różnej wysokości od 38 do 56 cm, szerokości 48 cm, miały długości o różnicy modułowej 3 m od 6 m do 15 m. Belki układano równolegle na styk. Spodem nie były związane, natomiast górną, przez wykształtowane zamki, były połączone płytą żelbetową o różnej grubości, często nazywaną *nadbetonem*. Z założenia mosty z belek Gromnik miały przenosić ruch samochodowy o maksymalnym ciężarze pojazdu 300 kN. Wadą tych mostów było słabe połączenie poprzeczne między belkami, w rezultacie mówiło się o klawiszowaniu belek, co w sensie technicznym oznaczało kształtowanie się przegubów w miejscach łączenia belek z płytą.

Belki typu Płońsk, a dokładniej cały typowy system mostów prefabrykowanych ze swobodnie podpartych belek Płońsk wykorzystywał powszechnie belkę teową sprężoną przez przyczepność lin sprężających do betonu – strunobeton. System i belka ulegały licznym modyfikacjom dotyczącym geometrii przekroju poprzecznego belki i sposobów sprężania. Teowe belki były łączone w zamku żelbetowym na styku podłużnych krawędzi. Na powstałym pomoście układano płytę żelbetową o różnej grubości wynoszącej nawet 20 cm. Maksymalna wysokość belki wynosiła 120 cm. W praktyce najczęściej wykorzystywano belki niższe, o wysokości 85 cm. Długości belek, również w systemie modułowym 3 m, wynosiły od 15 m do 21 m, projektowo nawet 24 m. W tym systemie stosowano trójkątne prefabrykowane poprzecznice żelbetowe opierane na ukosach półek dolnych i łączone przez spawanie do specjalnie zamontowanych marek stalowych. Wierzchołek



Fot. 1. Belki prefabrykowane systemu: a) Gromnik - Dąbrowica, rzeka Łazęga, ukos prawy 45°, b) Płońsk - Puławy, uciążlony wiadukt nad koleją, c) WBS - Chełm – remont wiaduktu nad koleją

trójkąta wprowadzono w zamek łączący belki. W zależności od wytrzymałościowych charakterystyk belek, mosty z belkami Płońsk mogły być obciążane samochodami o ciężarze 500 kN, przy czym sytuacją typową były ciężary maksymalne pojazdów od 300 kN do 400 kN.

Sprężona belka typu WBS ma kształt teowy. Ustawiane równolegle belki były łączone z wylewaną na mokro płytą żelbetową kształtowaną z odsadzkami przy półkach górnych. W projekcie systemu belek WBS założono, że belki mogą osiągać wysokość 195 cm, jednakże najczęściej stosowano wysokość 120 cm. Wysokość belki była związana z rozpiętością przęsła, która w tym przypadku była zmienna modułowo w przedziale od 15 m do 36 m. Jako sprężenie stosowano strunobeton lub kable sprężające przez docisk do powierzchni czołowych. Belki WBS miały najwyższe parametry wytrzymałościowe i mosty w tym systemie mogły przenosić obciążenia od samochodów o ciężarze 500 kN.

Lata 70-90 to okres, gdy poziom wykonawstwa i stosowane na budowach materiały były niskiej jakości. Szczególnie dotkliwa była jakość stosowanych hydroizolacji. W rezultacie wszystkie mosty prefabrykowane były i są nadal narażone na korozję od przecieków umiejscowionych w zamkach połączeń oraz w miejscach urządzeń dylatacyjnych.

Mosty belkowe typu Gromnik są na ogół rozbierane i zastępowane nowymi konstrukcjami z tej przyczyny, że brak jest łatwego sposobu ich wzmocnienia do przenoszenia większych obciążeń. W belkach Gromnik nie stosowano odwrotnej strzałki ugięcia, co skutkuje widoczną niewielką krzywizną i obniża wrażenie estetyczne. Jednakże można uznać, że mosty Gromnik spełniły swą rolę. Były tanie, proste, w konsekwencji łatwe w budowie i trwałe.

Dźwigary typu Płońsk i WBS można uznać za znaczne osiągnięcie techniczne. Były wykonywane w wytwórniach, w których stosowano odpowiedni reżim technologiczny i w rezultacie, w znakomitej większości, dalej służą jako wysokiej jakości belki mostowe. Tu należy dodać, że w Lublinie podczas remontów mostu (ul. Krochmalna) i wiaduktu (al. Smorawińskiego) ustroje nośne z belek Płońsk zostały zdemontowane na czas remontu podpór a następnie ponownie ustawione na podporach, dodatkowo uciążłone, przez co poza odnowieniem podpór uzyskano zwiększenie nośności obiektów. Belki WBS, paradoksalnie przez brak półek płytowych w strefie górnej i w rezultacie konieczności wykonania płyty monolitycznej są konstrukcjami trwalszymi. W sensie statycznym są to belki zespolone typu beton sprężony i nadbeton. W obu przypadkach omawianych belek występuje korozja odciętych kilkucentymetrowych odcinków lin sprężających tworzących lokalne zakotwienie. W wielu miejscach na skutek za małej otuliny strzemion (1 cm) występuje ich korozja.

Reasumując, te typowe rozwiązania pozwoliły na szybką budowę mostów. Ich estetyka jest dyskusyjna, słyszy się czasem zdanie, że są to rozwiązania wstydlive. W tamtych latach w całej Europie budowano dużo podobnych mostów.

Obecnie w dziedzinie prefabrykowanych mostów drogowych dominują dwie udane technologie. Są to belki typu Kujan, które w efekcie końcowym prowadzą do mostu płytowego. Należy dodać, że pierwowzór belki Kujan można odnaleźć w tzw. odwróconej belce typu T, opracowanej w 1957 r. Drugą jest belka typu T, kolokwialnie nazywana belką typu *Pater*. Projekt belki typu T zawiera bardzo korzystne rozwiązanie przez

zastosowanie masywnych poprzecznic końcowych i tym samym eliminuje istotny niedostatek belek Płońsk i WBS.

Osobną sprawą jest prefabrykacja, obejmująca na równi mosty kolejowe i drogowe, wynikająca z technologii mostu zespolonego typu stal-beton. Jednakże ten zakres nie jest przedmiotem artykułu i jedynie zamieszcza się adres do artykułu [7].

W latach 70. i 80. stopień umaszynowania na budowie mostów był niski, dlatego czas budowy był długi, często przedłużany. Swego rodzaju przyspieszenia występowały przed świętami państwowymi np. na 1 maja, 22 lipca itp. W tej sytuacji zalety prefabrykacji były niwelowane przez niską sprawność organizacyjną i techniczną budowy.

Węzeł drogowy w Płouszowicach

Droga wojewódzka nr 830 klasy G (DW 830) biegnie przez miejscowości Lublin – Natęczów – Wąwolnica – Bochońca (koło Kazimierza Dolnego nad Wisłą). W miejscowości Kolonia Płouszowice krzyżuje się z obecnie budowaną drogą S 19 (zachodnia obwodnica Lublina), rys. 1. W tym miejscu, zgodnie z projektem, DW 830 biegnie po wiadukcie będącym centralnym elementem dwupoziomowego węzła drogowego. Wymieniony wiadukt jest przedmiotem artykułu.

Drogi ekspresowe S 17 i S 19 są inwestycjami, które częściowo, chociaż czytelnie, redukują wycofanie Lubelszczyzny w stosunku do tzw. Polski A. Dość powiedzieć, że do czasu ich budowy na Lubelszczyźnie prace drogowe można było utożsamiać z dwoma odcinkami dróg szybkich na krótkich odcinkach Lublin-Piaski oraz Lublin-Niemce, zbudowanych w okresie boomer gierkowskiego. Dominowały działania utrzymaniowe połączone z niewielkimi korektami zwiększającymi stan bezpieczeństwa i komfort. Do nich można zaliczyć budowy obwodnic miejscowości Kock, Międzyrzec, Piaski [8], Lubartów, Krasnystaw, Kraśnik [4], Biała Podlaska, niedokończona północna obwodnica Puław. W sensie płynności ruchu i jako skutek włączania obwodnic w systemy miejskie wyczerpały swe możliwości wybudowane w latach 80. obwodnice Chełma, Zamościa i Lublina. Nawet obecnie, pomimo remontów wielu dróg, podróżowanie nie ekspresowymi odcinkami dróg krajowych DK 12 i DK 17 przypomina koszmar ruchu miejskiego w Warszawie, w tym przypadku powodowany bardzo częstymi i długimi odcinkami terenów zabudowanych. Zatem paradoksalnie, krótkie odcinki ekspresowe S 17 i S 19 tylko podkreślają stan zacofania transportowego. Kolejnym paradoksem jest praktycznie brak dojazdów do dwóch nowych i o najwyższym standardzie transportowym mostów przez Wisłę w Puławach i Kamieniu, przy czym jest tu mowa o odpowiednich do tych mostów drogach autostradowych lub ekspresowych, podczas gdy prowadzą do nich drogi o dużo niższych klasach. W tej sytuacji mosty nie są właściwie wykorzystywane. W opinii autorów, jest to skutek tradycyjnego myślenia o sieci dróg, sprowadzającego się do uwzględniania tylko historycznych i istniejących ciągów komunikacyjnych oraz silnego orientowania transportu na kierunek Warszawy.

O obiektach mostowych, w różnych aspektach, w tym środowiskowych, na S 17 pisał dr Maciej Kowal w artykułach [9-11]. Prace budowlane na drodze S 19 w sąsiedztwie Lublina trwają od ponad roku. Większość obiektów inżynierskich jest



Rys. 1. Wiadukt WD-2 w Płouszowicach, w ciągu DW 830 nad S 19. Zmodyfikowany obraz, na podstawie: <http://www.gddkia.gov.pl/pla8080s19-w-dabrowica-w-konopnica> [04.07.2016]

w końcowej fazie budowy. Wiadukt WD-2 oddano do ruchu w marcu 2016 r., jednakże w sensie technicznym wiadukt został wybudowany w 3 miesiące. Obiekt był jednym z 6 dużych węzłów/wiaduktów w ciągu lub nad S 19, przy jednoczesnej realizacji podstawowego zadania, jakim jest budowa drogi, jej wyposażenia i sieci dróg dojazdowych/serwisowych. Zatem prace przy omawianym wiaduku nie były w specjalny sposób organizowane, a raczej wynikały z ogólnego, niejednokrotnie zmienianego harmonogramu robót odpowiednio do zmiennej sytuacji, często wynikającej z opóźnień podwykonawców.

Parametry techniczne wiaduku WD-2

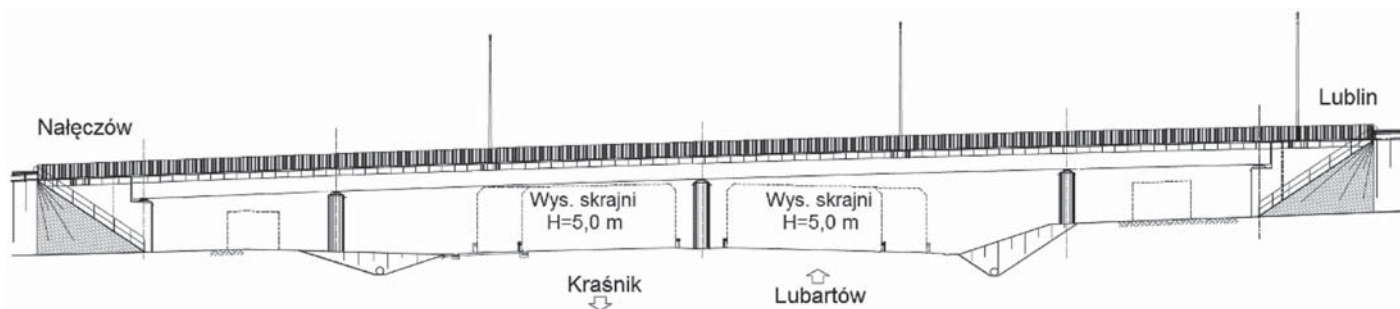
Wiadukt jest obiektem monolitycznym czteroprzęstowym, belkowym o schemacie ciągłym, sprężonym kablami ciągłymi tradycyjnie umiejscowionymi w betonie belek. Łączna długość obiektu mierzona po prostoliniowej osi wynosi 88,8 m, przy czym rozpiętości przęseł są odpowiednio $15,0 \times 28,5 \times 28,5 \times 15,0$ m, a to oznacza, że proporcja długości przęsła skrajnego do przyskrajnego wynosi $15,0/28,5 \approx 0,5$, rys. 2. Obiekt na całej swej długości jest w spadku podłużnym

w kierunku Nałęczowa o wartości pochylenia równej w przybliżeniu 3%, wynikającego z zastosowanego łuku pionowego o promieniu 5000 m.

W osi podłużnej wiaduku na podporach są łożyska przegubowe z blokadą ruchu w kierunku poprzecznym do osi podłużnej mostu, dodatkowo nad jednym z filarów środkowych jest łożysko nieprzesuwne. W osi poprzecznej mostu, poza łożyskiem nieprzesuwnym, pozostałe 3 łożyska nie mają przesuwu wzdłuż mostu. Reszta łożysk wiaduku ma swobodę przesuwu w płaszczyźnie poziomej. Jest to zatem klasyczne łożyskowanie ze stałą podporą w środku. Wysokość skrajni pod wiaduktem ma wartość 5,0 m. Pod przęsłami skrajnymi przewidziano pasy techniczne ruchu. Jezdnie drogi ekspresowej o trzech pasach ruchu każda mają łączną szerokość $0,5 + 3 \times 3,5 + 0,5 = 11,5$ m.

Szerokość wiaduku wynosi 22,58 m, bez uwzględniania konsoli latarnianych. Elementy nośne to 4 belki sprężone w rozstawie co 6,0 m, o wysokości 1,6 m i średniej szerokości 1,2 m.

Nad filarami zaprojektowano poprzecznicę monolitycznie połączone z dźwigarami o wymiarach: $h = 1,4$ m, szerokość 1,0 m. Nad przyczółkami poprzecznicę mają przekrój kwadratu o boku 1,4 m.



Rys. 2. Widok z boku wiaduku WD-2

Płyta pomostu między belkami ma grubość zmienną od 25 cm w przęśle do 35 cm przy belce.

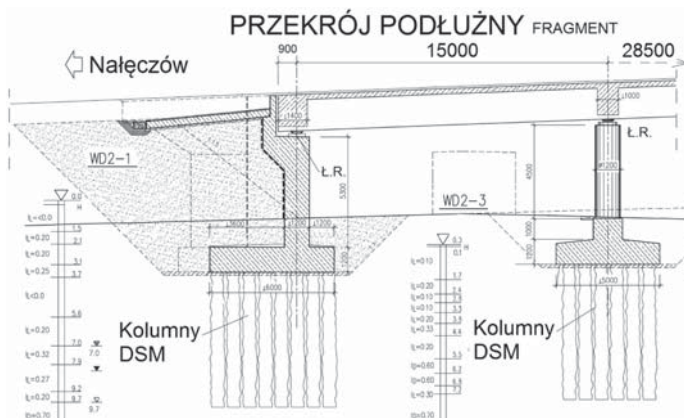
Założona w projekcie klasa wytrzymałości betonu ustroju nośnego wynosi C40/50.

Na pomoście są dwa pasy ruchu o szerokościach $0,5 + 4,0 + 0,5 = 5,0$ m, przy czym występuje wyspa dzieląca o zmiennej szerokości, ciąg pieszo-rowerowy oraz chodnik techniczny.

Zatem, przy innej organizacji ruchu, potencjalnie istnieje możliwość wprowadzenia pięciu pasów ruchu. To jest istotny szczegół w kontekście potencjalnego dostosowywania wiaduktu do przyszłych, innych niż obecnie, potrzeb ruchu i tym samym poprawia użyteczność obiektu. Należy nadmienić, że omawiany wiadukt jest usytuowany w odległości około 3 km od granic miasta Lublina i niebawem stanie się pewnie ulicą miejską. Niestety dojazd do wiaduktu od strony Lublina nie ma cech łatwej adaptowalności.

Obiekt zaprojektowano na klasę obciążeń A wg [14], tj. dopuszczającą ruch pojazdów o maksymalnym ciężarze do 500 kN. Obiekt spełnia kryterium klasy MLC-150 [16] w przypadkach pojazdów kołowych i gąsienicowych.

Tak jak i kilka innych, na S 19 wiadukt posadowiono bezpośrednio na lessie wzmocnionym kolumnami DMS (*Deep Soil Mixing*), bez warstwy transmisyjnej, rys. 3.



Rys. 3. Posadowienie bezpośrednie wiaduktu na gruncie lessowym wzmocnionym kolumnami DMS

Kolumny cemento-gruntowe umożliwiają znaczne zagłębienie fundamentu, co zgodnie z relacjami wytrzymałości-

wymi podanymi np. w [15] prowadzi do posadowienia na poziomie gruntu rodzimego o większej wytrzymałości. Jest to ważne, gdy dąży się do ograniczenia osiadań w stanie użytkowalności, szczególnie w przypadku mostów sprężonych.

Ławy fundamentowe mają wymiary: szerokość 5,0/6,0 m, wysokość 1,0 do 1,2 m i długość 23,6 m z cokołem na wysokość 1,0 m. Podpory pośrednie tworzą po 4 słupy utwierdzone w fundamencie i swobodne na górnych końcach. Średnica słupa wynosi 1,2 m. Klasa wytrzymałości betonu w filarach to C35/45, podczas gdy w przyczółkach i fundamentach C30/37.

Wykonywana kilka lat temu północna część obwodnicy Lublina, droga ekspresowa S 17, obfitowała w różnorodność form posadowienia obiektów mostowych. Występowało posadowienie bezpośrednie, na palach wbijanych, na palach wierconych i na kolumnach cementowych. Projektanci ze Śląska nie byli obeznani z lessiem. W jednym z przypadków uznano less, jako grunt nienośny i przewiercano go palami o długości 16 m, podczas gdy w podobnych warunkach gruntowych, w odległości 700 m, stosowano pale wbijane o długości 9 m. Trudności z posadowieniem obiektów liniowych na S 17 skutkowały koniecznością przeprowadzania dodatkowych prac eksperymentalnych.

W przypadku wiaduktu WD-2, pomierzone osiadania podczas próbnego obciążenia były małe i nie przekraczały 0,1 mm, przy trwałej wartości 0,05 mm, co jest mniej niż dopuszczalna wartość graniczna równa 5 mm.

Budowa wiaduktu w 3 miesiące

Inwestycja drogowa jest złożona i długotrwała, poprzedzają ją uzgodnienia środowiskowe, m.in. dendrologiczne, archeologiczne i wywłaszczeniowe. Wymienione działania trwały w czasie kończenia projektu technicznego. Zgodnie z *Prawem Budowlanym* można przyjąć, że jej początek to przekazanie wykonawcy terenu pod budowę. Jednak w tym przypadku przyjęto moment rozpoczęcia budowy fundamentów.

02.05 - 24.05.2015 r. Fundamentowanie

Prace fundamentowe postępowały sekwencyjnie i maksymalnie o 2 dni poprzedzały wykonanie warstwy wyrównawczej, montaż zbrojenia i betonowanie ław filarów i przyczółków, fot. 2.



Fot. 2. Prace fundamentowe: a) układ kolumn pod przyczółkiem, b) prace zbrojarskie, c) betonowanie w nocy

Wspomniana powyżej sekwencyjność prac sprawiała, że niektóre etapy przebiegały częściowo równolegle z zakładką czasową na około 1 tydzień.

24.05 - 10.7.2015 r. Deskowanie ustroju nośnego i prace zbrojarskie

Kolejnym etapem była budowa ścian przyczółków i budowa filarów. Stosowanie prefabrykowanych form deskowania wymagało od jednego do dwóch dni do wlewu mieszanki betonowej, po czym następowało rozformowywanie i przeniesienie deskowań w kolejne miejsce, fot. 3.

Dopiero w tym czasie na budowie pojawiły się ekipy, które wykonywały przełożenie mediów różnego rodzaju. Zakończenie ich prac otwierało możliwość rozpoczęcia prac drogowych, czyli budowy nasypu, wysokości maksymalnie do 6 m, dojazdowego do wiaduktu od strony Nałęczowa, fot.4. Wysokie nasypy oraz przepływający w tym miejscu niewielki potok rzeki Łazęgi wymuszały budowę rezerwuaru zbiorczego i kilku niewielkich przepustów z falistych rur plastikowych i jednego z blachy stalowej, co utworzyło relatywnie złożony stan sieci wodnej.

Na fot. 4b widoczne jest układanie warstwy stabilizującej nasyp drogowy za pomocą wapna; alternatywnie stosowano w innych przypadkach warstwy cementu. W dniu wykonywania zdjęcia pogoda była deszczowa, co istotnie redukowało pylenie sproszkowanego wapna. Pamiętając o negatywnym oddziaływaniu każdej budowy liniowej na środowisko (ludzi,

zwierzęta i florę) i o konieczności ograniczania szkodliwych emisji, nasuwa się konkluzja, że do tej pory nie powstała technologia stabilizowania nasypów wapnem/cementem, która by spełniała dostatecznie kryteria środowiskowe. Być może jest to zbyt błahе zagadnienie dla jednostek badawczych i naukowych, przede wszystkim tych zajmujących się ochroną środowiska. Podobne zagadnienie to zwykłe prace budowlane i transportowe na gruntach lessowych, które prowadzą do wysokiego zapylenia dużych obszarów, o zasięgu do 1 km w porach suchych, a w porach deszczowych do wszechobecnego błota. W praktyce budowy wiaduktu WD-2 stosowano w sposób ciągły polewanie jezdni dróg objazdowych wodą przy słonecznej pogodzie a w czasie opadów zgarniano błoto. Pomimo znacznych kosztów wymienionych prac utrzymaniowych stan nawierzchni był dla kierowców trudny, fot. 5.

Stosowane sposoby utrzymania jezdni drogi objazdowej skutkowały brakiem kolizji i stłuczek. Kilukrotnie zdarzyły się wypadnięcia pojazdów z jezdni, spowodowane poślizgami samochodów osobowych nocą w okresie zimowym.

Na budowie wiaduktu realizowano kolejny etap deskowania ciągłego podparcia ustroju nośnego, fot. 6. Podparcie ciągłe było najłatwiejszym rozwiązaniem w sytuacji, gdy obie jezdnie drogi ekspresowej były dopiero w fazie kształtowania. Deskowanie było połączone z układaniem zbrojenia zwykłego i montażem osłon kabli sprężających.

Łącznie prace deskowaniowe i zbrojarskie zajęły czas w wymiarze ponad czterech tygodni.



Fot. 3. Prace deskowaniowe: a) na przyczółku, b) przy filarach, c) rozdeskowywanie



Fot. 4. Roboty towarzyszące: a) przełożenie przewodów prowadzących media, b) budowa nasypu dojazdowego, c) przepust, element odwodnienia przy wiadukcie



Fot. 5. Utrzymanie drogi objazdowej: a) zapylenie powietrza w dni pogodne, b) błoto lessowe w dni deszczowe, c) pionowe oznakowanie jezdni nocą



Fot. 6. Deskowanie ustroju nośnego: a) i b) podparcie ciągłe deskowań ustroju nośnego i postęp robót, c) zbrojenie stref zakotwień kabli sprężających

23.07.2015 r. Betonowanie ustroju nośnego

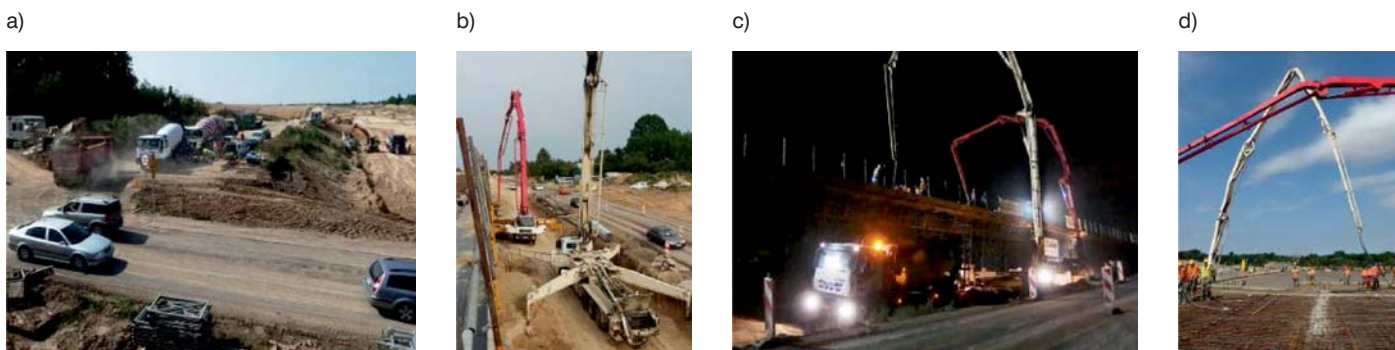
Po zakończeniu i odbiorze odpowiednio deskowań i zbrojenia ustalono termin betonowania na 23 lipca 2015 r., przy czym prace betoniarskie rozpoczęto od godziny 18.00. Kluczowe znaczenie miała jakość mieszanki betonowej. Każdy z betonowozów dowożących mieszankę betonową był standardowo kontrolowany dwoma testami: na konsystencję metodą stożka Abramsa oraz stopnia napowietrzenia mieszanki betonowej, fot. 7a. Pobierano także mieszankę betonową do próbek w celu wyznaczenia klasy wytrzymałości betonu po 28 dniach wiązania i twardnienia.

Betonowanie trwało pełną dobę. Wobec tak długiego

czasu trwania betonowania, spełnienie warunków BHP ma zawsze kluczowe znaczenie. Zadbano również o konieczne przerwy w pracy i posiłki. Betonowanie przebiegło sprawnie, mimo że betoniarnia była usytuowana na obrzeżach Lublina, dokładnie po przeciwnej stronie miasta.

Pielęgnacja świeżego betonu była łatwa, dzięki zastosowaniu warstw geowłókniny ułożonej na będącej w spadku podłużnym całej górnej powierzchni ustroju nośnego. Geowłóknina służyła do transmisji grawitacyjnej wody pielęgnującej i jednocześnie osłaniała beton od silnego nasłonecznienia. Po związaniu betonu geowłókniną zdjęto, fot. 8a.

Badania klasy wytrzymałości betonu na próbkach znormalizowanych wykazały jego zakładaną w projekcie wytrzymałość.



Fot. 7. Betonowanie ustroju nośnego: a) badanie dowiezionej mieszanki betonowej, b) stanowisko pomp, c) betonowanie nocą, d) końcowa faza betonowania



Fot. 8. Fazy budowy ustroju nośnego: a) geowłókninę stosowano jako warstwę pielęgnacyjną, b) wypuszczone końcówki splotów sprężających, c) bloki kotwiące przygotowane do zabetonowania w ścianie zapleczej

04.08.2015 r. Sprężanie konstrukcji

Do sprężenia pojedynczej belki zastosowano 4 kable sprężające z $19\varnothing 6''$. Nominalna średnica liny wynosi $D = 15,7 \text{ mm}$, o polu stali sprężającej 150 mm^2 . Wytrzymałość charakterystyczną stali sprężającej na zerwanie przyjęto w projekcie równą $f_{pk} = 1860 \text{ N/mm}^2$, co definiuje nośność liny równą $F_{pk} = 5301 \text{ kN}$. Założono wykorzystanie nośności na poziomie 72%, co prowadzi do maksymalnej wartości siły naciągu równej $F_d = 3817 \text{ kN}$. Podczas sprężania odczytano siłę w każdym ze splotów, jako równą $F_o = 3822 \text{ kN}$. Po odbiorze sprężania odcięto końcówki kabli sprężających.

Zakończenie budowy wiaduktu

Łączny czas budowy samej konstrukcji wiaduktu trwał od 2 maja do 4 sierpnia 2015 r., to oznacza, że budowa trwała, wraz z dniami wolnymi, 95 dni, co w przybliżeniu odpowiada trzem miesiącom.

Przebieg budowy wiaduktu wynikał z przyjętego wcześniej harmonogramu, który nie zakładał bicia rekordów szybkości wznoszenia mostu. Odwrotnie, wiele prac, np. deskowanie i montaż zbrojenia ustroju nośnego przebiegało powoli, co wynikało z wielości zadań na tak rozległym placu budowy i różnych priorytetach na różnych obiektach.

Dalsze prace budowlane, dojazdów do mostu i montażu wyposażenia obiektu przebiegały nieśpiesznie i wynikały z powstałych wcześniej opóźnień podwykonawców. Ostatecznie wiadukt, w sensie przejezdności na głównym kierunku DW 830, oddano do użytku w końcu marca 2016 r.

Inne obiekty mostowe na S 19

Poza wiaduktami i mostami nad niewielkimi ciekami w opisanej tradycyjnej technologii znajdujemy na trasie S 19 kilka innych interesujących obiektów. Wśród nich jest przejście górne dla zwierząt za miejscowością Konopnica oznaczone numerem PZ-8. Wiadukt ten jest również zbudowany w technologii tradycyjnej, przy czym w tym przypadku konieczne było stosowanie zmian w organizacji ruchu, tak by kolejne przęsła można było budować nad wyłączoną z ruchu przestrzenią, fot. 9.

W tym przypadku wystąpiło niekorzystne sprzężenie zwrotne. Żeby racjonalnie poprowadzić trasę obwodnicy należało wyciąć znaczny obszar lasu z drzewostanem średnio 50-letnim, fot. 9a. Funkcjonowanie występującego w byłym lesie przejścia dla zwierząt obecnie będzie możliwe tylko po przejściu górnym, które zostanie wyposażone w typową nawierzchnię z nasadzonymi krzewami, nawierzchnią gruntową i karpinami [13].

Lekka konstrukcja wieloskrzynkowa jest dostosowaniem rozwiązania mostowego do potrzeb środowiskowych. W przekonaniu autorów nie jest to pomysł szczęśliwy. Myśląc w kategoriach utrzymaniowych należy się spodziewać, że po około 30 latach przejście będzie trzeba remontować z tych samych powodów, które występują w zwykłych mostach drogowych, a przede wszystkim z powodu braku szczelności. Jednak do budowy przejść górnych dla zwierząt lepsze i bardziej naturalne są tunele z blach falistych lub betonu. Są także tańsze, a ich naprawy mogą być z łatwością prowadzone od spodu konstrukcji. Taka tendencja dominuje w świecie od początku budowy górnych przejść dla zwierząt, odwrotnie niż



Fot. 9. Górne przejście dla zwierząt: a) obszar objęty wycinką lasu, b) przekrój poprzeczny wiaduktu, c) widok z boku



Fot. 10. Przepust betonowy Techspan: a) stabilizacja i wzmocnienie gruntu w sąsiedztwie przejazdu, b) pośrednia faza budowy, c) stan końcowy

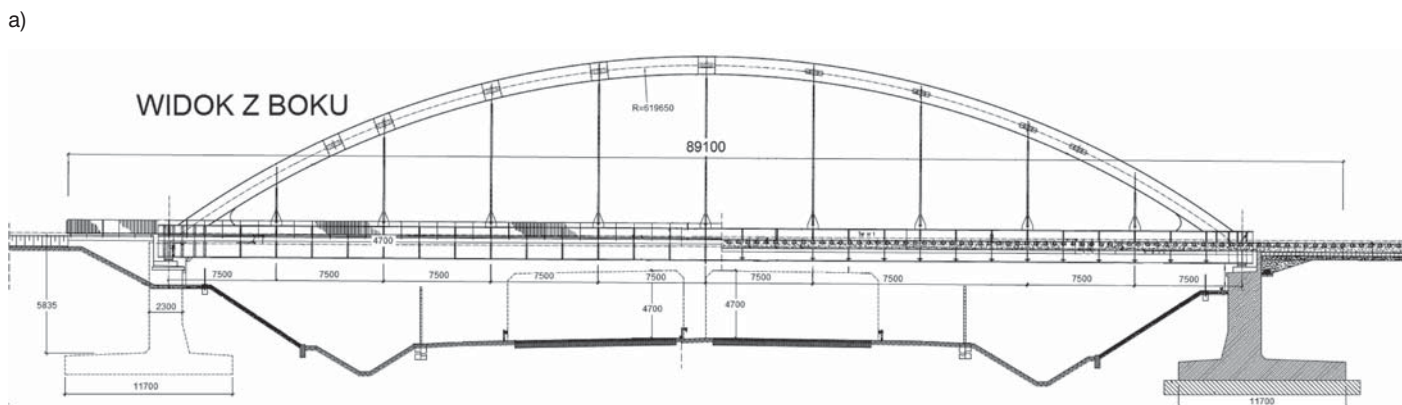
u nas. Natomiast bezsprzecznie pod względem estetycznym powstał ciekawy, mało wyniosły łuk spinający dwie krawędzie lasu w płaskim terenie, fot. 9c. Szkoda tylko, że jest to obraz przejściowy, bowiem już postępuje montaż ekranów akustycznych, które zmienią widok z interesującej linii łuku w przyciężkie wysokie pasmo.

Na rys. 1, zaraz na początku S 19 oznaczono, jako PG-1, prefabrykowany przejazd/przepust w nasypie drogi. Jego fazy powstawania pokazano na fot. 10.

Jest to interesująca konstrukcja o nazwie handlowej Techspan, będąca alternatywą do stalowych przepustów z blach fałdowanych typu SuperCor. Przypomnijmy, że znaczna podatność rur z blach falistych powoduje wytworzenie przesklepienia i tym samym włączenie otoczenia gruntowego do przenoszenia naprężeń normalnych i klasyfikuje te konstrukcje jako gruntowo-powłokowe, [1].

Tunel betonowy, w odróżnieniu od przepustów z blach jest mało podatny, a sztywność jego ścian pozwala na przenoszenie parcia gruntu i obciążeń użytkowych przez beton. Obecnie jest to jedna z pierwszych konstrukcji w tej technologii na Lubelszczyźnie.

Na fot. 10a uchwyciono wstępną fazę polegającą na wzmocnieniu skarpy naturalnego szerokiego wąwozu. Wąwozy w gruntach lessowych są często spotykaną formą morfologiczną. W obrębie wąwozów mogą występować procesy sufozyjne jako wariant utraty stabilności skarp [3]. Z tego powodu zachodziła konieczność stabilizacji skarp przez wykonanie pali betonowych. Fot. 10 b i c ukazują stadia budowy przepustu. W widoku z boku estetyka obiektu, jego portalu jest interesująca, pomimo iż jest to krótki tunel ze wszystkimi elementami lokalnej klaustrofobii.



Fot. 11. Wiadukt kolejowy WD-6: a) pierwotna koncepcja wiaduktu, b) naciąganie ramy żelbetowej dwunawowej, c) urządzenie naciągowe, d) próbne obciążenie (fot. inż. Radosław Wróbel)

WD-6 to wiadukt kolejowy nad S 19, fot. 11. Początkowo zaprojektowano wiadukt jednoprzęsłowy łukowy z jazdą górą z wieszakami w systemie Langerera, fot. 11a.

Stalowe mosty łukowe z wieszakami pionowymi są powszechnie stosowane w ciągu linii kolejowych. Jednakże, jak wykazały analizy porównawcze analogicznych obiektów usytuowanych na CMK [5], mosty łukowe mają prawie o połowę mniejszą sztywność dynamiczną w porównaniu z mostami kratowymi. Dodatkowo, tylko na zasadzie kompletności rozważań, przypomina się o dynamicznie bardzo wrażliwym obszarze tych mostów umiejscowionym w 1/4 rozpiętości przęsła. Reasumując, nie będzie nad S 19 interesującej konstrukcji łukowej, w zamian mamy dwunawową ramę żelbetową, która w porównaniu do mostu łukowego ma właściwie same zalety. Jest prosta i czytelna konstrukcyjnie, tania w budowie i będzie tania w utrzymaniu, a hałaśliwość monolitycznej i sztywnej konstrukcji żelbetowej jest znacząco niższa. Estetycznie istniejące rozwiązanie nie dorównuje łukowi o rozpiętości pokrywającej całą przestrzeń nad S 19, jednakże skromna i surowa estetyka pochylonych spodów przęseł ma w sobie, naszym zdaniem, znaczny i czytelny urok, fot. 11d.

Ramę wykonywano równolegle do nieprzerwanie funkcjonującej dwutorowej linii kolejowej Lublin-Warszawa w odległości ponad 50 m. Nasunięcie, a dokładniej naciągnięcie, ramy na jej właściwą pozycję końcową wykonano w niedzielę 19.06.2016 r., fot. 11b. Zanim doszło do przesunięcia gotowej ramy, z ruchu wyłączono północny tor. Tor południowy obudowano obustronnie grodzicami stalowymi, dodatkowo usztywnionymi wzajemnie między sobą. Rozebrano skarpe i podtorze toru północnego. W spodzie ściany z grodziec przepuszczono liny ze stali sprężającej w trzech miejscach odpowiadających podporom ramy. Z drugiej strony, od czynnego toru do już wykonanego fundamentu przyszłej ramy południowej, pełniącej przejściowo opór naciągu, zamontowano głowice i pompy nciągowe, fot. 11c. Ramę naciągano po teflonowych pasach ślizgowych z prędkością około 6 cm na minutę. Około godz. 12 zakończono całą operację. Spełniono ostre kryteria geodezyjne. Ustawiona konstrukcja w wybranych punktach miała rzędne z dokładnością do 5 mm w odniesieniu do założeń projektowych.

Na budowie licznie pojawili się dziennikarze z lokalnej stacji telewizyjnej, prasy i radia. Operacja techniczna na tak znaczną skalę nie zdarza się często. Był to już trzeci przypadek montażu przez przesunięcie, pierwszym było nasunięcie mostu drogowego przez rzekę Bystrycę w ciągu obwodnicy Kocka, następnie nasunięcie kolejowego jednotorowego przęsła Vierendeela przez Bystrycę w sąsiedztwie ulicy Turystycznej [6] i najbardziej spektakularne nasunięcie mostu przez Wisłę w Kamieniu. Ustawienie przęsła północnego ramy WD-6 było zaplanowane we wrześniu 2016 r.

W kilka dni po ustawianiu ramy przeprowadzono próbne obciążenie, które wykazało prawidłowość funkcjonowania konstrukcji, w ciągu kilku następnym dni odbudowano nawierzchnię kolejową i oddano ją do ruchu.

Podsumowanie

Program M3M był jedną z prób unowocześnienia budownictwa mostowego. Nie do końca spełnił zakładane przez pomysłodawców oczekiwania. Jednakże świadomość

sprawnego budowania obiektów mostowych jest niezbędna w różnych zakresach, gdyż to wpływa na konkurencyjność ofert wykonawczych i prawie natychmiast przekłada się na obniżanie kosztów.

Przedstawiony w artykule wiadukt, który zbudowano w ciągu trzech miesięcy, pokazuje, że nie zawsze tylko prefabrykacja prowadzi do skrócenia czasu budowy. Również technologie tradycyjne, jak w tym przypadku monolityczne, przy właściwej organizacji pracy i zatrudnianiu pracowników o wysokich kwalifikacjach mogą być szybkie. Skróceniowo przedstawiona budowa wykazała potrzebę prac nad technologiami przyjaznymi środowisku w zakresach trywialnych, czyli redukcji pylenia gruntu i materiałów wbudowywanych w nasypy, redukcji hałasu, emisji gazów szkodliwych do atmosfery. Są to zagadnienia na pozór niepoważne, ale fakt, że do tej pory występują świadczy o ich złożoności, która powinna być podjęta przez instytucje naukowe, dotyczyć działań wynalazczych i patentowych. Praktyka pokazuje, że wykonawca prac budowlanych na ogół nie jest w stanie sprostać ostrym kryteriom rozwiązań przyjaznych środowisku.

Innym, niemal powszechnym, niedociągnięciem jest projektowanie systemu plastikowych rur odwodnienia z ich umiejscowieniem po bokach konstrukcji, przez co stają się one dominantą w obserwowanym przez kierowcę obrazie. Siła dominanta nie wynika z jakichś nadzwyczajnych profili poprzecznych zastosowanych rur, czy ich kolorystyki, ale z ich osobliwego przebiegu i inności w porównaniu do eleganckich i regularnych podstawowych linii widoku z boku mostu/wiaduktu. Prawa hydrauliki skutkują przykrym obrazem kolanek wpustowych i znacznych spadków przewodów rurowych. Wrażenie popsucia regularnego obrazu mostu jest irytujące, przy czym te doznania zostały zweryfikowane statystyką oceny obrazów z rurami odwodnienia. Liczebność grupy studentów oceniających wynosiła 17 osób, wszystkie oceny wyrażały negatywne odczucia. Niestety, na tym etapie prac budowlanych nic się już nie da zrobić i wiadukty nad S 19 już pozostaną napiętnowane obniżoną estetyką. Szkoda, bo na umownej desce projektanta to tylko niewielkie przesunięcie linii.

Zachodnia obwodnica Lublina, będąca fragmentem drogi S 19, znacząco odciąży miasto do ciężkiego ruchu samochodowego. Ten niewielki odcinek zaplanowanej S 19, która na terenie Polski rozpoczyna się w Kuźnicy Białostockiej a kończy się w Barwinku, jest z dawna wyczekiwana inwestycją projektu *Via Carpatia*. Wybudowanie polskiego fragmentu drogi może, przynajmniej częściowo zniwelować różnicę cywilizacyjną znaną jako Polska B.

Bibliografia

- [1] Beben D., Experimental study on the dynamic impacts of service train loads on a corrugated steel plate culvert, *Journal of Bridge Engineering*, 2012, 10.1061/(ASCE)BE.1943-5592.0000395, 339-346
- [2] Biskup M., Gałat A., Skawiński M., Prefabrykowane belki mostowe z betonu sprężonego w Polsce – historia i stan obecny, *Przegląd Budowlany* 4/2013.
- [3] Borecka A., Kaczmarczyk R., Geologiczno-inżynierska ocena zagrożeń osuwiskowych w utworach lessowych południowo-wschodniej Polski, *Geologos* 11, 2007, http://www.geologos.com.pl/geologos11/Geologos_11_Borecka_Kaczmarczyk.pdf, [02.07.2016].
- [4] Karaś S., Miśkiewicz R., Ocena wytrzymałości betonu według normy PN-EN 13791, *Drogownictwo*, 2011, nr 2, s. 42-48.

- [5] Karaś S., Krasnowski A., Dostosowanie obiektów mostowych na CMK do dużych prędkości pociągów w świetle badań teoretycznych i doświadczalnych, *Drogi i Mosty/Roads and Bridges*, 2013, nr 4, vol. 12, s. 385-410.
- [6] Karaś S., Kossowski G., Nasunięcie przęśła Vierendeela w Lublinie, *Przegląd Komunikacyjny*, 2013, nr 4, s. 16-24.
- [7] Kołakowski T., Kosecki W., Lorenc W., Rabięga J., Seidl G., Prefabrykowane dźwigary zespolone stalowo-betonowe typu VFT-WIB do budowy przęśł mostów drogowych i kolejowych, *Inżynieria i Budownictwo*, R. 67, nr 7-8, 379-382, 2011.
- [8] Kowal M., Modernizacja drogi krajowej nr 17 na odcinku Piaski-Łopiennik, *Drogownictwo*, 2011, nr 9, s. 278-282.
- [9] Kowal M., Betonowe obiekty mostowe. Zadanie 1 na S 17, *Mosty*, 2013, nr 4, s. 22-26.
- [10] Kowal M., Droga ekspresowa S17 odcinek Kurów - Bogucin, *Drogownictwo*, 2013, nr 9, s. 282-286.
- [11] Kowal M., Obiekty mostowe na odcinku drogi ekspresowej S17 Kurów-Bogucin, *Drogownictwo*, 2014, nr 1, vol. 69, s. 26-30.
- [12] Rymśza J., Jezierski H., Szybkie mosty, <http://www.ibdim.edu.pl/index.php/pl/component/content/article/65-aktualnosci/508-szybkie-mosty>, [27.06.2016]
- [13] COST 341. 2003. Habitat Fragmentation due to Transportation Infrastructure. Wildlife and Traffic. A European Handbook for Identifying Conflicts and Designing Solutions, http://www.iene.info/wp-content/uploads/COST341_Handbook.pdf, [03.07. 2016].
- [14] PN-85/S-10030 Obiekty mostowe. Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone.
- [15] PN-81/B-03020 Grunty budowlane. Posadowienie bezpośrednie budowli. Obliczenia statyczne i projektowanie.
- [16] Zarządzenie Nr 38 Ministra Infrastruktury z dnia 26 października 2010 r. w sprawie wyznaczania wojskowej klasyfikacji obciążenia obiektów mostowych usytuowanych w ciągach dróg publicznych, *Dz. Urz. MI* z dnia 28 października 2010 r.

— NOWE KSIĄŻKI —

ANDRZEJ NIEMIERKO

Współczesne łożyska mostowe – teoria, projektowanie, badania

Wyd. IBDiM, Seria „S” *Studia i materiały, Zeszyt 77*, Warszawa 2016, str. 242

Jest to pierwsza pozycja w języku polskim tak szeroko traktująca o zagadnieniach współczesnych łożysk mostowych. Przedstawiono w niej materiały, których dawniej w mostownictwie nie

stosowano jak stal austenityczna, smar silikonowy, teflon (PTFE), materiały kompozytowe, kauczuki syntetyczne i naturalne oraz poliuretany. Monografia obejmuje też historię łożysk elastomerycznych, elastomerowo-ślizgowych, garnkowych oraz soczewkowych w Polsce i na świecie. W ich projektowaniu uwzględniono zasadę stanów granicznych. Przeprowadzono klasyfikację łożysk z uwagi na ich konstrukcję i funkcję. Uwzględniono nowe odmiany jak łożyska blokujące i prowadzące, które nie przenoszą sił pionowych a tylko poziome. Przedstawiono systemy łożyskowania przęśł mostowych, prostych, ukośnych i zakrzywionych w planie, podejmując dyskusję nad „klasyczną” i nową koncepcją łożyskowania.

Dużą część monografii zajmuje weryfikacja doświadczalna i kontrola łożysk. Przedstawiono więc cele takich badań, zasady kontroli, wymagania wykonawcze z tolerancjami i odchyłkami. Szczegółowo omówiono podstawy teoretyczne, konstrukcję i wymiarowanie, badania doświadczalne i kontrolę wykonania poszczególnych rodzajów łożysk. Podano podstawowe przyczyny uszkodzeń i awarii łożysk wraz z licznymi przykładami z praktyki autora. Na zakończenie omówiono stan normalizacji w dziedzinie łożysk w Polsce i na świecie, koncentrując uwagę na innowacyjnych postanowieniach nowej normy europejskiej EN 1337. Monografia jest wynikiem kilkudziesięcioletniej pracy badawczej i wdrożeniowej autora w Zakładzie Mostów Instytutu Badawczego Dróg i Mostów w Warszawie. Praca zawiera obszerny spis bibliograficzny obejmujący 135 pozycji oraz 19 pozycji normowych. Recenzentem monografii był prof. dr hab. inż. Wojciech Radomski.

Książkę rozprowadza Dział Wydawnictw IBDiM, ul. Instytutowa 1, 03-302 Warszawa, tel. (22) 811 39 99, e-mail: wydawnictwa@ibdim.edu.pl.

S studia
i materiały
zeszyt 77

 Instytut
Badawczy
Dróg
i Mostów

Andrzej Niemierko

WSPÓŁCZESNE ŁOŻYSKA MOSTOWE
TEORIA, PROJEKTOWANIE, BADANIA



Warszawa 2016