

## PROJEKTY I KONCEPCJE MOSTÓW NAD GŁÓWNYMI RZEKAMI W POLSCE ZREALIZOWANE PRZEZ BPK MOSTY S.C. WROCŁAW

Jerzy BROŚ, Sławomir BIEGAŃSKI, Grzegorz SIERKA, Paweł WOŹNY  
BPK Mosty s.c. Wrocław

Biuro Projektowo-Konsultingowe BPK Mosty s.c. Sławomir Biegański, Jerzy Broś istnieje w branży inżynierskiej od blisko 25 lat. W tym okresie wykonało szereg dokumentacji projektowych dla inwestorów z całego kraju oraz uczestniczyło aktywnie przy realizacji co najmniej kilkudziesięciu większych obiektów będących autorstwa biura. Współpraca z wieloma wykonawcami pozwoliła uwzględnić zdobyte doświadczenie w sporządzanych dokumentacjach projektowych. Spostrzeżenia, które można było zaobserwować na przestrzeni minionych lat, przedstawiono w referacie poświęconym wybranym projektom obiektów mostowych nad głównymi rzekami w Polsce.

W referacie opisano przyczyny modernizacji i rozwoju infrastruktury kolejowej w kraju. Podano cele, których osiągnięcie jest kluczowe z punktu widzenia transportu nie tylko krajowego, ale i zagranicznego.

Przedstawiono przykłady kilku konstrukcji mostowych, znajdujących się w różnej fazie zaawansowania prac. Dla każdej z opisanych konstrukcji podano ograniczenia, które projektant musiał uwzględnić przy opracowywaniu dokumentacji.

**Słowa kluczowe:** przebudowa, modernizacja, obiekt inżynierski, obiekt mostowy, infrastruktura kolejowa

### 1. WSTĘP

Ostatnie lata przyniosły szybko postępujący proces inwestycyjny, obejmujący modernizację infrastruktury kolejowej w Polsce. Dotychczasowy standard podróżowania koleją pozostawał daleko w tyle za standardami, którymi mogą się pochwalić inne europejskie sieci linii kolejowych. Członkostwo w Unii Europejskiej spowodowało, że Polska została zobligowana do spełnienia unijnych wymagań w zakresie jakości transportu. Uzyskanie dofinansowania ze środków unijnych pozwoliło na zaawansowanie procesów modernizacyjnych i rozwój infrastruktury kolejowej.

Rozpoczęta wielobranżowa modernizacja linii kolejowych ma na celu dostosowanie ich do ustalonych wymogów umów międzynarodowych AGC (Europejskie porozumienie dotyczące głównych międzynarodowych linii kolejowych)

i AGTC (Europejskie porozumienie dotyczące głównych międzynarodowych linii kolejowych transportu kombinowanego), zwiększenie niezawodności i przepustowości, podniesienie poziomu bezpieczeństwa ruchu kolejowego oraz zaoferowanie atrakcyjnej oferty przewozowej.

Wpływ na powyższe cele ma nie tylko jakość taboru kolejowego, ale również stan techniczny poszczególnych elementów infrastruktury kolejowej. W branży obiektów inżynierskich, na całokształt bezawaryjnego i bezpiecznego funkcjonowania linii kolejowej wpływ mają w zróżnicowanym stopniu małe obiekty (przepusty), średnie (mosty i wiadukty kolejowe, przejścia dla pieszych pod torami) oraz duże obiekty mostowe.

Modernizacja głównych szlaków komunikacyjnych w XXI wieku często stawia przed zespołem projektowym wymagania co do trwałości, funkcjonalności oraz rachunku ekonomicznego całego przedsięwzięcia. W ostatnich latach do powyższych kryteriów coraz częściej dodawany jest wymóg spełnienia określonych warunków estetycznych.

Ważnym aspektem projektowania każdego drogowego lub kolejowego szlaku komunikacyjnego jest stworzenie charakterystycznych punktów trasy, które pozwolą podróżnym zorientować się w bieżącej lokalizacji bez potrzeby spoglądania na mapę. Dlatego istotnym elementem każdego opracowania projektowego powinna być analiza poświęcona wielopłaszczyznowemu kształtowaniu przeprawy z uwzględnieniem jej specyfiki architektonicznej.

Dobór odpowiedniego typu konstrukcji determinuje jej trwałość, funkcjonalność, współgranie z otoczeniem oraz sprawia, że konstrukcja stanowić może punkt orientacyjny w terenie. Ostateczny wybór typu konstrukcji oraz materiału z którego będzie wykonana powinien być poprzedzony analizą technologicznych uwarunkowań realizacji oraz szacunkowym rachunkiem ekonomicznym. Już na etapie opracowywania dokumentacji projektowej, autor powinien mieć jasność co do typu konstrukcji, sposobu jej transportu, montażu i scalenia (wbudowania). Błędne założenia na tym etapie, mogą spowodować kilkukrotne zwiększenie kosztów inwestycji na etapie wykonawstwa.

W niniejszym referacie przedstawiono kilka projektów mostów kolejowych, zlokalizowanych nad głównymi rzekami w Polsce. Opisano stan istniejący, wymagania stawiane przez Inwestora oraz uzasadnienie dla przyjętych przez Projektanta rozwiązań konstrukcyjnych.

## 2. MOST NAD RZ. ODRA W WROCŁAWIU, W CIĄGU LINII KOLEJOWEJ E59 WROCŁAW – POZNAŃ

Inwestor: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Projekt: SYSTRA S.A. Oddział w Polsce / BPK Mosty s.c.

Realizacja: PUT Intercor Zawiercie

Pierwszym z prezentowanych obiektów jest most kolejowy Poznański zlokalizowany w ciągu linii kolejowej E59 Wrocław – Poznań, który przeprowadza tory linii kolejowej nad korytem rzeki Odry i jej terenem zalewowym we Wrocławiu. Most został odbudowany po zniszczeniach wojennych w latach 1947-1965. W każdym z dwóch torów znajdowały się niezależne konstrukcje.

Część nurtowa mostu w torze nr 1 była dwuprzęsłowa i składała się z dwóch kratownic z jazdą dołem, o konstrukcji spawano-nitowanej i układzie słupkowo-krzyżulcowym z parabolicznym pasem górnym. Przęsła pochodziły przypuszczalnie z roku 1961 i zastąpiły istniejącą wcześniej w ich miejscu ciągłą, dwuprzęsłową kratownicę, zniszczoną w czasie wojny. Przęsło nr 1 oparte było na przyczółku i filarze nurtowym. Jego rozpiętość teoretyczna wynosiła  $L_t=61,80\text{m}$ , wysokość osiowa dźwigara głównego  $12,00\text{m}$ , a rozstaw osiowy dźwigarów  $5,10\text{m}$ . Przęsło nr 2 oparte było na filarze nurtowym i filarze prawobrzeżnym. Rozpiętość teoretyczna tego przęsła wynosiła  $L_t=67,50\text{m}$ , a wysokość osiowa dźwigara głównego  $12,00\text{m}$ .

Część nurtowa mostu w torze nr 2 składała się z trzech przęseł kratowych, z których pierwsze było identyczne jak przęsło nr 1 w torze nr 1 i pochodziło prawdopodobnie z roku 1961. Przęsła nr 1 i 2 miały konstrukcję nitowanej kratownicy słupkowo-krzyżulcowej o prostych pasach. Ich rozpiętość teoretyczna wynosiła  $L_t=32,67\text{m}$ , wysokość osiowa dźwigarów głównych  $3,63\text{m}$  a rozstaw osiowy dźwigarów  $4,60\text{m}$ . Przęsło nr 2 oparte było na filarze nurtowym i filarze dodatkowym, przęsło nr 3 na filarze dodatkowym i filarze prawobrzeżnym.

Przęsła nad terenem zalewowym w torze nr 1 stanowiły pierwotnie stalowe, nitowane kratownice słupkowo-krzyżulcowe o prostych pasach i rozpiętościach teoretycznych  $L_t=32,67\text{m}$  i  $L_t=22,40\text{m}$ , wbudowanych na przemian. Podczas przebudowy w 1961r. zostały one zastąpione żelbetowymi, belkowymi przęsłami ciągłymi w układzie dwu- i trójprzęsłowym, zastępującymi odpowiednio kratownice o mniejszej i większej rozpiętości. Operacja ta wymagała wykonania szeregu dodatkowych podpór, które skonstruowano w postaci filarów wahaczowych, połączonych przegubami sprężystymi z dźwigarami głównymi i oczepami fundamentów palowych. Żelbetowe dźwigary główne o prostokątnym przekroju poprzecznym posiadały szerokość  $0,60\text{m}$  i wysokość zmieniającą się od  $1,53\text{m}$  do  $1,70\text{m}$ . Rozpiętości teoretyczne przęseł wynosiły odpowiednio  $L_t=2\times 11,30\text{m}$  dla układu dwuprzęsłowego i  $L_t=3\times 10,90\text{m}$  dla układu trójprzęsłowego. Układy dwu i trójprzęsłowe zgrupowane były w czterech powtarzających się pakietach o liczbie przęseł  $2+3+2$  w każdym z nich.

W torze nr 2 nad terenem zalewowym znajdowało się pierwotnie 28 ceglanych przęseł sklepionych, podzielonych filarami grupowymi na cztery grupy po 7 szt. Rozpiętości teoretyczne sklepień wynosiły  $L_i=10,30\text{m}$ . Podczas przebudowy około 1960 roku zostały one zastąpione żelbetowymi, belkowymi przęsłami o schemacie statycznym belki swobodnie podpartej. Zastosowano wówczas eksperymentalne rozwiązanie z „samonośnym” zbrojeniem, do którego mocowano szalunki (bez podparcia technologicznego). Jako podpory dla przęseł wykorzystano zmodyfikowane istniejące filary kamienno-ceglane i przyczółek. Rozpiętości teoretyczne przęseł wyniosły 10,64m.



Rys. 1. Most nad Odrą we Wrocławiu. Widok na przęsła nurtowe – tor nr 2 (przed przebudową)

W związku z modernizacją linii kolejowej E59 Wrocław – Poznań, opracowany został projekt przebudowy mostów Poznańskich. Przed nowo projektowaną konstrukcją zostały postawione następujące wymagania co do nośności:

- nośność wg PN-S-10030:1985 Obiekty mostowe. Obciążenia, klasa obciążenia  $k=+2$  (współczynnik  $\alpha_k=1.21$ ),
- obciążenie  $P=\alpha_k \cdot 250\text{kN}$  i  $p=\alpha_k \cdot 80\text{kN/m}$  – model obciążenia 71 (pociąg badawczy UIC 71),
- nośność uwzględnia dodatkowo obciążenie pionowe, wywołane ciężkim ruchem kolejowym SW/2 – model obciążenia zgodny z PN-EN 1991-2: 2007. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 2: Obciążenia ruchome mostów.



Rys. 2. Most nad Odrą we Wrocławiu. Widok konstrukcji nad terenem zalewowym – tor nr 2 (przed przebudową)

Rys historyczny, lokalizacja oraz ekspozycja istniejącej przeprawy, sprawiły, że Projektant przyjął, jako konstrukcję nośną części nurtowej, ustrój kratowy (kratownica typu V) o schemacie dwuprzęsłowej belki ciągłej. Ze względu na fakt, że nowa konstrukcja miała być łożyskowana na istniejących, zmodernizowanych w górnych partiach, podporach, konieczne było przyjęcie asymetrycznego układu przęseł, podyktowanego lokalizacją istniejących podpór. Przyjęto rozpiętości teoretyczne  $L_i=62,00+68,00\text{m}$ . Długość całkowita przebudowanego mostu wynosi 485,75m (w torze nr 1) i 483,60m (w torze nr 2).

Następstwem tego, że Odra w przedmiotowej lokacji jest rzeką żeglowną, a przebudowa mostu zbiegła się w czasie z modernizacją Wrocławskiego Węzła Wodnego, był zakaz wprowadzenia jakichkolwiek stałych elementów w koryto rzeki, np. podpór z rur stalowych, a zamknięcia toru wodnego nie mogły być dłuższe niż 3-5 dni (w zależności od harmonogramu transportu mas ziemnych do Janówka drogą rzeczna).

Projektant na etapie sporządzania dokumentacji projektowej przebudowy przedmiotowego mostu rozważył kilka możliwości demontażu przęsła nurtowego istniejącej konstrukcji z uwzględnieniem powyższego warunku.

Pierwsza z rozważanych koncepcji demontażu polegała na odcięciu węzłów podporowych, opuszczeniu konstrukcji na podpory pływające, odholowaniu całości do brzegu celem pocięcia na mniejsze elementy wysyłkowe i odwiezieniu do utylizacji.

Druga koncepcja demontażu polegała na spławieniu przęsła, po uprzednim podniesieniu i osadzeniu na wielosegmentowych podporach zabudowanych na barkach, w miejsce podziału na mniejsze elementy wysyłkowe.

Kolejna koncepcja demontażu zakładała wysunięcie podłużne przęsła na ląd przy zastosowaniu wielosegmentowej podpory pływającej, zabudowanej na barce.

Pierwsze dwie koncepcje okazały się po głębszej analizie bardzo czasochłonne, a ich realizacja wiązała się z koniecznością pogłębienia koryta rzeki w miejscu cumowania barek.

Ostatecznie do realizacji operacji demontażu przęsła nurtowych w obu torach przyjęto koncepcję wysuwu z wykorzystaniem podpory pływającej.

Przy doborze technologii, zarówno demontażu i montażu, Projektant cały czas miał na uwadze wydarzenia z 1997 roku, kiedy Wrocław i okolice nawiedziła powódź. Wszelkie założenia przyjętych koncepcji opierały się na minimalizacji czasu realizacji poszczególnych operacji, w świetle możliwości pojawienia się fali powodziowej.

Przyjęta przez Projektanta konstrukcja nowych przęsła nurtowych, w postaci dwuprzęsłowej, ciągłej kratownicy stalowej, cechuje się bardzo dużą sztywnością, a co za tym idzie minimalnymi ugięciami. Ten typ konstrukcji, przy odpowiednim jej wzmocnieniu w newralgicznych punktach w razie konieczności, idealnie nadaje się do montażu w miejscu docelowym poprzez wysuw podłużny. Rozwiązanie takie już na etapie sporządzania projektu spowodowało, że nie wystąpiła konieczność wprowadzenia w koryto rzeki podpór technologicznych, spełniając w ten sposób założenie utrzymania ciągłości kursowania taboru rzeczno, oraz minimalizację kosztów poniesionych przez Wykonawcę na montaż konstrukcji w miejscu docelowym. Montaż i scalanie nowej konstrukcji odbywał się na przęsłach żelbetowych zlokalizowanych nad terenem zalewowym.

Dodatkowym atutem przyjętej konstrukcji jest fakt, że w dużym stopniu odzwierciedla ona pierwotną formę konstrukcji kratowej mostu, a co za tym idzie dobrze wkomponowuje się nie tylko w istniejące otoczenie, ale i w rys historyczny całej przeprawy. Wspomnieć przy tej okazji należy również, że mosty Poznańskie zlokalizowane są w bezpośrednim sąsiedztwie wpisanego do rejestru zabytków, ceglanego blokhauzu artyleryjskiego, znajdującego się w przyczółku nr 1 wiaduktu kolejowego nad ul. Osobowicką we Wrocławiu.

Rozdzielenie konstrukcji obu torów, zarówno istniejących, jak i projektowanych, znacznie ułatwiło cały proces realizacji, a także umożliwiło (co było wymogiem przetargowym) utrzymanie przejezdności linii kolejowej w przynajmniej jednym torze.

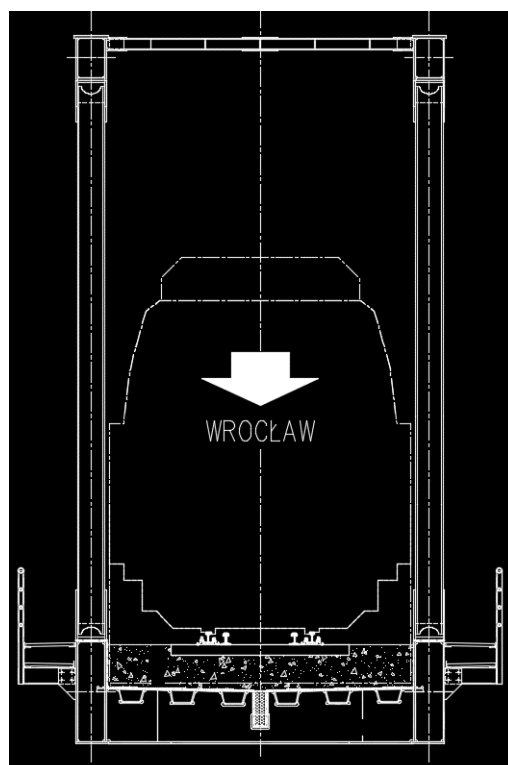
Modernizacja podpór postępowała równolegle z przebudową przęsła.

Szczegóły dotyczące technologii demontażu i montaż konstrukcji istniejących i nowo wykonanych opisane zostały w referacie [1].

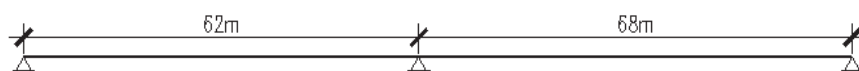
Kolejność prac na danym odcinku linii kolejowej podyktowana była harmonogramem zamknięć poszczególnych torów. W przypadku przeprawy kolejowej

przez Odrę, jako pierwsza przebudowie poddana została konstrukcja w torze nr 2 (od strony dolnej wody). Po oddaniu do użytku konstrukcji, prace modernizacyjne przeniesione zostały na konstrukcję w torze nr 1 (od strony wody górnej).

Doświadczenie zdobyte w trakcie przebudowy konstrukcji przęseł i podpór w torze nr 2 pozwoliło na wprowadzenie szeregu usprawnień oraz modyfikacji rozwiązań projektowych i wykonawczych konstrukcji w torze nr 1.



Rys. 3. Most nad Odrą we Wrocławiu. Przekrój poprzeczny przez przęsło nurtowe



Rys. 4. Most nad Odrą we Wrocławiu. Schemat statyczny



Rys. 5. Most nad Odrą we Wrocławiu. Nowa konstrukcja w torze nr 2 po nasunięciu w położenie docelowe / istniejąca konstrukcja w torze nr 1 (przed przebudową)

Zarówno proces projektowania, jak i realizacji, przebiegał bez niepożądanych przeszkód i opóźnień czasowych. Obiekt został przekazany do eksploatacji w terminie zgodnym z harmonogramem przebudowy linii i bez utrudnień przy modernizacji Wrocławskiego Węzła Wodnego. Całość przeprawy została oddana do eksploatacji w 2015 roku.



Rys. 6. Most nad Odrą we Wrocławiu. Widok na przęsła nurtowe – tor nr 1 (po przebudowie)





Rys. 7. Most nad Odrą we Wrocławiu. Widok na przęsła nurtowe (po przebudowie)

### 3. MOST NAD RZEKĄ WISŁĄ W KRAKOWIE

Inwestor: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Projekt: BBF Sp. z o.o. / BPK Mosty s.c.

Kolejnym prezentowanym obiektem, zlokalizowanym nad dużą przeszkodą wodną, jest most kolejowy nad rzeką Wisłą w Krakowie. Opracowanie projektowe zostało wykonane w ramach przygotowania modernizacji linii kolejowej E30 na odcinku Kraków Gł. Towarowy - Rudzice wraz z dobudową torów linii aglomeracyjnej na odcinku Kraków Gł. - Kraków Płaszów - Kraków Bieżanów. Opis konstrukcji mostowej zaprezentowany w referacie podano w oparciu o Projekt Budowlany, który stanowić będzie podstawę techniczną wykonania Projektu Wykonawczego i realizacji prac budowlanych w systemie „projektuj i buduj” (żółty FIDIC) przez Wykonawcę, wyłonionego w drodze postępowania przetargowego. Projekt ten zakłada remont istniejącej przeprawy i budowę dwóch nowych, dodatkowych mostów dla torów kolei aglomeracyjnej.

Konstrukcja istniejąca to sześcioprzęsłowy most stalowy w układzie swobodnie podpartym, z wydzielonymi przęsłami w każdym torze. Przęsła o konstrukcji blachownicowej spawanej, z jazdą dołem, o zmiennej wysokości, ze stalową płytą pomostową ortotropową. Rozpiętości teoretyczne przęseł wynoszą  $L_t=36,90+37,10+4 \times 36,90\text{m}$ , a długość całkowita  $L= 227,50\text{m}$ . Przymocowania, skrzydła i filary masywne, posadowione częściowo na palach, wielokrotnie

w przeszłości przebudowywane i o zróżnicowanej konstrukcji (betonowe z żelbetową ławą, kamienne z żelbetową ławą, kamienne przebudowane na betonowe z płaszczem żelbetowym, kamienne z płaszczem żelbetowym). Obiekt wybudowano w roku 1879, a poddano modernizacji na przełomie lat osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych ubiegłego stulecia.

Remont istniejącej konstrukcji przęseł obejmować będzie czyszczenie strumieniowo-ściernie, wykonanie warstwy spadkowej w torze nr 2 (w torze nr 1 spadki wykształcone są w płycie pomostowej), izolacji koryta balastowego oraz wykonanie zabezpieczenia antykorozyjnego konstrukcji stalowej.

W przypadku istniejących podpór Projektant przewidział, w zależności od konstrukcji, czyszczenie, spoinowanie, iniekcje, reprofiliację zaprawami PCC, ułożenie warstwy betonu natryskowego, wykonanie płaszcza żelbetowego, hydrofobizację, wykonanie powłok antygraffiti oraz wykonanie za przyczółkami stref przejściowych z gruntu stabilizowanego. Dodatkowo wykonane zostanie zabezpieczenie istniejących fundamentów filarów nurtowych ścianką szczelną stalową na obwodzie i opaską żelbetową.

Głównym założeniem przy opracowywaniu projektu remontu było utrzymanie ciągłości ruchu kolejowego. W przypadku istniejącego obiektu, nie będącego w złym stanie technicznym, przyjęta przez Projektanta technologia realizacji uwzględnia zachowanie ciągłości ruchu w jednym torze, przy równoczesnym prowadzeniu prac w drugim. Po przeprowadzeniu wszystkich niezbędnych prac w jednym torze, ruch zostanie przeniesiony na nowo zmodernizowane przęsła, a Wykonawca rozpocznie prace w torze, po którym do tej pory odbywał się ruch.



Rys. 8. Most nad Wisłą w Krakowie. Widok ogólny obiektu (stan istniejący)

Ciekawym wyzwaniem dla zespołu projektowego okazało się sporządzenie dokumentacji projektowej budowy dwóch całkowicie nowych, niezależnych mostów kolejowych dla projektowanych torów linii aglomeracyjnej, zlokalizowanych po obu stronach istniejącej przeprawy mostowej.

Decyzja Regionalnego Dyrektora Ochrony Środowiska w Krakowie nałożyła na Projektanta obowiązek zastosowania takiego typu konstrukcji, który umożliwiłby jej wykonanie przy zastosowaniu technologii nasuwu ze scalaniem konstrukcji na jednym z brzegów.

W związku powyższym oraz ze względu na ograniczoną możliwość wprowadzenia dodatkowych podpór technologicznych w koryto rzeki Wisły, konieczne było przyjęcie takiego typu konstrukcji, która cechowałaby się dużą sztywnością oraz umożliwiała zastosowanie z góry narzuconej technologii transportu scalonej konstrukcji w miejsce docelowe.

Projektant zdecydował się na most stalowy pięcioprzęsłowy, z jazdą dołem, o zróżnicowanej konstrukcji przęseł, z przęsłem nurtowym (środkowym) o zwiększonej rozpiętości i odmiennym układzie konstrukcyjnym od przęseł zalewowych. Estakady zalewowe dwuprzęsłowe, w układzie ciągłym, o konstrukcji dwubelkowej stężonej poprzecznicami, ze stalową płytą ortotropową, dźwigary główne o konstrukcji skrzynkowej. Przęsło środkowe (nurtowe) o zwiększonej rozpiętości, o konstrukcji łukowej w układzie Langerera, z pochylonymi łukami stężonymi górą, ze stalową płytą ortotropową, z wieszakami prętowymi, mocowanymi przegubowo, z możliwością regulacji napięcia (mufy regulacyjne). Rozpiętości teoretyczne przęseł wynosić będą  $L_i=2 \times 37,25 + 74,40 + 2 \times 37,25$  m (tor nr 3) oraz  $L_i=38,05 + 43,10 + 74,40 + 42,70 + 31,80$  m (tor nr 4). Długość całkowita obiektu wynosi  $L=227,05$  m (tor nr 3) i  $L=233,15$  m (tor nr 4).

Przed konstrukcjami zostały postawione następujące wymagania co do nośności:

- nośność obiektów kolejowych wg PN-EN 1991-2:2007/ AC:2010/ Ap1:2010. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje - Część 2: Obciążenia ruchome mostów z zastosowaniem PN-EN 1990:2004/ Ap1:2004/ AC:2008/ Ap2:2010/ NA:2010 oraz PN-EN 1990:2004/ A1:2008. Eurokod: Podstawy projektowania konstrukcji,
- dla nowych obiektów kolejowych obciążenia klasy  $k=+2$  (współczynnik  $\alpha=1,21$ ), obciążenie  $P=\alpha \cdot 250$  KN i  $p=\alpha \cdot 80$  kN/m – model obciążenia 71 (pociąg badawczy UIC 71, oznaczenia klasy obciążenia wg PN-S-10030:1985. Obiekty mostowe. Obciążenia), dla obiektów ciągłych dodatkowo schemat SW/0  $q_{vk}=133$  kN/m.

Nowe mosty zostały dostosowane do wymogów drogi wodnej III klasy, tj. minimalna szerokość przęsła nurtowego wynosi 40,0m, co w przyszłości, po przebudowie istniejącego obiektu, umożliwi spełnienie warunku przez całą przeprawę. Do czasu przyszłej przebudowy, szerokość toru wodnego ograniczona będzie przez środkową podporę istniejącego obiektu.

Pod uwagę wzięto dwie możliwości wykonania przęsła nurtowego.

Pierwsza koncepcja zakładała wykonanie nowych podpór, scalenie i montaż konstrukcji na nasypie oraz jej wysuw podłużny z przyczółka, w miejsce do-

celowe, z zastosowaniem jednej, nurtowej podpory technologicznej, zlokalizowanej w linii podpory nurtowej istniejącego mostu.

W przypadku drugiej koncepcji proces scalania i montażu przęsła nurtowego odbywałby się na terenie zalewowym, a w miejscu docelowe konstrukcja zostałaby spławiona na barkach i nasunięta poprzecznie.

Przewidziane na etapie Projektu Budowlanego technologie przebudowy mostu, uwzględniają zachowanie ciągłości ruchu żeglownego na rzece Wiśle w przedmiotowej lokacie.

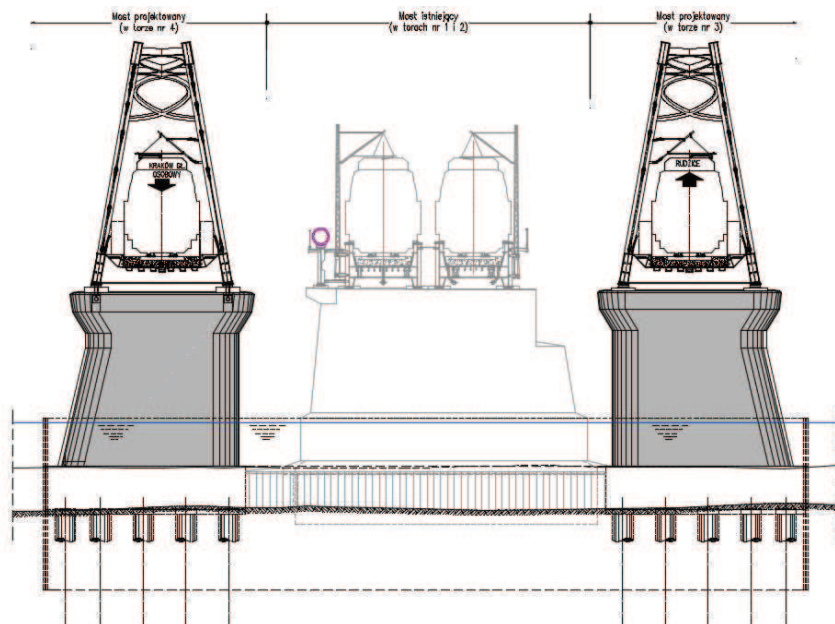
Kolejnym aspektem, który został wzięty pod uwagę przy doborze typu konstrukcji była lokalizacja projektowanej przeprawy i możliwość jej odbioru zarówno przez mieszkańców miasta, jak i turystów licznie odwiedzających historyczną stolicę. Ze względu na charakter zabudowy miasta Krakowa oraz ekspozycję mostu, Projektant przewidział zastosowanie przęsła nurtowego o konstrukcji łukowej, z lekko pochylonymi do środka dźwigarami łukowymi oraz oryginalnym kształtem stężeń górnych. Rozwiązanie takie sprawiło, że obiekt może być postrzegany, pomimo swoich gabarytów, jako dobrze wkomponujący się w zabytkowe otoczenie miasta.

Kształtowanie konstrukcji dla osiągnięcia walorów architektonicznych sprawiło, że dźwigar łukowy stał się bardzo podatny na wpływy dynamiczne. Zespół projektowy dokonał wielu analiz, przy różnych wariantach optymalizacji konstrukcji i dobrał taki przekrój poprzeczny, który spełniał wszystkie postawione mu wymagania wytrzymałościowe, a do tego okazał się najbardziej ekonomiczny.

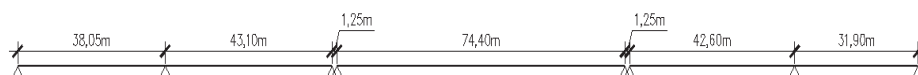
Dobór typu przęseł zalewowych, w porównaniu do przęsła nurtowego okazał się prostszy. Wynikało to z faktu, że miały one nie tylko mniejsze rozpiętości, ale z założenia nie miały stanowić elementu dominującego. Takim elementem przeprawy miało być przęsło nurtowe.

W przypadku przęseł zalewowych, ze względu na licznie występujące strategiczne uzbrojenie podziemne, znacznym utrudnieniem okazała się lokalizacja podpór co miało wpływ na zróżnicowanie rozpiętości przęseł w obu mostach.

Nowe podpory wykonane zostaną jako masywne, żelbetowe, monolityczne, posadowione na palach wierconych w gruncie. Przyczółki pełnościenne, ze skrzydłami równoległymi, filary tarczowe. Oczepy palowe filarów nurtowych zabezpieczone stalową ścianką szczelną, pozostawianą w gruncie. Przyczółki wyposażone w płyty przejściowe zapewniające płynną zmianę sprężystości podłoża na styku obiekt / nasyp.



Rys. 9. Most nad Wisłą w Krakowie. Przekrój poprzeczny przez przęsła nurtowe



Rys. 10. Most nad Wisłą w Krakowie. Schemat statyczny



Rys. 11. Most nad Wisłą w Krakowie, widok od strony bulwaru Kurlandzkiego (wizualizacja G. Kilian)



Rys. 12. Most nad Wisłą w Krakowie, widok od strony bulwaru Podolskiego (wizualizacja G. Kilian)



Rys. 13. Most nad Wisłą w Krakowie, iluminacja (wizualizacja G. Kilian)



Rys. 14. Most nad Wisłą w Krakowie, stan projektowany (wizualizacja G. Kilian).

#### 4. MOST NAD RZEKĄ BUG

Investor: PKP Polskie Linie Kolejowe S.A.

Projekt: SYSTRA S.A. Oddział w Polsce / BPK Mosty s.c.

Opracowany projekt przebudowy mostu kolejowego nad rzeką Bug związany jest z modernizacją linii kolejowej E75 na odcinku Sadowne - Czyżew.

Trasa E75 jest fragmentem transeuropejskiego korytarza Rail Baltica, który łączy Warszawę przez Kowno, Rygę, Tallin z Helsinkami. To jedyne połączenie kolejowe Litwy, Łotwy i Estonii z Polską oraz pozostałymi krajami Unii Europejskiej. W chwili obecnej, w fazie końcowej znajduje się modernizacja pierwszego odcinka przedmiotowej trasy tj. Warszawa Rembertów - Tuszcz (Sadowne).

Głównym celem modernizacji jest dostosowanie tego odcinka linii do technicznych i operacyjnych wymogów umów AGC i AGTC, a także dostosowanie infrastruktury kolejowej do potrzeb uzyskania zwiększonych prędkości przejazdowych dla pociągów pasażerskich i towarowych oraz zwiększonego nacisku na oś.

W chwili obecnej linia kolejowa w rozpatrywanej lokacji jest jednotorowa. Przeprawę nad rzeką stanowi most pięcioprzęsłowy, przęsła swobodnie podparte, kratownicowe, stalowe, nitowane z pomostem otwartym. Przęsła oparte na filarach betonowo-kamiennych. Rozpiętości poszczególnych przęseł wynoszą ok.  $L_i=55,50\text{m}$ . Długość całkowita mostu, z uwzględnieniem skrzydeł, wynosi 313,875m. Budowę obiektu datuje się na rok 1953.



Rys. 15. Most nad Bugiem. Widok na konstrukcję – tor nr 2 (stan istniejący)

Zgodnie z warunkami przetargowymi projekt miał uwzględniać przebudowę istniejącej konstrukcji mostu w torze nr 2 oraz dobudowę drugiej w torze nr 1. Zgodnie z wymogami zawartymi w Programie Funkcjonalno-Użytkowym, stanowiącym jeden z materiałów przetargowych, nowo projektowane obiekty powinny spełniać następujące wymagania wytrzymałościowe:

- model obciążenia 71 ze współczynnikiem  $\alpha=1,33$  / SW-2
- obciążenia wg:
  - PN-EN 1991-1-1:2004/AC:2009/Ap1:2010/NA:2010. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje - Część 1-1: Oddziaływania ogólne - Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
  - PN-EN 1991-2:2007/AC:2010/Ap1:2010. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje – Część 2: Obciążenia ruchome mostów.
  - PN-EN 1991-1-4:2008/AC:2009/Ap1:2010/Ap2:2010/NA:2010/ Ap3: 2011. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję – Część 1-4: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wiatru.
  - PN-EN 1991-1-5:2005/AC:2009/Ap1:2010/NA:2010. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję – Część 1-5: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania termiczne.
  - PN-EN 1991-1-7:2008/AC:2009/Ap1:2010/NA:2010. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcję – Część 1-7: Oddziaływania ogólne – Oddziaływania wyjątkowe.

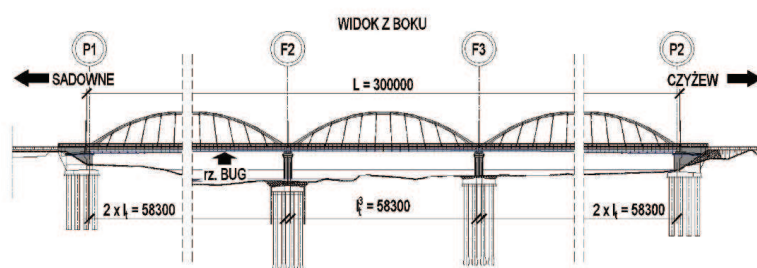
Ponieważ linia kolejowa E75 jest linią o dużym natężeniu ruchu, jednym z warunków stawianych Projektantowi przez Inwestora było opracowanie projektu przebudowy obiektu przy założeniu zachowania ciągłości ruchu kolejowe-



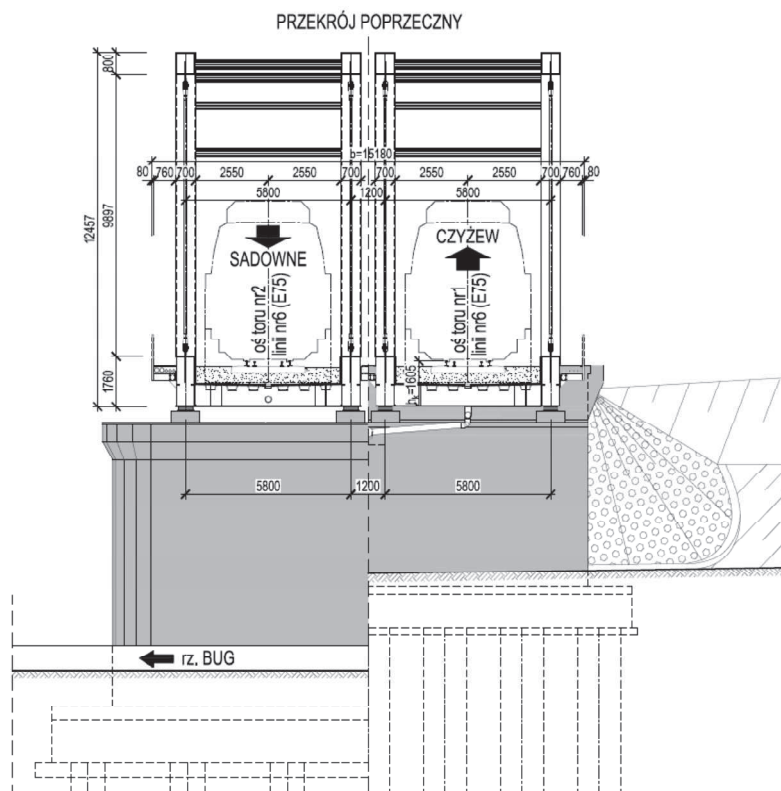
go. Powyższy warunek wymusił na Projektancie konieczność usytuowania nowo projektowanych podpór w zmienionej lokacie w stosunku do istniejących podpór. Ich przesunięcie względem siebie miało być na tyle bezpieczne, aby przy wykonywaniu robót fundamentowych pod nowe podpory nie napotkać na przeszkody w gruncie w postaci pozostałości starych fundamentów. Zarówno z dokumentacji archiwalnej, jak i z doświadczenia Projektanta wynikało, że istniejące podpory nurtowe obite były dookoła ścianką drewnianą, co w połączeniu z wysokim poziomem wód gruntowych sprawiło, że stanowić mogły one barierę nie do pokonania przy wykonywaniu nowego systemu posadowienia. Przeprowadzono dodatkowe wizje w terenie, dokonano lokalnych odkrywek i ustalono bezpieczną lokatę, w której mogły się znaleźć nowe podpory.

Kolejnym aspektem, który Projektant musiał wziąć pod uwagę przy sporządzaniu dokumentacji projektowej było położenie przebudowywanej przeprawy. Most przez rzekę Bug zlokalizowany jest na obszarze objętym ochroną przyrody Natura 2000 "Dolina Dolnego Bugu". Czynnikiem ten sprawił, iż pod rozwagę wzięto typy konstrukcji współgrające z otoczeniem. Wszelkie rozwiązania projektowe konsultowane były na bieżąco z podmiotami odpowiedzialnymi za ochronę środowiska, czego efektem był wybór konkretnego typu konstrukcji.

Nowy most stanowić będą konstrukcje wydzielone pod oba tory i składać się on będzie z pięciu przęseł belkowych, wzmocnionych za pośrednictwem wieższaków (ciągien podatnych) łukiem gibkim – ustrój Langera. Każde przęsło będzie miało rozpiętość teoretyczną  $L_t=58,30\text{m}$ , wysokość całkowita dźwigara głównego wyniesie około  $12,5\text{m}$ , a dźwigary główne przęsła rozstawione będą osiowo o  $5,80\text{m}$ . Zastosowanie łuku kołowego o dużym promieniu oraz zmniejszenie do niezbędnego minimum ilości ciągien podwieszających pozwoliło na uzyskanie smukłej konstrukcji, bardzo dobrze wkomponowującej się w otaczający, naturalny krajobraz. Projekt przęsła uwzględnił pogłębioną analizę dynamicznej wrażliwości i jej wpływ, przy różnych wariantach optymalizacji konstrukcji i doboru parametrów przekroju poprzecznego, na równowagę pomiędzy aspektem wizualnym, a konstrukcyjnym.



Rys. 16. Most nad rzeką Bug. Widok z boku na konstrukcję – tor nr 1



Rys. 17. Most nad rzeką Bug. Przekrój poprzeczny

Na wybór konstrukcji wpływ, podobnie jak w przypadku poprzednich obiektów, miały aspekty technologiczne i ekonomiczne. Ze względu na dużą powtarzalność oraz prostotę konstrukcji, możliwy jest jej stosunkowo szybki i tani transport, montaż i scalenie. Projektant przewidział wykonanie czterech konstrukcji na pomostach roboczych, wyniesionych ponad teren zalewowy wraz z wysuwem jednej konstrukcji przęsła nurtowego do swojego docelowego położenia (przęsło nr 2) oraz wykonanie jednej konstrukcji na nasypie przed przyczółkiem nr P1 i jej wysuw w miejsce docelowe.

Powyższe czynności muszą być oczywiście poprzedzone wykonaniem niezbędnych prac fundamentowych oraz konstrukcyjnych podpór pośrednich i skrajnych.

Posadowienie obiektu zaprojektowano jako głębokie, na palach wierconych, wielkośrednicowych. Pod przyczółkami znajdować się będą po 23 pale o średnicy 1,50m. Każdy filar posadowiony będzie na 28 palach średnicy 1,20m.

W chwili obecnej proces inwestycyjny znajduje się w fazie prekwalfikacji Wykonawcy, a przewidywany termin rozpoczęcia robót to przełom 2016 i 2017 roku.

## 5. MOST NAD RZEKĄ ODRĄ W KOSTRZYNI

Inwestor: Deutsche Bahn AG

Projekt konkursowy: Leonhardt, Andrä und Partner VBI AG Berlin / BPK Mosty s.c.

Ostatnim i równie ciekawym opracowaniem, prezentowanym w referacie, jest projekt koncepcyjny mostu kolejowego nad rzeką Odrą w Kostrzynie. Choć jest to opracowanie, które pozostało wyłącznie pracą konkursową, ze względu na swoją nietypową formę, ma szansę znaleźć swoje odzwierciedlenie w kolejnych projektach biura.

Idea opracowania projektowego zrodziła się w 2015 roku, kiedy Deutsche Bahn AG ogłosiło konkurs na opracowanie koncepcji przebudowy przedmiotowego mostu. Biuro projektowe Leonhardt, Andrä und Partner, oddział Berlin zaprosiło do współpracy przy opracowaniu koncepcji przebudowy mostu firmę BPK Mosty s.c. Każda ze stron miała przygotować po dwa warianty, z których wybrano dwa, po jednym z każdej strony, i dalej przesłano jako wspólną pracę konkursową.

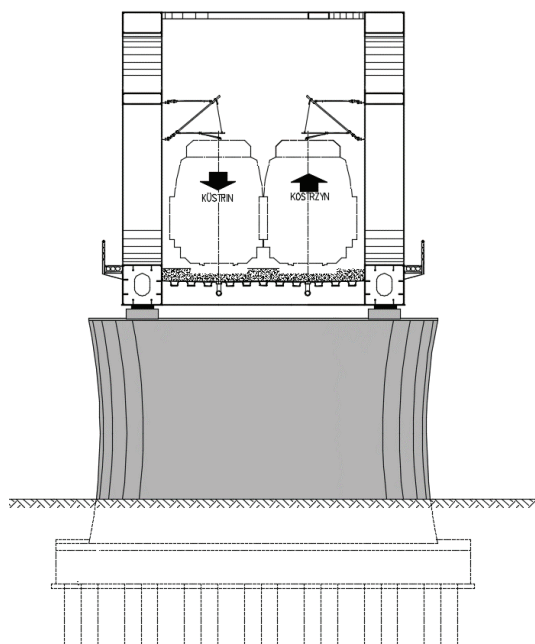
W stanie istniejącym przeprawę stanowi czteroprzęsłowy układ przęseł kratownicowych, wydzielony pod każdy z dwóch torów. Most znajduje się nad doliną rzeki Odry w obszarze Natura 2000 „Ujście Warty” i jest bardzo dobrze widoczny dla osób przekraczających granicę, zlokalizowaną po stronie południowej przeprawą drogową. Warunki konkursowe nie precyzowały, jaki ma być przyjęty typ konstrukcji, czy ma być ona wspólna, czy wydzielona pod oba tory, a jedynie warunek nośności (model obciążenia 71 / SW-2 ze współczynnikiem  $\alpha=1,21$ ), obciążenia wg PN-EN 1991-2:2007/AC:2010/Ap1:2010. Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje - Część 2: Obciążenia ruchome mostów.



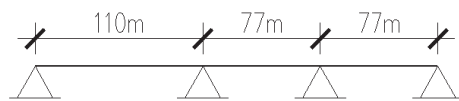
Rys. 18. Most nad Odrą w Kostrzynie. Widok na konstrukcję (stan istniejący)

Głównym zamierzeniem przedstawionej koncepcji było jednocześnie wkomponowanie mostu w otaczający teren, nawiązanie do historycznego układu kratownicowego oraz uzyskanie konstrukcji, która swoją wyrazistością będzie w sposób istotny odróżniać się od typowych konstrukcji mostów kolejowych. Ponadto, most stanowić miał rozpoznawalny punkt charakterystyczny na granicy polsko-niemieckiej, dobrze widoczny z pobliskiego mostu drogowego.

Inspiracją do stworzenia bryły mostu były nieregularne kształty organiczne, które można zauważyć np. na blaszkach liści drzew. W naturalnych, organicznych strukturach trudno zaobserwować równoległości linii oraz powtarzalność, dlatego też zaprojektowano konstrukcję, która odchodzi w sposób zdecydowany od typowych ustrojów konstrukcyjnych – uporządkowanych i surowych w odbiorze dla obserwatora.



Rys. 19. Most nad rzeką Odrą w Kostrzynie. Przekrój poprzeczny



Rys. 20. Most nad rzeką Odrą w Kostrzynie Schemat statyczny

Pomimo, iż na długości konstrukcji każde pole kratownicy jest unikalne, połączone razem tworzą spójną i uporządkowaną całość pod względem statyki – ustrój kratownicowy typu V o zmiennej wysokości pasa górnego. Zmianą w stosunku do tradycyjnych konstrukcji tego typu jest nieregularny układ pól.

Zaprojektowana kratownica jest układem trzyprzęsłowym, wspólnym pod oba tory, o rozpiętościach  $L_1=110,00\text{m}$  (przęsło nurtowe) oraz  $L_2=2\times 77,0\text{m}$  (przęsła nad terenem zalewowym). Pomost zaprojektowano w formie stalowej płyty ortotropowej (równoważne rozwiązanie stanowi zespolona żelbetowa płyta pomostowa). Pasy dolne, pasy górne oraz krzyżulce kratownicy zaprojektowano jako skrzynki szczelnie zamknięte. Dodatkowo, po przeprowadzonych wstępnych obliczeniach statycznych, zróżnicowano grubości poszczególnych krzyżulców tak, aby ich proporcje korespondowały z uzyskanymi siłami wewnętrznymi. Układ tężników wiatrowych dopasowano do charakteru samych dźwigarów, również tworząc wzór organiczny.

Pomimo, iż była to jedynie praca konkursowa, Projektant miał już przewidzianą technologię wykonania konstrukcji kratowej, z uwzględnieniem faktu przebudowy konstrukcji istniejącej.



Rys. 21. Most nad Odrą w Kostrzynie. Wizualizacja mostu (koncepcja BPK Mosty s.c., wizualizacja K. Sierka-Szczucka, B. Szczucki)

Drugą koncepcją, wybraną do przesłania jako wspólna praca konkursowa, był wariant opracowany przez biuro Leonhardt, André und Partner VBI AG Berlin. Zakładał on zastosowanie zupełnie odmiennego typu konstrukcji, w stosunku do koncepcji BPK Mosty. Zaproponowano stworzenie przeprawy składającej się z pięciu przęseł, z przęsłem nurtowym o konstrukcji łukowej, z jazdą dołem, dominującym nad konstrukcją belkową przęseł zalewowych.



Rys. 22. Most nad Odrą w Kostrzynie. Wizualizacja mostu (Leonhardt, André und Partner VBI AG Berlin, wizualizacja K. Sierka-Szczucka, B. Szczucki)

## 6. PODSUMOWANIE

Budowa nowych i przebudowa istniejących obiektów inżynierskich, zlokalizowanych nad dużymi przeszkodami terenowymi lub wodnymi, stwarza wiele wyzwań natury technicznej, logistycznej i społecznej. Projektant na etapie sporządzania dokumentacji projektowej ma przed sobą trudne zadanie. Musi nie tylko spełnić z góry założone w przetargu warunki dla zadania, ale dodatkowo przewidzieć potencjalne zagrożenia, mogące wyniknąć z doboru konstrukcji, właściwie wkomponować obiekt w otoczenie, sprawić aby owoc jego pracy postrzegany był z aprobatą oraz aby koszty realizacji nie były zbyt wygórowane.

Pomimo tak wielu zmiennych, mających wpływ na efekt końcowy, można zaprojektować konstrukcje o formie posiadającej odpowiednie proporcje, umiejętnie wpisujące się w otaczający krajobraz, za niewygórowaną cenę.

## LITERATURA

1. Broś J., Sierka G., Plaszczyk B.: *Technologia przebudowy wybranych obiektów mostowych, uwzględniająca konieczność utrzymania ciągłości ruchu kolejowego, zrealizowana w ramach modernizacji linii kolejowej E59 Wrocław – Poznań Lot A*, Materiały konferencyjne, Rosnówko 2016.

## PROJECTS AND CONCEPTS OF BRIDGES DESIGNED BY THE BPK MOSTY SC WROCLAW CROSSING THE MAIN RIVERS IN POLAND.

### Summary

BPK Mosty s.c. Sławomir Biegański, Jerzy Broś exists in engineering branch for almost 25 years. During this time the company provided design documentation for investors from all over the country and participated in erection of several dozen structures that have been designed by the company. Cooperation with many contractors allowed to apply gained experience in succeeding design documentation. Observations made during the past years, have now been presented in this article which refers to selected bridges over the main rivers in Poland projects.

The article describes the cause of modernization and development of railway infrastructure in the country. Objectives, which achievement is important not only for national but also for foreign transport, have been stated.

The examples of several bridge structures, being in various stages of progress, have been presented. For each structure the restrictions, that designer had to take into account during designing process, have been listed.