

Wybrane problemy konstrukcyjne i technologiczne mostów stalowych średnich rozpiętości na przykładzie obiektów na Dunaju i Dnieprze

Karol Ryż¹, Łukasz Flaga²

¹ *Politechnika Krakowska, Wydział Inżynierii Lądowej, Instytut Materiałów i Konstrukcji Budowlanych, Katedra Budowy Mostów i Tuneli*

² *Politechnika Lubelska, Wydział Budownictwa i Architektury, Katedra Architektury, Urbanistyki i Planowania Przestrzennego; e-mail: maggius@interia.pl*

Streszczenie: Każdy obiekt mostowy charakteryzuje się oryginalnymi rozwiązaniami, możliwościami technologicznymi zastosowanymi w trakcie jego budowy oraz unikalnym charakterem (modą) dostosowanym do czasu swojego powstania. Obiekty zamieszczone w pracy posiadają cechy szczególne dla danego regionu, które są warte przedstawienia w kontekście rozwoju konstrukcji mostowych, myśli inżynierskiej, przeobrażeń społecznych oraz wydarzeń historycznych. We wszystkich zamieszczonych obiektach głównym materiałem konstrukcyjnym jest stal. Każdy z nich był lub jest mostem kolejowym (kolejowo autostradowym). Omówione zostały przykłady mostów powstałych w różnych epokach. Pozwala to w szerszym ujęciu zaobserwować pewien trend, myśl przewodnią ewolucji inżynierii mostowej, która na przestrzeni czasu stale wyznacza nowe perspektywy oraz możliwości pokonywania problemów komunikacyjnych.

Słowa kluczowe: most, stal, belka, konserwacja mostów, inżynieria.

1. Wprowadzenie

W czasie od 5 do 20 lipca 2008 r. odbyła się XIV WYPRAWIA MOSTOWA „Mosty na Dunaju i Dnieprze”. Program wyprawy liczył 7000 km, w trakcie których uczestnicy przemierzali 8 krajów europejskich: Słowację, Węgry, Chorwację, Serbię, Rumunię, Bułgarię i ponownie Rumunię, Mołdowę i Ukrainę. Inspiracją niektórymi spośród liczego grona zwiedzonych mostów leżących na trasie w/w wyprawy stanowiła podstawę do refleksji na temat rozwoju i przeobrażeń stalowych konstrukcji wspornikowych na przestrzeni XIX, XX i XXI w.

Niniejsza praca omawia jedynie kilka wybranych obiektów mostowych spośród wszystkich zwiedzonych w trakcie XIV Wyprawy Mostowej. Obiekty zamieszczone w pracy posiadają szczególne cechy, które są warte przedstawienia w kontekście rozwoju konstrukcji mostowych, myśli inżynierskiej, przeobrażeń społecznych oraz wydarzeń historycznych. We wszystkich zamieszczonych obiektach głównym materiałem konstrukcyjnym jest stal. Każdy z nich był lub jest mostem kolejowym (kolejowo autostradowym). Omówione zostały przykłady mostów powstałych w różnych epokach. Pozwala to w szerszym ujęciu zaobserwować pewien trend, myśl przewodnią ewolucji inżynierii mostowej, która na przestrzeni czasu stale

wyznacza nowe perspektywy oraz możliwości pokonywania problemów komunikacyjnych.



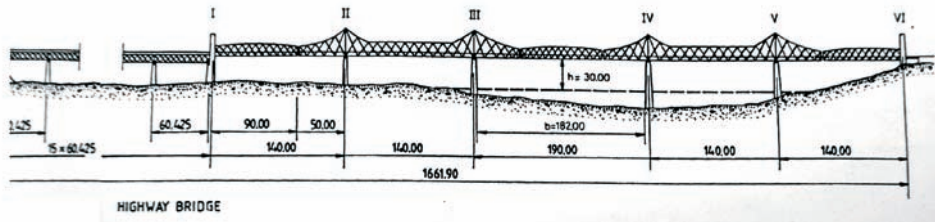
Fot. 1. Grono uczestników „XIV Wyprawy mostowej – Mosty Dunaju” [6].
Phot. 1. Members of „XIVth bridge expedition – Bridges over the Danube River” [6].

2. Zabytkowy most kolejowy Króla Karola I w miejscowości Cernavoda -



Fot. 2. Widok ogólny mostu kolejowego Króla Karola I [5.1.4].
Phot. 2. Overall view of King Karol I railway bridge [5.1.4].

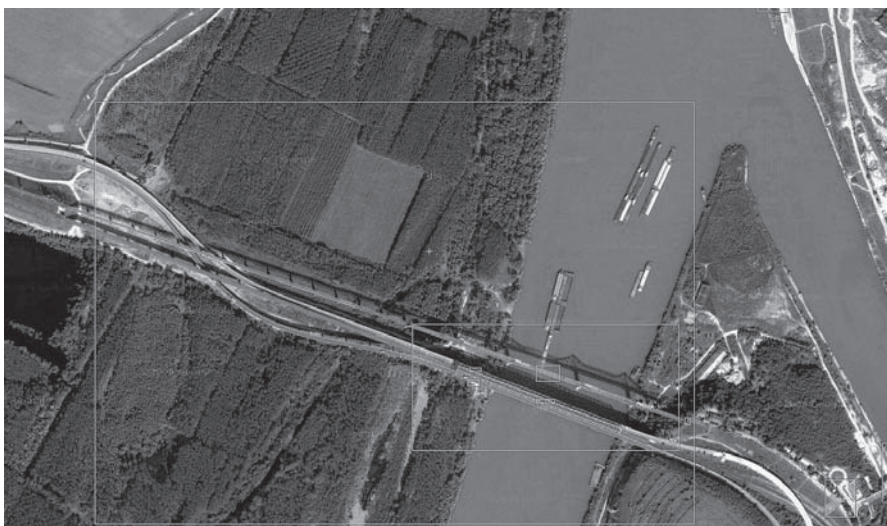
Przeprawa przez Dunaj w miejscowości Cernavoda obejmuje stary most kolejowy oraz nowy obiekt drogowo – kolejowy. Pierwszym z omawianych mostów jest obiekt – wizytówka, znak czasu. Most o którym mowa znajdujemy w literaturze pod nazwą: most kolejowy Króla Karola I w miejscowości Cernavoda. Jest to most kolejowy wybudowany w latach 1891-1895 na trasie: Bukareszt – Konstanca w mieście: Cernavoda (Rumunia). Był to most kolejowy o jednym pasie ruchu; główna funkcja: komunikacyjna, transportowa; obecnie „muzealna”. Lokalizację mostu można uzasadnić faktem wzrastającego w danym czasie ruchu kolejowego i drogowego z Niziny Wołoskiej do Dobrudży i nad Morze Czarne [1, 5.1.2].



Rys. 1. Przekrój podłużny mostu [1].

Fig. 1. Longitudinal section of the bridge [1].

Omawiany obiekt to 5-cio przęsłowy stalowy kratownicowy most wspornikowy (systemu Gerbera), z jazdą dołem, o rozpiętościach przęseł $15 \cdot 60.425 + 2 \cdot 140 + 190 + 2 \cdot 140$ [m]. Główna konstrukcja mostu ma 750 metrów długości. W celu umożliwienia przepływu dużych statków wysokość mostu nad Dunajem wynosi 30m. Składa się on z 2 przęseł dwuwspornikowych, na których zawieszono są trzy przęsła wolnopodparte o rozpiętości 90,0 m każde. Wymiary kratownic są analogiczne jak w moście Borcea w Fetești (na odnodze Dunaju Borcea Branch znajdują się 2 interesujące mosty w tym bliźniaczy do omawianego: kratownicowy kolejowy most wspornikowy – również systemu Gerbera – Borcea Railway Bridge; podobny okres powstania obydwu obiektów). [5.1.1]

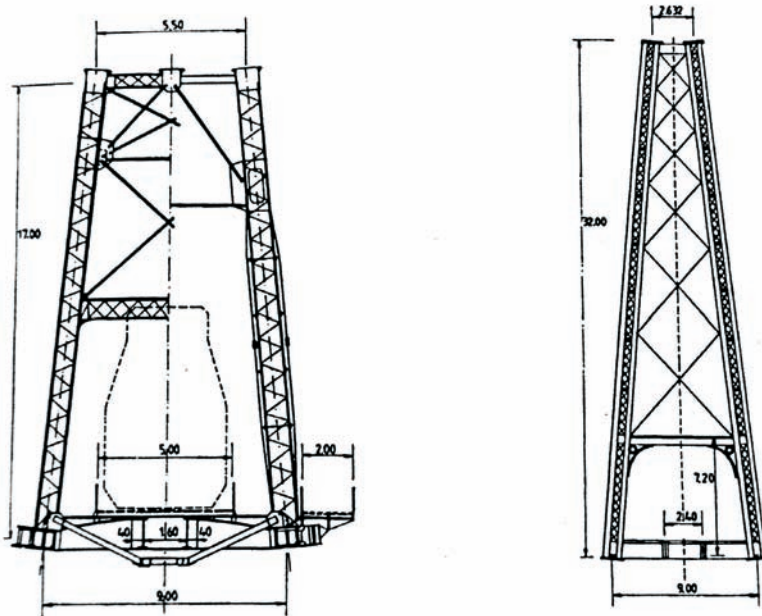


Fot. 3. Zdjęcie satelitarne mostów w miejscowości Cernavoda [5.1.4].

Phot. 3. Satellite photography of bridges situated in Cernavoda [5.1.4].

Kratownicę w przęśle środkowym zaliczymy do kratownicy typu W z dodatkowymi wieszakami i słupkami. Jej wysokość jest zmienna zależna od wykresu momentów. Podczas gdy pas dolny jest prosty na całej długości mostu, pas górny wygina się w malowniczy sposób, tak, aby przenieść maksymalne momenty zginające. W ten sposób kratownica ma wysokość 17,0 m w środku głównego przęsła. Wysokość ta rośnie – w przybliżeniu parabolicznie – nad podporami do 32,0 m i następnie spada – w przybliżeniu parabolicznie – na końcach wsporników do 9,0 m. Przęsła zawieszane (krata typu N) mają paraboliczny przebieg pasa górnego oraz wysokość 13,0 m w środku rozpiętości i 9,0 m na końcach. Kratowe dźwigary główne są pochylone do środka mostu i rozstawione dołem co 6,5 m w przęsłach zawieszonych i w środku przęsła głównego; zwiększają swoją odległość nad podporami do 9,0 m. Natomiast układ prętów w kratkach jest inny: zarówno w kratkach przęseł wspornikowych jak i zawieszonych – układ dwukrzyżulcowy. [1, 2]

Nawierzchnia kolejowa wykształcona jest w postaci szyn tocznych mocowanych do drewnianych mostownic ułożonych na podłużnicach stalowego rusztu.



Rys. 2. Przekroje poprzeczne mostu [1].

Fig. 2. Cross-section of the railway bridge [1].

Do posadowienia podpór mostu użyto fundamentów pośrednich. Zrealizowano je za pomocą pneumatycznych kesonów. Głębokość fundamentów sięga 27 metrów poniżej poziomu niskiej wody. Podłoże zbudowane zostało z kamieni na zaprawie cementowej oraz wapnie hydraulicznym.

Metoda wznoszenia konstrukcji wymagała przemysłanej logistyki. Części mostu zostały dostarczone drogą wodną aż do Konstancji a potem koleją do miejscowości docelowej: Cernavoda. Wszystko zaczęło się – podobnie jak w innych obiektach mostowych realizowanych w tamtym czasie – od zmontowania drewnianego rusztowania. Celem zmniejszenia kosztów tymczasowej konstrukcji montowanie rusztowania zostało przeprowadzone, gdy poziom wody był bardzo niski. [1]

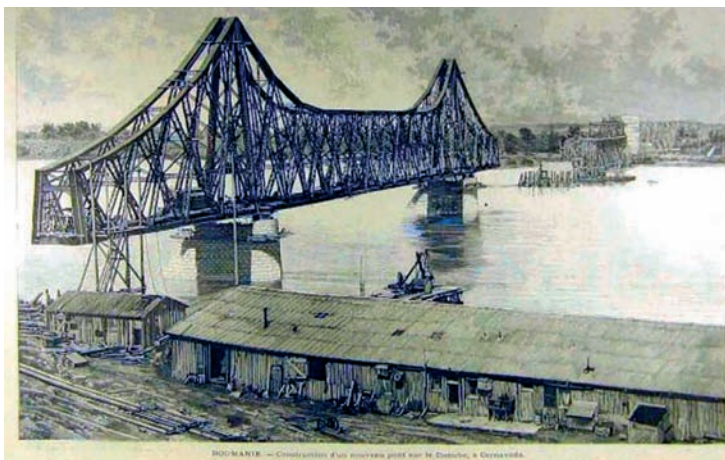
Konstrukcje wspornikowe ustroju nośnego mostu zostały podniesione do żądanej wysokości w kilku etapach za pomocą siłowników hydraulicznych o udźwigu 500 ton. Następnie zostały zainstalowane w obiekcie przęśła swobodnie podparte (przęśła drugorzędne).



Fot. 4. Widok filarów o kształcie w postaci funkcji $\exp(-x)$ [6].

Phot. 4. Unique shape of pillars (similar to mathematical formula $\exp(-x)$) [6].

Po obu stronach konstrukcji nośnej mostu wykształcono okazałe „bramy wjazdowe”, stanowiące zwieńczenie filarów skrajnych. Podziw wzbudzają ponadto wysokie kamienne filary, które na dojazdach do mostu mają pięknie wystudiowany kształt, zarówno w kierunku podłużnym jak i poprzecznym w postaci funkcji $\exp(-x)$. Przęśła dojazdowe od strony Fetești w liczbie 15-tu o rozpiętościach po 60,425 m, stanowią 1-przęślowe kratownice systemu X o stałej wysokości, z jazdą górą. Łączna długość mostu wynosi 1661,9 m. W okresie powstania obiekt miał łączną długość 4088 metrów, co dawało mu tytuł najdłuższego mostu w Europie i trzeciego co do długości na świecie. Dzieło zostało zaliczone do grona największych projektów inżynierskich świata.



Rys. 3. Widok konstrukcji wspornikowej mostu w trakcie budowy [5.1.6].

Fig. 3. Historic photograph of cantilever bridge segment under construction [5.1.6].

Konkurs na most został ogłoszony w 1879r. przez ówczesny rząd – specjalny serwis ministra od prac publicznych. Z powodu braku zainteresowania wyznaczono grupę prowadzoną przez inżyniera Anghela Saligny. Głównym wykonawcą były: francuska firma „fives lille” a także belgijska firma „Cockerill”.

Anghel Saligny był rumuńskim profesorem na Uniwersytecie w Bukareszcie wykształconym na Uniwersytecie w Berlinie (specjalizował się w konstrukcjach mostowych oraz w technice robót hydraulicznych). Stopień wykształcenia inżyniera tłumaczy tak „wystudiowaną” formę mostu kolejowego.

W pełni przekonany co do nośności swojego dzieła w kontekście prognozowanych obciążeń, 26 września 1895r. Anghel Saligny przebywał podczas inauguracji wraz z pracownikami na łodzi pod mostem, zgodnie ze starą tradycją podtrzymywaną przez budowniczych mostów. W tym czasie po obiekcie przejeżdżał zestaw 15 lokomotyw z prędkością 60 km/h (niektóre źródła podają prędkość 85 km/h). [2, 5.1.3]

W czasie Pierwszej Wojny Światowej, po 30 latach od powstania, obiekt został uszkodzony, lecz nie na tyle, aby zniszczona została jego główna konstrukcja. Remont przeprowadziła wówczas firma MAN jeszcze podczas trwających działań wojennych. Po remoncie most wykazywał częściową ograniczoną przydatność eksploatacyjną (zmniejszone prędkości przejazdu oraz ograniczone ciężary taboru).

Podczas Drugiej Wojny Światowej, w wyniku bombardowań, most ucierpiał kilka razy. Odbudowa przeprowadzona przez rumuńską i niemiecką firmę zajęła 4 miesiące.

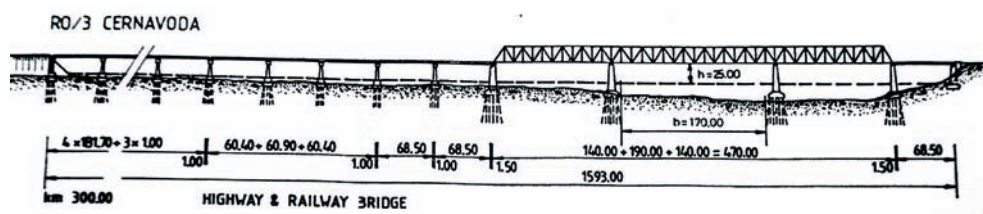
Kontrola w 1959 roku wykazała potrzebę wzmocnienia konstrukcji, dlatego w latach 1965-1967 most został poddany szeregowi zabiegów. Po tym remoncie mógł on być eksploatowany bez żadnych ograniczeń. W latach 1971- 1972 niektóre osłabione elementy nośne zostały wymienione. Most był nieprzerwanie wykorzystywany do 1987, kiedy to wybudowano w jego sąsiedztwie nowy most kolejowo drogowy. [1,4]

3. Nowy most kolejowo-drogowy w miejscowości Cernavoda

Droga A2 obok której usytuowany jest omawiany wcześniej most kolejowy (linia Bukareszt – Konstanca) Króla Karola I jest jedną z głównych, a zarazem najbardziej uczęszczanych tras komunikacyjnych Rumunii. Ciągłe rosnące potrzeby komunikacyjne na trasie Bukareszt – Konstanca oraz znaczny stopień wyeksploatowania obiektu zabytkowego doprowadziły do zrealizowania nowego obiektu mostowego. Wspomnianym już wcześniej mostem „następcą” został: most kolejowo – drogowy w miejscowości Cernavoda. Most zbudowano w roku 1987. Ustrój nośny mostu stanowi trójprzęsłowa kratownica ciągła typu Warrena (krata typu W z dodatkowymi wieszakami i słupkami) z jazdą dołem. Rozpiętości poszczególnych przęseł wynoszą odpowiednio: 140,0 + 190,0 + 140,0 m. Przez most przebiega dwutorowa linia kolejowa (między dwoma dźwigarami głównymi), a na zewnątrz dźwigarów kratownicowych, na wspornikowych płytach ortotropowych usytuowano 2 jezdnie po 2 pasy ruchu o szerokości 8,50 m każda oraz obustronne chodniki o szerokości 1,50 m. Łączna szerokość obiektu wynosi 34,40 m [1, 2, 3].

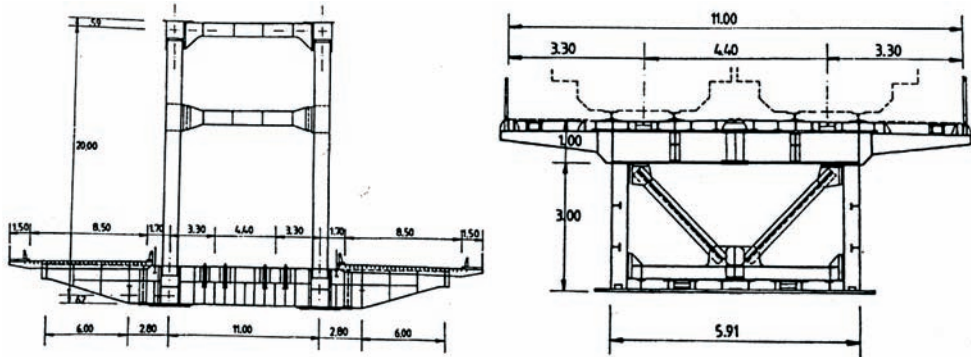


Fot. 5. Widok ogólny nowego mostu kolejowo – drogowego w miejscowości Cernavoda [5.1.5].
 Phot. 5. Overall view of a new railroad bridge in Cernavoda [5.1.5].



Rys. 4. Przekrój podłużny mostu [1].
 Fig. 4. Longitudinal section of the bridge [1].

Kratownica główna wykonana została ze stali konstrukcyjnej wysokiej jakości. Każdy segment złożony jest z 52 elementów połączonych na placu budowy nitami oraz śrubami sprężającymi. Stężenia poziome (wiatrownice) zlokalizowano w dolnej i górnej części dźwigarów kratownicowych (przekrój zamknięty ustroju nośnego).



Rys. 5. a), b) Przekrój poprzeczny mostu [1].

Fig. 5. Cross-section of the bridge [1].

Pomosty w części drogowej i kolejowej obiektu zostały wykształcone w postaci stalowych płyt ortotropowych. Zastosowano bezpośrednie przytwierdzenie szyn tocznych do pomostu ortotropowego, natomiast na pomoście drogowym zastosowano 2 warstwy asfaltu o grubości 2,5cm każda, położonych na wspomnianej płycie ortotropowej.

Filary mostu posadowione są na fundamentach pośrednich (palach) wykonanych ze stalowych rur wypełnionych betonem o średnicy 2m i głębokości sięgającej 40m. Wykonano je na miejscu budowy w formie traconych szalunków w formie stalowych rur. Filary mostu w częściach ponad poziomem terenu wykończono warstwą okładziny kamiennej podnoszącej walory estetyczne obiektu. [1,4]



Fot. 6. Zestawienie mostów starego i nowego [5.1.5].

Phot. 6. Panoramic view of both bridges in Cernavoda [5.1.5].

W przekroju poprzecznym most jest analogiczny do mostu Borcea Highway and Railway Bridge. Estakady dojazdowe od strony Fetești: dla linii kolejowej – w formie skrzynkowych dźwigarów stalowych z płytą ortotropową pomostu, dla ciągów drogowych – w formie blachownic stalowych z żelbetową płytą współpracującą. Liczba przęseł dojazdowych – 17, rozpiętości przęseł: $5 \times (60.4 + 60.9 + 60.4) + 2 \times 68.5\text{m}$. Łączna długość mostu wynosi: 1593,0 m.

Projekt autorstwa Biura projektowego inżynierii kolejowej ISPCF, z siedzibą w Bukareszcie; głównymi wykonawcami były 2 firmy (z siedzibą również w Bukareszcie): Kolejowo drogowa firma konstrukcyjna oraz Mostowa firma konstrukcyjna. [1, 5.1.3]

4. Most Türr István w Baja



Fot. 7. Widok ogólny mostu Türr István w Baja [5.2.1].

Phot. 7. General view of Türr István railroad bridge in Baja [5.2.1].

Kolejny z omawianych mostów leży na Węgrzech, na trasie Kiskunhalas – Bátaszék. Z początkiem XX wieku wszystkie przeprawy mostowe przez rzekę Dunaj lokalizowane były w okolicy Budapesztu i Nowego Sadu. Konieczność stałego połączenia kolejowego pomiędzy obydwooma miastami wymusiła budowę linii kolejowej (w tym także omawianego mostu).

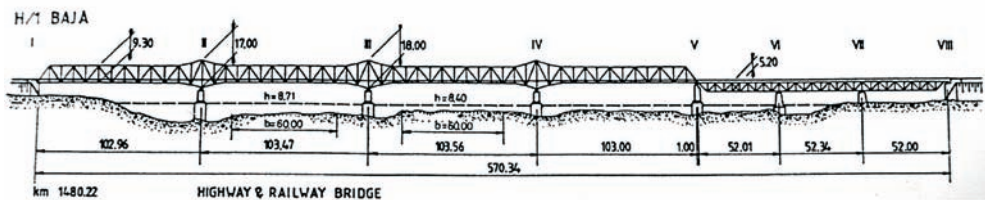


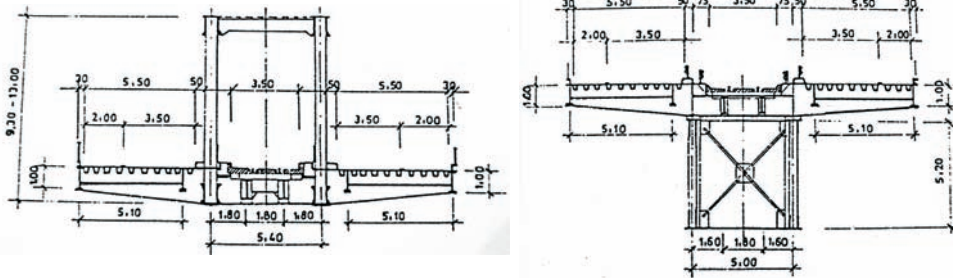
Fig. 6. Przekrój podłużny mostu [1].

Rys. 6. Longitudinal section of the bridge [1].

Most Türr István w Baja zbudowano w latach 1906-1909 pierwotnie jako kolejowy. W roku 1935 most poddano przebudowie, w wyniku której przez obiekt poprowadzono dodatkowo ruch drogowy. Ponieważ most miał ograniczoną skrajną prędkość, przejazd pojazdów mógł odbywać się wyłącznie wahadłowo. Jak większość mostów na Węgrzech w czasie II Wojny Światowej został on zniszczony (1944 r.). Po wojnie most odbudowano w latach 1948-1950 r. W trakcie odbudowy zaprojektowano nową formę obiektu, tak aby dać możliwość późniejszej separacji ruchu

drogowego od kolejowego. Przęsła główne zostały wzmocnione dając możliwość późniejszego zamocowania wsporników niosących pasy drogowe. Pomimo nowej formy i przewidywanego rozwoju komunikacji drogowej nie przewidziano zmiany w komunikacji kolejowej. Obecnie wysokość konstrukcji w świetle wynosi jedynie 8,71m, podczas gdy wymagana jest ze względów użytkowych wysokość 9,5m. [1, 3]

Dopiero w 1990 r. most poszerzono dobudowując wspomniane obustronne wsporniki z pomostem ortotropowym (grubość nawierzchni 12cm), dla ruchu drogowego po 1 pasie w obu kierunkach. W 1999 r. zaszła konieczność wzmocnienia konstrukcji nośnej dźwigającej jezdnie części drogowej. Prawdopodobnie konstrukcja okazała się zbyt wiotka w stosunku do wzrastającego ciężaru pojazdów przejeżdżających przez most. Wykonano wówczas stalowe rygle na wierzchu istniejącej konstrukcji nośnej, nadwieszono nad jezdniami, a następnie podwieszono do nich na cięgnach płyty ortotropowe.



Rys. 7. a), b)., 4.4. Przekroje poprzeczne mostu [1, 6].
Fig. 7. Cross-section of the bridge [1].



Fot. 8. Widok mostu z poziomu rzeki.
Phot. 8. View of the bridge seen from the river side [6].

Most jest 4-ro przęsłową kratownicą ciągłą typu N, z jazdą dołem, o zmiennej wysokości. Rozpiętości poszczególnych przęseł wynoszą $102.96 + 103.47 + 103,56 + 103 + 52.01 + 52.34 + 52$ [m]. Konstrukcja dwudźwigarowa o rozstawie kratownic głównych równym 5,4 m (w osiach). Wysokość ustrojowa kratownicy jest mniejsza w przęsłach: 9,30 m i zwiększa się do 13,00 m na podporach (pasy górny i dolny mają krzywoliniowy zarys w strefie momentów ujemnych – na odcinkach przyległych do podpór). Rozstaw podłużnic wynosi 1,8m. W pasie górnym kratownicy pomiędzy pasami podłużnymi znajdują się wiatrownice. Konstrukcja nośna tworzy układ zamknięty (wiązany górą). [3, 5.1.1, 5.2.2]



Fot. 9. Widok mostu z perspektywy pieszego [5.2.1].

Phot. 9. Türr István railroad bridge, view from a pavement [5.2.1].

Wszystkie fundamenty wykonywane były metodą kesonową, poprzez zatapienie żelbetowych skrzyń – kesonów, posadowionych 10-20m poniżej dna rzeki i wypełnionych betonem; przy wykorzystaniu metody pneumatycznej. Wymiary głównych filarów zlokalizowanych w korycie rzeki to 14,40m x 6,32 m. [1]

W częściach dojazdowych mostu od strony zachodniej zastosowano przęsła stalowe o konstrukcji kratowej typu N, z jazdą górą. Most, podobnie jak muzeum w Baja, nosi imię: Türr Istvana, węgierskiego bohatera, polityka i wojskowego, posiadającego bardzo burzliwy życiorys.

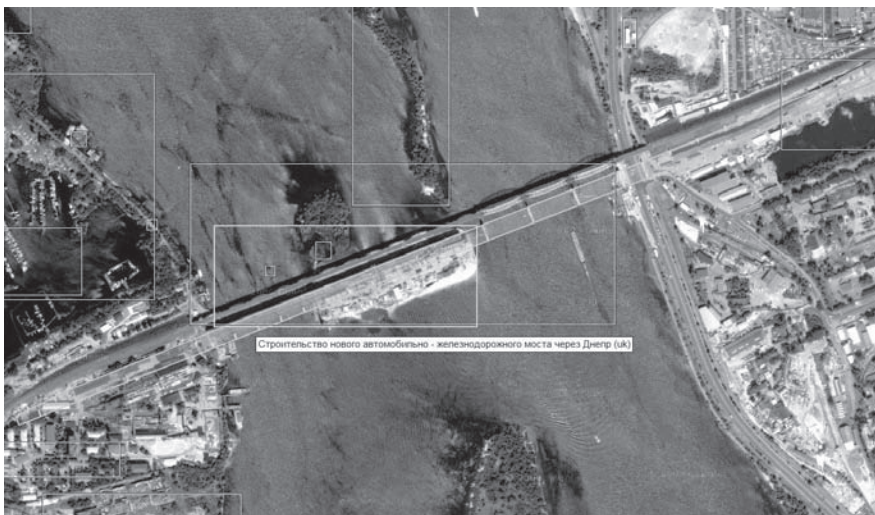
5. Nowy Darnitcki most kolejowo – drogowy

Nowy Darnitcki most kolejowo - drogowy jest aktualnie w końcowej fazie realizacji. Ma on 1100 m długości i położony jest 50 m na południe od istniejącego Darnitsky Railroad Bridge. Jest to trójprzęsłowy stalowy most łukowy z jazdą dołem. Łuki skrzynkowe typu Langer, nachylone w kierunku wnętrza mostu. W dwóch przęsłach wieszaki sztywne, w trzecim dodano ukośne zastrzały, tworząc

kratę typu N z parabolicznym pasem górnym – przypuszczalnie w celach montażowych, gdyż te 3 przęsła razem są aktualnie nasuwane podłużnie na podpory. Łuki langera z pasem dolnym pełnościennym w formie blachownicy o przekroju dwuteowym pochylonym zgodnie z płaszczyzną łuku. Poszczególne sekcje łączone są na śruby sprężające. Stężenia między łukami wykonano w formie skrzynek o przekroju prostokątnym. W części wspornikowej wykonano żebra otwarte.



Fot. 10. Widok nowego mostu kolejowo – drogowego – Darnitski z poziomu rzeki [6].
Phot. 10. Photography of a new Darnitski railroad bridge taken from the river [6].



Fot. 11. Zdjęcie satelitarne omawianego obiektu [5.1.4].
Phot. 11. Satellite photography of Darnitski bridge [5.1.4].

Most ma bardzo oryginalne pod względem formy filary wykonane z betonu zbrojonego. Na dojazdach zastosowano estakady o konstrukcji belkowej. Po ukończeniu na obiekcie będą zlokalizowane 2 tory kolejowe oraz 2 jezdnie po 3 pasy ruchu samochodowego. Ustrój nośny dla części drogowej stanowią 2 skrzynie prostokątne powiązane pomostem ortotropowym wykształconym między nimi. W części kolejowej pomost ma konstrukcję stalowego rusztu. Pod każdy tor przewidziano po 2 podłużnice.



Fot. 12. Widok jednego z łuków wsporczych mostu; Przekrój części drogowej [5.4.3].
Phot. 12. One of arches under construction; cross-section of bridge – road segment.

Budowa trwa od 10 grudnia 2003 r. Początkowo zakładano, że w połowie 2007 roku zostanie udostępniona do ruchu część kolejowa obiektu. Jednakże wiosną 2007 roku okazało się, że ze względu na wady wykonawcze jest to niebezpieczne. Zakończenie realizacji opóźniono, a co za tym idzie, planowany termin oddania obiektu do użytku: 1 stycznia 2009 r. (wg Ministra Transportu i Komunikacji Ukrainy Iosif Vinsky) nie został dotrzymany.

Obiekt położony jest w ciągu trasy: Kijów – Moskwa – Darnitsa. Obecnie w trakcie realizacji są dwa odcinki w/w trasy o łącznej długości 31.71 km. Planowane natężenie ruchu kolejowego: co 8 minut. [5.4.1]



Fot. 13. Widok mostów od strony koryta rzeki [6].
Phot. 13. Panoramic view of two Darnitcki bridges [6].

Przeprowadzone badania podpór wykazały, że filary mostu (niektóre spośród zbudowanych już ośmiu) nie będą w stanie wytrzymać przewidywanego obciążenia. Powodem jest fakt, że budowa rozpoczęła się bez spójnego projektu, a jedynie w oparciu o studium wykonalności. Oddział spółki „Planet BMK-Most” stwierdził, że osiadanie filara wyniosło około 30 cm i nie będzie ono miało wpływu na projektowaną jego nośność. Ponadto, projektanci muszą rozwiązać inny problem. Jak mówią w Ministerstwie Budownictwa, prace nad nowym obiektem prowadzone są zbyt blisko już istniejącego mostu kolejowego. To jest ingerencja w dno rzeki Dniepr, która może bardzo osłabić fundamenty istniejącego obiektu. Dodatkowo, sytuacja komplikuje się ze względu na konieczność pozyskania gruntów będących obecnie własnością kilku przedsiębiorstw. Problematiczne „tereny” wchodzą w zakres omawianej inwestycji. [5.4.2, 5.4.4]



Fot. 14. Widok filarów z poziomu rzeki [5.1.4].

Phot. 14. Pillars seen from the river [5.1.4].

6. Most Podolski



Fot. 15. Widok mostu Podolskiego w trakcie budowy [5.1.4].

Phot. 15. Podolski bridge under construction [5.1.4]



Rys. 8. Wizualizacja mostu Podolskiego[5.3.4].

Fig. 8. Computer visualisation of Podolski bridge [5.3.4].

Podilskiy Metro Bridge (znany również jako Most Podolski) znajduje się obecnie w fazie realizacji. Zlokalizowany jest on nad rzeką Dniepr w Kijowie. Prace nad jego budową rozpoczęto w grudniu 2003 roku a jej zakończenie planowane jest na 2010 – 2011 rok. Należy nadmienić, że miał on być oddany do użytku już w 2007 roku. Jednakże, czas realizacji został przełożony ze względu na komplikacje: m.in. trasa po stronie wschodniej poprowadzona jest przez prywatne tereny należące do mieszkańców.



Fot. 16. Widok ogólny konstrukcji [5.1.4].

Phot. 16. Overall view of the bridge construction [5.1.4].

Most o łącznej długości 7,5-kilometra jest elementem nowego ciągu komunikacyjnego złożonego z metra (przyszła podolsko-woskresenskiej linia) oraz 2 jezdni po 3 pasy ruchu samochodowego w obu kierunkach. W skład obiektu wchodzi 3 mosty główne stalowe (zespolone): Dnipro, Gavan i Desenke odpowiednio

o długościach 545m, 566m oraz 314m, ponadto 4 wiadukty żelbetowe o całkowitej długości 780m oraz most nad jeziorem Raduga o długości 224m. W ramach w/w trasy przewiduje się również budowę 5 stacji metra. Most łączy Wyspę Rybalską na prawym brzegu Dniepru z lewym brzegiem Dniepru i przebiega także nad Wyspą Truchanowską. [5.1.1, 5.3.2]



Rys. 9. Przekrój podłużny mostu [5.3.4].

Fig. 9. Schematic longitudinal section of Podolski bridge [5.3.4].

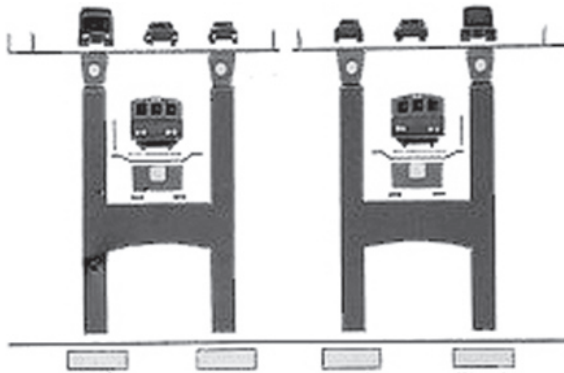


Rys. 10. Schemat realizowanej inwestycji [5.3.4].

Fig. 10. Schematic plan of a new road segment [5.3.4].

Omawiany most jest konstrukcją dwupoziomową. W dolnej części poprowadzona została trasa metra, w górnej zaś jezdnie drogowe. Podpory żelbetowe uformowano w kształcie litery H. Dolne przęsło zespolone (stal – beton): dźwigar skrzynkowy stalowy przeznaczony oddzielnie dla każdego toru metra. W części górnej (zwieńczenie litery H) znajdują się 2 skrzynki stalowe, współpracujące oddzielnie z żelbetowym pomostem drogowym.

W części nurtowej konstrukcja zmienia się z kratownicy o stałej wysokości (krata typu W) w stalowy łuk (Langera) o rozpiętości 250m z belkowym przęsłem kratowym, 2 poziomowym, podwieszonym. Wieszaki w omawianym moście występują w układzie zygzakowatym.



Rys. 11. Przekrój poprzeczny mostu [5.3.4].

Fig. 11. Cross-section of the bridge [5.3.4].



Fot. 17. Widok przęsła nurtowego w trakcie budowy [6].

Phot. 17. Panoramic view of Podolski main bridge span under construction [6].

Firma przygotowująca projekt dla władz Kijowa pochodzi z Kazachstanu: Tek – Yen. Most wzbudza wielką dyskusję społeczną. Poddano w wątpliwość celowość realizacji omawianego obiektu mostowego. Według planu miejskiego z 1966 r. stwierdzono potrzebę budowy co najmniej siedem mostów przez Dniepr w Kijowie. Obecnie, 40 lat po zatwierdzeniu planu w Kijowie, są tylko cztery mosty. W okresie od 1995 do 2005 r. natężenie ruchu na mostach wzrosło trzykrotnie. Pojemność mostu Podolskiego planowana jest na 59,1 tysięcy samochodów na dobę. To oczywiście nie rozwiązuje problemu całkowicie ale, biorąc pod uwagę prowadzony przez miasto tranzyt, pomoże w znacznym stopniu ulżyć sytuacji. [5.3.1, 5.3.4]



Fot. 18. Moment zmiany typu konstrukcji przęsła głównego [6].

Phot. 18. Different types of main bridge span construction [6].

7. Wnioski

Zaprezentowana w pracy konstrukcja mostu Króla Karola I w miejscowości Cernavoda zalicza się do kategorii mostów wspornikowych, dość popularnych na przełomie XIX i XX w. W takim układzie konstrukcyjnym w roku 1889 r. powstał most wspornikowy Firth of Forth w Szkocji. W czasie swojego powstania uznawany

był za największe osiągnięcie sztuki inżynierskiej. Największy kolejowy wspornikowy most tego typu wybudowany jest na rzece Św. Wawrzyńca (okres powstania nieco późniejszy, bo w 1917r.; przy współudziale Rudolfa Modrzejewskiego). Mosty wspornikowe weszły do kanonu mostownictwa stalowego jako odrębny rodzaj konstrukcji.

Most Turr Istvan w Baja jest przykładem dzieła, które ewoluowało na przestrzeni długiego czasu swojej eksploatacji. W nawiązaniu do rosnących potrzeb komunikacyjnych konstrukcja była poszerzana, wzmacniana i do dnia dzisiejszego spełnia stawiane jej wymagania.

Most Darnicki w zakresie technologii montażu stanowi przykład stosowania we współczesnym budownictwie mostowym nowoczesnych technologii (nasuwanie podłużne). Zastosowanie wspólnej konstrukcji nośnej dla ruchu kolejowego i samochodowego jest również charakterystyczne dla współcześnie realizowanych dużych przepraw mostowych.

Przy budowie mostu Podolskiego stosowane są również nowoczesne technologie montażu. Wykorzystywana jest metoda nasuwania podłużnego w odniesieniu do kratownicowego ustroju nośnego. W obiekcie w części przęsła nurtowego zastosowany jest kratownicowy 2-poziomowy ustrój nośny dla przeprowadzenia metra i 2 części drogi. Rozwiązania 2 poziomowe stanowią bardziej ekonomiczny sposób przekraczania rzeki niż prowadzenie metra pod jej dnem. Takiego rozwiązania nie zastosowano np. w układzie komunikacyjnym w Warszawie przy budowie mostu Świętokrzyskiego, nawet przewidując rozwój: planowanej drugiej nitki metra. Podwieszenie 2 poziomowej kratownicowej konstrukcji nośnej do łuku stalowego wpisuje się do grupy odważnych rozwiązań stosowanych obecnie przy pokonywaniu przeszkód średnich i większych rozpiętości.

Literatura

- [1] Ivanyi M., *Bridges on the Danube Catalogue*, Second International Conference BRIDGES OVER THE DANUBE Bucharest September 1995 r.
- [2] Tyrrell H. G., *History Of Bridge Engineering*, Requena Delgado 2007 r.
- [3] Szelągowski Fr., *Mosty metalowe*, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności 1970 r.
- [4] Ponnuswamy S., *Bridge engineering*, New Delhi Tata McGraw-Hill, 2008 r.

Internet:

- [5] <http://en.structurae.de/>
- [6] http://www.absoluteastronomy.com/topics/King_Carol_I_Bridge
- [7] <http://en.wikipedia.org/wiki/Cernavodă>
- [8] <http://www.panoramio.com/map/>
- [9] <http://www.artline.ro/>
- [10] <http://art-historia.blogspot.com/2008/08/podul-de-la-cernavoda.html>
- [11] <http://railpictures.net/>
- [12] <http://books.google.com/>
- [13] <http://www.tekyen.com/>
- [14] http://en.wikipedia.org/wiki/Bridges_in_Kiev
- [15] http://en.wikipedia.org/wiki/Podilsko-Voskresenska_Line

- [16] http://www.absoluteastronomy.com/topics/Bridges_in_Kiev
[17] http://en.wikipedia.org/wiki/Darnytsia_Railway_Station
[18] <http://www.dsnews.ua/infrastructure/>
[19] <http://100m2.com.ua/news/6596.html>
[20] <http://www.uz.gov.ua/?lng=uk>
[21] Flaga Łukasz: Zdjęcia ze zbiorów własnych.

Selected construction and technological problems of middle span length steel bridges based on examples over the Danube and Dnieper river

Karol Ryż¹, Łukasz Flaga²

¹ *Cracow University of Technolnogy, Faculty of Civil Engineering,*

Institute of Building Materials and Structures, Chair of Bridges and Tunnels

² *Lublin University of Technology, Faculty of Civil Engineering and Architecture,
Chair of Architecture, Urban Design and Spatial Planning, e-mail: maggius@interia.pl*

Abstract: Every example of bridge both the aesthetic appearance and technological solutions are unique. Differences are a result of a various historical events, neighbour impact and evolving capabilities of bridge building. Based on the unique features of bridge examples taken into consideration one reveals evolution technology of bridge building in time. The aim is to present some examples of steel bridges which have been considered successful. Bridges are still in use. Each of them was created in different period of time. It shows the altered bridge building idea, fluctuation of trend. The successful design was able to have been improved during time when increasing road traffic forced engineers to adapt bridges into new conditions. Bridge builders found a positive solution to every appeared problem. It help to preserve bridges from being rebuild and clearly showed that bridge building is the finest domain of civil engineering.

Key words: bridge, steel, beam, road traffic, engineering, aesthetic, design, bridge preserve, Danube river, Dnieper river.

