

WARSZAWSKIE TOWARZYSTWO POLITECHNICZNE

SPRAWOZDANIA I PRACE

TREŚĆ: *Prof. Dr. Inż. St. Kunicki* — O systemie mostu zwodzonego obrotowego z dwoma przęsłami symetrycznymi statycznie wyznaczalnymi. *Prof. Dr. Inż. W. Wierzbicki* — Wielokrotne dźwigary drewniane jako układy hiperstatyczne. *Dr. Inż. B. Szczeniowski* — O zagadnieniu wyznaczania przewodności cieplnej.

O SYSTEMIE MOSTU ZWODZONEGO OBROTOWEGO Z DWOMA PRZĘŚLAMI SYMETRYCZNYMI STATYCZNIE WYZNACZAL- NEMI, ZAPROJEKTOWANYM PRZEZ Prof. Dra Inż. ST. KUNICKIEGO

Zastosowanie tego systemu do mostów zbudowanych na odnogach Balda i Buzan delty rzeki Wołgi (w Rosji) około miasta Astrachania, na Kolei Żelaznej Riazańsko-Uralskiej.

Napisał Prof. Polit. Warsz. Dr. Inż. ST. KUNICKI

b. Rektor Inst. Inż. Komun. w Petersburgu, b. Vice-Prezes Rady Inżynierskiej,
b. Prezes Komisji Mostowej, b. Radca Tajny, Vice-Prezes Francusko-Polskiego
Związku Inżynierów, Członek „Société des Ingénieurs Civils de France”.

(Praca, referowana na posiedzeniu naukowym W. T. P. w dniu 16.V 31 r.).

W 1909 roku otwarty został prawidłowy ruch na dwóch dużych mostach z miękiej stali (żelazo zlewne), zbudowanych w latach 1907—1908 na Astrachańskiej linii Towarzystwa Riazańsko-Uralskiej Kolei Żelaznej, a mianowicie:

- 1) na moście Astrachańskim w pobliżu dużego miasta tegoż nazwiska na rzece Balda, odnodze delty rzeki Wołgi przy ujściu jej do morza Kaspijskiego, i
- 2) na rzece Buzan, innej odnodze tejże delty.

W każdym z tych mostów były zwodzone części, a mianowicie—jedna w moście Buzańskim i dwie w moście Astrachańskim (na rzece Balda), po jednej na każdej z odnog tej ostatniej rzeki, rozdzielonych wyspą.

Mosty zwodzone (czyli mosty—maszyny) były zaprojektowane jako mosty obrotowe symetryczne, posiadające po dwa równe przęsła o rozpiętości w świetle po 32 metry, z jazdą dołem pod jeden tor normalnej kolei żelaznej, ale z przysposobieniem do ruchu kołowego, w przerwach między przejściem pociągów, wskutek czego jezdnia przedstawiała na całej szerokości między głównymi dźwigarami powierzchnię ciągłą z drewnianych bali.

Ponieważ ten projekt przedstawia pewne pomysły nowe i oryginalne, zatem krótka wzmianka o tym przedmiocie możeby zainteresowała techników.

Zasadnicza idea projektu jest zrozumiała z rysunku (fig. 1 *).

Dźwigary mostu zwodzonego są urządzone tak, żeby w każdym ich położeniu (t. j. przy moście otwartym dla żeglugi, czy też zamkniętym) — pracowały jako *statycznie wyznaczalne* (fig. 2).

*) rysunki patrz w tekście francuskim.

Sposoby otrzymania konstrukcji statycznie wyznaczalnej.

Osiągnięto ten rezultat przez urządzenie otworów (oczy) w prętach oczkowych (eye-bars) BC i $B'C$ (fig. 2) w punkcie C w ten sposób żeby te otwory miały większą średnicę i były ekscentryczne względem cylindrycznego poziomego sworznia, umocowanego w dole wahacza KC (fig. 3).

Przy zamkniętem położeniu mostu dla żeglugi (t. j. przy przygotowaniu go dla ruchu pociągów) — w prętach BC i $B'C$ — nie ma żadnej osiowej reakcji, nie są one naciągnięte, lecz spoczywają swobodnie na dwóch podporach w punktach B i C , oddając mu tylko swój ciężar własny. Każdy z dwóch dźwigarów mostu zwodzonego leży w tym wypadku swobodnie na dwóch podporach A i G i odpowiednio A' i G' , co przedstawia układ *statycznie wyznaczalny*. Przy otwieraniu mostu dla żeglugi najpierw nadaje się stopniowy ruch obrotowy na pewien kąt dolnym częściom (GF) łożysk oporowych (G i G') dźwigarów mostu; w ten sposób jak gdyby podginały się kolana na przegubach G i G' (fig. 1, 2 i 4).

Wskutek tego końce dźwigarów obniżają się i dźwigary zaczynają się obracać około rzeczywistych przegubów A i A' , w następstwie czego punkty węzłowe B i B' dźwigarów obracają się około punktów A i A' aż do chwili naciągnięcia prętów BC i $B'C$.

W tem położeniu dźwigary się już nie opierają na zewnętrznych filarach w punktach G i G' , ale są jakby zamocowane jednym końcem w punktach A i C i odpowiednio A' i C , przedstawiając znów i w tym wypadku *układ statycznie wyznaczalny*.

Trzy przeguby rzeczywiste A , B i C i odpowiednio A' , B' i C , przedstawiają łuk trójprzegubowy, składający się z *dwóch prostoliniowych prętów* (np. AB i BC), na którym wisi odpowiedni dźwigar mostu (fig. 5).

Cechy charakterystyczne systemu.

W ten sposób — mamy pierwszą charakterystyczną cechę rozpatrywanego systemu mostu zwodzonego obrotowego — *statyczną wyznaczalność* (choć spoczywa ona na trzech podporach).

Drugą cechą osobiłą tego mostu jest znaczny stosunek średniej wysokości ($h_m = 9$ m) dźwigaru do jego rozpiętości ostatecznie przyjętej ($l = 34,8$ m)

$$\frac{h_m}{l} = \approx 0,26,$$

t. j. trochę więcej niż jedna czwarta, co daje znaczną ekonomję w wadze metalu.

Trzecią cechą charakterystyczną tego projektu jest wybór profilu poprzecznych przekroi składowych elementów dźwigarów. Wszystkie pręty głównych dźwigarów otrzymały *przekroje skrzynkowe* w celach większej sztywności i zmniejszenia wagi. Na końcach każdego dźwigaru urządzone zostały sztywne ramy ukośne.

Wiatrownice były zaprojektowane w formie litery K dla ekonomji w metalu.

W obliczeniu mostu największe parcie było przyjęte 235 kg/m^2 . Dla zmniejszenia wpływu wiatru na naprężenia w pasach głównych dźwigarów AG (fig. 2) zostały w *ostatecznym projekcie* powiększone odległości między węzłami dźwigarów, a mianowicie przyjęto $5,8$ m (zamiast $4,3$ m); patrz (fig 6), przyczem szerokość wieży między osiami jej słupków przyjęto $5,6$ m.

Czwartą osobiliwością tego mostu jest skoncentrowanie mechanizmów do poruszania mostu w jednym punkcie, a mianowicie w górnym piętrze wieży, stojącej pośrodku mostu nad grubym środkowym filarem o średnicy 10-metrowej.

Sekcja maszyn jest pomieszczona w trójkątnej przestrzeni wieży, formującej jakby mały domek, do którego się wchodzi po żelaznych schodkach, urządzonych wzdłuż skosu wieży (fig. 2). Naokoło pomieszczenia maszynowego znajduje się balkon służbowy.

Most zwodzony obraca się na tarczy obrotowej (turn-table) za pomocą systemu kół, złączonych ze środkową osią pionową. Ta oś nie przejmuje na siebie żadnego obciążenia, służąc tylko jako kierownica ruchu obrotowego.

Jak już wspomniano wyżej w punktach A, A', B, B', C, G i G' — urządzone są rzeczywiste przeguby.

Podwójne pręty oczkowe (eye-bars) BC i $B'C$ — zostały wykonane z wysokowartościowej stali, a mianowicie ze stali niklowej (nickel-steel) — dla większego bezpieczeństwa, gdyż reakcje w tych prętach są bardzo wielkie i pręty te mają ważne znaczenie, gdyż na nich wiszą dźwigary mostu w czasie, kiedy jest on otwarty dla żeglugi.

Sekcja maszyn (motorów i mechanizmów).

W sekcji maszyn, przedstawiającej w planie prostokąt, są pomieszczone wzdłuż przekątnej tego prostokąta dwa krzyżujące się w planie główne wały, leżące jednak w różnych poziomach. Jeden z nich służy do ruchu obrotowego, a drugi do ruchu pionowego końców dźwigarów (t. j. do opuszczania ich, lub podnoszenia) podczas otwierania, lub zamykania mostu dla żeglugi.

Dwa silniki naftowe *) systemu polskiego Ursus, każdy o mocy 15 HP, znajdują się w pomieszczeniu maszyn, przyczem jeden z nich jest zapasowym. Silniki te były dostarczone przez polską fabrykę „Ursus” w Warszawie, wskutek rekomendacji autora projektu mostu.

Oprócz tego były ustawione ręczne mechanizmy dla poruszania mostu na wypadek zepsucia się silników naftowych.

Strop pomieszczenia maszynowego został wykonany na belkach żelaznych z blachy falistej zapełnionej i pokrytej betonem. Belki żelazne stropu zostały wzmocnione z dołu przez trapezowe podciągę z okrągłego żelaza. Pokrycie dachu zostało wykonane z blachy falistej.

Zalety projektu.

Zalety projektu są następujące:

- 1) Prostota konstrukcji.
- 2) Łatwość i ścisłość obliczenia, ponieważ konstrukcja jest *statycznie wyznaczalna*.
- 3) Stosunkowo nie bardzo wielki ciężar własny dźwigarów (4,2 tonn/metr.) jeśli przyjąć pod uwagę ciężar jezdni służącej i pod kolej żelazną i do ruchu kołowego i umyślnie zmniejszenie dopuszczalnych napięć żelaza dla osiągnięcia większej sztywności dźwigarów mostu zwodzonego, oraz zmienność znaku naprężeń przy dwóch różnych pozycjach dźwigarów;
- 4) znaczna sztywność dźwigarów;
- 5) scentralizowanie mechanizmów w jednym miejscu.

Po danych technicznych dotyczących się właściwie *mostu zwodzonego*, może być interesujące zaznajomić się z danymi ogólnego charakteru dotyczącymi się całości mostów Astrachańskiego i Buzańskiego.

*) Dla ekonomii paliwa faktycznie używano mazutu, czyli tak zwanych „ostatków naftowych”.

Most Astrachański (na rzece Balda).

Na fig. (7) przedstawiony jest ogólny widok tego mostu o całkowitej długości równej jednemu kilometrowi (469 sążni rosyjskich^{*)}). Most przecina dwie odnogi rzeki Balda (Krzywą Baldę i Wielką Baldę) i wyspę, położoną między nimi, która jest zatopiana przez wysokie wody.

Największa ilość (wydatek) wód przepływających tą rzeką dochodzi do 5500 m³/sek. Suma otworów w moście do przepływu wody stanowi 873,5 metrów.

Most składa się z 19 przęseł, opierających się na 20 podporach (dwa przyczółki i 18 filarów).

Wzniesienie dźwigarów z jazdą dołem nad wysokimi wodami stanowi 6,2 m. Różnica poziomów wód wysokich i zwyczajnych stanowi 3,7 m. Spód szyny wznosi się o 1,32 m nad dolną krawędzią dźwigarów.

Głębokość posadowienia fundamentów dużych filarów od poziomu zwyczajnych wód jest:

maksymalna do 28,6 m,

minimalna do 18 m.

Rodzaj gruntu i łoża rzeki — drobny piasek.

Filary były fundowane na kesonach za pomocą zgęszczonego powietrza.

Waga metalu budowy wierzchniej mostu (nie licząc szyn, kontr-szyn, złącz i mechanizmów) wynosiła około 3604 tonn.

Obliczenie mostu było wykonane według norm rosyjskich z 1896 roku, ponieważ linja Astrachańska uważana była za linję drugorzędnego znaczenia.

Koszt jednostki metalu mostu Astrachańskiego był stosunkowo niewielki, a mianowicie 3 rb. 21 kopiejek za pud, licząc z montażem i transportem.

Cały koszt metalu tego mostu (licząc 219800 pudów) przedstawił sumę 705558 rubli.

Cały most z podporami, z jezdnią i mechanizmami, kosztował trochę więcej niż dwa miliony rubli.

Projekt całego mostu Astrachańskiego był wykonany (razem ze zwodzonemi częściami) przez autora tego artykułu. Fotografie (fig. 8 i 9) pokazują montaż mostu Astrachańskiego. Na fig. 8 widać, że most zwodzony był montowany na rusztowaniach ustawianych wzdłuż rzeki, później zaś był obrócony o 90°, żeby zająć swoje miejsce ostateczne.

Fig. 9 pokazuje widok perspektywiczny mostu podczas montażu we wrześniu 1908 roku.

Wzmianki o moście Astrachańskim znajdują się w następujących pracach:

I. W pracy profesora A. Rhon (Zürich, 1910) p. t. „Bemerkenswerte Brückenbauten der drei letzten Jahre 1907/1909” (Rascher, Zürich, 1910, strona 14 i 15).

W tej pracy wspomniano tylko o dużych przęsłach mostu Astrachańskiego o rozpiętości $l = 109$ m, jako o moście przez rzekę Balda.

II. W pracach inżyniera K. Openheima, pisanych po rosyjsku, a mianowicie:

1) „Mosty przez Wołgę i jej deltę”. Piotrogród 1915,

2) „Zarys rozwoju mostów drogowych w Rosji” Piotrogród, 1916.

III. W pracy prof. E. Patona p. t. „Co wiedzą zagranicą o rosyjskich mostach”? Kijów, 1908.

^{*)} jeden sążeń rosyjski = 2,133 metra.

Most Buzański.

Fig. 9 pokazuje ogólny widok mostu Buzańskiego. Składa się on z siedmiu przęseł na ośmiu podporach.

Pełna długość tego mostu wynosi 700 metrów. Suma otworów dla przepływu wód jest 647 metrów.

Zwraca uwagę w tym moście dźwigar dwuwspornikowy, ogólnej długości 228 metrów, w którym średnia część między podporami ma rozpiętość 164 metry, a każdy z wsporników ma długość po 32 metry.

Górny pas tego dźwigara przedstawia kombinację pięciu łuków parabolicznych. Waga tego dźwigaru dwuwspornikowego stanowi 2086 tonn. Całkowita waga metalu budowy wierzchniej mostu Buzańskiego stanowi 3941 tonn. Koszt jednego puda metalu tego mostu, z transportem i montażem, stanowił 3 ruble 60 kop.

Projekt *stałych* części tego mostu był wykonany przez ś. p. profesora M. Belebubskiego, przy współudziale inżyniera B. Person'a.

Projekt zwodzonej części mostu Buzańskiego był wykonany, według opisanego wyżej systemu autora tego artykułu, przez tegoż autora.

Wykonanie metalowej konstrukcji mostu Astrachańskiego było uskutecznione przez Kołomieńską Fabrykę (m. Kołomna pod Moskwą), zaś mostu Buzańskiego przez Fabrykę Budowy Okrętów w Mikołajewsku, na brzegu morza Czarnego.

Projektując mechanizmy opisanych mostów zwodzonych, autor tego artykułu wiele skorzystał z idei znakomitego naszego rodaka inżyniera amerykańskiego i francuskiego, (przez swoją edukację), Pana Doktora Inż. Ralfa Modjeskiego, opisanych w dziele Charles Wright „The Designing of Draw-Spans” i dotyczących się specjalnie mostu obrotowego „Rock-island-Bridge”.

Autor tego artykułu uważa za miły obowiązek wyrazić na tem miejscu swoje głębokie podziękowanie znakomitemu inżynierowi amerykańskiemu.

Dla obecnego sprawozdania autor artykułu niniejszego, oprócz wspomnianych wyżej źródeł, głównie opierał się na osobistych wspomnieniach, gdyż prawie wszystkie materiały, rysunki i obliczenia zostały po rewolucji bolszewickiej w Rosji, razem z dużą częścią biblioteki autora.

Na Kongresie Międzynarodowym Konstrukcji Metalowej w Liège we wrześniu 1910 r. podczas dyskusji o mostach zwodzonych, autor tego artykułu wygłosił mały referat o powyższym systemie mostów zwodzonych i zwrócił uwagę audytorjum na zastosowanie w tym wypadku łuku o trzech przegubach (fig. 5).

Wymiana myśli technicznych.

Ta krótka notatka pokazuje nam ogromny pożytek wymiany idei technicznych (że tak powiem umysłowej współpracy) i wogóle solidarności między inżynierami różnych krajów.

Widzimy tutaj jak pomysły techniczne polskiego inżyniera (ze szkoły francusko-rosyjskiej), skombinowane z ideami amerykańsko-polskiego inżyniera (ze szkoły francuskiej) urzeczywistniły się w konstrukcjach, wzniesionych w dalekich stepach południowej Rosji, na brzegach morza Kaspijskiego, dając jednocześnie zbyt produktom polskiego przemysłu maszynowego.