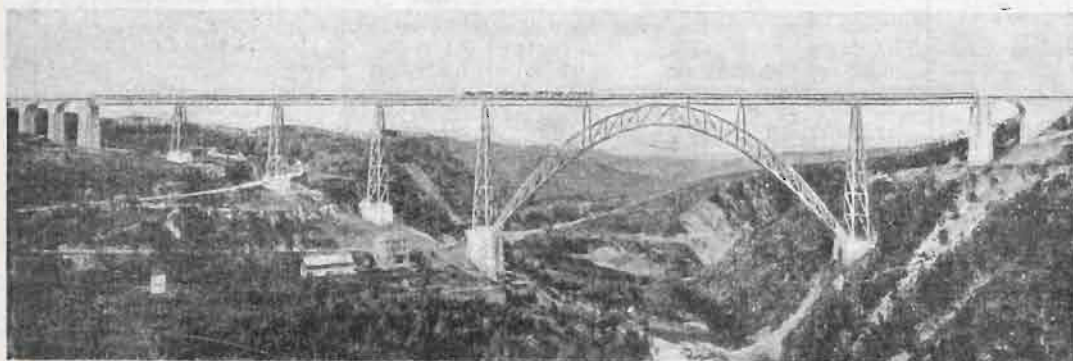


Krótki zarys rozwoju budowy mostów kolejowych w ciągu stulecia 1825—1925, ze szczególnem uwzględnieniem prac Inżynierów-Polaków.¹⁾

Napisał prof. dr. inż. St. Kunicki.

Myśl zastosowania do mostów wiszących lin z drutu stalowego powstała we Francji²⁾, gdzie wielka ilość takich mostów była wybudowana na szosach, zwłaszcza w pierwszej połowie zeszłego stulecia. Myśl ta w r. 1840 była przeniesiona przez Niemca Röbling'a do Ameryki. Angielski zaś sposób budowania mostów wiszących polegał na zastosowaniu dźwigarów łańcuchowych.

Przed r. 1870 budowano jeszcze mosty wiszące łańcuchowe na drogach kołowych, potem już (z wyjątkiem mostu Elżbiety na Dunaju w Budapeszcie, o rozpiętości 290 m, zbudowanego w 1903 roku) większych takich mostów nie wykonywano.



Rys. 14. Most łukowy ponad doliną Garabit we Francji, rozpiętość 165 m, wysokość 122 m.

Z mostów wiszących łańcuchowych bliżej nam znanych wspomniemy tutaj most na rz. Dniepr w Kijowie, o największej rozpiętości 134 m, zbudowany w latach 1847 — 1853 przez znanego angielskiego inżyniera Vignoles'a i zburzony podczas ostatniej wojny. Most ten przetrwał sześćdziesiąt kilka lat, choć już w latach 1897 — 1899 został częściowo przebudowany według projektu inż. Łoskiego (jezdnia była podwyższona, celem większego wzniesienia mostu nad wodę i udogodnienia żeglugi, drewniane belki usztywniające systemu Howe'a i belki jezdni drewniane zastąpiono żelaznami). Przed samą wojną światową niektóre części łańcuchów zakotwienia w tym moście, które jak się okazało przetrzymały w 12 do 20% przekroju, były też zastąpione nowymi³⁾.

Przy rozpiętościach do 300 m mosty sztywne belkowo-wspornikowe lub łukowe mogły konkurować z mostami wiszącymi linowymi, jak to wykazały konkursy na budowę większych mostów w czasie od r. 1890.

Dla większych zaś rozpiętości najekonomiczniejszymi okazały się mosty wiszące. We Francji znaczne postępy w budowie mostów wiszących na linach stalowych osiągnięto od roku 1885 dzięki zastosowaniu drutów z wysokowartościowej stali, oraz dzięki ulepszeniom konstrukcyjnym wprowadzonym przez inżyniera Arnodin'a. Te postępy wyrażały się w wykonaniu całego szeregu mostów wiszących — promów (ponts — transbordeurs) we Francji, w Hiszpanii i w Anglii. Są to mosty w Rochefort, Bizerte, Rouen, Nantes, Marsylji, Brest, w Bilbao w Hiszpanii, w Newport w Anglii.

W Europie zaczęto po 1890 r. budować łukowe i belkowo-wspornikowe mosty żelazne kolejowe o rozpiętościach powyżej 150 m. Z łukowych mostów kolejowych wskażemy mosty: prowadzący przez dolinę Garabit we Francji, o rozpiętości 165 m, przy wysokości 122 m (rys. 14), na rzece Viar (1896 — 1902), na linii Carmaux — Rodez w południowej Francji, o rozpiętości 220 m, oraz na rzece

Douro koło Porto w Portugalji (1885 r.) o rozpiętości 160 m, według projektu inżyniera francuskiego Eiffel'a.

Przy budowie całego szeregu mostów łukowych na kolejach Alpejskich w dawnych granicach Austrii, mianowicie żelaznych o rozpiętości do 120 m (Angerschluhtbrücke) i sklepionych o rozpiętości do 85 m (most na Isonzo na linii Assling — Tryjest) brał udział w projektowaniu i w wykonaniu robót nasz rodak, inżynier Zdzisław Gubrynowicz, obecnie naczelnik wydziału mostów w M. Kol.

Budowa mostów łukowych jest (ze względów ekonomicznych) korzystna ponad głębokimi dolinami i przy gruntach twardych (np. skalistych).

Z mostów kolejowych belkowo-wspornikowych zasługujących na uwagę, oprócz wyżej wskazanych mostów Forth Bridge (rys. 5) i Quebec Bridge (rys. 6 i 7) i zbudowanego w Ameryce mostu Blackwell Island Bridge (1901-1909) na East River w New Yorku, o rozpiętości 360 m, należy zacytować jeszcze most zbudowany w Rosji w 1908 roku na rzece Dniepr koło miasta Aleksandrowska (w miejscowości zwanej Wilczem Gardłem). Most ten o rozpiętości 192 m jest dwuniętrowy: pomost górny jest przeznaczony dla kolei żelaznej, dolny zaś dla ruchu kołowego. Wykonany został według projektu inżyniera komunikacji, Bazylego Łaty.

W Rosji, prócz tego, przed wojną światową zostały zbudowane następujące mosty kolejowe belkowo-wspornikowe: na odnodze Buzańskiej delty rzeki

1) Ciąg dalszy do str. 39 w Nr. 4 r. b.

2) Inżynier Marc Seguin (1821 r.).

3) Wspomniemy tu też m. in. o 3-ch mostach łańcuchowych, zbudowanych w okresie 1824 — 1826 w Petersburgu, o rozp. 36, 43 i 54,8 m, oraz o projekcie wykonanym przez profesorów Instytutu Inż. Komunikacji w Petersburgu, Francuzów, pp.: Lame'go i Clapeyron'a, żelaznego mostu wiszącego na Newie (1820) o rozpiętości 311,5 m.

Wołgi, na kolei Astrachańskiej (1908 r.) i na Wołdze pod Symbirskiem o największej rozpiętości przeszła około 160 m. Mosty te zostały wykonane według projektów znanego prof. inż. Mikołaja Bielelubskiego, przyczem projekt zwodzonej obrotowej części mostu Buzańskiego został wykonany przez autora artykułu niniejszego.

Robotami przy budowie mostów Buzańskiego, Symbirskiego i Kazańskiego na rzece Wołdze kierował zmarły niedawno inż. Ignacy Ciszewski, b. nacz. robót budowy linii średnicowej węzła Warszawskiego.

Większe żelazne mosty kolejowe w Rosji (Jarosławski na Wołdze, na Amu-Darji i inne) wykonywał znany specjalista budowy mostów inż. St. Olszewski, obecny nacz. rob. linii średnic. węzła Warszawskiego.

Z mostów żelaznych kolejowych, wykonanych według projektów inżynierów Polaków, należy jeszcze wskazać drugi belkowy most kolejowy na Wiśle w Warszawie (obok mostu Chrzanowskiego) zaprojektowany na powiększone obciążenia ruchome, z kratownicą trójkątną o dużych polach z dodatkowymi słupkami i wieszakami. Most ten został zaprojektowany przez inż. Aleksandra Pstrokońskiego, długoletniego i doświadczonego współpracownika prof. Bielelubskiego. Inżynier A. Pstrokoński zaprojektował wielką ilość mostów, wykonanych na kolejach żelaznych w Rosji i oprócz tego most na rzece Wiśle na średnicowej linii kolejowej w Warszawie.

Z mostów kolejowych wyróżniających się artystycznym wykonaniem filarów i przyczółków, licowanych granitem Wisuńskim, możemy wskazać na most na Czerwonej Bałce, na Saksagańskiej odnodze kolei żelaznej Jekaterynińskiej (Krzywy Róg), zbudowany w roku 1897 przez naszego rodaka inż. Franciszka Borudzkiego. Most ten, zbudowany nad przepaścią, ma filary o wysokości około 38 m o grubości na górze tylko 2,4 m i składa się z trzech przęseł: 31, 43 i 31 m, z dźwigarami półparabolicznymi z jazdą górną.

Z mostów kolejowych, przy których wykonane były specjalne roboty regulacyjne, zasługuje na uwagę most na rzece Bugu pod Małkiniem na linii Siedlice — Małkiń. Kierownikiem robót tego mostu był inżynier komunikacji (obecnie profesor Politechniki Warszawskiej) p. Aleksander Wasiutyński, który ogłosił drukami w Dzienniku Ministerjum Komunikacji całą monografię o tym moście.

W niepodległej Polsce w ostatnich latach wykonane były budowle mostów żelaznych kolejowych na Sanie koło Rozwadowa, pod kierownictwem Dyrekcji Radomskiej K. P. (inżynierowie prof. Pol. Warsz. Józef Federowicz, Staszewski i Strawiński) i na Niemnie w Grodnie *) wzamian mostu zburzonego podczas wojny światowej; ten ostatni most budowano pod kierownictwem Dyrekcji Wileńskiej K. P. (inżynierowie Bystrzanowski, Łopuszyński i Persidok).

Mosty kolejowe zwodzone.

Z mostów kolejowych ze zwodzonymi przęsłami, wykonanych w Rosji od r. 1906 do 1916, należy zacytować projektowany przez profesora d-ra inż. Stanisława Bełżeckiego (obecnie profesora Politechniki Warszawskiej) kolejowy most na rzece Don w Rostowie (1916 r.) z przęsłem zwodzonym przesuwa-

jącem się pionowo (w rodzaju mostu Waddel'a w Chicago na South-Halsted-Street), poruszaniem zapomoścą silników elektrycznych. Wieże metalowe, między którymi przesuwana się część zwodzona, stanowią jedną całość ze stałymi dźwigarami belkowymi dwóch przęseł sąsiednich, mającymi kształt ściągniętych łuków. Dwa przęsła stałe mają rozpiętość po 135 m, przęsło zwodzone zaś 65 m, — największą w mostach zwodzonych wogóle.

Prof. dr. inż. St. Bełżecki wykonał wielką liczbę mostów kamiennych i betonowych na Kaukazie i w innych miejscowościach Rosji i jest autorem cennych dzieł o racjonalnych formach sklepień, rzucających nowe światło na teorię sklepień.

Przy budowie mostów i dróg na Kaukazie położyli wielkie zasługi inżynierowie Polacy: inż. kom. Bolesław Statkowski przy budowie drogi Wojenno-Gruzińskiej i dróg żelaznych, inż. kom. gen. Chodźko i Stebnicki przy triangulacji tego kraju i przy wszystkich poczynaniach dla rozwoju jego kultury i cywilizacji.

Oryginalnego pomysłu mosty zwodzone projektował prof. dr. inż. A. Pszenicki (obecnie profesor i dziekan Wydz. Inż. Lądowej Politechniki Warszawskiej) w mostach na Newie: Pałacowym do ruchu kołowego w Petersburgu i kolejowym, również na tej rzece, o 30 kilometrów powyżej Petersburga. W mostach tych część zwodzoną tworzy łuk trójprzegubowy, składający się z dwóch skrzydeł, obracających się około osi poziomych, i automatycznie zamykający się w kluczu wskutek przesunięcia (w kierunku od osi obrotu do środka przęsła zwodzonego) środków ciężkości każdego z tych skrzydeł, przez odpowiednie odciążenie przeciwwag.

System prof. dr. inż. A. Pszenickiego był szczegółowo opisany w Przeglądzie Technicznym (tom 62, 1924 r. str. 511 i n.)*).

Oprócz wspomnianego wyżej obrotowego przęsła zwodzonego z dwoma otworami po 32 metry, wykonanego w moście Buzańskim, takie same dwa przęsła wykonane były w moście Astrachańskim na odnodze delty Wołgi pod miastem Astrachaniem. Ten most kolejowy na linii Riazańsko-Urańskiej o długości ogólnej około kilometra (przy największej rozpiętości przęseł 109 metrów) z dwoma przęsłami zwodzonymi, został zaprojektowany przez autora niniejszego artykułu (1906—1908), wraz z całym szeregiem mostów żelaznych kolejowych na drogach Południowo-Zachodnich, Poleskich, Zachodnio-Syberyjskich, Moskiewsko-Jarosławskiej, Północno-Donieckiej, Witebsk-Żłobin i innych.

Z zagranicznych systemów mostów zwodzonych zasługują na szczególniejszą uwagę systemy amerykańskie Strauss'a i Scherzer'a, które znalazły w ostatnich czasach szerokie zastosowanie w mostach kolejowych.

W moście Richmond Bridge w Ameryce nasz rodak inżynier dr. Ralph Modjeski wykonał oryginalną zwodzonym część obrotową, w której dowcipny rzekł mechanizmów zwraca na siebie uwagę; między innymi osobliwościami, mamy tu dwa wały główne w różnych poziomach, idące na krzyż przez całe po-

*) Dozór budowy mostu Pałacowego ze strony miasta Petersburga był powierzony naszemu rodakowi prof. d-rowi inż. Józefowi Stecewiczowi, znanemu ze swoich prac drukowanych o kolejach żelaznych, zwłaszcza o sprawach dotyczących się toru, oraz o tramwajach elektrycznych.

*) Patrz Przegląd Techniczny z r. 1923.

mieszczenie maszynowe (patrz Wright, Movable Bridges).

Mówiąc o inżynierach Polakach, którzy pracowali w Ameryce nad budową mostów i kolei żelaznych, nie możemy pominąć imion inżynierów Folkierskiego, Malinowskiego i Domeyki, którzy budowali w Peru i Chili koleje żelazne przez Kordyljery i poświęcili długie lata na podniesienie kultury technicznej i oświaty tych krajów. Inżynier Folkierski znany jest oprócz tego u nas w kraju, jako autor cennego podręcznika matematycznego: „Rachunek różniczkowy i całkowity”, którego posiadamy już dwa wydania.

Żelazne mosty do celów wojennych.

Rodak nasz, inżynier Brochocki, jest wynalazcą systemu mostów składanych, znanych we Francji pod jego imieniem. W czasie wojny światowej składane żelazne mosty na śrubach (szybko rozbieralne) były bardzo często używane. W Polsce były stosowane systemy Roth-Wagner'a, Luebecker'a, Kohn'a, przeważnie austriackie, w Rosji i we Francji mosty systemu Eiffel'a. Znane są także mosty składane systemu Cottrau i Henry.

Francuski inżynier wojskowy M. Leinekugel (Le Cocq) podczas ostatniej wojny światowej zaproponował zastosowanie mostów wiszących sztywnych swojego systemu do celów wojennych. Zaprojektował on wspornikowe mosty z wiszącymi wspornikami, oraz rozwinął zastosowania systemu Gislard'a.

Nowe warunki techniczne do obliczania żelaznych mostów kolejowych.

Masowe przewozy podczas wojny światowej ciężkich pociągów po mostach żelaznych, obliczonych na stosunkowo małe obciążenia, pokazały, że żelazo w mostach nie było dostatecznie wykorzystane i że można (pod warunkiem dobrego stanu fizycznego mostu żelaznego) dopuścić w nim nieco wyższe naprężenia niż przepisane w normach pierwotnych. Ta okoliczność, oraz jednocześnie możliwe zwiększenie stosunku wysokości dźwigarów do ich rozpiętości z $\frac{1}{3}$ do $\frac{1}{6}$, lub nawet w niektórych wypadkach do $\frac{1}{5}$, pozwoliły uniknąć niemal zupełnie powiększenia wagi nowych mostów, obliczonych na nowe, powiększone obciążenia.

Tendencje ku powiększeniu naprężeń dopuszczalnych w mostach ujawniły się prawie jednocześnie w Polsce, Niemczech i w Rosji.

Autor niniejszego artykułu zaproponował Min. Kolej wskazać niżej wzór do obliczania zasadniczych dopuszczalnych naprężeń żelaza zlewego w mostach żelaznych kolejowych*), uwzględniający dynamiczne działanie obciążeń.

Naprężenia te powinny być dla każdego pręta dźwigara mostowego indywidualne, zależne od warunków jego pracy.

*) wykonanych ze zwykłego mostowego żelaza zlewego, o najmniej wytrzymałości na rozciąganie 3700 kg/cm^2 , przy wydłużeniu nie mniejszym niż 20% i granicy płynności nie niższej od 2400 kg/cm^2 .

Wzór ten ma postać następującą:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_a}{1 + \mu \left(1 + \frac{\min S}{\max S} \right)}$$

dla zasadniczych naprężeń statystycznych (σ_s) wywołanych przez ciężar własny, obciążenie ruchome

$$\sigma_{s,w} = \frac{\sigma_{d,w}}{1 + \mu \left(1 + \frac{\min S_w}{\max S_w} \right)}$$

dla zasadniczych naprężeń statystycznych $\sigma_{s,w}$ spowodowanych przez ciężar własny i obciążenie ruchome, i i parcie wiatru.

We wzorach tych przyjęto znakowania następujące: σ_a — największe dopuszczalne naprężenie żelaza zlewego, pod działaniem ciężaru własnego i obciążenia ruchomego przy uwzględnieniu dynamicznego działania tego obciążenia; $\sigma_{d,w}$ — jak wyżej, z uwzględnieniem siły wiatru; $\min S$ i $\max S$ — najmniejsza i największa siła działająca na dany pręt (według zwykłego obliczenia statycznego metodą linii wpływowych) skutkiem ciężaru własnego i obciążenia ruchomego; $\min S_w$ i $\max S_w$ — te same wartości, lecz z dodaniem sił wywołanych przez parcie wiatru; μ — współczynnik dynamiczny, zależny od obciążonej długości dźwigara, odpowiadającej $\max S$ w danym przęcie, obliczony według wzoru następującego

$$\mu = 0.625 \left(\frac{1}{1 + 0.02\lambda} \right),$$

gdzie λ — w metrach jest to długość obciążona dźwigara, odpowiadająca $\max S$, otrzymana ze stosownej linii wpływowej.

Dla żelaza zlewego mostowego przyjęto

$$\sigma_a = 12,5 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \text{ i } \sigma_{s,w} = 14,5 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Uzasadnienie powyższego wzoru podane zostało przez autora artykułu niniejszego w czasopiśmie „Ars Technica” (1922 r., zeszyt 3—4 i 1923 r. zeszyt 1—2 i 3—4).

W Niemczech w r. 1922 (maj) wydane zostało nowe rozporządzenie (uzupełnione w roku 1924) o obliczaniu żelaznych mostów kolejowych, w którym podane są zwiększone obciążenia i tablice powiększonych dopuszczalnych naprężeń.

W Rosji jeszcze w latach 1920—1921 zostało wydane podobne rozporządzenie, idące w tym samym kierunku.

We Francji dotychczas, o ile nam wiadomo, obowiązują normy z r. 1915, które jednak, pod pewnymi warunkami, pozostawiają projektodawcom pewną swobodę działania w wyborze nieco powiększonych naprężeń dopuszczalnych, należycie uzasadnionych.

Kończąc na tem krótki rys w części dotyczącej się mostów żelaznych, przejdziemy poniżej do mostów, budowanych z innych materiałów.

(d. c. n.).