

W KWESTYI TRWAŁOŚCI MOSTÓW ŻELAZNYCH.

W zeszycie drugim Przeglądu Technicznego z r. 1875, w szeregu wyciągów z dzieła prof. *Emila Malézieux*: „Travaux publics des Etats Unis d'Amérique en 1870,“ podaliśmy w całości prawie pogląd autora na mosty metaliczne w Stanach Zjednoczonych. P. *Malézieux*, zaznaczywszy że najczęściej rozpowszechnione są tamże mosty belkowe, a z pomiędzy belek tak zwane belki wielokratowe (*poutres à grandes mailles*) przyznał systemowi temu wyższość nad innymi. Belki wielokratowe amerykańskie opisał p. *Malézieux* w ten sposób:

Pas górny pracujący zawsze na ściskanie, z żelaza lanego albo ze skrzynkowych belek z blachy żelaznej, podzielony jest na części (*segments*), które potrzebują być tylko przyłożone jedna do drugiej, a których długość wynosi zwykle od 3 do 4 metr.

W punktach, w których się schodzą części pasa, przycepione są krzyżulce (*braces*), pionowe lub pochylone. Specjalna mufa, odlana z jednej sztuki z uszami, przez które przechodzą ściągacze, ułatwia łączenie.

Pas dolny, pracujący zawsze na rozciąganie, z żelaza kutego, złożony jest z części odpowiadających częściom pasa górnego, połączonych między sobą *zawiasami*.

Krzyżulce (*braces*) pracujące na ściskanie czyli rozpory, są z żelaza lanego, albo z blach żelaznych ułożonych w ten sposób, aby się nie zginały przy ściskaniu. Krzyżulce rozciągane, czyli ściągacze, utworzone są ze sztab walcowych, opatrzonych na obu końcach uszami, w pośrodku zwykle przerwane, opatrzone krokami śruby i połączone specjalną mutrą do regulowania długości ściągacza.

Główny element połączeń krzyżulców z pasami stanowi mocna *zawiasa* (*goujon*) walcowa, z żelaza lub stali, która skutkiem swego kształtu nadaje się do odbierania i przesyłania we wszystkich kierunkach sił rozciągających lub ściskających różne części

składowe belki. Krzyżulce oscylować mogą około zawiasy i przybierać położenia nadające się najlepiej do przesyłania sił.

Powtarzamy tu ten opis belek wielokratowych *amerykańskich*, aby nie zaszło nieporozumienie, co właściwie ten wyraz oznacza. Ostrożność pod tym względem nie jest zbyteczną, przy nieustalonem naszym słownictwie technicznem.

Belki wielokratowe znane były i są w Europie; od pewnego bowiem czasu w Anglii, Niemczech i innych krajach, belki drobnokratowe (*poutres à treillis serrés*) zaczęły być mniej używanymi. Wszakże w belkach wielokratowych europejskich, tylko w niektórych rzadkich przypadkach zastosowano równoczesne użycie żelaza lanego i kutego i zawiasowy system połączeń krzyżulców z pasami, gdy tymczasem według p. *Malézieux* są to właśnie wybitne cechy belek wielokratowych amerykańskich.

Belki wielokratowe amerykańskie znalazły wielu przeciwników, nawet i w Ameryce, motywujących bardzo słuszne zarzuty. Oczywiście rozprawy ożywiają się więcej, gdy uwaga ogółu zwróconą zostanie na jaki nieszczęśliwy wypadek załamania się mostu. Wypadek podobny, któremu w grudniu r. z. uległ most na drodze żelaznej pod Ashtabulą w Stanie Ohio, wywołał żywe rozprawy. Uwydatniło się wśród nich zdanie zasłużonego inżyniera amerykańskiego *Klemensa Herschel'a* z Bostonu, które w „*Zeitschrift des Oesterr. Ingenieur und Architekten Vereins*,” streścił b. uczeń szkoły dróg i mostów w Paryżu, inżynier austriacki p. *Amedeus Gentili*.

Belki główne mostu pod Ashtabulą były wielokratowe amerykańskie, takie jak opisane przez p. *Malézieux*, z rozporami pochyłymi a pionowymi ściągaczami. Połączenia były takie, jak wzmiankowane wyżej i żelazo lane wchodziło w skład konstrukcyi razem z żelazem kutem. Zgodzono się na to, że projekt sporządzony był dobrze i że użyty materiał był w dobrym gatunku. Wprawdzie montowanie przeprowadzone było nie tak starannie, jak tego wymagał przyjęty system belek głównych a zarząd towarzystwa kolejowego tak dalece troszczył się o oszczędność przy budowie, że nawet z przyczyny szasłych zład nieporozumień, inżynier projektujący oddalony został przed rozpoczęciem budowy; ale pomimo to wszystko p. *Herschel* twierdzi, że most ten nie należał wcale do najgorzej zbudowanych w Stanach Zjednoczonych i przyczyn wypadku szuka w samym systemie konstrukcyi. Według niego, wypadek nastąpił w skutku następujących dwóch wad w budowie:

1^o równoczesnego użycia żelaza lanego i kutego,

2^o zawiasowego systemu połączeń,

co właśnie stanowi dwie wybitne cechy mostów wielokratowych amerykańskich.

Co do pierwszej z tych dwóch przyczyn, p. *Herschel* mówi, że wielu inżynierów amerykańskich, usuwając w ogóle żelazo lane przy budowie mostów, używa jednak tego materiału do połą-

czeń w belkach wielokratowych. Postępowanie to p. *Herschel* potępia i twierdząc słusznie, że doświadczenie służyć tu może za najlepszą wskazówkę, podaje następujący wykaz wypadków, jakie ma w pamięci, z wymienieniem przyczyn według swego poglądu.

1) Załamanie się mostu na rzece Dee koło Chester'u w Anglii, w r. 1847. Przyczyny: równoczesne zastosowanie żelaza lanego i kutego i zła konstrukcyja.

2) Załamanie się mostu na drodze żelaznej Erie w r. 1850. Przyczyny: niedostateczna ilość materiału, równoczesne zastosowanie żelaza lanego i kutego.

3) Załamanie się mostu ponad Joiner Street w Londynie w r. 1850. Przyczyny: zła konstrukcyja, równoczesne zastosowanie żelaza lanego i kutego.

4) Załamanie się mostu na kolei Czerniowieckiej w Galicyi 4 marca 1868 r. Przyczyny: wadliwy system połączeń, równoczesne zastosowanie żelaza lanego i kutego ¹⁾.

5) Załamanie się mostu pod Dixon w Illinois 4 maja 1873 r. Przyczyny: niedostateczna ilość materiału i mierna konstrukcyja. Most ten zbudowany był dla drogi zwyczajnej, wszystkie zaś poprzednie i następny dla dróg żelaznych.

6) Załamanie się mostu pod Ashtabulą w Stanie Ohio 20 grudnia 1876 r. Przyczyny: wadliwy system połączeń, równoczesne zastosowanie żelaza lanego i kutego. Konstrukcyja i montowanie niedbałe.

Wykaz ten tem więcej zasługuje na uwagę, że mimo usilnych i różnostronnych poszukiwań, p. *Herschel* nie dowiedział się o żadnym innej natury wypadku załamania się mostu. Z jednym tylko wyjątkiem mostu pod Dixon, wszędzie odgrywa rolę, jako przyczyna wypadku: użycie równoczesne żelaza lanego i kutego do budowy mostu. P. *Herschel* twierdzi, że nigdy nie

¹⁾ Most na Prucie pod drogą żelazną Lwów—Czerniowice w Galicyi, mający 56,9 metr. otworu, zbudowany był według systemu *Schifkorn'a* (Kompensirte Kreutzverspannungs und Verstreibungs System).

Belki tego systemu mają trzy pasy poziome: górny, średni i dolny, zbudowane z żelaza walcowanego i lanego, a połączone dwoma piętami krzyżów żelaznych lanych i pionowymi ściągaczami z żelaza walcowanego. Krzyżulce z pasami połączone są według systemu zawiasowego.

Komitet austriackiego *Ingenieur und Architekten Verein* wydelegowany do zbadania przyczyn upadku mostu na Prucie, uznał jako takie:

1) równoczesne użycie do budowy belek, żelaza walcowanego i lanego, które niejednakowo rozszerzają się i kurczą przy zmianach temperatury.

2) zbytne rozdrobnienie konstrukcyi, złożonej ze znacznej liczby krótkich sztuk z żelaza lanego.

3) wadliwy system połączeń krzyżulców z pasami.

W rezultacie Komitet uznał system *Schifkorn'a* za nieodpowiedni w zastosowaniu do mostów na drogach żelaznych.

słyszał o fackie załamania się mostu zbudowanego wyłącznie z żelaza walcowanego z połączeniami nitowaniami, chociaż tych mostów od r. 1845 stanęło tak wiele i choć ten system od chwili swego zawiązku aż do epoki dojścia do doskonałości, jaką teraz przedstawia, przechodzić musiał przez różne fazy rozwoju.

Teoretyczną przyczynę tego faktu: że równoczesne stosowanie żelaza laneo i kuteo do budowy mostów, szkodliwie wpływa na trwałość tych ostatnich, widzi p. *Herschel* w tem, że gdy żelazo lane użyte jest do budowy głównych części składowych mostu, razem z żelazem kutem, wtedy ciśnienie niejednakowo rozciągają się i kurczą pod wpływem ciepła i zimna. Oprócz tego żelazo lane, użyte w sztukach dłuższych lub krótszych, łatwo pęka pod działaniem raptownego uderzenia, a ta jego skłonność staje się większą pod wpływem zimna. W najpomyślniejszym przypadku, powiada p. *Herschel*, żelazo lane jest zawsze zdradnym materiałem, nie dającym żadnych oznak zewnętrznych przed pęknięciem.

Robiono wprawdzie wiele doświadczeń wykazujących, że zimno nie wywiera żadnego wpływu na żelazo lane i kute, ale według p. *Herschel'a* doświadczenia te dowodzą tylko, że w laboratorium, pod stałym ciśnieniem, zastosowanie mieszaniny oziębiającej nie wywiera żadnego działania. Wypadkom tych doświadczeń przeczy oprócz innych ten znany fakt, że młot stalowy lany do tłuczenia kamieni, zostawiony przez noc na mrozie, pęka nazajutrz przy pierwszym uderzeniu, choćby nawet przed tem uderzeniem zwolna i jednostajnie był ogrzewany.

Teoretyczne zbadanie i wyjaśnienie podobnych faktów, mówi p. *Herschel*, nie przekracza granic ludzkiego pojęcia. Weźmy np. pod uwagę ciepło wywiązujące się w skutek uderzenia. Potarcie kawałka stali o krzemień nie stanowi żadnej wielkiej siły, wystarcza wszakże, aby żdźbło skurczonej stali zapalić i tym sposobem wywołać iskrę zapalającą hubkę. Czyliż więc, pyta p. *Herschel*, nie jest rzeczą możliwą, ażeby silne ciepło wywołane uderzeniem miało pewien związek z pęknięciem, chociażby to ciepło nie było jedyną przyczyną nagłego wstrząśnienia materii *przeziąklej zamrożoną wilgocią*, a pewno więcej skupionej na zewnątrz niż na wewnątrz.

Jakkolwiek dziurkowatość metali jest własnością dowiedzoną w fizyce, to jednak trudno sobie zdać sprawę z żelaza *przeziąklego zamrożoną wilgocią*. Bądź co bądź, każdy inżynier praktyk podzieli pogląd p. *Herschel'a*, że żelazo lane jest materiałem zdradnym i że używanie takowego łącznie z żelazem kutem przy budowie mostów, nie jest rzeczą bezpieczną.

Co do zawiasowego systemu połączeń w belkach wielkotowych, p. *Herschel* zaznacza najprzód, że system ten niewłaściwie nosi nazwę amerykańskiego, gdyż nie był ani wynaleziony w Sta-

nach Zjednoczonych, ani też wyłącznie tam stosowany przy budowie mostów żelaznych. Na dowód tego wylicza drogi żelazne, na których mosty nie mają takich połączeń i twierdzi, że wielu inżynierów amerykańskich systemu tego nie stosuje i stosować nie myśli. Jakkolwiek stanowczo przechyla się na stronę systemu połączeń nitami, to jednak kwestyi tej wywodami nie rozwiązuje, gdyż jak mówi, jest to jeszcze kwestya sporna pomiędzy inżynierami. A jednak bardzo prosty argument wystarczyłby tutaj. Gdy wał jednej zawiasy pęknie, odpowiednie połączenie przestaje trzymać i most się wali; tymczasem przy połączeniach za pomocą nitów, gdy jeden nit pęknie, pozostałe trzymają dalej, pracując więcej niż zwykle, ale zawsze wytrzymując, gdyż granice wytrzymałości przyjmowane przy projektowaniu są zwykle dość niskie. A jakkolwiek większe jest prawdopodobieństwo pęknięcia jednego nita, niż jednego wału zawiasy, które dobierane są staranniej, to zawsze nity są pewniejsze, jeżeli zwłaszcza weźmie się pod uwagę niżkość granic wytrzymałości przyjmowanych przy projektowaniu i znaczną zwykle liczbę nitów używanych przy każdym połączeniu. Większe zaś jeszcze, niż wały zawias w pasie dolnym, prawdopodobieństwo pęknięcia—przedstawiają tufy żelazne lane w pasie górnym, w belkach wielokratawych.

Jak powiedzieliśmy, p. *Herschel* przechyla się stanowczo na stronę nitów. Kończąc rozbiór kwestyi połączeń w mście pod Ashtabulą, mówi że w dyskusyi, jaką prowadzili inżynierowie, spierając się o to, który system połączeń jest lepszy, wysunięte zostały naprzód także i względy ekonomiczne; on jednak rozwiązując li tylko kwestyę pewności, twierdzi, że we wszystkich przypadkach, szczególnie zaś przy budowie mostów na drogach żelaznych, nity są najstosowniejsze.

Po tej już konkluzyi, przytacza p. *Herschel* jeden oryginalny argument na korzyść połączeń zawiasowych, podany przez jakiegoś żarliwego obrońcę tego systemu. Jeżeli pod mostem z połączeniami systemu zawiasowego zapadnie się filar, to most runąwszy rozleci się na drobne kawałki, które w następstwie można wszystkie z rzeki wyciągnąć i na nowo zjednoczyć w taką samą jak poprzednio całość. Przeciwnie, konstrukcyja nitowana, uległszy takiemuż samemu wypadkowi, spada w całości i tworzy tylko zawał w rzece, który w następstwie rozrywać trzeba dynamitem a kawałki, chyba jako stare żelazto sprzedawać. Oczywiście, zapatrując się z tego stanowiska, zawiasowy system połączeń lepszy jest od nitów; ale z drugiej strony, przy stawianiu żelaznych konstrukcyj mostowych, nie można mieć tego na celu, że one wpadną kiedyś w wodę i że przy zawiasowym systemie połączeń łatwiej je będzie kawałkami z wody wyciągnąć i na nowo złożyć. Zdaje się, że inny jest w ogóle cel belek mostowych, a mianowicie trwać one mają tak długo jak i filary, a te znów stać powinny nieporuszenie i znajdować

się zawsze w dobrym stanie, ażeby podtrzymywać budowę wierzchnią. Most, który w skutku zapadnięcia się filaru, rozłata się tak łatwo na drobne kawałki, jakże się ma oprzeć uderzeniu wykołonej lokomotywy lub wagonu? Tym sposobem obrońcy systemu połączeń zawiasowych zbijają sami siebie, a nadto w przytoczonym przykładzie wpadnięcia w rzekę wierzchniej budowy mostu, nie wyczerpują kwestyi, gdyż p. *Herschel* cytuje fakt, którego był świadkiem, jak belka nitowana, zanim jeszcze przy-mocowaną była do korpusu mostu, w skutku silnego wiatru zrzuconą została z filarów i spadła na dno rzeki 18 stóp głębokiej. Belkę tę następnie podniesiono, wyreperowano i ustawiono na miejscu, gdzie po dwunastoletniej służbie dziś jeszcze stoi niewzruszona. Przykład ten wykazuje, że belki nitowane nie tylko w stanie normalnym, ale i w wyjątkowym przypadku spadnięcia w rzekę, przedstawiają znakomitą trwałość.

Oczywiście, przy zawiasowym systemie połączeń, belki montują się łatwiej i szybciej. To też i w Europie system ten używany bywa chętnie w belkach podtrzymujących dachy i w ogóle w konstrukcyach, których obciążenie nie ulega zmianom co do wielkości i znajduje się w stanie spoczynku. Ale w belkach mających utrzymywać obciążenia ruchome, sztywność stanowi czynnik nieodzowny a tylko połączenia nitowane sztywność tę mogą zapewnić, gdyż zawiasy i śruby szybko się luzują pod działaniem wstrząśnień, a te nawzajem stają się przez to coraz dolegliwsiemi. Fakt podobny zauważony był na wiadukcie Crumlin w Anglii, przy budowie którego zastosowano najprzód zawiasowy system połączeń. Wynikło ztąd szybkie niszczenie się konstrukcyi, w skutku którego budowla przerobioną została na nowo z połączeniami nitowanemi.

Streszczając swój pogląd na przyczyny techniczne zawalenia się mostu pod Ashtabula, p. *Herschel* mówi: „nie potępiam bynajmniej i nie zaliczam do jednej kategorii wszystkich amerykańskich systemów mostów, gdyż pomiędzy nimi znajdują się dzieła znakomite naszych najzdolniejszych inżynierów, którym się od nas należy jak największy hołd i uznanie, — lecz twierdzę, że zawiasowy system połączeń i stosowanie żelaza lanego, do budowy muf i krótkich podpór w mostach z żelaza walcowanego, winny wyjść zupełnie z użycia przy budowie tych mostów, tak jak już wyszło z użycia stosowanie żelaza lanego jako materiału do budowy głównych części składowych (to jest pasów górnych belek i krzyżulców ściskanych). Na pytanie zaś, czy nie ma mostów żelaznych bezwzględnie trwałych, odpowiadam, że most z żelaza walcowanego z połączeniami nitowanemi, zaprojektowany przez zdolnego inżyniera i zbudowany starannie, przedstawia zupełną trwałość, jak tego dowodzi trzydziestoletnie już doświadczenie.“

Ze zdania p. *Herschel'a* wynika, że jeżeli mamy co do pozazdroszczenia amerykańcom, pod względem budowy mostów żela-

znych, to pewno nie zawiasowy system połączeń i używanie przy budowie żelaza lanego razem z walcowaniem. Inżynierowie nasi, projektujący mosty z żelaza walcowanego nitowane i odsuwający zupełnie żelazo lane, jako spólmateriał przy budowie, czy to głównych części, czy też połączeń w tych konstrukcjach, wybrali drogę najzupełniej racjonalną, ażeby osiągnąć ten cel pierwszorzędnny, jakim jest trwałość. Amerykanom zaś pozazdrościć można istotnego postępu, jaki dokonali stawiając przeszła mostowe mające po 250, 320, 390 i 490 metrów otworu i oryginalnej pomysłowości przy rozwiązywaniu tak trudnych zadań. Korzystać można w bardzo wielu przypadkach z ich pomysłów, o ile te nie przekraczają zwykłych granic ostrożności, do jakich nawyknięto w Europie — granic, które wysmiewają często jako zacofane technicy ultra postępowi, najczęściej nie opierający się w dyskusji na żadnych praktycznych podstawach, ale które to granice szanowane są słusznie przez praktyków, nie tylko w Europie ale i w Ameryce, jak tego dowodzi zdanie p. *Herschel'a*.

W podobny sposób mniej więcej zapatruje się na tę kwestyą p. *Malézieux*, chociaż uniesiony zapalem uwielbienia dla niektórych wyjątkowo wielkich dzieł sztuki inżynierskiej, z jakimi się zapoznał podczas swej wycieczki w Stanach Zjednoczonych, w dziele swem kwestyą trwałości zwykłych budowli, jakie tam istnieją, zlekka zaledwie poruszył. Co do belek wielokratowych, mimo chodem tylko wspomniął o równoczesnem stosowaniu do ich budowy żelaza lanego i kutego i o zawiasowym systemie połączeń. Zaznaczył zaś wyraźnie jako dodatnie strony systemu: zmniejszenie utlenienia metalu nagromadzonego ściśle w kierunkach nateżeń, łatwość dostępu do wszystkich części składowych belek, celem ich obejrzenia lub pomalowania we właściwym czasie, szybkość składania tych sztuk, z których każda ma małą stosunkowo długość, wreszcie małe wymiary powierzchni wystawionej na działanie wiatru. Te dodatnie strony pojęto i w Europie, gdzie jak powiedzieliśmy, belki drobnokratowe od pewnego czasu wychodzić zaczęły z użycia a natomiast belki wielokratowe, czy to bez słupów pionowych z samymi tylko krzyżulcami, czy też tak zwane holenderskie ze słupami pionowymi i pochylonymi ściągaczami, coraz częstsze znajdują zastosowanie. I Europa zresztą poszczycić się może także nowymi systemami, godnymi naśladowania. Nie mówiąc już o innych, przytoczyć tu można belki systemu *Schuedler'a*, odznaczające się racjonalnem i oszczędnem spożytkowaniem metalu, lekkością i estetycznym kształtem.

Feliks Kocharzewski.