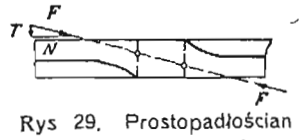
Jeżeli powtórzymy doświadczenie z próbką w kształcie kątownika, wyniki przedstawią się jak na rys. 27 i 28. Proste *AB* i *CD* przecinają się w środku ciężkości przekroju.

Doświadczenie ujawnia iloczyn grubości przez naprężenie, wskutek czego prosta jest załamana w miejscu, w którem grubość się zmienia.

4. Prostopadłościan poddany działaniu sił ukośnych.

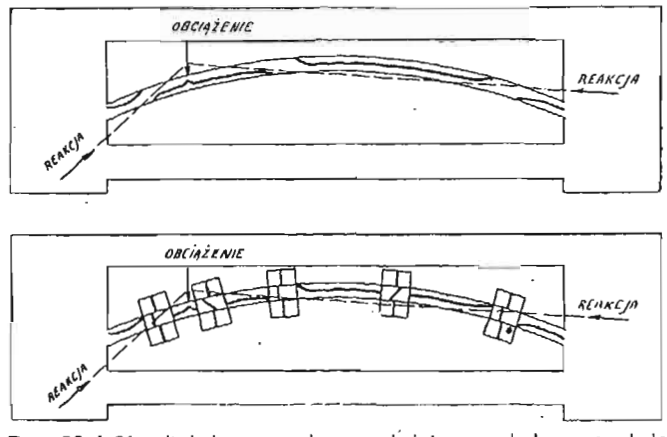
Wypadek, kiedy na próbkę badaną działają siły ukośne, przyłożone w jej końcach, może być rozpatrywany, jako nałożenie naprężeń, odpowiadających równomiernemu rozciąganiu lub ściskaniu, i naprężeń, występujących przy zginaniu. Zboczenia od teorji wytrzymałości materjałów zachodzą tylko w przekrojach, położonych w pobliżu końców, podobnie jak w wypadkach poprzednich. Można zauważyć, że w przekroju, w którym naprężenie staje się zerem u brzegu, wypadkowa przechodzi po stronie przeciwległej przez punkt odległy od konturu o $^1/_3$ szerokości próbki i że przechodzi również przez punkt, jednakowo odległy od punktów przecięcia się linji obojętnych z konturem. Skorzystamy z tej uwagi w przykładzie następnym.



Rys 29. Prostopadłościan pod wpływem sił ukośnych. Światło kołowo spolaryzowane.

5. Badanie łuku. Sprawdzenie wzorów Bresse'a.

Badanie optyczne, zastosowane do szklanego modelu łuku kołowego bezprzegubowego, pozwoliły sprawdzić wzory Bresse'a, tyczące się takich łuków. Aczkolwiek wzory te oparte są na hypotezie o linjowym rozkładzie naprężeń w krzywych prętach, błędy popełnione przy ich stosowaniu nie przekraczają 1%, jak to stwierdziły doświadczenia nad szklanym modelem, pokazanym na rysunku 30 i 31.



Rys. 30 i 31. Łuk bezprzegubowy, obciążony w jednym punkcie.

Rysunki te dają pojęcie o wynikach, ujawnionych przy pomocy światła spolaryzowanego kołowo. Obciążenie jest oznaczone strzałką, a kierunki reakcji — linjami kreskowemi. Reakcje można wyznaczyć wprost z rys. 30. Małe prostokąty na rys. 31 oznaczają poszczególne położenia kompensatora Babinet'a.

Zmącenia występują tylko pod punktem obciążonym i u przyczółków.

(*d. n.*)

Sposób zastosowania łuków trójprzegubowych do budowy mostów obrotowych i zalety tego ustroju.

Napisał prof. inż. A. Pszenicki.

(Dokończenie do str. 527 w № 47, z r. b.)

Waga zdejmowanych części przeciwwag.

Wartość ta określa się z warunku, aby przy obciążeniu skrzydła przeciwwagowego (jeżeli ustrój jest taki, że jazda odbywa się po tem skrzydle) ciężarem ruchomym, środek ciężkości skrzydła jednakże znajdował się między przegubem podporowym i kluczowym, aby w ten sposób przy najbardziej niedogodnych obciążeniach dźwigarów powstawał pewien minimalny, jednakże dostateczny nacisk w kluczu jednego skrzydła na drugie, aby była zabezpieczona pewna stateczność łuku (spółczynnik stateczności 1,2 — 1,5) względem samootwierania się mostu. Przesunięcie się środka ciężkości skrzydeł ku kluczowi winno ponadto zadość czynić warunkowi, aby wytworzył się dostateczny moment obrotowy około przegubu podporowego, któryby był w stanie przezwyciężyć moment wszelkich tarć całego układu (tarcie koło przegubu podporowego, tarcie zawieszonych na osiach przeciwwag, tarcie w osiach odciągów i t. p.). Znaczne przesunięcie środka ciężkości jest również niewskazane ze względu na to, że może się wtedy wytwarzać dosyć duży rozpór pod wpływem ciężaru stałego, który może niekorzystnie wpłynąć na wymiary filarów lub przyczółków i na naprężenia w nich.

Dlatego też długość skrzydeł przeciwwagowych, po których może przesuwać się ciężar ruchomy, winna być o ile możności nie duża.

Jeżeli skrzydła przeciwwagowe są wyzyskane jako wsporniki łuku do podtrzymania pomostu, połączenie części ruchomej z częścią stałą mostu winno być wykonane zapomocą wolnych beleczek łączących. Beleczki te powinny być połączone przegibnie z częścią stałą mostu i wolno wsparte na ogonach dźwigarów obrotowych. Długość tych beleczek winna być taka, aby przy zmianach temperatury od + 40° C do — 40° C nie wytwarzały się duże spadki lub wzniesienia, wskutek opuszczania się lub podnoszenia dźwigarów w kluczu. Dla mostów drogowych wystarczy, gdy długość ta wynosi około 1 *m*. W mostach kolejowych jazdy po tych skrzydłach lepiej jest nie robić i wtedy połączenie części stałej z ruchomą może być wykonane nad przegubem podporowym.

Powyższe dane wskazują w ogólnych zarysach, w jaki sposób można zastosować łuk trójprzegubowy do mostów ruchomych obracalnych, o osi stałej, poziomej.

Nie zatrzymując się dłużej na poszczególnych wypadkach rozwiązania tego zadania zgodnie z ogólnemi zasadami, gdyż rozwiązania w poszczególnych wypadkach mogą być modyfikowane (most Pałacowy ma jedno rozwiązanie, w moście kolejowym na Newie, na linji Piotrogród-Rybińsk, dałem nieco odmienne, w szkicowych zaś projektach mostów Giełdowego i Samsonowskiego na Newie w Petersburgu projektowałem jeszcze nieco inne), wskażę tutaj, jakie zalety, a nawet przewagę, ma system trójprzegubowy, w porównaniu z systemem dotychczas stosowanym, belkowo-wspornikowym.

Przewaga ta występuje tak pod względem ekonomicznym, jak również pod względem technicznym.

Pod względem ekonomicznym dlatego, że daje dużą oszczędność na materjale, przeto jest znacznie tańszy; pod pod względem zaś technicznym, układ łukowy jest znacznie sztywniejszy od układu belkowo-wspornikowego.

Dla wykazania tej przewagi, tak pod jednym, jak pod drugim względem, podaję tutaj porównanie tych dwóch układów, zestawione na podstawie dość ścisłych obliczeń.

Dla systemu mostu obrotowego trójprzegubowego, jako wykonanego w moście Pałacowym, mieliśmy wszystkie dane co do wagi, kosztów, ugięć i t. p. Pozostało przeto przeprowadzić obliczenie tegoż mostu w założeniu ustroju belkowo-wspornikowego. Kształt dźwigarów (elementy geometryczne) przyjęto te same, co i w układzie łukowym. Obliczenie dźwi-

garów wykonane było ściśle na podstawie tych samych warunków technicznych. Po określeniu wszystkich sił w prętach, wyznaczono ich przekroje, przytem dążono do tego, aby naprężenia w prętach były o ile możności takie same, jak w układzie łukowym.

Ponieważ dla układu łukowego spółczynnik ustrojowy (stosunek rzeczywistej wagi dźwigarów do wagi otrzymanej na zasadzie znalezionych przekrojów) był obliczony, przeto, mając ten spółczynnik φ i teoretyczną wagę dźwigarów belkowo-wspornikowych, mogliśmy rzeczywistą wagę dźwigarów belkowych otrzymać z najzupełniej dostateczną ścisłością. Waga pomostu i tężników w obu wypadkach przyjęta była jednakowa, jako niezależna od układu dźwigarów.

Teoretyczna waga dźwigara łukowego wynosiła 38,66 *t*; rzeczywista — 50,93 *t*; spółczynnik ustrojowy

$$\varphi = \frac{50,93}{38,66} = 1,317.$$

Teoretyczna waga dźwigara belkowego wypadła 55,78 *t*, rzeczywista zaś $55,78 \times 1,317 = 73,46$ *t*. Różnica wagi w pierwszym i drugim wypadku $73,46 - 50,93 = 22,53$ *t*, co stanowi $\frac{22,58}{50,93} \cong 44,2\%$. Ponieważ całkowita waga wszystkich dźwigarów przęsła obrotowego dla układu łukowego równała się 682,13 *t*, różnica wagi jednego i drugiego układu wynosi $682,13 \times 0,442 = 301,5$ *t*.

Co się tyczy wagi przeciwwag, to ta dla układu belkowego zwiększyła się tylko o 3 *t* na jeden dźwigar, jakkolwiek bowiem waga dźwigaru wzrosła o 44%, lecz odległość środka ciężkości od osi obrotu nieco się zmniejszyła, ponieważ zwiększyły się przeważnie przekroje prętów ogonowych i w pobliżu podpory dodatniej. Środek ciężkości dla układu łukowego wypadł na odległości 10,522 *m*, zaś dla układu belkowego — na odległości 9,000 *m* od osi obrotu.

Ugięcie teoretyczne w kluczu przy obciążeniu ruchomem dla systemu łukowego otrzymano 23 *mm* (rzeczywiste przy obciążeniu próbnem mostu wyniosło 21 *mm*), dla systemu zaś belkowego ugięcie to sięgało 74 *mm*.

Projektując zatem układ belkowy i zakładając przytem nawet nieco mniejsze naprężenia dopuszczalne w prętach niż w układzie łukowym, przy wadze o 44% większej, ugięcie wypada 3,2 razy większe.

Ugięcie stanowiło $\frac{74}{29300} = \frac{1}{396}$ część długości skrzydła podnoszonego. Według zaś warunków technicznych ugięcie to dla układu belkowego nie powinno było przekraczać $\frac{29300}{500} = 58,6$ *mm*.

Aby zatem uczynić zadość temu warunkowi, trzeba byłoby zmniejszyć ugięcie o $74 - 58,6 = 15,4$ *mm*, co stanowi $\frac{1540}{74} = 20,8\%$.

Dla zmniejszenia ugięcia o 20,8%, naogół trzeba byłoby zwiększyć oczywiście wagę dźwigarów odpowiednio, a wtedy ogólne zwiększenie wagi otrzymalibyśmy o $1,442 \times 0,208 + 44,2 \cong 74\%$, czyli o $683,13 \times 0,74 \cong 506,0$ *t*, przy zwiększeniu przeciwwag o około 30%, czyli o $2010 \times 0,3 = 603$ *t*.

Całkowite zwiększenie wagi skrzydeł wynosiłoby więc $506 + 603 = 1109$ *t*, co przy całkowitej wadze skrzydeł z przeciwwagami, równej dla mostu Pałacowego układu łukowego 3253 *t*, stanowi $\frac{110900}{3253} = 34\%$.

Zwiększenie ogólne wagi skrzydeł pociąga za sobą naturalnie zwiększenie ram podporowych oraz mechanizmów tak obrotowych, jak też podklinowania.

Jeżeli założyć, że zwiększenie to wyniesie tylko 20%, to mając na względzie ceny jednostkowe dla mostu Pałacowego, otrzymuje się zwiększenie kosztów mostu, przy zastosowaniu systemu belkowo-wspornikowego zamiast łukowego, o 300,000 rb. złotych.

Tak więc, przez zastosowanie wskazanego wyżej systemu łukowego w moście Pałacowym, otrzymano oszczędność $\frac{300000 \times 100}{4400000} = 6,8\%$ całkowitej wartości mostu, przytem sztywność mostu otrzymano $\frac{58,6}{23,0} = 2,55$ razy większą niż przy zastosowaniu układu belkowego. Aby jednak jeszcze lepiej uwydatnić różnicę, jaka zachodzi przy zastosowaniu jednego i drugiego układu, przytoczę inne porównanie, biorąc za podstawę most Ochteński na Newie w Piotrogrodzie.

Otwór części obrotowej tego mostu, systemu belkowego, równa się 43,3 *m*. Most ten co do obciążeń i dopuszczalnych naprężeń jest projektowany na zasadzie tych samych warunków technicznych, co i most Pałacowy, tylko parcie wiatru na skrzydło otwarte założone było 40 kg/m^2, gdy tymczasem dla mostu Pałacowego parcie to było zadane 100 kg/m^2. Ostatni warunek wpływa oczywiście głównie na mechanizmy obrotowe, które wskutek tego w moście Pałacowym musiały być projektowane znacznie mocniejsze, a więc cięższe i droższe, niż w moście Ochteńskim, oraz na ramy podporowe i zakotwienia.

Waga żelaza w dźwigarach, pomoście razem z łożyskami dodatniemi i ujemnemi w moście Ochteńskim

wynosi	997,8 *t*
Waga mechanizmów	283,1 „
„ przeciwwag (żeliwo i ołów).	1104,3 „

Szerokość mostu Ochteńskiego 23,5 *m*, szerokość mostu Pałacowego 27,7 *m*, czyli o 4,3 *m* większa.

Długość dwóch skrzydeł mostu Pałacowego jest o 13,16 *m* większa, niż w moście Ochteńskim.

Jeżeli założymy, że waga dźwigarów z pomostem wzrośnie tylko proporcjonalnie do powierzchni skrzydeł, co jest słuszne tylko w stosunku do zwiększenia szerokości skrzydeł, lecz nie ich rozpiętości, to otrzymamy wagę, przechodząc do rozpiętości mostu Pałacowego

$$\frac{997,8 \times 56,46 \times 27,8}{23,5 \times 43,3} = 1539,1 \text{ } t,$$

gdy tymczasem waga tych samych części w moście Pałacowym równa się tylko 903,7 *t*. Biorąc zaś pod uwagę słupy podporowe, ważące 284,9 *t* otrzymamy jednakże różnicę $1539,1 - (903,7 + 284,9) = 350,5$ *t*.

Jeżeliby waga mechanizmów zwiększyła się również tylko proporcjonalnie do powierzchni skrzydeł, to byłaby ona równą $\frac{283,1 \times 56,46 \times 27,8}{43,3 \times 23,5} = 437,5$ *t*.

Ponieważ zaś waga mechanizmów w moście Pałacowym wynosi 380,6 *t*, przeto, nie uwzględniając nawet większego 2,5 razy parcia wiatru, otrzymujemy różnicę w wadze mechanizmów o 56,9 *t*.

Waga przeciwwag. Biorąc pod uwagę zwiększenie się wagi skrzydła wskutek jego wydłużenia i poszerzenia i mając na uwadze, że ramię dla podtrzymania przeciwwagi równa się 5,45 *m*, otrzymamy całkowitą wagę przeciwwagi 2887,5 *t*, co w porównaniu z mostem Pałacowym daje zwiększenie o $2887,5 - 2010 = 877,5$ *t*.

Różnice te przewartościowane na ruble w złocie dają tą samą różnicę około 300000 rb. zł.

W powyższym projekcie mostu Pałacowego otrzymano dość dużą różnicę bezwzględną kosztów w porównaniu z systemem belkowym, gdyż most Pałacowy pod względem rozpiętości części ruchomej może być zaliczony do największych mostów, szczególnie jeżeli weźmiemy pod uwagę, że pole jednego skrzydła zwodzonego wynosi 876 m^2 [1]).

[1]) Pole podstawy kesonu pod filarem części ruchomej równało się 554 m^2, głębokość opuszczania 28 *m*. Wobec tego kesony filarów mostu średnicowego na Wiśle pod Warszawą, o podstawie 182 m^2, winny być zaliczone do małych.

TABELA B.

Nazwa części ustroju	Waga poszczególnych części w *t*	
	Most belkowy	Most łukowy
1) Dźwigary, pomost, tężniki	383,9	148,6
2) Słupy podporowe i mostek łączący	—	81,2
3) Mechanizmy obrotowe i podklinowania:		
a) Stal lana	33,3	46,4
b) Stal kuta	34,6	12,2
4) Drobne części (kotwy, poręcze, odciągi)	18,0	43,3
5) Przeciwwagi:		
a) Żeliwo w odlewach z form . .	265,4	—
b) Żeliwo lane z wielkich pieców, kształt dowolny	—	268,0
c) Pudła przeciwwag	—	57,5
d) Beton	—	36,0
Razem: Żelaza	401,9	330,6
Stali	67,9	58,6
Żeliwa	265,4	268,0
Betonu	—	36,0

Nieco mniejsza różnica zachodzi przy porównaniu mostów wąskich, kolejowych.

Dla wykazania tej różnicy i otrzymanej oszczędności, przytoczę tutaj jeszcze dane porównawcze co do dwóch mostów: mostu łukowego trójprzegubowego kolejowego na rzece Newie na kolei Petersburg-Wołchow i mostu belkowego systemu Ralla na linji łącznikowej kolei finlandzkich z kolejami rosyjskiemi, również na Newie. Rozpiętości obu mostów są jednakowe, oba projektowane były na podstawie jednakowych warunków technicznych, przeto wyniki najzupełniej nadają się do porównania.

Wszystkie dane są umieszczone w tabeli B.

Przy cenie żelaza po 275 rb. za tonnę, mechanizmów — po 916 rb za *t*, żeliwa z wielkich pieców, dowolnego kształtu, po 65 rb. za *t*, żeliwa w odlewach według modeli, z dodatkiem ołowiu dla zalania spoin, po 150 rb. za *t* i betonu po rb. 9 za *t*, koszta jednego i drugiego mostu wynoszą:

Most łukowy. . . . . 162 337 rb.
„ belkowy . . . . . 212 529 „

A zatem most belkowy jest o 31% droższy od mostu łukowego.

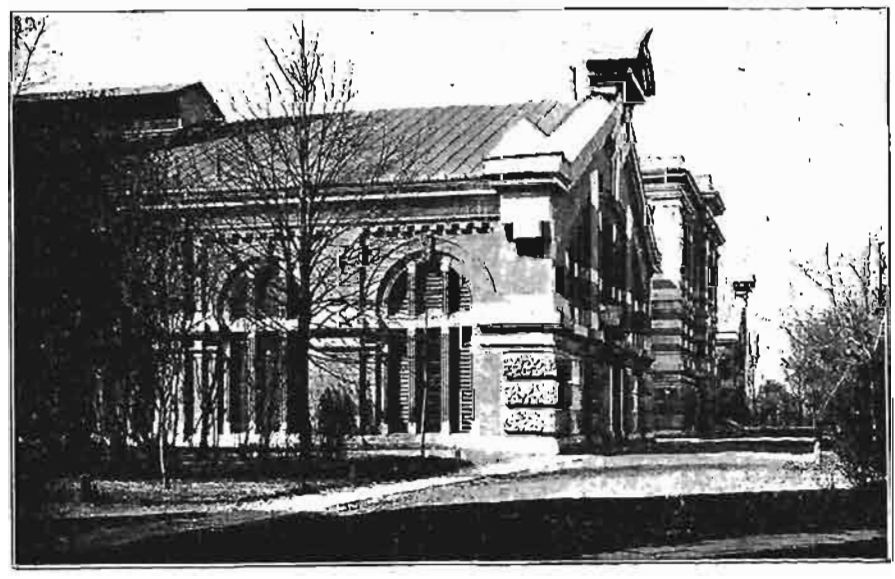
Stosowanie układu łukowego w mostach obrotowych dokoła osi poziomej daje bezwzględnie znaczną oszczędność, szczególnie przy mostach o dużej rozpiętości. Dlatego też dla dużych rozpiętości powinno się stosować układ łukowy, a nie belkowo-wspornikowy.

Laboratorjum Maszyn Politechniki Warszawskiej.

Napisał prof. B. Stefanowski.

Laboratorja, w których wykonywane są doświadczenia i badania z silnikami oraz maszynami, jakkolwiek mają za sobą już długi, kilka dziesiątków lat liczący okres, bogaty w dorobek naukowy i techniczny, należą do nowszych typów instytutów, związanych z wyższemi uczelniami technicznemi. Zakłady te, zwane różnie, zazwyczaj laboratorjami maszyn, mechaniki stosowanej, mechanicznej inżynierji, silników i t. p., służą do ilustracji praw i zasad przetwarzania energji w urządzeniach technicznych oraz do badania właściwości różnych silników i maszyn roboczych, jak pomp, sprężarek, wentylatorów i t. p.

Wobec ujawniającej się obecnie w nauczaniu w politechnikach tendencji zmniejszenia dotychczasowej jednostronności kształcenia w kierunku konstrukcyjnym, rola laboratorjów w politechnikach wzrosła, a student coraz równomierniej dzieli czas między laboraratorja i kreślarnie. Do jednego z zasadniczych, podstawowych na wydziałach mechanicznych należy laboratorjum maszyn.



Rys. 1. Widok laboratorjum.

Przy przejęciu przez polskie władze akademickie gmachów Politechniki Warszawskiej i rozpoczęciu normalnej pracy, powstała konieczność utworzenia zakładu, odpowiadającego powyżej określonym celom, gdyż za czasów rządów rosyjskich instytutu takiego Politechnika Warszawska nie posiadała. Istniała wprawdzie t. zw. centralna stacja oświetlenia i ogrzewania, używana perjodycznie przez rosjan do pokazów pomiarów kotłowych, lecz nie była to nawet pracownia szkolna. „Stacja" ta składała się z zaprojektowanej i wykonanej dosyć celowo przez firmy Fitzner i Gamper w Sosnowcu oraz Borman i Szwede w Warszawie części kotłowej oraz z nieodpowiednio wybudowanej i urządzonej przez rosjan części maszynowej. Ta druga część została zdekompletowana przez bezcelową podczas wojny ewakuację urządzeń, które następnie uległy w Rosji zupełnemu niemal zniszczeniu.

Wobec stanu Skarbu, należało zrezygnować z myśli budowy dla Zakładu gmachu, odpowiadającego współczesnym potrzebom naukowym i pedagogicznym wydziału mechanicznego, a wyzyskać istniejące pomieszczenia i przystosować te i owe urządzenia techniczne, pozostawione przez rosjan, przynajmniej do prac studenckich.

W myśl tych założeń, uzyskane zostało jako pomieszczenie dla laboratorjum maszyn: kotłownia, stacja centralna oświetlenia, lokal dawnego laboratorjum ceramicznego, przerobionego na składy mąki i mięsa wojsk niemieckich, oraz murowany skład węgla.

Kotłownia wymagała tylko gruntownych napraw po tyletnim wysoce niedbałem a forsownem prowadzeniu jej przez władze wojskowe, oraz przeróbek, związanych z jej przyszłemi celami doświadczalnemi; pozatem należało ustawić nowy kocioł parowy, pozwalający produkować parę przegrzaną. Wszystko to zostało wykonane w okresie 1919-23,