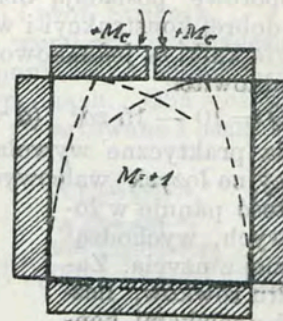
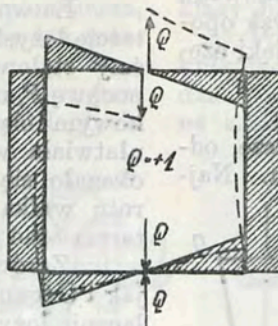
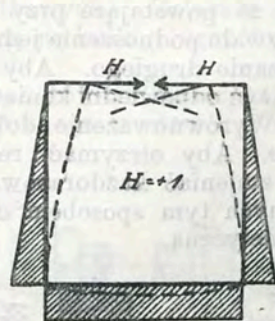


Z rys. 1, 2 i 3 jest widoczne, że takim momentom dano znak +, które środek linii sprężystości odkształconej kładą do środka systemu. Wynika z tego, że wszelkie momenty obciążeń zewnętrznych trzeba oznaczyć znakiem —.



Momenty wypadkowe:

1) Płyta A—B w środku:

$$M_{01} = -\frac{1}{8} \cdot 5400 \cdot 3,25^2 = -7120 \text{ mkg}$$

$$M_A = +2454 \text{ „}$$

$$M_1 = -4666 \text{ mkg, czyli } \frac{1}{12,2} \text{ pl}^2.$$

2) Płyta C—D w środku:

$$M_{02} = -\frac{1}{8} \cdot 6200 \cdot 3,25^2 = -8200 \text{ mkg}$$

$$M_c = +2728 \text{ „}$$

$$M_2 = -5472 \text{ mkg, czyli } \frac{1}{12,0} \text{ pl}^2.$$

3) Ściany AC, względnie BD, w wysokości k:

$$M_{03} = -\frac{4800 \cdot 1,25 \cdot 1,75}{3,0} = -3500 \text{ mkg}$$

$$M_A \cdot \frac{k}{h} = 2454 \cdot \frac{1,25}{3,0} = +1020 \text{ „}$$

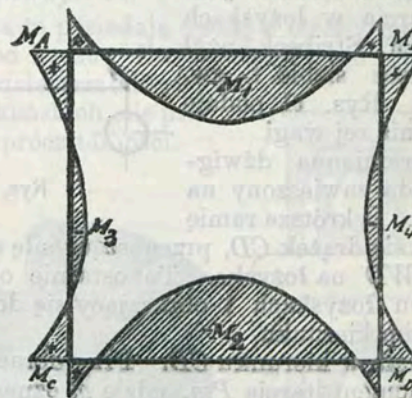
$$M_c \cdot \frac{h-k}{h} = 2728 \cdot \frac{1,75}{3,0} = +1600 \text{ „}$$

$$M_3 = M_4 = -880 \text{ mkg, czyli } 0,25 M_{03}.$$

Momenty te podane są na rys. 4.

Przy oznaczaniu wymiarów nie zaleca się według mego doświadczenia liczyć zbyt oszczędnie, przynajmniej przy betonie. To też naprężenia przy podanym powyżej tunelu przyjęto: 1000 kg/cm<sup>2</sup> dla żelaza w górnej i dolnej płycie a dla

betonu 30 kg/cm<sup>2</sup>, w ścianach zaś 20 kg/cm<sup>2</sup>. Koszt metra sześciennego żelazo-betonu przy 6 markach za m<sup>3</sup> żwiru 110 marek za 1000 kg żelaza i 2,60 marek za 100 kg cementu wynoszą 36—40 marek. Tunel budowany jest na mokrych



Rys. 4.

bagnach, i mimo, iż nie posiada żadnych głębszych fundamentów, dotąd jakichkolwiek uszkodzeń nie zauważono. Połużne uzbrojenie wynosi 10 prętów 12 mm średnicy na cały profil.

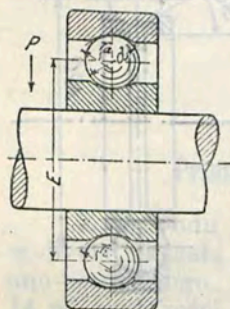
Czesław Kłoś, inż. dipl.

## ŁOŻYSKA KULKOWE.

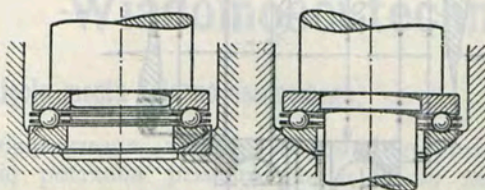
Opracował H. Mierzejewski, inż. mech.

(Ciąg dalszy do str. 410 w № 32 r. b.).

Podział łożysk kulkowych. Zależnie od siły działającej, łożyska kulkowe dzielą się na promieniowe, osiowe i stożkowe. Przy sile, działającej prostopadle do wału, kulki, odbierające ciśnienie umieszczone są pomiędzy dwoma pierścieniami współśrodkowymi (rys. 8); ze względu na kierunek



Rys. 8.



Rys. 9.

siły, łożysko takie nazywa się promieniowym, inaczej walcowym. Przy sile, działającej wzdłuż wału, kulki umieszczone są pomiędzy dwoma pierścieniami, umieszczonymi jeden za drugim (rys. 9); mamy wówczas łożysko osiowe lub oporowe. Łożyska stożkowe (rys. 10) stosowane są przy siłach, działających równocześnie wzdłuż i prostopadle do wału.

W łożysku walcowym (rys. 8) oba pierścienie posiadają rowki, w których toczą się kulki. Promień krzywizny rowka w pierścieniu zewnętrznym klasycznego łożyska kulko-

wego  $r_a = \frac{9}{16} d$ , a w wewnętrznym  $r_i = \frac{25}{48} d$ , co usprawiedliwione jest tem, że rozpatrywany z boku pierścień zewnętrzny jest wklęsły, a zewnętrzny wypukły względem kulki.

Łatwo zrozumieć, że w łożysku walcowym kulki nie są jednakowo obciążone. Jeżeli siła  $P$  działa na wał w kierunku strzałki (rys. 8), obciążone są jedynie dolne kulki. Najbardziej obciążona jest kulka, znajdująca się naprzeciwko miejsca przyłożenia siły wypadkowej. Według Striebecka, przy zapełnieniu kulkami całej przestrzeni między pierścieniami:

$$P = \frac{5}{z} Q \quad (4)$$

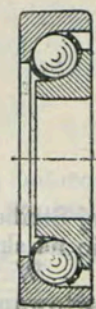
gdzie  $P$  oznacza obciążenie największej kulki,  $z$  — liczbę kulek, a  $Q$  — obciążenie całkowite łożyska walcowego.

Jeżeli przyjmiemy, że  $P = 10 d^2$  ( $d$  w  $\frac{1}{8}$ "), to zależność pomiędzy obciążeniem łożyska a liczbą i średnicą kulek ujmuje wzór:

$$Q = 2 z d^2.$$

Przykład liczebny. Łożysko walcowe posiada 15 kulek 1". Obciążenie dopuszczalne według Striebecka ( $P = 10 d^2$ ) wynosi:

$$Q = 2 \cdot 15 \cdot 8^2 = 1920 \text{ kg.}$$



Rys. 10.



Według Brühla (Z. V. D. I., r. 1909, str. 1846), obciążenie pojedynczej kulki można podnieść do  $P = 15 d^2$ .

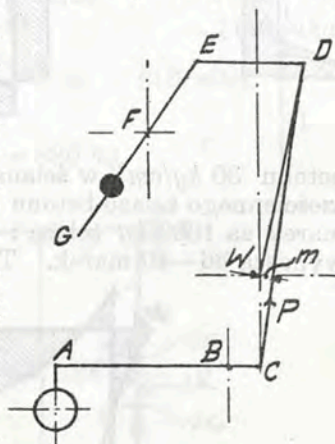
$$Q = 3 \cdot 15 \cdot 8^2 = 2880 \text{ kg.}$$

Łożyska oporowe posiadają oba rowki jednakowego kształtu. Przy dobrej konstrukcji i wykonaniu łożysk oporowych, wszystkie kulki są jednakowo obciążone, dzięki czemu obciążenie całkowite:

$$Q = 10 - 15 z d^2 \quad (d \text{ w } \frac{1}{8}").$$

Wymagania praktyczne wywołały najrozmaitsze odmiany konstrukcyjne łożysk walcowych i oporowych. Największa różnorodność panuje w łożyskach stożkowych, wychodzących coraz bardziej z użycia. Zależnie od kształtu rowków, liczby zetknięć kulek z rowkami, konstrukcji, łożyska stożkowe dają bardzo różne wartości tarcia i obciążeń.

**Przyrządy do badania tarcia w łożyskach kulkowych.** Do badania tarcia w łożyskach kulkowych, prof. Stribeck użył obmyślonej przez siebie t. zw. „wagi ciernej”. Rys. 11 podaje schemat działania tej wagi.



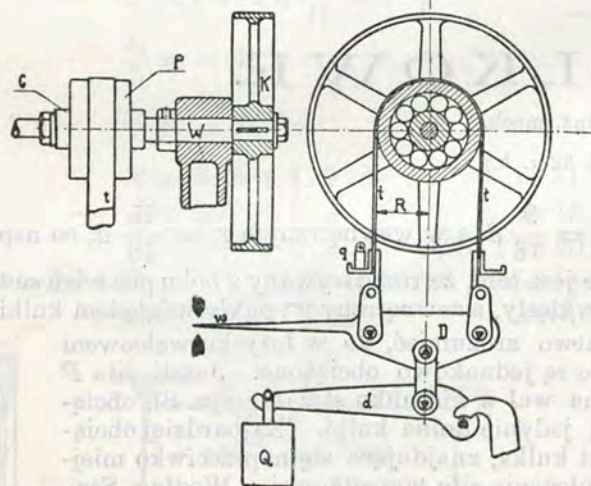
Rys. 11.

Nierównoramienna dźwignia ABC posiada zawieszony na końcu A ciężar. O krótsze ramię dźwigni opiera się drążek CD, przenoszący siłę za pośrednictwem drążka WD na łożysko. To ostatnie obejmuje wał, osadzony w dwu łożyskach i obracający się dowolnie w jednym lub drugim kierunku.

Siła P działa w kierunku CD. Przy obracaniu się wału, powstaje moment tarcia  $Pm$ , gdzie  $m$  oznacza odległość siły P od osi W. Jeżeli moment tarcia uważać za iloczyn tarcia idealnego  $\mu_i P$  przez odległość  $r$  od osi wału, to przy równowadze:

$$\mu_i Pr = Pm; \text{ a } \mu_i r = m,$$

$r$  — posiada wartość ściśle oznaczoną dla każdego łożyska, wobec czego  $\mu_i$  jest proporcjonalne do  $m$ . Przy wadze cier-



Rys. 12.

nej Stribeck, wartości  $\mu_i$  można było odczytywać bezpośrednio na skali.

W wadze tej drążki zaopatrzone są w noże stalowe hartowane, służące jako punkty oparcia. Dla zrównoważenia ciężaru własnego drążków, dodana została dźwignia GFE z ciężarkiem dodatkowym.

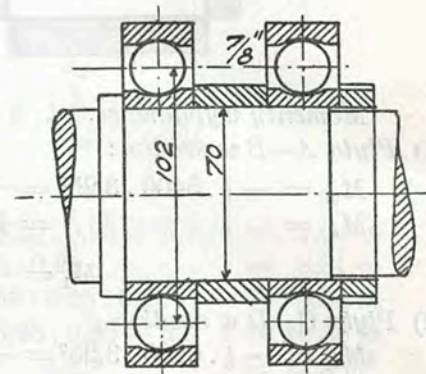
Przyrząd stosowany przez Gégauffa<sup>1)</sup> do mierzenia pracy tarcia, składał się z wałka W, otrzymującego napęd od koła pasowego K; na wałek ten można było nakładać czopy C o najrozmaitszych średnicach. Łożysko kulkowe umieszczane było wewnątrz pochwy P, obracającej się swobodnie względem czopa C (rys. przedstawia łożysko schematycznie). Do obciążania łożyska użyto cienkiej taśmy stalowej  $t$ , przerzuconej przez pochwę i naciągniętej zapomocą

ciężaru Q, działającego na układ dźwigni D i d. Ramiona dźwigni d były tak dobrane, by obciążenie łożyska było 10 razy większe od Q. Gdy wałek nie obracał się, oba końce taśmy były naciągnięte z jednakową siłą.

Łatwo zrozumieć, że powstające przy obrocie wałka tarcie łożyskowe wywoływało podnoszenie jednego końca taśmy stalowej i opuszczanie drugiego. Aby unieruchomić pochwę P, należało obciążyć odpowiedni koniec taśmy dodatkowym ciężarkiem q. Wyrównoważenie dokładne pochwy ułatwiała wskazówka w. Aby otrzymać rezultaty ściśle, okazało się niezbędnym zmieniać każdorazowo kierunek obrotu wałka i z otrzymanych tym sposobem dwóch wartości tarcia brać średnią arytmetyczną.

Zarówno Stribeck jak i Gégauff badał wyłącznie łożyska walcowe i stożkowe najrozmaitszych konstrukcji.

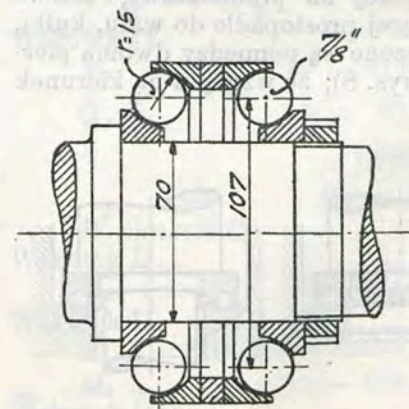
**Oznaczenie wartości tarcia.** Poddane przez Stribeck badaniu podwójne łożysko walcowe (rys. 13) wytrzymywało do 5000 kg obciążenia. Na zasadzie bardzo bogatego materiału doświadczalnego Stribeck wnioskuje, że współczynnik tarcia w granicach obciążeń przeciętnych i przy ilości obrotów 65 do 780 na minutę  $\mu_i = 0,0015$ . Przy większych obciążeniach, wartość powyższa spada powoli, pozostając niezależną od prędkości obrotowej. Następująca tabliczka zestawia rezultaty osiągnięte.



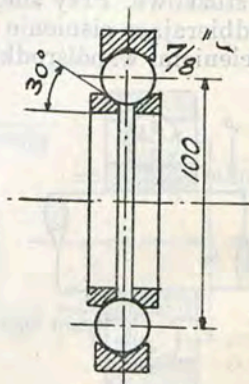
Rys. 13.

Ilość obr./min. . . . .		65	385	780
Obciążenie łożyska	odpowiad.			
380 kg	1,4 d <sup>2</sup> (d w 1/8" ang.)	$\mu_i = 0,0033$	0,0035	0,0037
850 "	3,1 "	" 0,0020	0,0021	0,0022
1100 "	4,0 "	" 0,0017	0,0018	0,0019
1580 "	5,8 "	" 0,0016	0,0016	0,00165
2050 "	7,5 "	" 0,0015	0,0015	0,0015
3000 "	11,0 "	" 0,0015	0,0013	0,0013
4900 "	17,9 "	" —	—	0,0011

Łożysko stożkowe (rys. 14) obciążane w granicach od 380 do 3000 kg, przy ilości obrotów od 65 do 780 na minutę, dało wartości o 15% większe, niż przy konstrukcji poprzedniej. Ogromne różnice dały natomiast łożyska stożkowe,



Rys. 14.



Rys. 15.

w których kulka posiada więcej niż dwa punkty zetknięcia z pierścieniami. Tak np. przy konstrukcji, przedstawionej na rys. 15,  $\mu_i$  przy 380 kg obciążenia, = 0,0051, a przy 1800 kg  $\mu_i = 0,0037$ . W łożysku tem, obok tarcia toczenia, zjawia się tarcie ślizgania, niszczące szybko kulki i pierścienie. Konstrukcje tego rodzaju nie nadają się do zastępowania zwykłych łożysk w żadnym wypadku.

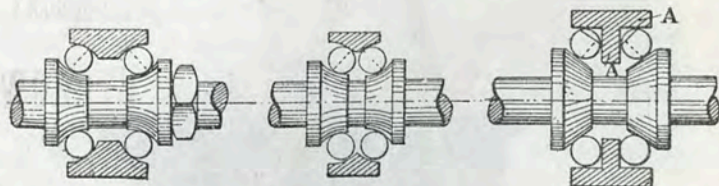
Do tych samych wyników dochodzi i Gégauff. Doświadczenia, przeprowadzone przez tego ostatniego, nie posiadają tak wybitnie wypracowanej podstawy naukowej, jak

<sup>1)</sup> Genie civil, r. 1910, str. 93.



to można powiedzieć o badaniach Stribecka. Tem nie mniej posiadają one wartość, dzięki uwzględnieniu łożysk stożkowych różnych konstrukcji, oraz zwróceniu uwagi na rozmaite uboczne czynniki, wpływające na praktyczne stosowanie łożysk kulkowych. Zależnie od kształtu pierścienia, w których łączą się kulki, Gégauff odróżnia cztery klasy łożysk stożkowych.

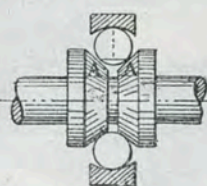
I klasa (rys. 16). Kulka dotyka się pierścienia zewnętrznego i wewnętrznego w dwóch punktach przeciwległych.



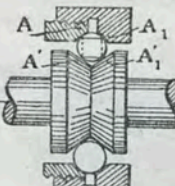
Rys. 16.

w stosunku do klasy poprzedniej dwu-, cztero-, a nawet dziesięciokrotnie, przewyższając tarcie w zwykłych łożyskach brązowych, które posiadają prócz tego zaletę większej trwałości. Do identycznych wniosków, dotyczących tej klasy łożysk, dochodzi i prof. Stribeck.

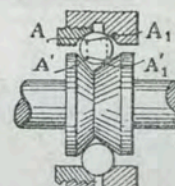
Pomimo takich wyników doświadczalnych, łożyska kulkowe z czterema punktami dotykania, stosowane są po dziś dzień w wielu wypadkach. Oba stożki są wykrapowane z blachy stalowej, zahartowane i oszlifowane. Łożysko



Rys. 17.



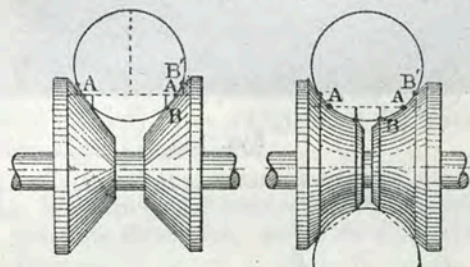
Rys. 18.



Rys. 19.

Dla łożysk tych Gégauff znalazł wartość  $\mu_s \approx 0,0016$ , taką samą prawie, jak w doświadczeniach analogicznych Stribecka.

II klasa (rys. 17). Kulki dotykają się w dwóch punktach pierścienia wewnętrznego i w jednym zewnętrznego. Obok toczenia kulki istnieje i ślizganie. Zjawisko wyjaśnia dokładnie rys. 20. Spłaszczenie kulki spowodowane dotykaniem kulki w sąsiedztwie punktu A do punktów B i B' włącznie. Przy toczeniu kulka obraca się względem prostej AA', przy czym punkty B i B' opisują okręgi kół o promieniach AB i A'B'. Im bardziej łożysko jest wytarte, tem większa jest



Rys. 20.

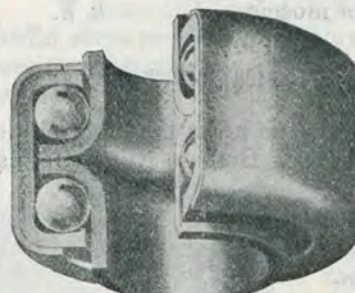
powierzchnia tarcia. Doświadczenia wykazały, że nowe łożysko klasy drugiej pochłania dwa razy tyle energii, co odpowiedniej wielkości łożysko I klasy. Po kilku godzinach obrotu, rowki wycierają się na tyle, że praca tarcia wzrasta trzykrotnie, w stosunku do łożyska klasy pierwszej.

III klasa (rys. 18). Kulka dotyka się pierścieni w czterech punktach rozstawionych symetrycznie. Na zasadzie opisu łożysk klasy poprzedniej, łatwo zrozumieć, że tarcie powstaje tak w rowku pierścienia wewnętrznego jak i zewnętrznego i że praca, zużyta na tarcie, podwaja się.

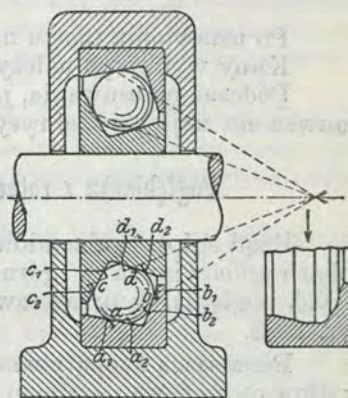
IV klasa (rys. 19). Kulka dotyka się pierścieni w czterech punktach, rozstawionych niesymetrycznie. Jeden z punktów dotykania ślizga się stale. Tarcie zwiększa się

tego rodzaju dwurzędowe w wykonaniu Pressed Steel Mfg. Co. przedstawia rys. 21.

Łożyska te posiadają oponę z blachy mosiężnej, zabezpieczającej od kurzu. Za łożyskami tego rodzaju, wyrabianymi przez wiele firm niemieckich i amerykańskich, nie przemawia nic, oprócz taniości.



Rys. 21.



Rys. 22.

Pewne ulepszenie tych łożysk polegałoby <sup>1)</sup> na odpowiednim doborze nachylenia stożków pierścieniowych według rys. 22. Nie zapobiega to wycieraniu się pierścieni, zmniejsza je jednak przez sprowadzenie łożyska klasy IV do III dzięki temu, że osi obrotów chwilowych przecinają się na głównej osi wałka.

Nawet i ta zasada nie zawsze obowiązuje fabrykantów tanich łożysk kulkowych, stosowanych nie tylko w rowerach lub wrotkach, lecz nawet i w samochodach, co powinno być najzupełniej wykluczone, wobec znacznych obciążeń i prędkości obwodowych.

(C. d. n.)

<sup>1)</sup> Brühl, Z. V. D. I., str. 1846, r. 1909.

## Wiadomości techniczne i przemysłowe.

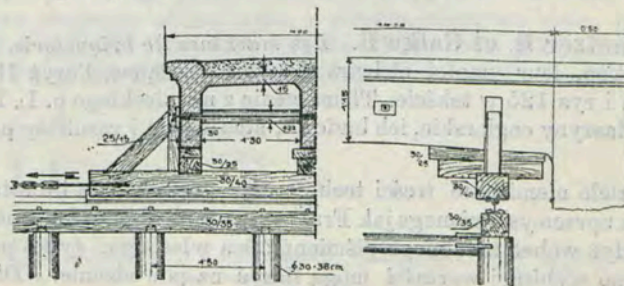
### Przesunięcie mostu żelazno-betonowego.

Z powodu rozszerzania stacji wodno-elektrycznej, w Wels okazała się potrzeba przesunięcia o 25 m żelazno-betonowego mostu drogowego. Most ten, rozpiętości 14 m, szerokości 4 m i wagi 70 t, zbudowany był w r. 1899 na kanale, doprowadzającym wodę do turbin tuż przy budynku. Należało zatem roboty przeprowadzić w ten sposób, żeby nie tamować dopływu wody do turbin, powtórnie—chodziło o pośpiech. Budowa mostu nowego zajęłaby zbyt wiele czasu, i rusztowania podczas budowy tamowałyby dopływ wody na całej szerokości kanału.

Przesunięcia dokonano w ciągu 2 dni.

Na rys. 1 pokazany jest sposób ustawienia rusztowań pod mostem podczas przesuwania. Na palach, zabitych po bokach kanału, położone były legary (30 × 35 cm), na których umocowano zwykłą szynę kolejową. Druga szyna,

wpasowana na płask w górny legar (30 × 40 cm), położona była na pierwszej. Rusztowanie było usztywnione poprzecz-



Rys. 1.

nemi rozpórkami. Cały ciężar mostu przeniesiono na rusztowanie zapomocą klinów, podbitych w sposób, pokazany na rys. 1.