

PROF. ST. KUNICKI.

W kwestji norm do obliczania mostów żelaznych kolejowych.

Jak wiadomo, ciężar pociągów towarowych na kolejach żelaznych ma stałą tendencję do powiększania się, gdvż korzystniej jest puszczać mniejszą ilość pociągów ciężkich, niż dużą ilość pociągów, których ładowność nie została należycie wykorzystana.^{*)} Z tego powodu i waga parowozów, przeznaczonych dla pociągów ciężarowych, ma także stałą tendencję do zwiększania się z biegiem czasu. Stosownie do tego zmieniają się normy obciążeń, na zasadzie których należy obliczać mosty kolejowe. Jeżeli rozpatrzmy rosyjskie koleje żelazne, to możemy skonstatować następujące fakty.

W początkach masowej budowy kolei żelaznych w Rosji t. j. w końcu szóstego i na początku siódmego dziesiątka ubiegłego stulecia, w normach do obliczania mostów kolejowych, (które wówczas jeszcze załączano jako warunki techniczne do statutów odnośnych prywatnych Towarzystw Kolejowych) znajdujemy parowozy trzech-osiowe z ciśnieniem każdej osi po 11 tonn, t. j. waga całego parowozu w stanie roboczym wynosiła tylko 33 tonny. Wkrótce potem wydany był przez Ministerjum Komunikacji okólnik (w roku 1875) w sprawie obliczania mostów żelaznych, w którym znajdujemy parowozy trzech-osiowe z ciśnieniem osi po 12 tonn, czyli cała waga parowozu w stanie roboczym wynosiła 36 tonn. W roku 1884 b. Techniczno-Inspektorski Komitet Kolei Żelaznych, przy Ministerjum Komunikacji, wydaje nowy okólnik o obliczaniu mostów, w którym już mamy parowozy cztero-osiowe, z ciśnieniem każdej osi po 12½ tonny, czyli waga całego parowozu wynosiła 50 tonn. W roku 1896 normy ciśnienia osi cztero-osiowego parowozu zwiększone są do 15 tonn, to jest waga całego parowozu = 60 tonn. W roku 1907 podane zostały nowe normy obciążeń, a mianowicie pięcio-osiowe parowozy z ciśnieniem osi po 20 tonn, t. j. waga całego parowozu = 100 tonn. Wreszcie w roku 1920 (16 września) Rada Technicznego Komitetu Komisarjatu Dróg Żelaznych w Moskwie, postanowiła przyjąć dla obciążenia ruchomego przy obliczaniu mostów kolejowych, na drogach żelaznych magistralnych następujące normy: a) parowozy sześć-osiowe z ciśnieniem każdej osi po 30 tonn, przy odległościach od buforu do 1-ej osi—1,5 metra, między sąsiednimi osiami po 1,6 metra i od 6-ej osi do tylnego buforu 2,5 metra; b) tendry cztero-osiowe z ciśnieniem każdej osi po 25 tonn, przy odległościach od przodu tendra do 1-ej osi—1,5 metra, między osiami 1-ą i 2-ą—1,6 metra, 2-ą i 3-ą—2 metry, 3-ą i 4-ą—1,6 metra i od 4-ej osi do tyłu tendra—1,5 metra; c) obciążenie od wagonów ciężarowych po 9 tonn na metr bieżący długości pociągu. Obliczenie powinno się prowadzić w przypuszczeniu podwójnej trakcji (jak to miało miejsce i we wszystkich poprzednich normach), przyczem parowozy po-

*) „Mechanik“ zeszyt II. *St. Felsz inż.* Wielkość składów pociągowych.
zeszyt V. *M. Piechowski inż.* Wielkość składów pociągowych
i najkorzystniejsza szybkość jazdy obecnie i w niedalekiej przyszłości. (Przyp. red.).

winy być postawione w najniekorzystniejszej pozycji, t. j. z kominami obok siebie, lub zwróconemi w jedną stronę. Wagony ustawia się tylko z jednej strony parowozów. Rozerwanie pociągu dopuszcza się tylko w jednym miejscu. Przy obliczaniu małych mostków i jezdni dużych mostów należy przyjmować pod uwagę wypadek obciążenia od dwóch osi po 35 tonn od każdej, przy odległości między niemi po 1,6 metra. Te najnowsze normy obciążeń, postanowiono było wprowadzić dopiero po ustaleniu nowych norm dopuszczalnych natężeń dla kolejowych mostów żelaznych, które zostały opracowane przez autora i zatwierdzone w Moskwie, w roku 1921, przez Radę Techniczną Komitetu Komisarjatu Komunikacji, na mocy decyzji Mostowej Komisji. Z powyższego widać, że powiększanie norm obciążeń ruchomych, dla obliczania mostów kolejowych, w Rosji wprowadzane było co 8 do 13 lat.

W Niemczech spostrzegamy te same zjawisko, a mianowicie, według norm 1895 roku, wymagane było obliczanie mostów na parowozy o pięciu osiach z ciśnieniem pierwszej osi — 7 tonn, drugiej — 14 tonn, i trzech osi po 13 tonn, przy odległościach osi 1-ej do 2-ej — 2,2 metra, 2-ej do 3-ej — 1,4 metra, 3-ej do 4-ej i 4-ej do 5-ej po 1,35 metra. W roku 1905 pruski Zarząd Kolei Żelaznych, polecił stosować parowozy pięcio-osiove z ciśnieniem każdej osi po 17 tonn przy odległościach między niemi 1,5 metra, tendry trzech-osiove z ciśnieniem osi po 13 tonn przy odległościach międzyosiowych 1,5 metra i wagony dwuosiove z ciśnieniem po 13 tonn, przy odległości między osiami po 3 metry i przy długości wagonu 6 metrów, co

odpowiada równoznacznemu obciążeniu na bieżący metr pociągu $4,33 \frac{\text{tonn}}{\text{metr}}$.

Oprócz tego dla jezdni i dla małych mostków, najniekorzystniejsze obciążenie których zależy od ilości osi parowozów mniejszej od pięciu, polecano przyjmować większe obciążenia od osi parowozu, a mianowicie: od jednej lub dwóch osi obciążających po 20 tonn, od trzech osi po 19 tonn, i od czterech osi po 18 tonn, przyjmując odległość między niemi — 1,5 metra. Według norm roku 1909, wydanych przez Związek Dyrekcji Kolejowych niemieckich największe ciśnienia osi wynoszą: dla parowozów 16 tonn, dla tendrów — 13 tonn, przy odległościach między osiami od 1,4—1,5 m. i 1,6 m. i dla wagonów 9 tonn, przy odległościach między osiami—2,5 metra. W roku 1910 pruski Zarząd Kolejowy ustalił skład nowego pociągu (klasa B) z parowozami pięcio-osiowemi z ciśnieniem osi po 20 tonn, tendrów i wagonów po 15 tonn. Wogóle w ostatnich (przed 1914 rokiem) pięćdziesięciu latach, ciśnienie osi powiększyło się w Niemczech dla parowozów z 13 do 20, dla tendrów z 9 do 15 i dla wagonów z 8 do 15 tonn. Wreszcie w roku 1922 (okólnik z dnia 12 maja) ustanowiona została nowa ciężka norma dla pociągów, przeznaczonych do masowego przewozu ładunków z materiałów sypkich, np. węgiel, ruda etc. i składających się z ciężarowych wagonów z urządzeniem dla automatycznego wyładowywania. Wagony te są cztero-osiove, długości 10 metrów z ciśnieniem osi po 20 tonn, czyli waga całego wagonu z ładunkiem stanowi 80 tonn, t. j. 8 tonn na metr bieżący wagonu. W tej normie przyjęte są tender-parowozy siedmio-osiove, z ciśnieniem osi po 25 tonn i przy odległościach między sąsiednimi osiami po 1,6 metra. Cała waga tender-parowozu stanowi 175 tonn, przy długości

między buforami 12,8 metra, t. j. obciążenie na metr bieżący stanowi $13,67 \frac{\text{tonn}}{\text{metr}}$.

W Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej na różnych liniach kolejowych przyjęte są różne normy obciążeń, lecz jako normalne obciążenie od osi parowozu liczy się 25 tonn, a ciśnienie oddzielnych osi dochodzi do 32 i 33 tonn, obciążenie zaś od wagonów ciężarowych na metr bieżący toru przyjmuje się do $8,27 \frac{\text{tonn}}{\text{metr}}$. Obciążenia amerykańskie miały znaczny wpływ na nowe normy rosyjskie i niemieckie.

We Francji, według okólnika z roku 1915, normalne obciążenie ruchome mostów kolejowych przyjmuje się od pięcio-osioowego parowozu z ciśnieniem osi po 20 tonn. W Anglii przyjęte jest także obciążenie. Obecnie francuscy inżynierowie uznają niedostateczność tych norm, gdyż, na przykład, znany inżynier dróg i mostów *prof. Mesnager* wskazuje, że w warunkach technicznych dla wykonania projektu mostu żelaznego przez rzekę Żółtą *) w Chinach, nawet chińczycy przyjęli powiększone, w stosunku do francuskich ostatnich norm, obciążenie ruchome, a mianowicie — ciśnienie osi 22,8 tonny (zamiast 20 tonn) i obciążenie na metr bieżący toru od wagonów $7,2 \frac{\text{tonn}}{\text{metr}}$.

W Polsce w roku 1919 ustalone były normy ruchomych obciążeń dla mostów kolejowych, składające się z parowozu pięcio-osioowego z ciśnieniem osi po 20 tonn, przy odległościach między sąsiednimi osiami po 1,5 metra, odległość od buforu do osi stanowi 2 metry, tendry cztero-osiowe z ciśnieniem osi po 14 tonn i z odległościami między sąsiednimi osiami po 1,5 metra, i wagony dwu-osiowe po 16 tonn, przy odległości między osiami po 3 metry, t. j. obciążenie od wagonów na metr bieżący toru stanowi $5,33 \frac{\text{tonn}^{**})}{\text{metr}}$.

Z powyższego widać, że egzystujące normy obciążeń ruchomych do obliczania mostów kolejowych w Polsce, są znacznie mniejsze niż w sąsiednich państwach, t. j. w Rosji i Niemczech, co nie odpowiada warunkom dalszego rozwoju ruchu tranzytowego przez Polskę.

Otóż obecnie zaproponowane są nowe normy obciążeń ruchomych do obliczania nowych mostów kolejowych w Polsce, a mianowicie:

1) Normalny ciężki pociąg z pięcio-osiowymi parowozami z ciśnieniem każdej osi po 25 tonn, przy odległościach między sąsiednimi osiami po 1,5 metra, od przedniego buforu do 1-ej osi — 2 metry, od 5-ej osi do tylnego buforu — 2,5 metra, z tendrami cztero-osiowymi z ciśnieniem osi po 16 tonn i przy wszystkich odległościach po 1,5 metra i z takimiż wagonami z ciśnieniem osi po 12 tonn, przy odległościach — 1; 1,5; 3; 1,5; 1 metr, t. j. obciążenie od wagonów na metr bieżący toru stanowi $6 \frac{\text{tonn}}{\text{metr}}$ (Pociąg ten został już przyjęty przy obliczeniu mostu

*) Hoang-ho (przyp. red.).

***) Patrz „Ars Technica“ Nr. 2 (przyp. red.).

żelaznego przez Wisłę, na linii średnicowej, w Warszawskim węźle kolejowym).

2) Specjalny pociąg ciężarowy przeznaczony dla masowego przewozu ładunków z materiałów sypkich (węgiel, ruda etc.), składający się z siedmio-osiowych tender-parowozów z ciśnieniem osi po 25 tonn, przy odległościach po 1,5 metra, t. j. cała długość tender-parowozu stanowi 12 metrów, czyli obciążenie na metr bieżący długości— $14,583 \frac{\text{tonn}}{\text{metr}}$ i ze specjalnych wagonów ciężarowych cztero-osiowych, ustawionych z jednej strony dwóch tender-parowozów, z ciśnieniem osi wagonu po 20 tonn, przy odległościach 1,5; 1,5; 4; 1,5; 1,5 metra, t. j. obciążenie od wagonu na metr bieżący toru stanowi $8 \frac{\text{tonn}}{\text{metr}}$.

Takie powiększone obciążenia ruchome, naturalnie, mogłyby wywołać znaczne zwiększenie wagi własnej mostów żelaznych, to jest ilości tonn żelaza, potrzebnego do zbudowania mostu danej rozpiętości, o ile by nie były zastosowane odpowiednie środki do możliwego zmniejszenia tej wagi.

Jednym z bardzo skutecznych takich środków jest możliwe zwiększenie stosunku $\left(\frac{h}{l}\right)$, wysokości dźwigarów głównych i belek jezdni do ich rozpiętości. Na mocy amerykańskiej praktyki stosunek ten w nowszych mostach w Rosji doprowadzono już do $1/5$. W pierwszym rzędzie zatem wskazanem jest przy projektowaniu nowych mostów kolejowych, przytrzymywanie się, o ile możliwości, bliżej tego stosunku.

Drugi środek zmniejszenia ciężaru własnego mostów zawiera się w większym wykorzystaniu wytrzymałości żelaza, t. j. w możliwym, dla danego materiału, powiększeniu dopuszczalnych natężeń. Mówimy tu o żelazie zlewnym mostowym, które charakteryzuje się najmniejszą wytrzymałością na rozerwanie— $37 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ (od 37 do $44 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$), najmniejszą ciągliwością—20%, granicą proporcjonalności nie niższą od $20 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ (od 20 do $24 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$) i granicą płynności nie niższą od $24 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ (od 24 do $30 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$).

W Rosji do roku 1921 używany był dla określenia zasadniczych dopuszczalnych natężeń (na wyciąganie i ściskanie przy zgięciu) żelaza zlewnego w mostach kolejowych, następujący prostoliniowy wzór:

$$\sigma_s = (7,5 + 0,02 l) \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$$

dla natężeń statycznych od ciężaru własnego i obciążenia ruchomego, lecz nie wyżej $10,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ i

$$\sigma_{sw} = (7,5 + 0,04 l) \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$$

dla natężeń statycznych od ciężaru własnego, obciążenia ruchomego i wiatru, lecz nie wyżej $12,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$. W powyższych wzorach l —jest to roz-

piętość dźwigara mostowego w metrach. Dla jezdni zasadnicze dopuszczalne natężenie przyjmowne było $7,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$.

Wielu inżynierów i profesorów wskazywało niejednokrotnie, że wyżej przytoczone maksymalne cyfry—10,5 i $12,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ są za niskie i że żelazo w mostach rosyjskich nie było dostatecznie wykorzystane. Pod tym względem zasługuje na uwagę referat znanego profesora z Charlottenburg'a *H. Müller — Breslau*, podany do Zarządu Moskiewsko-Kazańskiej kolei żelaznej w roku 1909, z powodu projektu mostu przez Wołgę koło Kazania, zamówionego u tego profesora.

W referacie tym wspomniany profesor wskazuje, że zasadnicze natężenia żelaza zlewnego, według jego zdania, mogą być znacznie powiększone i mogą się zawierać w granicach od 8,5 do 14,5 i nawet do $16 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$.

Amerykańska komisja ekspertów, która przyjechała do Rosji w lecie roku 1917, dla pomocy uregulowania transportów na rosyjskich kolejach żelaznych, wypowiedziała się, po obejrzeniu mostów, że ciężkie pociągi z amerykańskimi cztero-osiowymi wagonami (z ciśnieniem osi po 17 tonn) i z ciężkimi amerykańskimi parowozami Baldwina, mogą być przepuszczone po żelaznych mostach, z żelaza zlewnego, o ile zasadnicze natężenia w takowych nie przekraczają granicy $14 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ i o ile te mosty znajdują się w dobrym stanie fizycznym, t. j. nie mają stałych odkształceń, wyboczeń i pęknięć i o ile nitowania znajdują się w dobrym stanie. Członek tej komisji, specjalista mostowy *Doctor John E. Greiner*, który uprzejmie udzielał autorowi, nie tylko licznych wyjaśnień, lecz ofiarował mu także najnowsze klasyczne dzieła amerykańskie o projektowaniu mostów (za co niniejszym uważam za stosowne wyrazić mu publicznie najserdeczniejsze podziękowanie) wskazał, że wogóle nośność mostów żelaznych, znajdujących się w dobrym stanie fizycznym, praktycznie jest znacznie większa od przyjmowanej według obliczenia ich teoretycznej nośności i że dynamiczny współczynnik (*impact coefficient*), który Amerykanie przyjmują przy obliczaniu mostów, bierze się dla zapasu umyślnie znacznie większym, niż to odpowiada rzeczywistości, aby następnie przy powiększeniu obciążenia ruchomego, nie trzeba było wzmacniać mostów, szczególnie zaś ich jezdni, która jest najtrudniejszą do wzmocnienia. Wskutek tego zapasu można przepuszczać przez mosty cięższe pociągi ograniczając tylko szybkość ruchu.

We Francji, według cyrkularza z roku 1915, największe dopuszczalne zasadnicze statyczne natężenie żelaza w mostach przyjmuje się do $12 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$.

W Niemczech już w roku 1911 (cyrkularz 31 grudnia 1910 r.) przyjmowało się największe natężenie od obciążenia wagą własną i ciężarem ruchomym $\sigma_s = 11 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$, a z uwzględnieniem działania siły wiatru

$\sigma_{sw} = 12,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$. Obecnie według cyrkularza z dnia 12 maja 1922 r., dopuszcza się *max.* σ_s do $14 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$, a przy parciu wiatru do $16 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$.

Oprócz tego, trzydziestoletnia praktyka kolejowa ruchu ciężkich pociągów, z amerykańskimi ciężkimi parowozami Baldwina i takimiż ciężarówkami cztero-osłowymi wagonami, po niewzmocnionych żelaznych mostach starej konstrukcji, obliczonych na najłżejsze parowozy, pokazała, że dopuszczalne natężenia żelaza w mostach mogą być nieco powiększone, w porównaniu ze starymi normami. Szczególnie uwydatniło się to podczas ostatniej światowej wojny.

Prostoliniorny wzór podany powyżej w formie: $\sigma_s = a + b l$ ma niektóre bardzo ważne zasadnicze wady, a mianowicie: 1) we wzorze tym zasadnicze dopuszczalne natężenie jest funkcją rozpiętości mostowego dźwigara, co odpowiada rzeczywistości tylko względem pasów belki, leżących swobodnie na dwóch podporach, oraz pasów dźwigarów kratowych belkowych, leżących na dwóch podporach. Co się tyczy części kraty w takich mostach, t. j. skosów (krzyżulców) i słupków, to, jak wiadomo, natężenia w nich nie są funkcją rozpiętości, lecz funkcją długości obciążonego odcinka dźwigara, według odpowiedniej linii wpływowej. Jeżeli zaś mamy do czynienia z belką wspornikową, ciągłą lub z łukiem, lub też z dźwigarami wspornikowymi i łukowymi, to nawet dla natężenia w pasach potrzebne są, przy stosowaniu tego wzoru, pewne wskazówki: jaką mianowicie wartość należy przyjąć w tym wzorze zamiast rozpiętości l ; czyli że wzór ten wymaga w każdym poszczególnym wypadku objaśnień, w jaki sposób mamy go stosować. Jedyną zaletą wspomnianego wzoru jest jego prosta forma, łatwa do obliczeń. Lecz zaleta ta nie może mieć decydującego znaczenia, o ile chodzi o możliwość zastosowania wzoru bliżej odpowiadającego indywidualnym warunkom pracy oddzielnych elementów mostowych dźwigarów i z tej przyczyny dającego możność osiągnięcia pewnej oszczędności w ilości żelaza w każdym poszczególnym wypadku. Widzimy zatem, że ani forma wzoru używanego dotychczas, ani też granice wartości dopuszczalnych natężeń w mostach żelaznych, dotychczas stosowanych w Rosji, nie odpowiadają obecnym wymaganiom mostowej techniki. Wyboczenie uwzględnia się oddzielnie przez stosowanie współczynników zmniejszających.

Wzór dla zasadniczych dopuszczalnych natężeń w mostach z materiału danego gatunku i jakości, powinien mieć ogólną formę dla wszystkich dźwigarów mostowych i dla wszystkich ich prętów i według tego wzoru zasadnicze dopuszczalne natężenie powinno być zależne od indywidualnej pracy każdego oddzielnego pręta dźwigara mostowego. Forma wzoru nie powinna zależeć od systemu dźwigara lub od rodzaju pręta (pas, skos, słupek).

Używane w niektórych krajach, jak naprz. w Szwajcarii, wzory dla określenia zasadniczych dopuszczalnych natężeń

$$\sigma_s = a + b \frac{\text{min. } S}{\text{max. } S} \quad \text{lub} \quad \sigma_s = \sigma_0 \left(1 \pm c \frac{\text{min. } S}{\text{max. } S} \right)$$

są lepsze od wzoru prostoliniynego, będącego funkcją tylko rozpiętości dźwigara, jako uwzględniające do pewnego stopnia indywidualne wa-

runki pracy każdego pręta, lecz mają tę wadę, że współczynniki b i c są przyjęte w nich jako stałe. Tymczasem współczynniki te powinny być pewną funkcją długości obciążonej dźwigara, odpowiadającej $max. S$ w danym przęcie.

Wobec tego przez autora zaproponowane były wzory:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_d}{1 + \mu \left(1 \mp \frac{\min. S}{\max. S} \right)} \dots \dots \dots (1)$$

dla zasadniczych natężeń statycznych (σ_s) od wagi własnej i obciążenia ruchomego, i

$$\sigma_{sw} = \frac{\sigma_{dw}}{1 + \mu \left(1 \mp \frac{\min. S_w}{\max. S_w} \right)} \dots \dots \dots (2)$$

dla zasadniczych natężeń statycznych (σ_{sw}) od wagi własnej, obciążenia ruchomego i wiatru.

We wzorach tych litery mają następujące znaczenia: σ_d — największe dopuszczalne natężenie żelaza zlewnego od wagi własnej i obciążenia ruchomego przy uwzględnieniu dynamicznego działania tego obciążenia, σ_{dw} — jak wyżej z uwzględnieniem siły wiatru $min. S$ i $max. S$ — najmniejsza i największa siła działająca w danym przęcie (według zwykłego statycznego obliczenia metodą linii wpływowych) od wagi własnej i obciążenia ruchomego, $min. S_w$ i $max. S_w$ — te same wartości, lecz z dodaniem sił od działania wiatru, μ — współczynnik dynamiczny, zależny od obciążonej długości dźwigara, odpowiadającej $max. S$ w danym przęcie, obliczany według następującego wzoru:

$$\mu = 0,625 \left(\frac{1}{1 + 0,02 \lambda} \right),$$

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

Współczynnik dynamiczny μ ma następujące znaczenia:

λ metry	0	1	5	10	20	30	40	50
μ	0,625	0,612	0,570	0,520	0,450	0,390	0,350	0,310

λ metry	70	80	100	120	150	160	200	250
μ	0,260	0,240	0,210	0,180	0,160	0,148	0,125	0,100

Wzory te zostały przyjęte w roku 1921 w Rosji, przez Mostową Komisję i przez Radę Techniczną Komitetu Techn. przy Komisarjacie Komunikacji w Moskwie i w tymże roku wydany został odpowiedni cyrkularz, przyczem we wzorze (1) σ_d przyjęte zostało jako $13 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$, lecz σ_s ograniczono do cyfry nie wyższej od $12,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$, a we wzorze (2) σ_{dw} jako $15 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$, z ograniczeniem σ_{sw} do cyfry nie wyższej od $14,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$.

We wzorach tych, jeśli *min. S* i *max. S* są jednoznaczne, to bierze się znak (—), jeśli różnoznaczne, to znak (+). Zamieniają one znany wzór *Weyrauch'a* dla prętów naprzemian ściskanych i rozciąganych, przyczem dla zapasu w takich prętach, jeżeli μ wypadnie z tablicy mniejsze od 0,25, to przyjmuje się $\mu = 0,25$.

Typ wzoru (1) i (2) był zaproponowany przez autora jeszcze w roku 1890 w artykule wydrukowanym w dzienniku: „*Žurnal Ministierstwa Putiej Soobszczenja*“ pod tytułem „*Osnownyja dannyja dla projektirowanija metalliczeskich zeleznodoroznych mostow*“.

Zmienność współczynnika μ przyjęta została na mocy danych doświadczeń amerykańskich (roku 1910), biorąc wykres krzywej (μ) przechodzącej przez środek punktów, oznaczających rezultaty oddzielnych doświadczeń (t. j. bez zapasu, który amerykanie biorą umyślnie, o czem była mowa wyżej) i przyjmując pod uwagę, że uderzenia kół o szyny mają miejscowe znaczenie, że drewniane mostownice działają jak sprężyste poduszki, pochłaniając w znacznej mierze ściskaniem się poprzecznym wpływ uderzeń (doświadczenia *Considère'a* i *Dupuit*) i że ciśnienia od kół na szyny rozdzielają się na kilka mostownic. W razie zaś zastosowania na moście mostownic żelaznych, należy używać, dla zmniejszenia wpływu uderzeń na belki jezdni, sprężyste przekładki między szyną i mostownicą, oraz między mostownicą i żelazną podłużnicą, na przykład z kauczuku lub prasowanego filcu (wojłoku).

Krótkie uzasadnienie proponowanych wzorów wyjaśnia się z następujących uwag: σ_s — zawiera w sobie sumę dopuszczalnych nateżeń od wpływu wagi własnej i od wpływu statycznego działania obciążenia od pociągu; σ_{sw} — to samo, lecz z dodatkiem wpływu statycznego działania siły wiatru.

Wskutek tego, przy ocenianiu dynamicznego działania sił na belki jezdni, lub na główne dźwigary (zależnego w jednej części od zredukowanego wpływu uderzeń i w drugiej części od nagłego działania na dany pręt niewielkiej*) zaledwie cząstki całego obciążenia, odpowiadającego *max. S* w danym pręcie) należy pomnożyć przez μ tylko tą część σ_s , która zależy od statycznego obciążenia pociągiem belki lub dźwigara. Ta część może być znaleziona w ten sposób:

*) gdyż reszta tego obciążenia posuwając się od podpory na dźwigar w okresie pewnego czasu, zależnego od prędkości ruchu pociągu, działa nie nagle, lecz wzrastając stopniowo od zera do określonej wartości.

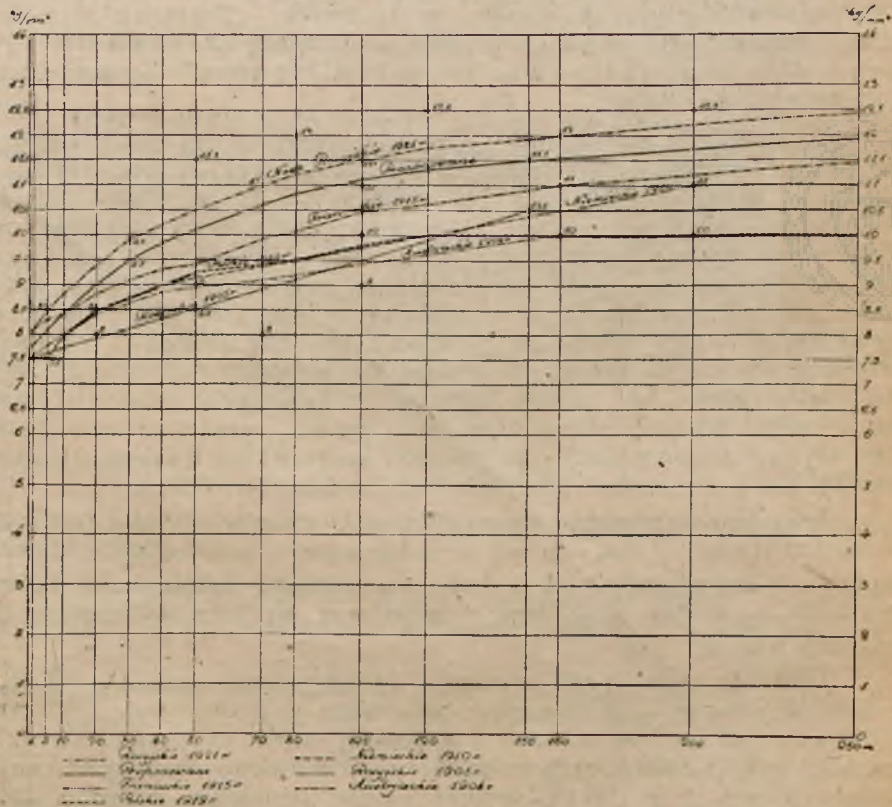
$$\sigma_s \cdot \frac{(\max. S - \min. S)}{\max. S} \dots \dots \dots (3)$$

Zatem ogólny wzór dla zasadniczego natężenia dopuszczalnego przy zwykłym statycznym obliczeniu, może być napisany w ten sposób:

$$\sigma_{gr.pr.} = \sigma_s + \mu \sigma_s \frac{(\max. S - \min. S)}{\max. S} + \text{zapas na niedające się dokładnie obliczyć wpływy i natężenia} \dots (4)$$

Jeśli ten zapas do granicy proporcjonalności na drugorzędne natężenia od sztywności połączeń, na niedokładności konstrukcji, na nierów-

*Zestawienie norm dopuszczalnych natężeń w $\frac{kg}{cm^2}$
w pasach mostów kolejowych belkowych łączących workowice na dwóch podporach*



Rys. 1.

nomierności temperatury i t. p., przyjmując według zdania wielu autorów i według danych praktyki mostowej około $\frac{1}{3}$ od natężenia przy granicy proporcjonalności, to możemy napisać:

$$\frac{2}{3}\sigma_{gr. pr.} = \sigma_s + \mu\sigma_s \left(\frac{\max. S \mp \min. S}{\max. S} \right) \dots (5)$$

lub

$$\frac{2}{3}\sigma_{gr. pr.} = \sigma_s + \mu\sigma_s \mp \mu\sigma_s \frac{\min. S}{\max. S} \dots (6)$$

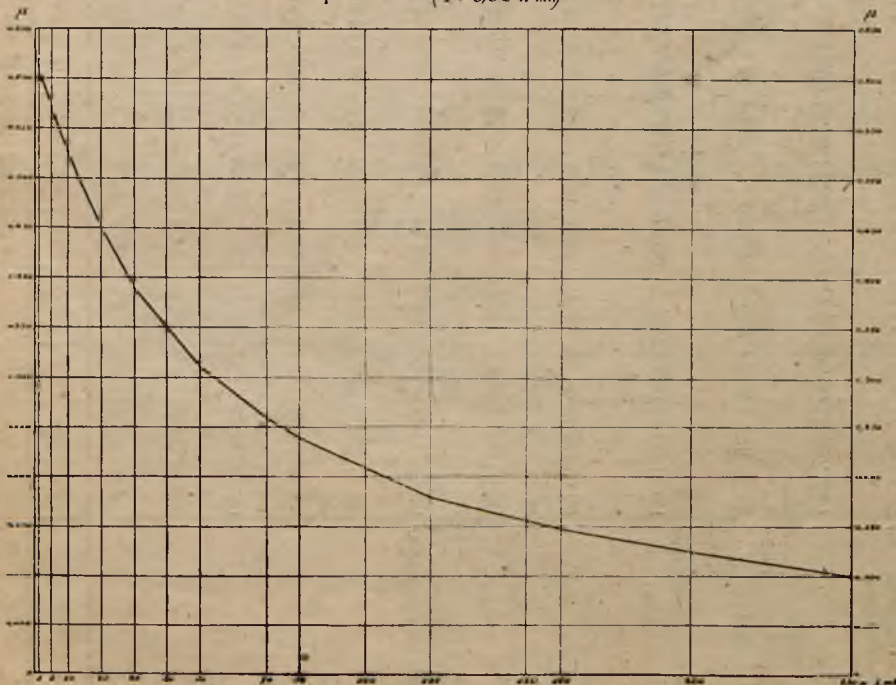
skąd

$$\sigma_s = \frac{\frac{2}{3}\sigma_{gr. pr.}}{1 + \mu \left(1 \mp \frac{\min. S}{\max. S} \right)} \dots (7)$$

$\frac{2}{3} \times 20 = 13,33 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ z uwzględnieniem zaś dodatkowej siły wiatru, możemy przyjąć dla σ_{sw} w liczniku wzoru (7) cyfrę wyższą, a mianowicie do $15 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$. Możliwe jest to tembardziej, że niektórzy autorowie, jak np. *Prof. Hartman*, w Wiedniu *) w artykule „Sparsamkeit im Eisenbrückenbau”, przyjmują za wyższą granicę sumy na-

DIAGRAM DYNAMICZNEGO WSPÓŁCZYNNIKA μ

$$\mu = 0,625 \left(\frac{1}{1 + 0,06 \lambda - 0,1} \right)$$



Rys. 2.

Przykład obliczenia dopuszczalnych natężeń według proponowanego wzoru dla pasów dźwigarów belkowych, łączących swobodnie na dwóch podporach

$\lambda (=l)$ mt	0	1	5	10	20	30	40	50	70	80	100	120	150	160	200	250	U w a g i
g tn g mt	0	0.77	0.86	1.15	1.96	2.49	2.88	3.12	3.70	4.03	4.70	4.90	5.20	5.30	5.50	6.00	
k tn mt	40	40	14.40	12.80	11.19	10.17	9.64	9.03	8.04	7.78	7.26	6.97	6.54	6.40	6.00	6.00	
$g + k$ tn mt	40	40.77	15.26	13.95	13.14	12.68	12.52	12.15	11.74	11.31	11.06	11.87	11.74	11.70	11.50	12.00	
$\frac{min S}{max S} = \frac{g}{g+k}$	0	0.02	0.06	0.08	0.15	0.20	0.23	0.25	0.32	0.34	0.39	0.41	0.44	0.45	0.48	0.50	
μ	0.625	0.612	0.57	0.52	0.45	0.39	0.35	0.31	0.26	0.24	0.21	0.18	0.16	0.148	0.125	0.10	
Q_s kg/mm ² według polskich norm 1919 r. M. K. Z. (Okólnik Nr 4)	7.50	7.50	7.50	8.00	8.50	8.75	9.00	9.25	9.40	9.50	9.75	10.00	10.00	10.00	10.00	10.00	Największe obciążenie na osi parowozu 20 tn.
Q_s kg/mm ² według Austriackich norm 1904 r.	7.50	7.55	7.75	8.00	8.40	8.60	8.80	8.90	9.10	9.20	9.40	9.60	9.90	10.00	10.00	10.00	Obciążenie na osi parowozu 16 tn.
Q_s kg/mm ² według starych rosyjskich norm 1905 r.	7.50	7.52	7.60	7.70	7.90	8.10	8.30	8.50	8.90	9.10	9.50	9.90	10.50	10.50	10.50	10.50	Obciążenie na osi parowozu 20 tn.
Q_s kg/mm ² według niemieckich norm 1910 r.	jezdni 7.50 7.50 7.50		8.00	8.00	8.50	8.75	9.00	9.125	9.375	9.50	9.75	10.00	10.375	10.50	11.00	11.00	Obciążenie na osi parowozu 20 tn.
Q_s kg/mm ² według francuskich norm 1915 r.	8.00	8.10	8.30	8.40	8.80	9.10	9.30	9.40	9.90	10.05	10.44	10.60	10.90	11.00	11.20	11.44	Obciążenie na osi parowozu 20 tn.
Q_s kg/mm ² według nowych rosyjskich norm 1921 r.	8.00	8.10	8.50	8.80	9.40	9.90	10.20	10.50	11.00	11.20	11.50	11.75	11.90	12.00	12.20	12.40	Obciążenie na osi parowozu 50 tn. na oddzielne 2 osi po 32 tn.
Q_s kg/mm ² proponowane według nowego wzoru	7.70	7.80	8.10	8.40	9.00	9.50	9.80	10.10	10.60	10.80	11.10	11.30	11.40	11.55	11.70	11.90	Obciążenie na osi parowozu 25 tn. na oddzielne osi do 30 tn.

tężeń granicę płynności żelaza zlewne, t. j. najmniej $24 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ co odpowiadałoby $\frac{2}{3} \times 24 = 16 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$.

Stosownie do proponowanego obecnie dla Polski normalnego obciążenia przyjęto we wzorach (1) i (2) $\sigma_d = 12,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ dla $\sigma_s = 12 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ i $\sigma_{dw} = 14,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$ dla $\sigma_{sw} = 14 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}$. Przy tem obciążeniu dla zapasu w jezdni i w belkach małej rozpiętości, na wypadek przeciążenia oddzielnych osi, lub zwiększenia w przyszłości ciężaru parowozów, przyjmują się z powodu trudności wzmocnienia jezdni, powiększone obciążenia, a mianowicie: od jednej osi obciążającej do 30 tonn, od dwóch osi — po 29 tonn, od trzech osi — po 28 tonn i od czterech osi — po 27 tonn. Dla specjalnego zaś ciężarowego pociągu proponowane są ulgowe natężenia, a mianowicie:

$$\sigma_d = 14 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2} \quad \text{dla } \sigma_s \leq 13,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}, \quad \text{i}$$

$$\sigma_{dw} = 16 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2} \quad \text{dla } \sigma_{sw} \leq 15,5 \frac{\text{kg.}}{\text{mm.}^2}.$$

Dla przykładu obliczenia dopuszczalnych natężeń zasadniczych w pasach dźwigarów belkowych, leżących na dwóch podporach i dla porównania z natężeniami, które były stosowane w różnych krajach, podany jest wykres (rys. 1) i tablica porównawcza.

Na rys. 2 przedstawiony jest wykres współczynnika dynamicznego (μ).

(D. c. n.)

PROF. S. MILLER.

O związku twierdzenia o min. energii potencjalnej odkształcenia z zasadą najmniejszego działania.

Przy obliczaniu reakcji w układach przeszywnionych (t. zw. statycznie niewyznacz.) spotykamy się z twierdzeniem *Menabrea*, że w położeniu równowagi układu sprężystego przeszywnionego o niezmiennych podporach, energia potencjalna odkształcenia, wyrażona w funkcji reakcyj przeszywniń jest *min.* Ma to następujące znaczenie. Wyobraźmy sobie, naprzykład, kratownicę płaską w postaci czworoboku z dwiema przekątnymi, podpartą w dwóch węzłach w ten sposób, że jedna podpora stanowi punkt stały, druga — punkt, mogący poruszać się po danej prostej, przytem siły są przyłożone do węzłów. Mamy tutaj, jako niewiadome trzy reakcje podporowe R, R', R'' i sześć reakcyj (natężeń) prętów S_1, S_2, \dots, S_6 . Rozpatrując tę kratownicę, jako złożoną z prętów absolutnie sztywnych, mamy tylko 8 równań równowagi, (podwojona liczba węzłów). Żądanie więc jest nieokreślone, możemy np. natężenie

*) Zeitschr. d. Österr. I. u. A. V. 1922 H. 21/22.