

Im. 1664. 1/2
II. -

Dr. Inż. CZESŁAW KŁOŚ.

Materiały do Projektowania i Obliczania Bezprzegubowych Łuków Parabolicznych

ze specjalnem uwzględnieniem

- - Łuków Żelbetowych - -

i szczegół. przeliczonym przykładem.

Część II.

Obciążenie ruchome.

Nakładem autora. — Skład główny: Warszawa, Smolna 10, m. 7. — 1923 r.

I. ZWIĄZKOWA DRUKARNIA WE LWOWIE UL. LINDEGO 4.

Dr. Inż. CZESŁAW KŁOŚ.

Materiały do Projektowania i Obliczania Bezprzegubowych Łuków Parabolicznych

ze specjalnem uwzględnieniem

- - Łuków Żelbetowych - -

i szczegół. przeliczonym przykładem.

Część II.

Obciążenie ruchome.

Nakładem autora. — Skład główny: Warszawa, Smolna 10, m. 7. — 1923 r.

I. ZWIĄZKOWA DRUKARNIA WE LWOWIE UL. LINDEGO 4.

BIBLIOTEKA
WYDZ.
ARCHITEKTURY

6304

OD AUTORA.

Od ukazania się pierwszej części moich „Materiałów“ upłynęło kilka tygodni, w którym to czasie otrzymałem szereg korespondencji i zapytań, dotyczących ukazania się drugiej części rozprawy. Świadczy to, że opublikowanie moich materiałów miało swą rację, bo Szan. Koledzy, stojący w praktyce, pracą mą się interesują i z niej korzystają. W ocenie pracy, o ile doszła ona do moich uszu, podkreśla się uproszczenie liczenia, skracające czas pracy, eliminujące błędy rachunkowe.

Ta sama myśl przewodnia przyświecała mi również przy opracowaniu części drugiej. Wyniki liczenia, potrzebne konstruktorowi, sprowadza się wszędzie do elementarnie prostych wzorów, niedających żadnego pola do robienia błędów myślowych. Tablice ustawione są w tej samej prostej formie, w jakiej znalazły wyraz znane w swej użyteczności tablice Winklera dla ciągłych belek. Całe liczenie łuku może się odbywać zupełnie mechanicznie przy zastosowaniu suwaka rachunkowego.

Również i linje wpływu naprężeń podane są we formie, zrozumiałej każdemu nawet dyletantowi. Nie chcę przez to powiedzieć, że linje te są przeznaczone dla dyletantów. Uważam tylko, że można je dać bez obawy do ręki technikowi o średnim wykształceniu, nieznającemu dokładnie teorji zamo-

cowanych łuków, a wyniki przez niego otrzymane, będą miały tę samą wartość, co otrzymane przez inżyniera.

Linje wpływu nazwałem doraźnemi, zwracając uwagę czytelnika na fakt, że mieszczą one w sobie nieścisłość, związaną ze sprawą dość dowolnie dobranego „średniego“ przekroju łuku, i że właściwie należałoby po zaprojektowaniu łuku według podanej metody, rysować linje wpływu przy uwzględnieniu ciągłości zmiennego przekroju. Niezawodnie będzie to konieczne przy obliczaniu łuków o większej rozpiętości (30 m i więcej). Jednak przy łukach o mniejszej rozpiętości, a te stanowią 99% wszystkich łuków, czynić tego, mem zdaniem — nie potrzeba.

Ważniejszym od dokładnego liczenia jest omijanie grubych błędów. A właśnie one są przy nowoczesnym szybkim tempie pracy bardzo częste i wskutek tego podwójnie niebezpieczne.

Byłbym rad i niezmiernie wdzięczny, gdyby Szan. Czytelnicy, korzystający z moich materiałów, zechcieli się ze mną dzielić swemi krytycznemi uwagami, które możnaby uwzględnić przy ew. następnym wydaniu. Wyjdą one na korzyść nietylko pracy, ale i gronu czytelników, łuki budujących.

W Warszawie, w marcu 1923 r.

Dr. Czesław Kłoś.

Rozdział I.

Równomierne obciążenie jednostronne.

W *Przeglądzie Technicznym*¹⁾ publikowałem jako część I. niniejszych materiałów szereg wzorów dla bezprzegubowych łuków parabolicznych, które mają na celu ułatwienie obliczania i postawienie na racjonalnej metodzie projektowania tychże łuków.

Osiągnięto to w ten sposób, że podano dla wyznaczenia naprężeń wzory o formie:

$$\sigma = A \varphi \left(\frac{h}{f} \right), \text{ gdzie}$$

A jest stałą, zależną od obciążenia łuku i jego geometrycznego kształtu, $\frac{h}{f}$ zaś zmienny stosunek wysokości szukanego przekroju do strzałki łuku (rys. 1). W praktyce budowlanej A jest najczęściej dane zewnętrznie warunkami budowy, od konstruktora mało zależnymi, należy zaś odszukać najracjonalniejszy przekrój, który w naszych wzorach występuje w stosunku $\frac{h_0}{f}$.

Tamże podano wzory dla pięciu schematów obciążeń, stałych i symetrycznych, jakie mają zastosowanie n. p. przy łukach dachowych i t. p.

Bardzo często, a zawsze przy obliczaniu łuków mostowych, zachodzi potrzeba uwzględnienia obciążeń jednostronnie ułożonych, lub ruchomych sił skupionych. Niniejsza część druga ma na celu podanie dla tychże obciążeń wzorów analogicznych, stawiających całość zagadnienia na jeden i ten sam mianownik i dających możność podawania wszystkich wzorów jednej i tej samej operacji analogicznej względnie stosowania prostego prawa superpozycji.

Zamierzony cel osiągniemy najłatwiej, wychodząc ze znanych wzorów dla linii wpływu trzech statycznie niewyznaczalnych wartości, mianowicie momentu umocowania na lewej oporze M_A , parcia poziomego H i pionowej reakcji lewej opory V_A .

Jak wiadomo równanie dla tychże linii wpływu, pisane w formie dogodnej do liczenia, i przy przyjęciu zamiast skupionej siły P różniczki $p dx$, brzmią:

$$\left. \begin{aligned} dM_A &= \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{5}{2} \frac{x}{l} \nu\right) l p dx \\ dH &= \frac{15}{4} \frac{l}{f} \left(\frac{x}{l}\right)^2 \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \cdot \nu p dx \\ dV_A &= \left(1 + \frac{2x}{l}\right) \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \cdot p dx \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

We wzorach tych jest ν wartością, związaną ze „średnim“ przekrojem łuku równaniem:

$$\nu = \frac{1}{1 + \frac{45}{4} \frac{I_s}{\omega_s f^2}}$$

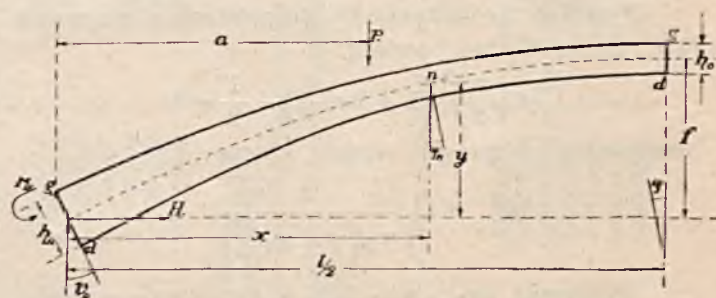
gdzie moment bezwładności I_s i przekrój ω_s wyprowadzony jest ze średniej wysokości sprowadzonego pręta żelbetowego. Jeżeli napiszemy ogólnie dla pręta żelbetowego

$$I_s = R_1 b h_s^3$$

$$\omega_s = R_2 b h_s$$

$$W_s = \frac{2 I_s}{h_s} = 2 R_1 b h_s^2, \text{ czyli:}$$

$$\frac{I_s}{\omega_s} = \frac{R_1}{R_2} h_s^2.$$



Rys. 1.

Ponieważ dalej:

$$\frac{W_s}{\omega_s} = r h_s = \frac{2 R_1}{R_2} h_s,$$

gdzie $r h_s$ jest promieniem punktu rdzenia średniego przekroju, przeto:

$$\frac{I_s}{\omega_s} = \frac{r}{2} h_s^2,$$

zatem:

$$\nu = \frac{1}{1 + \frac{45}{8} r \left(\frac{h_s}{f}\right)^2} \quad (2)$$

We wzorze 2 jest h_s wysokością średniego przekroju betonu a r zależne od stosowanego odsetku żelaza. Żadne inne wielkości równania (1) nie są zależne od przekrojów łuku.

Ponieważ w równaniach (1) M_A jest podane względem punktu na osi łuku i wskutek tego samo przez się nie jest nam miarodajnym dla wyliczenia największych naprężeń, ustawimy momenty gnące względem punktów rdzenia, z których łatwo otrzymujemy najniekorzystniejsze naprężenia.

Dla przekroju w kluczu łuku otrzymamy wtedy ogólnie:

$$M_{s,d}^o = -M_A + V_A \frac{l}{2} - H(f \pm r h_0) - \left(\frac{l}{2} - x\right), \quad (3)$$

a podstawiając w równanie (3) wartości z równania (1) otrzymamy:

¹⁾ Warszawa, 1922 r. Nr. 43, 44 i 45. Oddzielne wydanie nakładem autora 1923. Warszawa, Smolna 10, m. 7.

624.042

a) przy sile, ustawionej na lewej połowie łuku:

$$dM_{g,d} = -l \left\{ \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \left[\frac{5}{4} \nu \left(\frac{x}{l}\right)^2 \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right) - \frac{1}{2} \right] + \frac{1}{2} - \frac{x}{l} \right\} p dx, \quad (4a)$$

b) przy sile, ustawionej na prawej połowie łuku:

$$dM_{g,d} = -l \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \left[\frac{5}{4} \nu \left(\frac{x}{l}\right)^2 \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right) - \frac{1}{2} \right] p dx, \quad (4b)$$

Ponieważ ogólnie:

$$\sigma_{a,g} = \mp \frac{M_{g,d}}{W}, \quad (5)$$

gdzie W jest momentem wytrzymałości danego przekroju, przeto chcąc znaleźć największą naprężenie, musimy znaleźć i największy moment gnący względem punktów rdzenia przekrojów.

Otrzymamy go zaś wtedy, jeżeli równanie (4a) zcałkujemy we właściwych granicach.

Granice te otrzymamy najprościej z równania (4b). Podstawiając bowiem:

$$\frac{5}{4} \nu \left(\frac{x}{l}\right)^2 \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right) - \frac{1}{2} = 0,$$

otrzymamy po prawej stronie klucza:

$$x_{g,d}^{\text{II}} = l \sqrt{\frac{2}{5 \nu \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right)}} \quad (6a)$$

Ponieważ omawiane łuki są symetryczne względem pionowej osi przez klucz łuku, przeto i linia wpływu jest symetryczną, i jako granicę całkowania po lewej stronie klucza otrzymamy:

$$x_{g,d}^{\text{I}} = l \left[1 - \sqrt{\frac{2}{5 \nu \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right)}} \right] = \alpha_{g,d} \cdot l. \quad (6b)$$

Całkując równanie (4a) otrzymamy ogólnie:

$$M_{g,d} = \int dM_{g,d} = -pl \left\{ -\frac{1}{6} \frac{x^3}{l^2} + C \left[\frac{x^3}{3l^3} - \frac{x^4}{2l^3} + \frac{x^5}{5l^4} \right] \right\}, \quad (7)$$

gdzie $C = \frac{5}{4} \nu \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right)$.

Podstawiając w równanie (7) właściwe granice, mianowicie dla bocznego obciążenia o i a , i mnożąc przez 2, ponieważ mamy 2 odjemne pola linii wpływu, otrzymamy:

$$M_{g,d} = \frac{pl^2}{24} \left\{ 8\alpha_{g,d} - \nu \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right) \left(20\alpha_{g,d}^3 - 30\alpha_{g,d}^4 + 12\alpha_{g,d}^5 \right) \right\}. \quad (8)$$

Dla obciążenia lewej połowy dodatniego pola linii wpływu wstawiamy granice a i $\frac{l}{2}$, i mnożymy przez 2; otrzymamy wtedy:

$$M_{g,d} = \frac{pl^2}{24} \left\{ 1 - 8\alpha_{g,d}^3 - \nu \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right) \left[1 - 20\alpha_{g,d}^3 + 30\alpha_{g,d}^4 - 12\alpha_{g,d}^5 \right] \right\}. \quad (9)$$

Dla kontroli całkujemy równanie (4a) w granicach od 0 do $\frac{l}{2}$ i mnożymy przez 2 (funkcja 7 traci przy $x = \frac{l}{2}$ swą ciągłość!) otrzymamy:

$$M_{g,d} = \frac{pl^2}{24} \left\{ 1 - \nu \left(1 \pm 3r \frac{h_0}{f}\right) \right\}. \quad (10)$$

Jeżeli równanie (8) i (9) zesumujemy, otrzymamy równanie (10), jak być powinno.

Z równań (8) i (9) zauważamy, że wartości w nawiasach są jedynie zależne od $\left(\frac{h_0}{f}\right)$ i odsetka stosowanego żelaza.

Podobnie otrzymamy dla wezglowia:

$$M_{a,g} = -M_A \pm r h_A H, \quad (11)$$

a po podstawieniu wartości z równania 1 i po pewnych przestawieniach otrzymamy:

$$dM_{a,g} = -l \left\{ \frac{x}{l} \left(1 - \frac{x}{l}\right)^2 \left[1 - \frac{5x}{2l} \nu \left(1 \pm \frac{3}{2} r \frac{h_A}{f}\right) \right] \right\} p dx \quad (12)$$

Z równania (12) otrzymamy granice dla całkowania, mianowicie:

$$\alpha_{a,g} = \alpha_{a,g} l = \frac{4l}{10\nu \left(1 \pm \frac{3}{2} r \frac{h_0}{f}\right)}. \quad (13)$$

Całkując równanie (12) otrzymamy ogólnie:

$$M_{a,g} = -pl \left\{ \frac{x}{l} - \frac{2x^2}{l^2} + \frac{x^3}{l^3} - \frac{5}{2} \nu \left(1 \pm \frac{3}{2} r \frac{h_A}{f}\right) \left(\frac{x^2}{l^2} - \frac{2x^3}{l^3} + \frac{x^4}{l^4} \right) \right\}. \quad (14)$$

Jeżeli w równanie (14) podstawimy granice 0 i $\alpha_{a,g}$ z równania (13) otrzymamy:

$$M_{a,g} = -\frac{pl^2}{12} \left\{ 6\alpha^2 - 8\alpha^3 + 3\alpha^4 - \nu \left(1 \pm \frac{3}{2} r \frac{h_A}{f}\right) \left(10\alpha^3 - 15\alpha^4 + 6\alpha^5 \right) \right\}. \quad (15)$$

Jeżeli zaś w równanie (14) wprowadzimy granice 0 i l , otrzymamy:

$$M_{a,g} = -\frac{pl^2}{12} \left\{ 1 - \nu \left(1 \pm \frac{3}{2} r \frac{h_A}{f}\right) \right\}. \quad (16)$$

Jeżeli od wartości, otrzymanych z równania (16) odejmiemy wartości, otrzymane z równania (15), otrzymamy momenty kręjące względem punktów rdzenia przy obciążeniu łuku od $\alpha_{a,g}$ do l , czyli przy obciążeniu prawej strony łuku. Równania (8), (9), (15) i (16) nie są dostatecznie wygodne dla praktycznego liczenia, głównie wskutek wysokich potęg, w jakich znajdujemy granice całkowania. Dla praktycznego użytku daleko dogodniej ustawić sobie równania te w stosowne tablice, co i niniejszem uczyniliśmy.

W oznaczonych równaniach nie poczyniliśmy żadnych przyjęć, ani co do wysokości średniego przekroju, ani co do odsetku żelaza. Mają one zatem znaczenie zupełnie ogólne.

Przystępując do zestawienia tablic musimy w tym kierunku powziąć pewne specjalne decyzje. Decyzje te będą oczywiście podyktowane praktycznymi względami, mianowicie takimi, przy których wprowadzeniu moglibyśmy z dostateczną ścisłością

I. a) W kluczu łuku: $h_e = h_0$ (w tonach i metrach).

Tabl. I.

$f_e = f_e' = 0\%$; $r = 0.16667$.

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_y | M_d | M_y | σ_d | σ_y | σ_d | σ_y |
|-----------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| 0.10 | 0.992 | 0.880 | 0.849 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.976 | 0.883 | 0.820 | -0.004179 | -0.006316 | +0.006577 | +0.004583 | +3.789 | -2.507 | -2.749 | +3.946 |
| 0.20 | 0.964 | 0.886 | 0.805 | -0.003477 | -0.006550 | +0.007450 | +0.004409 | +1.746 | -0.927 | -1.176 | +1.986 |
| 0.25 | 0.945 | 0.887 | 0.286 | -0.002853 | -0.006768 | +0.007994 | +0.004252 | +1.015 | -0.428 | -0.688 | +1.256 |
| 0.30 | 0.922 | 0.886 | 0.286 | -0.002240 | -0.006782 | +0.009453 | +0.004205 | +0.659 | -0.215 | -0.408 | +0.809 |
| 0.35 | 0.898 | 0.884 | 0.265 | -0.001700 | -0.006766 | +0.010690 | +0.004254 | +0.451 | -0.113 | -0.284 | +0.714 |
| 0.40 | 0.870 | 0.881 | 0.242 | -0.000501 | -0.006372 | +0.012834 | +0.004343 | +0.326 | -0.059 | -0.213 | +0.540 |
| | | | | | | +0.013543 | +0.004539 | +0.235 | -0.030 | -0.160 | +0.605 |

Tabl. II.

$f_e = f_e' = 0.5\%$; $r = 0.19092$.

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_y | M_d | M_y | σ_d | σ_y | σ_d | σ_y |
|-----------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| 0.10 | 0.989 | 0.882 | 0.845 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.976 | 0.886 | 0.831 | -0.003984 | -0.006419 | +0.006739 | +0.004519 | +2.982 | -1.817 | -2.061 | +3.100 |
| 0.20 | 0.958 | 0.888 | 0.814 | -0.003280 | -0.006778 | +0.007708 | +0.004245 | +1.373 | -0.665 | -0.862 | +1.562 |
| 0.25 | 0.937 | 0.888 | 0.295 | -0.002582 | -0.007000 | +0.008825 | +0.004090 | +0.799 | -0.295 | -0.465 | +1.006 |
| 0.30 | 0.911 | 0.888 | 0.273 | -0.001980 | -0.007000 | +0.010098 | +0.003995 | +0.511 | -0.141 | -0.292 | +0.737 |
| 0.35 | 0.883 | 0.886 | 0.248 | -0.001378 | -0.007000 | +0.011527 | +0.004100 | +0.356 | -0.070 | -0.210 | +0.585 |
| 0.40 | 0.853 | 0.882 | 0.220 | -0.000892 | -0.006750 | +0.013096 | +0.004240 | +0.251 | -0.034 | -0.160 | +0.495 |
| | | | | | | +0.014525 | +0.004461 | +0.182 | -0.003 | -0.128 | +0.415 |

Tabl. III.

$f_e = f_e' = 1.2\%$; $r = 0.21588$.

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_y | M_d | M_y | σ_d | σ_y | σ_d | σ_y |
|-----------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|--|
| 0.10 | 0.988 | 0.883 | 0.842 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.973 | 0.888 | 0.827 | -0.003600 | -0.010569 | +0.006763 | +0.003406 | +2.222 | -1.228 | -1.400 | +2.309 |
| 0.20 | 0.953 | 0.890 | 0.806 | -0.003022 | -0.006368 | +0.008033 | +0.004116 | +1.055 | -0.457 | -0.624 | +1.225 |
| 0.25 | 0.929 | 0.893 | 0.283 | -0.002356 | -0.007180 | +0.008743 | +0.003953 | +0.527 | -0.116 | -0.337 | +0.746 |
| 0.30 | 0.902 | 0.890 | 0.258 | -0.001627 | -0.007184 | +0.010809 | +0.003985 | +0.398 | -0.038 | -0.214 | +0.590 |
| 0.35 | 0.870 | 0.888 | 0.230 | -0.000933 | -0.007199 | +0.012274 | +0.003942 | +0.273 | -0.035 | -0.150 | +0.460 |
| 0.40 | 0.838 | 0.883 | 0.198 | -0.000650 | -0.006931 | +0.014273 | +0.004141 | +0.165 | -0.018 | -0.115 | +0.398 |
| | | | | | | +0.016089 | +0.004334 | +0.142 | -0.007 | -0.092 | +0.344 |

b) W niezgięciu tuteż: $h_s = h_A$.

T a b l. IV.

$fe = fe' = 0\%$

| $\frac{h_A}{f}$ | α_y | | α_s | | M_d | | M_g | | M_d | | M_g | | σ_d | | σ_g | |
|-----------------|------------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|--|--|--|--|
| | l | l | l | l | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.425 | 0.394 | -0.016897 | -0.019040 | +0.018220 | +0.014051 | +5.077 | +4.506 | +0.018220 | +0.014051 | +5.077 | +4.506 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -3.747 | +4.886 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.20 | 0.437 | 0.385 | -0.016961 | -0.019790 | +0.017978 | +0.012713 | +2.960 | -2.544 | +0.017978 | +0.012713 | +2.960 | -2.544 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -1.907 | +2.695 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.25 | 0.452 | 0.398 | -0.017170 | -0.020844 | +0.017609 | +0.010839 | +1.953 | -1.648 | +0.017609 | +0.010839 | +1.953 | -1.648 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -1.041 | +1.685 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.30 | 0.469 | 0.404 | -0.017515 | -0.021887 | +0.016778 | +0.008624 | +1.459 | -1.168 | +0.016778 | +0.008624 | +1.459 | -1.168 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.642 | +1.117 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.35 | 0.488 | 0.418 | -0.017918 | -0.023167 | +0.015965 | +0.008117 | +1.135 | -0.877 | +0.015965 | +0.008117 | +1.135 | -0.877 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.398 | +0.788 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.40 | 0.511 | 0.418 | -0.018470 | -0.024681 | +0.014887 | +0.006598 | +0.926 | -0.693 | +0.014887 | +0.006598 | +0.926 | -0.693 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.248 | +0.558 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.50 | | | | | | | +0.680 | -0.460 | | | +0.680 | -0.460 | | -0.100 | +0.380 | |

T a b l. V.

$fe = fe' = 0.5\%$

| $\frac{h_A}{f}$ | α_y | | α_s | | M_d | | M_g | | M_d | | M_g | | σ_d | | σ_g | |
|-----------------|------------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|--|--|--|--|
| | l | l | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.428 | 0.392 | -0.016808 | -0.019188 | +0.018295 | +0.012857 | +3.821 | -3.400 | +0.018295 | +0.012857 | +3.821 | -3.400 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -2.710 | +3.703 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.20 | 0.442 | 0.391 | -0.016922 | -0.020114 | +0.018104 | +0.012108 | +2.290 | -1.927 | +0.018104 | +0.012108 | +2.290 | -1.927 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -1.378 | +2.061 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.25 | 0.459 | 0.398 | -0.017175 | -0.021266 | +0.017523 | +0.010432 | +1.549 | -1.252 | +0.017523 | +0.010432 | +1.549 | -1.252 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.760 | +1.277 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.30 | 0.479 | 0.401 | -0.017542 | -0.022618 | +0.016721 | +0.008742 | +1.144 | -0.888 | +0.016721 | +0.008742 | +1.144 | -0.888 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.442 | +0.846 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.35 | 0.503 | 0.411 | -0.018037 | -0.024161 | +0.015780 | +0.007090 | +0.898 | -0.671 | +0.015780 | +0.007090 | +0.898 | -0.671 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.263 | +0.685 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.40 | 0.530 | 0.421 | -0.018644 | -0.025698 | +0.014621 | +0.005504 | +0.737 | -0.531 | +0.014621 | +0.005504 | +0.737 | -0.531 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.156 | +0.416 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.50 | 0.592 | 0.449 | -0.020203 | -0.029456 | +0.011971 | +0.002411 | +0.536 | -0.368 | | | +0.536 | -0.368 | | -0.044 | +0.218 | |

T a b l. VI.

$fe = fe' = 0.12\%$

| $\frac{h_A}{f}$ | α_y | | α_s | | M_d | | M_g | | M_d | | M_g | | σ_d | | σ_g | |
|-----------------|------------|-------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|--------|-----------|-----------|--------|--------|--|--|--|--|
| | l | l | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.432 | 0.391 | -0.016753 | -0.019412 | +0.018476 | +0.013255 | +2.938 | -2.535 | +0.018476 | +0.013255 | +2.938 | -2.535 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -2.007 | +2.796 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.20 | 0.448 | 0.394 | -0.016878 | -0.020510 | +0.018165 | +0.011504 | +1.746 | -1.437 | +0.018165 | +0.011504 | +1.746 | -1.437 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.980 | +1.546 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.25 | 0.468 | 0.398 | -0.017156 | -0.021887 | +0.017548 | +0.009689 | +0.885 | -0.985 | +0.017548 | +0.009689 | +0.885 | -0.985 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.528 | +0.956 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.30 | 0.497 | 0.404 | -0.017578 | -0.023388 | +0.016660 | +0.007861 | +0.699 | -0.665 | +0.016660 | +0.007861 | +0.699 | -0.665 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.297 | +0.630 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.35 | 0.519 | 0.418 | -0.018128 | -0.025171 | +0.015553 | +0.006224 | +0.578 | -0.504 | +0.015553 | +0.006224 | +0.578 | -0.504 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.173 | +0.482 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.40 | 0.548 | 0.422 | -0.018803 | -0.027184 | +0.014283 | +0.005211 | +0.434 | -0.400 | +0.014283 | +0.005211 | +0.434 | -0.400 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | -0.110 | +0.304 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.50 | 0.628 | 0.450 | -0.020734 | -0.031868 | +0.011675 | +0.002110 | | -0.282 | | | +0.434 | -0.282 | | -0.029 | +0.159 | |

II. $h_A = 2h_0$.

a) W kluczu łuku: $h_s = \frac{1}{3}h_0$.
 T a b l. VII.
 $f'e = f'e' = 0\%_0$; $r = 0.1667$.

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_y | M_x | σ_d | σ_y | σ_x |
|-----------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|
| 0.10 | 0.984 | 0.877 | 0.846 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.964 | 0.879 | 0.830 | -0.004024 | -0.006110 | +0.006755 | +3.667 | -2.414 | -2.846 |
| 0.20 | 0.937 | 0.879 | 0.830 | -0.003250 | -0.006188 | +0.007764 | +1.650 | -0.867 | -1.248 |
| 0.25 | 0.906 | 0.877 | 0.811 | -0.002484 | -0.006074 | +0.006994 | +0.911 | -0.373 | -0.715 |
| 0.30 | 0.870 | 0.874 | 0.290 | -0.001784 | -0.005790 | +0.010480 | +0.556 | -0.171 | -0.480 |
| 0.35 | 0.830 | 0.867 | 0.264 | -0.001186 | -0.005868 | +0.012055 | +0.358 | -0.079 | -0.358 |
| 0.40 | 0.790 | 0.860 | 0.236 | -0.000718 | -0.004848 | +0.013839 | +0.238 | -0.085 | -0.286 |
| | | 0.850 | 0.204 | -0.000382 | -0.004272 | +0.015736 | +0.160 | -0.014 | -0.246 |

T a b l. VIII.

$f'e = f'e' = 0.5\%_0$; $r = 1.9092$.

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_y | M_x | σ_d | σ_y | σ_x |
|-----------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|
| 0.10 | 0.981 | 0.879 | 0.842 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.959 | 0.880 | 0.824 | -0.008872 | -0.006217 | +0.006792 | +2.881 | -1.783 | -2.121 |
| 0.20 | 0.929 | 0.878 | 0.803 | -0.008192 | -0.006477 | +0.006886 | +1.811 | -0.640 | -0.963 |
| 0.25 | 0.898 | 0.874 | 0.277 | -0.002198 | -0.006171 | +0.006895 | +0.703 | -0.250 | -0.535 |
| 0.30 | 0.858 | 0.867 | 0.248 | -0.001464 | -0.005845 | +0.010984 | +0.426 | -0.107 | -0.361 |
| 0.35 | 0.810 | 0.859 | 0.214 | -0.000888 | -0.005866 | +0.012840 | +0.272 | -0.045 | -0.272 |
| 0.40 | 0.766 | 0.848 | 0.177 | -0.000471 | -0.004786 | +0.014984 | +0.178 | -0.018 | -0.220 |
| | | | | -0.000207 | -0.004160 | +0.017131 | +0.118 | -0.006 | -0.188 |

T a b l. IX.

$f'e = f'e' = 1.2\%_0$; $r = 2.1588$.

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_y | M_x | σ_d | σ_y | σ_x |
|-----------------|-------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|--|--|--|
| 0.10 | 0.979 | 0.880 | 0.839 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.15 | 0.954 | 0.881 | 0.818 | -0.004700 | -0.006380 | +0.008224 | +2.155 | -1.601 | -1.557 |
| 0.20 | 0.920 | 0.879 | 0.294 | -0.002749 | -0.006429 | +0.008589 | +0.973 | -0.416 | -0.681 |
| 0.25 | 0.881 | 0.874 | 0.264 | -0.001895 | -0.006272 | +0.010175 | +0.584 | -0.161 | -0.393 |
| 0.30 | 0.837 | 0.867 | 0.230 | -0.001179 | -0.005901 | +0.012078 | +0.321 | -0.064 | -0.267 |
| 0.35 | 0.790 | 0.858 | 0.191 | -0.000642 | -0.005868 | +0.014200 | +0.203 | -0.024 | -0.203 |
| 0.40 | 0.743 | 0.846 | 0.148 | -0.000289 | -0.004781 | +0.015897 | +0.181 | -0.008 | -0.166 |
| | | | | -0.000096 | -0.004045 | +0.018819 | +0.086 | -0.002 | -0.143 |

b) W wężownicy łuku: $h_0 = \frac{1}{3} h_c$
 Tabl. X.
 $fe = fe' = 0\%$

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_g | M_d | M_g | M_d | M_g | σ_d | σ_g |
|-----------------|-------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--|--|
| 0.20 | 0.984 | 0.428 | 0.387 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.3 | 0.964 | 0.449 | 0.386 | -0.01557 | -0.01914 | -0.01890 | -0.01873 | +2.871 | +2.385 | -2.059 | +2.745 |
| 0.4 | 0.937 | 0.474 | 0.388 | -0.01553 | -0.02062 | -0.01854 | +0.01178 | +1.388 | -1.035 | -0.925 | +1.236 |
| 0.5 | 0.906 | 0.505 | 0.393 | -0.01648 | -0.02223 | -0.01908 | +0.00921 | +0.833 | -0.618 | -0.345 | +0.715 |
| 0.6 | 0.869 | 0.541 | 0.400 | -0.01879 | -0.02486 | -0.01887 | +0.00707 | +0.584 | -0.402 | -0.170 | +0.441 |
| 0.7 | 0.830 | 0.584 | 0.410 | -0.01728 | -0.02668 | -0.01728 | +0.00494 | +0.445 | -0.288 | -0.083 | +0.288 |
| | | | | -0.01798 | -0.02945 | -0.01596 | +0.00821 | +0.361 | -0.220 | -0.039 | +0.195 |

Tabl. XI.
 $fe = fe' = 0\%$

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_g | M_d | M_g | M_d | M_g | σ_d | σ_g |
|-----------------|-------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--|--|
| 0.20 | 0.981 | 0.432 | 0.386 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.3 | 0.959 | 0.456 | 0.384 | -0.01633 | -0.01944 | +0.01945 | +0.01319 | +2.213 | -1.859 | -1.502 | +2.214 |
| 0.4 | 0.929 | 0.486 | 0.386 | -0.01624 | -0.02104 | +0.01967 | +0.01074 | +1.065 | -0.821 | -0.543 | +0.995 |
| 0.5 | 0.893 | 0.522 | 0.392 | -0.01638 | -0.02304 | +0.01933 | +0.00825 | +0.656 | -0.466 | -0.235 | +0.550 |
| 0.6 | 0.853 | 0.566 | 0.400 | -0.01669 | -0.02546 | +0.01847 | +0.00542 | +0.414 | -0.304 | -0.108 | +0.336 |
| 0.7 | 0.791 | 0.617 | 0.411 | -0.01728 | -0.02831 | +0.01728 | +0.00387 | +0.358 | -0.218 | -0.049 | +0.219 |
| | | | | -0.01802 | -0.03157 | +0.01576 | +0.00223 | +0.298 | -0.167 | -0.021 | +0.146 |

Tabl. XII.
 $fe = fe' = 1.2\%$

| $\frac{h_0}{f}$ | ν | α_y | α_d | M_d | M_g | M_d | M_g | M_d | M_g | σ_d | σ_g |
|-----------------|-------|------------|------------|----------|----------|----------|----------|--------|--------|--|--|
| 0.20 | 0.979 | 0.437 | 0.384 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | pl^2 | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ | $\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2$ |
| 0.3 | 0.954 | 0.465 | 0.382 | -0.01621 | -0.01974 | +0.01973 | +0.01269 | +1.680 | -1.380 | -1.080 | +1.679 |
| 0.4 | 0.921 | 0.499 | 0.385 | -0.01611 | -0.02159 | +0.01997 | +0.01001 | +0.917 | -0.609 | -0.378 | +0.756 |
| 0.5 | 0.881 | 0.542 | 0.391 | -0.01627 | -0.02391 | +0.01958 | +0.00785 | +0.509 | -0.346 | -0.166 | +0.417 |
| 0.6 | 0.837 | 0.593 | 0.400 | -0.01667 | -0.02672 | +0.01865 | +0.00492 | +0.364 | -0.227 | -0.067 | +0.254 |
| 0.7 | 0.790 | 0.654 | 0.412 | -0.01728 | -0.03008 | +0.01728 | +0.00291 | +0.284 | -0.163 | -0.028 | +0.163 |
| | | | | -0.01810 | -0.03382 | +0.01560 | +0.00145 | +0.235 | -0.126 | -0.010 | +0.108 |

przeprowadzić interpolacje dla wszystkich w praktyce zachodzących wypadków. Zdaje nam się, że warunkowi temu uczynimy zadość, jeżeli przyjmiemy trzy różne odsetki zbrojenia:

1. $f_c = f_c' = 0$,
2. $f_c = f_c' = 0.5\%$ (tj. $f_c = f_c' = 0.005 bh$, gdzie b jest szerokością, a h wysokością badanego przekroju),
3. $f_c = f_c' = 1.2\%$

i średnią wysokość przekrojów łuku:

4. $h_s = h_0$ (jako minimum, tylko dla obliczenia naprężeń w kluczu),

4 a. $h_s = h_A$ (jako maksimum, tylko dla obliczenia naprężeń w wezłowaniu),

5. $h_s = \frac{1}{3} h_0 = \frac{2}{3} h_A$ (jako przybliżona średnia wysokość przekroju, jeżeli $h_A = 2 h_0$).

Przez założenia 1 do 3 dane nam jest r , natomiast ν zależne jest od kombinacji jednego z warunków 1 do 3 z warunkami 4 i 5.

Wartości te dla r i ν podajemy przy tablicach.

Odszukanie największych momentów gnących stanowi dla nas jednak tylko pośrednie zadanie. Naszem bezpośrednim zadaniem jest otrzymanie najniekorzystniejszych naprężeń, których poznanie daje nam możliwość zaprojektowania dostatecznie wytrzymałego łuku. Po otrzymaniu właściwych momentów gnących wyliczenie naprężeń nie sprawia już większych trudności.

Pisząc ogólnie dla otrzymanych momentów gnących:

$$M = k p l^2,$$

gdzie k są współczynniki, podane w naszych tablicach, a dla momentu wytrzymałości:

$$W = 2 R_i b h^2,$$

otrzymamy:

$$\sigma_{d, g} = \mp \frac{k p l^2}{2 R_i b h^2} = \mp \frac{k}{2 R_i} \cdot \frac{1}{\left(\frac{h}{f}\right)^2} \cdot \frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2,$$

czyli:
$$\sigma_{d, g} = \mp \frac{k_i}{\left(\frac{h}{f}\right)^2} \cdot \frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2. \quad (17)$$

Otrzymujemy więc dla naprężeń wzory, w których niezależna zmienna jest $\frac{h}{f}$, a wszystkie inne zmienne stanowią oddzielną grupę, zależną od geometrycznego kształtu łuku, i będące dla poszczególnego wypadku wartością stałą $\left[\frac{p}{b} \left(\frac{l}{f}\right)^2\right]$.

Podobnie więc, jak wzory (8), (9), (15) i (16) zestawimy wzór (17) w różnych kombinacjach warunków 1–5 w tablice, i w ten sposób otrzymujemy łatwe w użyciu tablice I. do XII., które podajemy¹⁾.

Rozdział II.

Doraźne linje wpływu.

Siły skupione i ruchome uwzględnimy najdogodniej przez zastosowanie metody linii wpływu.

¹⁾ Tablice I. do XII., przedstawiające liczbowe dane dla funkcji z równań momentów i naprężeń, nie mają pretensji do matematycznej ścisłości we wszystkich podanych miejscach. Funkcje wymienionych równań są tak czułe na zmiany granicy całkowania, że chcąc otrzymać 4 ścisłe miejsca dla momentów, należałoby liczyć z sześciu miejscami dla granic. Nasze liczenie przeprowadzone jest przy wprowadzeniu 4 miejsc dla granic całkowania, co daje 2 ścisłe cyfry dla momentów gnących, które dla praktycznych celów zupełnie wystarczą.

Jeżeli w równaniu (4a) i (4b) zamiast $p dx$ napiszemy znów P , to równania te otrzymają formę:

$$M_{g, a} = -P \cdot l \cdot k, \quad (18)$$

przyczem k jest wartością z nawiasu równania i jest zależną od $\frac{x}{l}$, $\frac{h}{f}$ i r ; $\frac{x}{l}$ jest zmienne i liczone od lewej opory. Przyjmując dla $\frac{x}{l}$ wartości 0.1, 0.2, 0.3... możemy dla różnych $\frac{h}{f}$ i r , które jak wyżej uzasadniono, dobrano stosownie do praktycznych celów, wyliczyć współczynnik k .

Po otrzymaniu k , piszemy dalej:

$$\sigma = \frac{6 k P l}{b h^2} = \frac{6 k}{\left(\frac{h}{f}\right)^2} \frac{P}{b l} \left(\frac{l}{f}\right)^2. \quad (19)$$

Współczynnik $\frac{6 k}{\left(\frac{h}{f}\right)^2}$ jest szukaną wartością

linji wpływu, którą nanosimy w punkcie $x = 0.1 l$, $0.2 l$...

Chcąc cały system linji wpływu narysować na jednym rysunku, należało nam jeszcze poczynić pewne zmiany w zwykłym sposobie rysowania linji wpływu. Stosując prostokątne współrzędne, nie nakreślaliśmy liczb pionowych rzędnych w linearnej skali, ale w skali logarytmowej. Otrzymać to można bardzo łatwo przy pomocy logarytmowego suwaka rachunkowego, kreśląc siatkę, jak podano na naszych rysunkach 2 do 7.

Współczynnik $\frac{6 k}{\left(\frac{h}{f}\right)^2}$ jest liczbą małą, nie na-

dającą się do dokładniejszego jej nakreślenia. W naszych tablicach wykreślaliśmy przeto jej stokrotną wartość, tak że wzór, według którego powstały nasze rysunki brzmi:

$$\sigma = \frac{600 k}{\left(\frac{h}{f}\right)^2}. \quad (19a)$$

Wartości $\frac{600 \cdot k}{\left(\frac{h}{f}\right)^2}$ napisaliśmy w wymiarze kg/cm^2

a to ze względów prostszego pisania.

Użycie wykresu naszego jest więc następujące.

Sprowadzoną siłę $\frac{P}{b l} \cdot \frac{1}{100} \cdot \left(\frac{l}{f}\right)^2$ (P w tonnach, b i l w metrach) stawiamy w miejscu najniekorzystniejszego obciążenia. Odczytując przynależne naprężenie dla jednostki obciążenia, i mnożąc je przez $\frac{P}{b l} \cdot 0.01 \left(\frac{l}{f}\right)^2$, otrzymamy istotne naprężenie. W taki sam sposób uwzględniamy ruchomy system sił, przy czem jedynie zważyć należy na to, aby system sił narysowany był w tej samej skali, w jakiej skali posiadamy rysunki linji wpływu. N. p. jeżeli mamy do obliczenia łuk o rozpiętości α metrów, a linje wpływu mają długość β centymetrów, wtedy wiadomo, że linje wpływu w stosunku do łuku narysowane są w skali $\frac{\alpha}{\beta} = 1$, czyli 1 cm długości linji wpływu będzie wyrażał $\frac{\alpha}{\beta}$ metrów. 1 metr systemu

sił skupionych będzie więc na przezroczystym papierze wyrażony przez $\frac{\beta}{\alpha} \text{ cm}$.

Przykład. Dwie siły, z których jedna 10 t a druga 13 t, rozstawione są w odległości 2.75 m i obciążają sklepienie betonowe o rozpiętości $l=30 \text{ m}$, $f=4.0 \text{ m}$ i szerokości $b=3.5 \text{ m}$. Jakie jest największe naprężenie na ściskanie, wywołane temiż siłami w kluczu łuku przy wysokości przekroju tamże $h_0=80 \text{ cm}$? Do dyspozycji stoją nam przytem nasze doraźne linje wpływu o długości rysunku $\lambda=18 \text{ cm}$.

Siły nasze rysujemy na przezroczystym papierze w rozstępie:

$$Z = \frac{18}{30} \cdot 2.75 = 1.65 \text{ cm}.$$

Sprowadzone do mnożnika, jakim należy wymnożyć rzędne naszych linij wpływu, otrzymamy:

$$P_1' = \frac{10}{3.5 \cdot 30} \cdot 0.01 \cdot \left(\frac{30.0}{4.0}\right)^2 = 0.0534$$

$$P_2' = \frac{13}{3.5 \cdot 30} \cdot 0.01 \cdot 7.5^2 = 0.0694.$$

Stawiamy większą siłę na największej wartości linji wpływu, a mniejszą w odległości 1.65 cm. Linja wpływu (rysunek 2, osobna tablica) dla $\frac{h_0}{f} = 0.2$ (ponieważ $h_0=0.8 \text{ m}$ a $f=4.0 \text{ m}$) daje nam w rezultacie:

$$\sigma' = 0.0694 \cdot 95 = 6.6 \text{ at}$$

$$\sigma'' = 0.0534 \cdot 45 = 2.4 \text{ at}$$

$$\sigma' \text{ max} = 9.0 \text{ at}$$

Ściskanie wskutek bocznego ustawienia sił będzie, jak z rysunku linji wpływu widoczne, znacznie mniejsze.

Jako największe rozciąganie wskutek tego samego obciążenia otrzymamy w kluczu:

$$\sigma' = 0.0694 \cdot 63 = 4.3 \text{ at}$$

$$\sigma'' = 0.0534 \cdot 23 = 1.2 \text{ at}$$

$$5.5 \text{ at}$$

Jeżeli $\frac{h_0}{f}$ jest liczbą, naszym systemem linji wpływu bezpośrednio nie objęta, można z dostateczną dla praktycznych celów dokładnością interpolować potrzebną dla specjalnego wypadku linję wpływu, przyczem mogą dla interpolacji posłużyć na boku rysunku podane logarytmowe linje, dające jeden punkt szukanej linji wpływu. Jeżeli n. p. $\frac{h_0}{f} = 0.18$, to na rys. 2 znajdziemy wartości $\frac{h}{f}$ naniesione na głównej osi w linearnej skali, możemy więc interpolować zapomocą stosunku prostoliniowego, a na stosownej krzywej odnaleźć wartość, która do $\frac{h_0}{f}$ przynależy, np. σ , ściskanie (rys. 2) 112 at.

Przykład. Dla łuku o rozpiętości $l=20.0 \text{ m}$ strzałce $f=2.5 \text{ m}$ należy znaleźć wpływ obciążenia ruchomego na naprężenia w przekrojach w kluczu i wezłowniu łuku, przy różnych grubościach przekrojów łuku i przy stosowaniu różnego odsetku żelaza. Jako obciążenie przyjmuje się tłum ludzi $=0.5 \text{ t/m}^2$ oraz wałek o wadze 23 t, (według Ministerstwa Robót Publicznych, „Tymczasowe przepisy Budowy i Utrzymania Mostów Drogowych“, Warszawa 1920 r. Tablica II a Nr. 3 i 5).

Wyliczenie największych naprężeń wskutek obciążenia tłumem ludzi przy pomocy naszych tablic nie przedstawia żadnych dalszych trudności. Przy uwzględnieniu sił skupionych należy odnaleźć właściwe siły sprowadzone, przyczem powoduje nas następujący tok myśli.

Wałek pokrywa powierzchnię $=10.4 \text{ m}^2$.

Ciężar tłumy ludzi na tejże powierzchni wynosi $10.4 \times 0.5 = 5.2 \text{ t}$.

Ciężar dodatkowy, wywołany przez wałek, wynosi zatem:

$$P_1 + 2 P_2 = 23 - 5.2 = 17.8 \text{ t}$$

$$P_1 = 10 \cdot \frac{17.8}{23} = 7.8 \text{ t}$$

$$P_2 = 13 \cdot \frac{17.8}{23} = 10.0 \text{ t}.$$

Jeżeli przyjmiemy, że nasyp ma nad kluczem grubości 58 cm¹⁾, to nośna szerokość płyty powiększa się o najmniej $2 \times 58 = 116 \text{ cm}$, to jest do $2.1 + 1.16 = 3.26 \text{ m}$. Dla przekrojów w wezłowniu szerokość ta będzie jeszcze większą, ponieważ nasyp w miejscach najmniejkorzystniejszego obciążenia będzie jeszcze większy. Jednak dla prostoty liczenia i tam przyjmiemy tę samą szerokość nośną

Mnożnik, jakim podane w naszych linjach wpływu naprężenia mnożyć należy, aby otrzymać istotne naprężenia, otrzymamy:

$$P_1' = \frac{7.8}{20 \cdot 3.26} \cdot \frac{64}{100} = \infty 0.077$$

$$P_2' = \frac{10.0}{20 \cdot 3.26} \cdot \frac{64}{100} = 0.098 = \infty 0.1.$$

Temi sprowadzonymi obciążeniami operując, otrzymaliśmy tabelaryczne zestawienie najmniejkorzystniejszych naprężeń, podanych w tablicach XIII. do XVI. Zaznaczyć przytem należy, że dla tablicy XV. i XVI. przyjęliśmy dla sił skupionych wartości z tablicy XIII. i XIV., powiększone lub zmniejszone w tym samym stosunku, w jakim zwiększyły lub zmniejszyły się odnośne wartości wskutek obciążenia tłumem ludzi.

Otrzymane naprężenia nie stanowią żadnego samodzielnego kryterjum dla łuku, mogą nam dać jedynie pogląd na stosunek, w jakim na naprężenia łuku wpływają ciężary stałe¹⁾ i ciężary ruchome. Rozważanie tego stosunku może być pożądané, jeżeli tym dwom kategorjom naprężeń przypisywalibyśmy różny wpływ na wytrzymałość, n. p. przy uwzględnieniu dynamicznych działań, zmienności znaku naprężeń itp. Na ogół bierze się jednak pod uwagę jedynie sumę obydwu kategorji naprężeń. Jeżeli więc do naprężeń wskutek ciężarów nieruchomych, otrzymanych przez nas w części I. nieniejszych materiałów, dodamy obecnie wyliczone, otrzymamy następujące wyniki (p. tabl. XVII. i XVIII).

Tablice XVII. i XVIII. dają nam zupełny obraz panujących wśród wszystkich możliwych przekrojów stosunków i pozwalają na wyrobienie sobie krytycznego poglądu celem dobrania najwięcej odpowiadającego naszym zamiarom przekroju w kluczu i wezłowniu łuku.

Naszem zdaniem będzie to łuk leżący blisko na-

¹⁾ Porównaj część I. „Materiałów“.

¹⁾ Wpływ ciężarów stałych podaliśmy w części I. „Materiałów“.

Tabl. XIII.
W kluczu łuku przy $h_s = h_0$.

| | | $h_0 : f = 0.15$ | | | $h_0 : f = 0.20$ | | | $h_0 : f = 0.25$ | | |
|---------------------------|------------------|------------------|--------|--------|------------------|--------|-------|------------------|-------|-------|
| | | $fe' = fe = 0\%$ | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% |
| σ_g (t/m^2) | p_b | -28.6 | -21.3 | -14.6 | -13.6 | -9.5 | -6.1 | -6.9 | -4.5 | -2.6 |
| | p_{sr} | +63.0 | +50.0 | +39.0 | +40.2 | +32.0 | +24.0 | +26.0 | +23.0 | +19.0 |
| | P_b | -31.5 | -23.0 | -16.4 | -15.9 | -10.7 | -7.7 | -7.3 | -4.6 | -3.2 |
| | P_{sr} | +154.7 | +120.0 | +92.0 | +100.7 | +74.0 | +58.0 | +74.3 | +53.0 | +40.0 |
| | $\sigma_{min} =$ | -60.1 | -44.3 | -31.0 | -29.5 | -20.2 | -13.8 | -14.2 | -9.1 | -5.8 |
| | $\sigma_{max} =$ | +217.7 | +170.0 | +131.0 | +140.9 | +106.0 | +82.0 | +100.3 | +76.0 | +59.0 |
| σ_d (t/m^2) | p_b | +56.0 | +44.0 | +33.8 | +32.0 | +25.5 | +19.7 | +21.0 | +16.2 | +12.7 |
| | p_{sr} | -38.0 | -27.6 | -20.0 | -20.0 | -14.9 | -10.8 | -13.0 | -8.9 | -6.8 |
| | P_b | +51.6 | +40.0 | +31.0 | +29.7 | +23.0 | +18.5 | +18.9 | +15.3 | +11.8 |
| | P_{sr} | -113.0 | -86.0 | -62.0 | -66.6 | -47.0 | -35.0 | -39.0 | -30.5 | -22.5 |
| | $\sigma_{min} =$ | -151.0 | -113.6 | -82.0 | -86.6 | -61.9 | -45.8 | -52.0 | -39.4 | -29.3 |
| | $\sigma_{max} =$ | +107.6 | +84.0 | +64.8 | +61.7 | +48.5 | +38.2 | +39.9 | +31.5 | +24.5 |

Tabl. XIV.
W lewym węzłowie łuku przy $h_s = h_A$.

| | | $h_A : f = 0.30$ | | | $h_A : f = 0.40$ | | | $h_A : f = 0.50$ | | |
|---------------------------|------------------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|
| | | $fe = fe' = 0\%$ | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% |
| σ_g (t/m^2) | p_l | -37.4 | -28.4 | -21.3 | -29.6 | -17.0 | -12.8 | -14.7 | -11.8 | -9.0 |
| | p_{pr} | +35.7 | +27.1 | +20.2 | +17.9 | +13.3 | +9.7 | +12.2 | +7.0 | +5.1 |
| | P_l | -63.0 | -51.1 | -41.8 | -38.0 | -28.9 | -21.8 | -26.5 | -18.3 | -14.3 |
| | P_{pr} | +50.0 | +38.1 | +28.5 | +24.5 | +19.1 | +14.0 | +13.0 | +10.5 | +7.7 |
| | $\sigma_{min} =$ | -100.4 | -79.5 | -63.1 | -67.6 | -45.9 | -34.6 | -41.2 | -30.1 | -23.3 |
| | $\sigma_{max} =$ | +85.7 | +65.2 | +48.7 | +42.4 | +32.4 | +23.7 | +25.2 | +17.5 | +12.8 |
| σ_d (t/m^2) | p_l | +46.7 | +36.6 | +28.5 | +29.6 | +23.6 | +18.5 | -21.8 | -17.2 | -13.9 |
| | p_{pr} | -20.2 | -14.1 | -9.5 | -7.9 | -5.0 | -3.5 | +3.2 | +1.4 | +0.9 |
| | P_l | +85.0 | +57.1 | +44.4 | +44.0 | +35.2 | +27.2 | -31.0 | -23.7 | -17.4 |
| | P_{pr} | -30.0 | -22.1 | -15.0 | -12.8 | -8.2 | -5.5 | +6.3 | +3.0 | +1.7 |
| | $\sigma_{min} =$ | -50.2 | -36.2 | 24.5 | -20.7 | -13.2 | -9.0 | -9.5 | -4.4 | -2.6 |
| | $\sigma_{max} =$ | +131.7 | +93.7 | +72.9 | +73.6 | +58.8 | +45.7 | +52.8 | +40.9 | +31.3 |

Tabl. XV.
W kluczu łuku przy $h_s = \frac{1}{3} h_0$.

| | | $h_0 : f = 0.15$ | | | $h_0 : f = 0.20$ | | | $h_0 : f = 0.25$ | | |
|---------------------------|------------------|------------------|--------|--------|------------------|--------|-------|------------------|-------|-------|
| | | $fe' = fe = 0\%$ | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% |
| σ_g (t/m^2) | p_b | -27.7 | -20.5 | -13.3 | -11.9 | -8.0 | -5.1 | -5.5 | -3.4 | -2.0 |
| | p_{sr} | +66.2 | +54.3 | +46.4 | +43.2 | +34.2 | +27.7 | +32.0 | +25.2 | +21.1 |
| | P_b | -30.4 | -23.8 | -18.0 | -13.9 | -9.0 | -6.5 | -5.8 | -3.5 | -2.5 |
| | P_{sr} | +162.0 | +130.0 | +109.0 | +115.0 | +78.2 | +67.2 | +92.0 | +57.6 | +44.5 |
| | $\sigma_{min} =$ | -58.1 | -44.3 | -21.3 | -25.8 | -17.0 | -11.6 | -11.3 | -6.9 | -4.5 |
| | $\sigma_{max} =$ | +228.2 | +184.3 | +155.4 | +158.2 | +112.4 | +94.9 | +124.0 | +82.8 | +65.6 |
| σ_d (t/m^2) | p_b | +52.8 | +42.0 | +31.1 | +29.2 | +22.5 | +17.1 | +17.8 | +13.6 | +10.3 |
| | p_{sr} | -39.9 | -30.8 | -21.8 | -22.9 | -17.1 | -12.5 | -15.4 | -11.5 | -8.5 |
| | P_b | +49.0 | +42.0 | +32.4 | +32.8 | +26.1 | +20.4 | +22.3 | +18.2 | +14.6 |
| | P_{sr} | -118.0 | -96.0 | -67.5 | -76.5 | -54.0 | -40.6 | -46.3 | -41.0 | -28.1 |
| | $\sigma_{min} =$ | -157.9 | -126.8 | -89.3 | -99.4 | -71.1 | -53.1 | -61.7 | -52.5 | -36.6 |
| | $\sigma_{max} =$ | +101.8 | +84.0 | +63.5 | +62.0 | +48.6 | +37.5 | +40.1 | +31.8 | +24.9 |

Tabl. XVI.
W lewym węzłowie przy $h_s = \frac{2}{3} h_A$.

| | $h_A : f = 0.30$ | | | $h_A : f = 0.40$ | | | $h_A : f = 0.50$ | | | |
|---------------------------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|------------------|-------|-------|-------|
| | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% | |
| σ_y (t/m^2) | p_l | -33.1 | -26.3 | -19.5 | -19.8 | -14.9 | -11.1 | -12.9 | -9.7 | -7.3 |
| | p_{pr} | +39.6 | +31.8 | +24.2 | +22.8 | +17.6 | +13.3 | +14.1 | +10.8 | +8.1 |
| | P_l | -55.5 | -49.2 | -40.4 | -32.4 | -24.5 | -18.7 | -23.3 | -15.0 | -11.6 |
| | P_{pr} | +55.4 | +44.7 | +34.2 | +31.2 | +25.2 | +19.3 | +19.0 | +16.2 | +12.3 |
| σ_{min} | -88.6 | -75.5 | -59.9 | -52.2 | -39.4 | -29.8 | -36.2 | -24.7 | -18.9 | |
| σ_{max} | +95.0 | +76.5 | +58.4 | +54.0 | +42.8 | +32.6 | +33.1 | +27.0 | +20.4 | |
| σ_d (t/m^2) | p_l | +44.4 | +34.1 | +26.1 | +26.6 | +21.0 | -16.3 | -18.7 | -13.2 | +11.6 |
| | p_{pr} | -29.6 | -17.4 | -12.1 | -11.0 | -7.5 | +5.0 | +5.4 | +3.5 | -2.1 |
| | P_l | +81.0 | +53.1 | +40.6 | +38.4 | +31.3 | -24.0 | -26.6 | -18.2 | +14.5 |
| | P_{pr} | -44.0 | -27.1 | -19.1 | -17.8 | -12.4 | +7.9 | +10.6 | +7.5 | -4.0 |
| σ_{min} | -73.6 | -44.5 | -31.2 | -28.8 | -19.9 | -12.9 | -16.0 | -11.0 | -6.1 | |
| σ_{max} | +125.4 | +87.2 | +66.7 | +65.0 | +52.3 | +40.3 | +35.3 | +31.4 | +26.1 | |

Tabl. XVII. Zestawienie.
W kluczu łuku.

| | t/m^2 | $fe = fe' =$ | $h_0 : f = 0.15$ | | | $h_0 : f = 0.20$ | | | $h_0 : f = 0.25$ | | |
|-------------------------|------------|--------------|------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|
| | | | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% |
| $h_s = h_0$ | σ_y | max | +348.4 | +324.8 | +293.5 | +329.7 | +308.7 | +286.5 | +325.5 | +313.1 | +292.6 |
| | | min | -51.4 | -19.0 | -1.2 | -18.8 | +32.7 | +36.4 | +45.7 | +57.3 | +53.3 |
| | σ_d | max | +319.7 | +256.9 | +202.6 | +194.6 | +158.4 | +126.3 | +131.3 | +107.4 | +86.2 |
| | | min | -61.4 | -76.9 | -75.9 | -103.7 | -124.0 | -134.3 | -141.7 | -172.5 | -192.5 |
| $h_s = \frac{1}{3} h_0$ | σ_y | max | +502.8 | +495.0 | +502.3 | +521.7 | +506.7 | +525.2 | +546.6 | +533.9 | +552.9 |
| | | min | -29.8 | -2.1 | +24.6 | +44.2 | +56.0 | +57.3 | +77.0 | +79.4 | +73.5 |
| | σ_d | max | +234.8 | +231.4 | +176.8 | +163.8 | +129.0 | +97.8 | +97.9 | +76.5 | +56.2 |
| | | min | -229.0 | -269.8 | -316.8 | -324.3 | -365.5 | -436.7 | -370.5 | -465.8 | -548.0 |

Tabl. XVIII. Zestawienie.
W węzłowie łuku

| | t/m^2 | $fe = fe' =$ | $h_A : f = 0.30$ | | | $h_A : f = 0.40$ | | | $h_A : f = 0.50$ | | |
|-------------------------|------------|--------------|------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|------------------|--------|--------|
| | | | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% | 0% | 0.5% | 1.2% |
| $h_s = h_A$ | σ_y | max | +15.3 | +12.9 | +11.0 | -0.4 | -0.6 | -4.7 | -19.3 | -19.0 | -15.9 |
| | | min | -566.0 | -581.3 | -639.0 | -610.0 | -635.3 | -731.5 | -630.4 | -741.0 | -838.8 |
| | σ_d | max | +735.6 | +701.8 | +697.5 | +699.6 | +704.7 | +723.3 | +714.5 | +725.8 | +752.5 |
| | | min | +191.1 | +171.0 | +143.1 | +165.8 | +149.8 | +123.0 | +160.0 | +145.0 | +118.7 |
| $h_s = \frac{1}{3} h_A$ | σ_y | max | +66.6 | +64.4 | +52.1 | +42.4 | +38.7 | +32.3 | +25.0 | +23.7 | +19.6 |
| | | min | -246.6 | -236.6 | -237.6 | -228.2 | -231.4 | -251.4 | -244.7 | -255.8 | -289.8 |
| | σ_d | max | +432.4 | +376.1 | +342.3 | +353.4 | +341.1 | +321.3 | +325.7 | +320.9 | +319.7 |
| | | min | +106.0 | +106.3 | +89.9 | +117.8 | +98.2 | +82.9 | +101.6 | +91.4 | +77.4 |

stępujących charakterystycznych danych: $h_0 : f = 0.15$; $h_A = 2 h_0$; $fe = fe' = 0.5\%$.

Najniekorzystniejsze naprężenia, jakie w omawianych przekrojach występują, otrzymujemy:

Sciskanie Rozciąganie
W kluczu $\sigma_y = 49.5$ „ $\sigma_d = -27.0$ „

W węzłowie $\sigma_d = 37.6$ „ $\sigma_y = -23.7$ „

Jest tylko jedna możliwość częściowego zmniejszenia naprężeń na rozciąganie (przy naszych obciążeniach i geometrycznym kształcie osi łuku), a to

przez zmniejszenie wartości $h_0 : f$. Np. przy $h_0 : f = 0.1$ otrzymamy przez ekstrapolację w kluczu $\sigma_d = \infty - 17.0$ „, w węzłowie jednak pozostaje naprężenie na rozciąganie prawie bez zmiany. Jest jednak rzeczą wątpliwą, czy dla względnie małego efektu należy zgodzić się na takie obciążenie przekroju łuku. Innego rodzaju zmiany w przekrojach nie dadzą nam pożądanego wyniku. I tak: pogrubienie łuku powiększa gwałtownie naprężenia na rozciąganie, zwłaszcza w kluczu. Zwiększenie odsetku żelaza powiększa

również naprężenie na rozciąganie, nie zmniejszając zupełnie naprężeń na ściskanie. Zmniejszenie odsetku żelaza zmniejsza wprawdzie naprężenie na rozciąganie, jednak przy $f_e : f_e' = 0$, otrzymamy w węzłowie $\sigma_g = -24.7^{at}$, a w kluczu $\sigma_a = -22.9^{at}$, czyli wartości które łuk betonowy wykluczają ze sfery naszych rozważań. Zmniejszenie h_A do mniej niż $2h_0$ powiększa znowu naprężenia na rozciąganie, bo w węzłowie znajdujemy przy warunku $h_A = h_0$ $\sigma_g = -54.8^{at}$. Zmniejszenie więc naprężenia na rozciąganie wskutek tej zmiany nie będzie decydujące.

Widzimy, że zakres wartości, w jakim możemy dokonywać wyboru pożytecznych dla naszego łuku wymiarów, jest bardzo wąski, tak wąski, że na chwilę zadajemy sobie pytanie, czy zamocowane łuki są z punktu widzenia teorii wogóle możliwe. Otóż mimo niekorzystnych dla łuków zamocowanych wyników naszych badań, jesteśmy zdania, że łuk zamocowany przy umiejętnym zastosowaniu ma zupełną rację bytu. Wyłączamy przy tem obliczenia w fazie II b, gdyż faza ta leży w obrębie zupełnie innych kategorii myślenia i wydaje nam się, że maksyma: „niech pęka byleby stało“, nie nadaje się do nabrania budowy patyny wieków. Zapewne, że żądanie władz obliczenia łuku według fazy II b jest uzasadnione; jednak budowniczy mostów dbać będzie nie tylko o wytrzymałość łuku, ile jako *conditio sine qua non* postawi sobie zadanie takiego skonstruowania mostu, aby łuk jego, będący zabezpieczonym przed pękaniem, gwarantował długowieczność.

Dlaczego więc uważamy wybrane przez nas przekroje za możliwe? Otóż dlatego, że w rzeczy samej naprężenia na rozciąganie będą mniejsze, niż przez nas wyliczone. Pochodzi to stąd, że wyliczenie nasze przyjęło za podstawę wyliczeń naprężeń prostolinijnych prawa Bernoulliego i Naviera, w rzeczy samej zaś ani płaskie przekroje nie zostają po obciążeniu płaskimi, ani naprężenia nie rosną w betonie proporcjonalnie do odległości od osi obojętnej. W warunkach naszego łuku można redukcję naprężenia na rozciąganie oceniać na $\sim 30\%$.

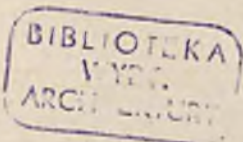
Pozatem bardzo rzadko działają wszystkie rodzaje obciążenia razem w najniekorzystniejszym dla łuku kierunku. Np. nie można przypuszczać, że przy solidnym nasypie wpływ temperatury będzie tak znaczny, jak to przyjęto w naszym przykładzie, lub że wałkowanie, połączone z tłumem ludzi, nastąpi przy największym mrozie. Tak samo i samoskurcz betonu przy używaniu dobrego cementu nie osiągnie wprowadzonych przez nas wartości.

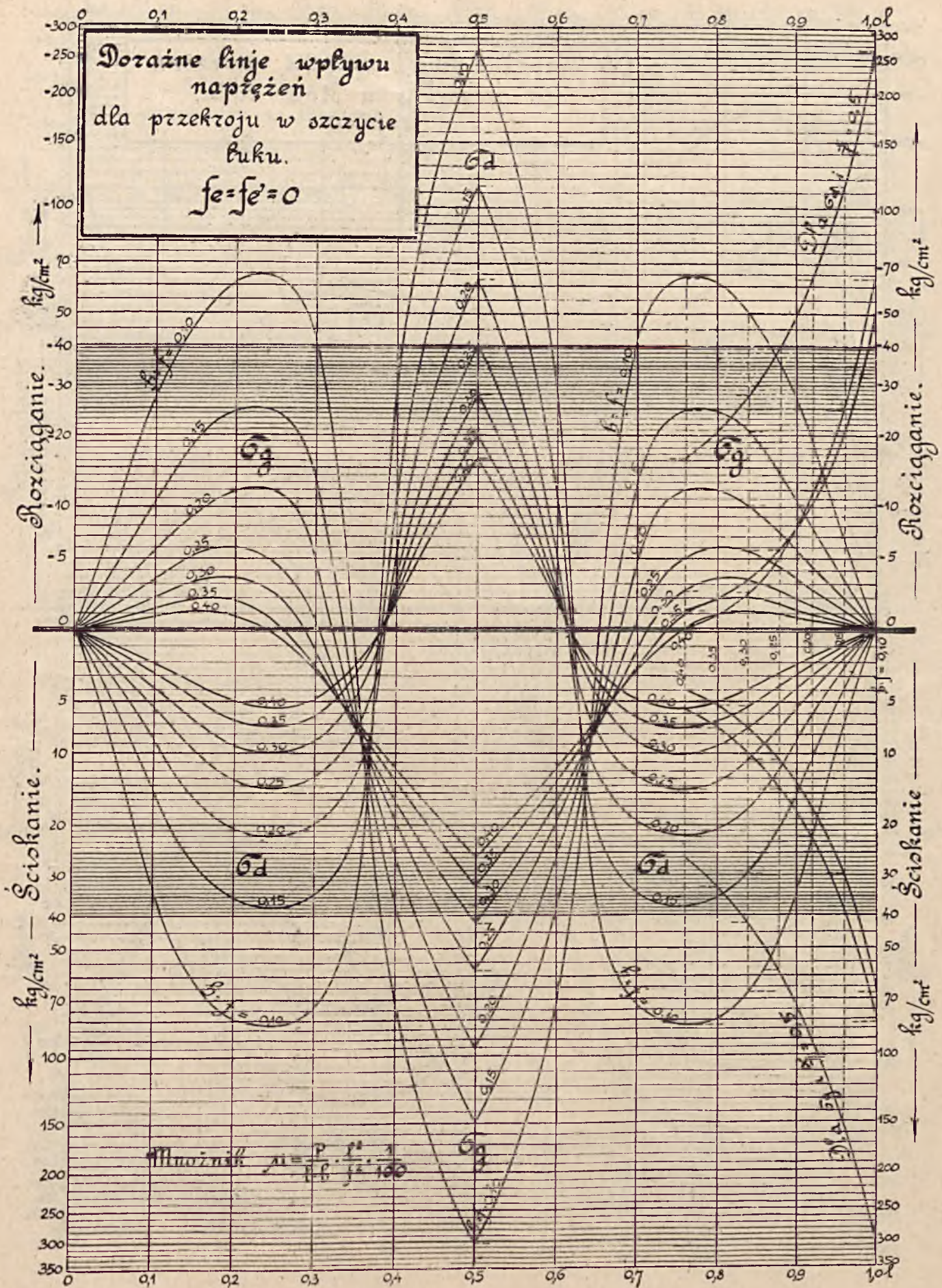
Błędnem jest natomiast mniemanie, jakoby np. ściany oporowe, utrzymujące nasyp na moście, wzmacniały łuk. Ściany takie są przeciwnie źródłem wszelkich naprężeń własnych i prędzej czy później pękają od wpływów drugorzędnych.

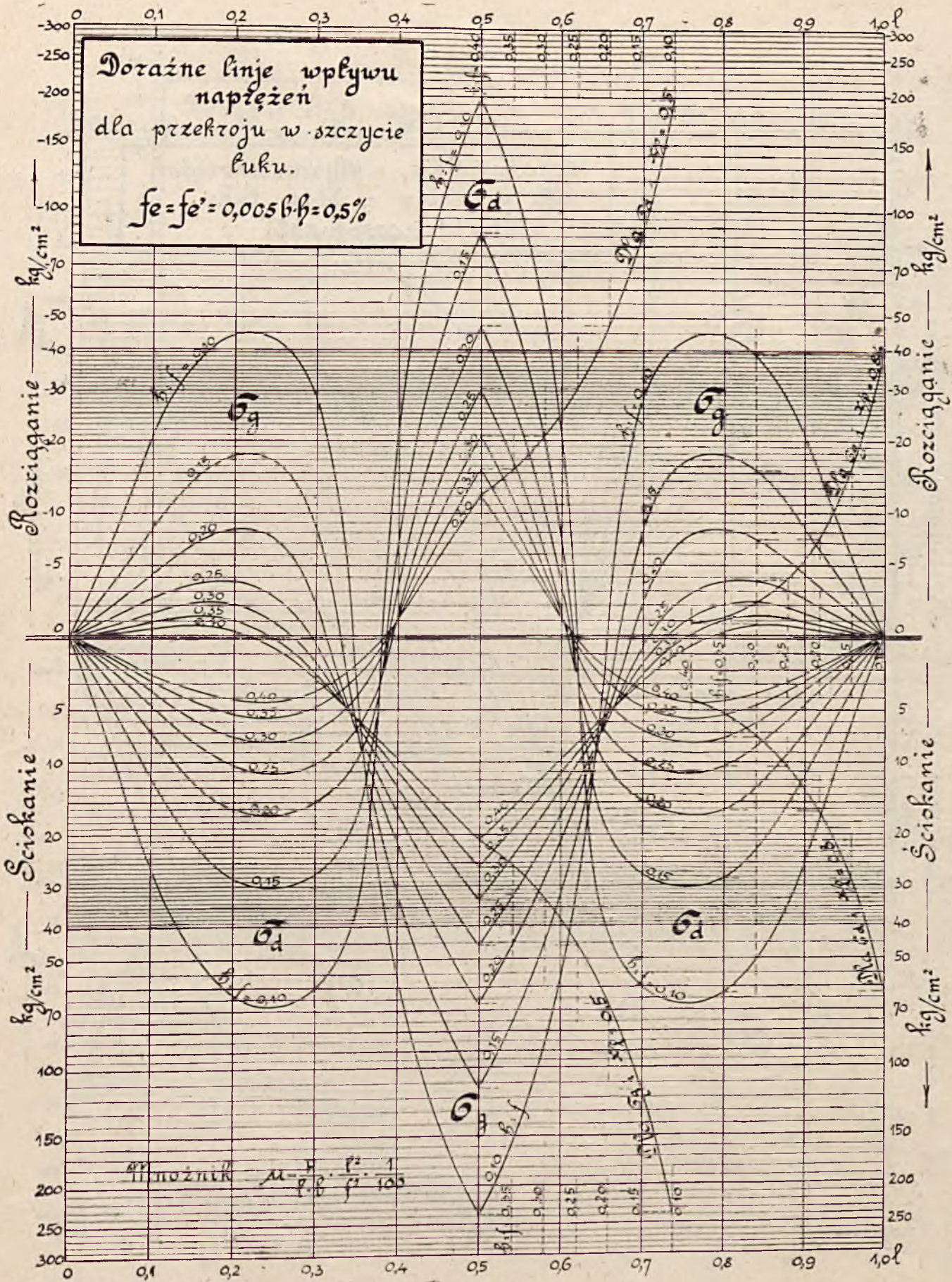
Natomiast jednym z najcenniejszych środków, jakie przy łukach zamocowanych mieć należy na uwadze, to solidność używanych materiałów betonu. Kamień powinien być z twardych skał, mieszanina ścisła, powstała przez racjonalny dobór stosunku mieszanych materiałów i przez szczelne ubijanie, cement tendencję samoskurczu. Im chudszy będziemy mogli zastosować mieszaninę, tem mniejszy będzie udział skurczu betonu w wytwarzaniu naprężeń na rozciąganie. Do tego jednak będzie potrzeba cementu o wysokich wytrzymałościach, gdyż powstałe naprężenia muszą być zabezpieczone przepisany stopniem bezpieczeństwa.

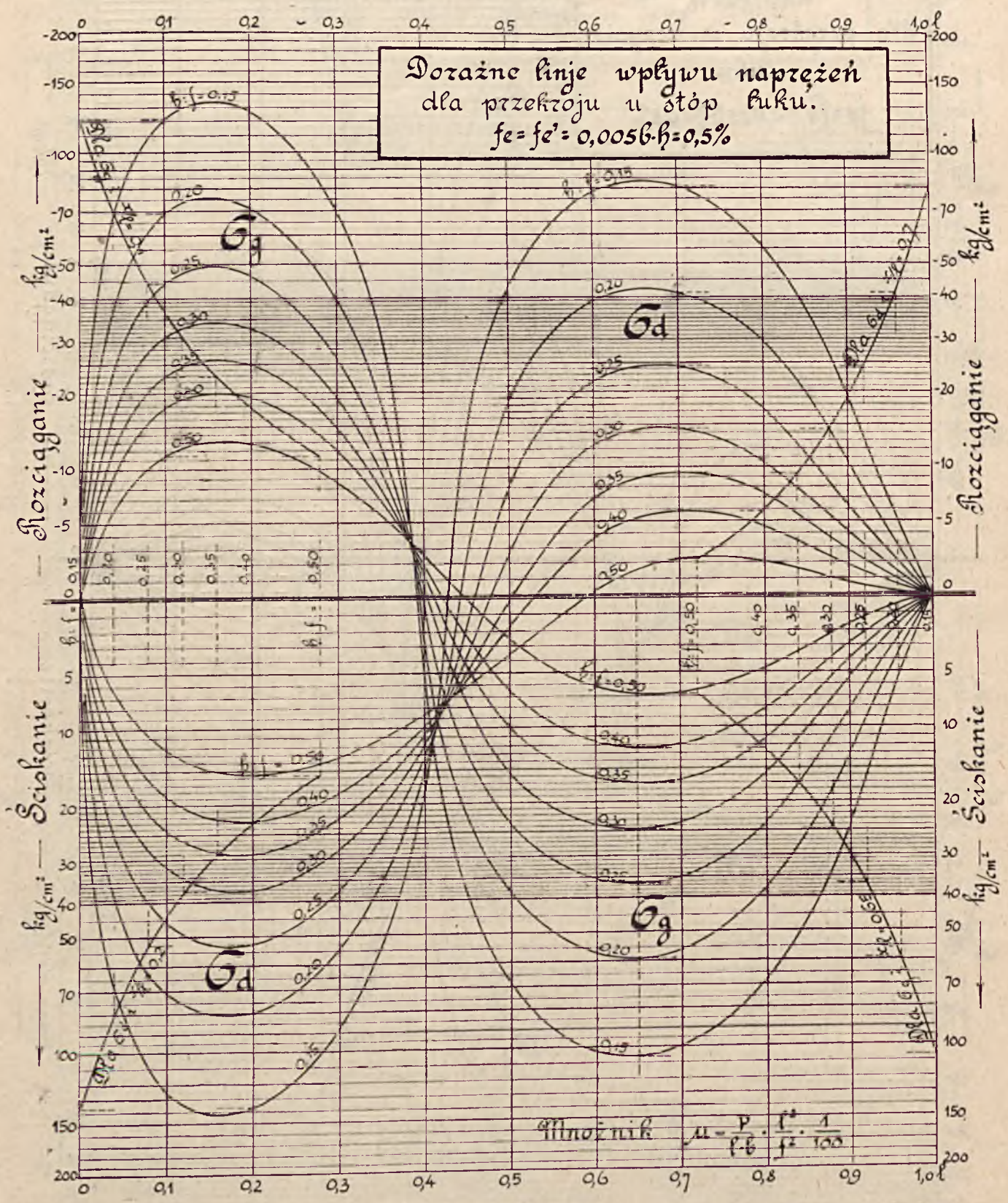
Dobiegając do końca części drugiej naszej pracy, śmiemy wyrazić nadzieję, że może ona wyeliminować projektowanie łuków „po omacku“ i jasno charakteryzuje to ciasno ograniczone pole, wśród którego konstruktor dokonać może wymiarowania łuku. Na podstawie naszej pracy możemy jednak twierdzić niezbicie, że nie ma takich przekrojów łuków mostowych, któreby przy zadanych przepisami normach obciążeń, nie wykazywały większych naprężeń na rozciąganie. Zmiana osi łuku (n. p. parabolicznej na koszykową), pomoże tylko w przekrojach między kluczem a węzłowem leżących, dla przekrojów w samym kluczu i w węzłowie taka zmiana będzie bez wpływu. Zdaje nam się jednak, że jedynie otwarte stawienie kwestji, dopuszczające krytyczne wyjaśnienie zagadnienia, najprędzej doprowadzi do zamierzonego celu, t. j. racjonalnego projektowania łuków. Te plus pracy, jakie przez nasze, zdawałoby się żmudne, liczenie w projektowaniu łuku kładziemy, ma te dwie zalety, że zaprojektowanie łuku jest ściśle dostosowane do danych obciążeń i że przekroje zaprojektowane są równocześnie „obliczone“, t. j. że odrazu znamy i naprężenia, w przekrojach tych występujące.

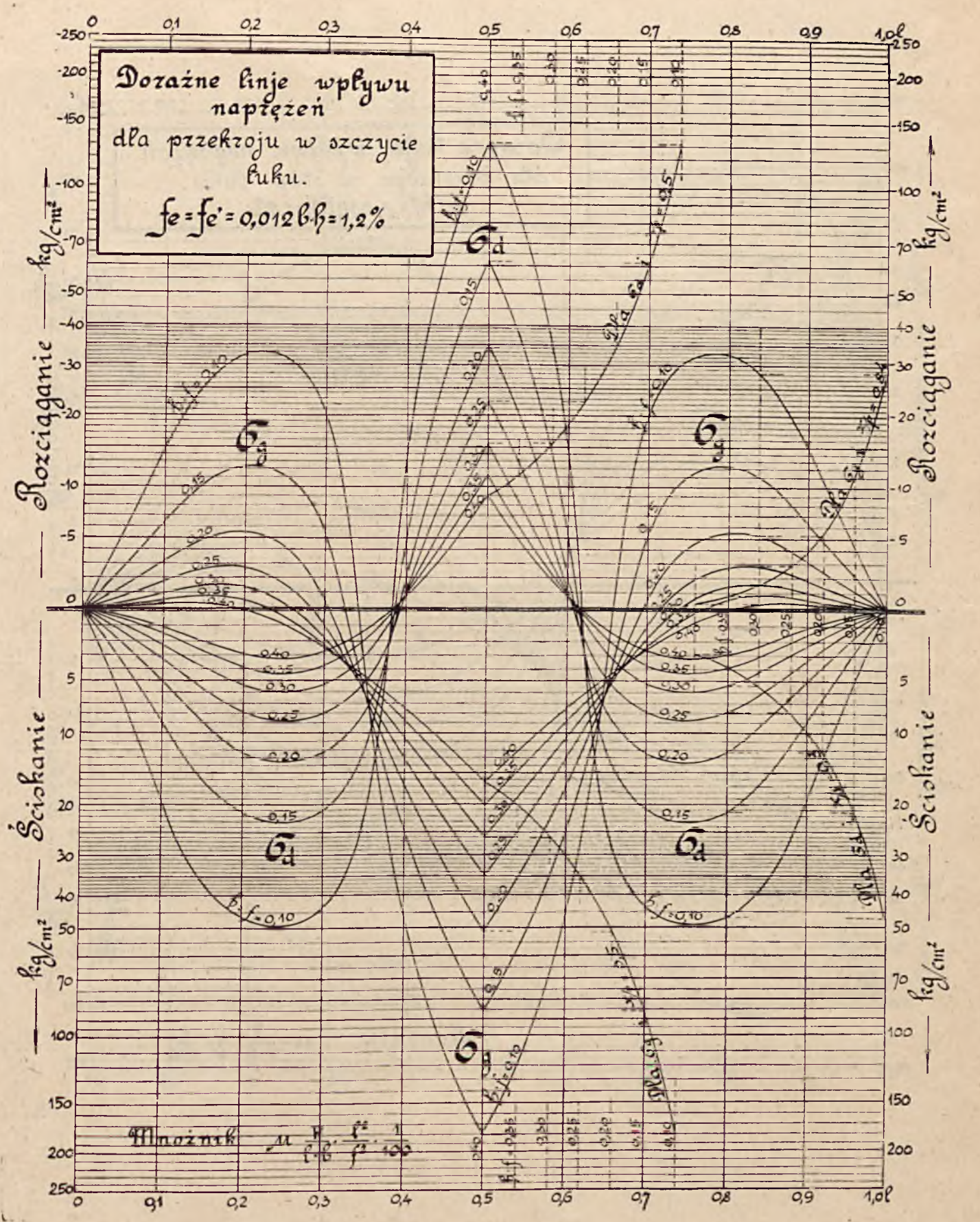
Obliczenie naprężeń w tychże przekrojach, oparte na ściślejszych wzorach, wyprowadzonych przy uwzględnieniu ciągłej zmienności przekrojów łuku według prawa $h_n = h_0 \sec^m \varphi_n$, podamy w trzeciej części naszych materiałów.







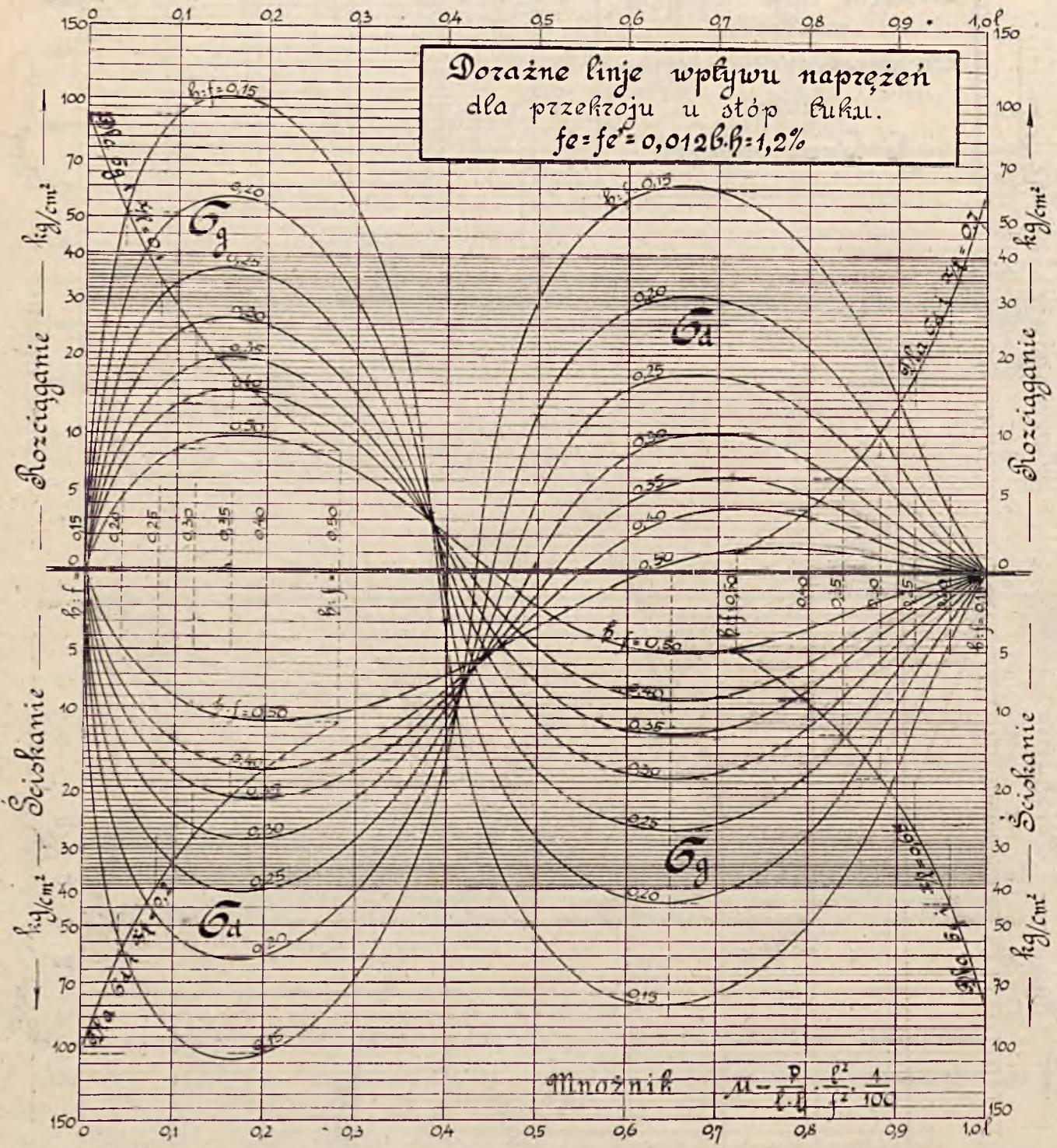




Dorzazne linje wplywu
naprężeń
dla przekroju w szczycie
łuku.
 $f_e = f_e' = 0,012 b \cdot h = 1,2\%$

Mnożnik $M = \frac{H}{f \cdot b} \cdot \frac{f_e}{f^2} \cdot \frac{1}{100}$

Dorzalne linje wplywu naprezen
 dla przekroju u stop luku.
 $f_e = f_c = 0,0126 \cdot h = 1,2\%$





6304