

· TEORJA ·
... SKLEPIEŃ I RAM ...

— NOTATKI Z WYKŁADÓW —
— INŻ. KOM. A. SKWARCZEWSKIEGO —

— CZĘŚĆ I —
SKLEPIENIA

ROK AKAD: 1924/1925
— I TRYMESTR —
— WYDZ. SZTUK PIĘKN. (ARCHITEKT) U. S. B. —

— WILNO —

(NAKŁADEM AUTORA, WILNO, OFIARNA, 4. M. 1)

~~Ms. Inw. 62~~

· TEORJA ·
... SKLEPIEŃ I RAM ...

— NOTATKI Z WYKŁADÓW —
— INŻ. KOM. A. SKWARCZEWSKIEGO —

— CZĘŚĆ I —
SKLEPIENIA

ROK AKAD. 1924/1925

— I TRYMESTR —

— WYDZ. SZTUK PIĘKN. (ARCHITEKT) U. S. B. —

624.06/92 (01); 69.023 (01)

— WILNO —

(NAKŁADEM AUTORA, WILNO, OFIARNA, 4. M. 1)

WORLD LIBRARY
PUBLISHED BY
No. 6884

...CZĘŚĆ II... SKŁĘPIENIA.

-TEORIA SKŁĘPIENI-

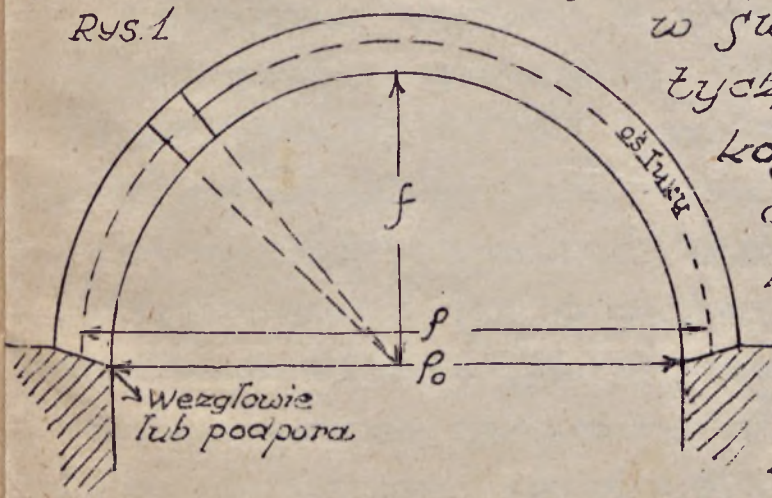
Teoria sklepień, niżej wyłożona, oparta na experimentach dokonanych, że zawalenie się sklepienia zaczyna się nasamprzód rozskryciem spoin (szwów) w kluczu i rozskryciem szwalów przesuńciami w szwie niebezpiecznym.

Dawniejsza teoria sklepień oparta na przypuszczeniu, że zawalenie się sklepienia następuje tylko wskutek przesunięcia klinów (Torsde la Hir na pocz. XVIII w.) Według późniejszej teorii Coulomb'a (1773 r.) zawalenie się sklepienia następuje tylko przez obrót klinów koło krawędzi, przyczym szwy otwierają się. Teoria ta potwierdzona doświadczeniami szeregu uczonych (Burchant, Lam, Clapeyron, Navier.)

Graficzny sposób zastosowany w 1827 r.. Mary Tenne w 1840 r. ustanowił zasadę, że linja cięwienia nie powinna wychodzić ze środkowej trzeciej części sklepienia. On prowadził ją w kluczu przez punkt jedyny górny, a w szwie niebezpiecznym przez punkt jedyny dolny.

Teoria łuków sprężystych zastosowana do sklepień Culmann'em (1865 r.).

Wewnętrzna część sklepienia nazywamy (rys. 1) podniebieniem, zewnętrzną - grzbietem. f_0 - rozpiętość w świetle, f - rozpiętość teoretyczna. f - strzałka lub wysokość. Linja łącząca środki ciężkości poszczególnych przekroji nazywają się osią łuku lub linją jedną i jest charakterystyką łuków i sklepień. Przy obciążeniu pionowym sklepienia dają oddziaływania na podpory w kierunku ukośnym.



dążące do ich oddalenia.

Sklepienia, które mają wewnętrzną powierzchnię walcową nazywają się: cylindrycznymi czyli walcowymi lub kolebkowymi i zależnie od kształtu łuku wyjątkowo 1) półkolisty ($\frac{f}{e} = \frac{1}{2}$); 2) odwrócone ($\frac{f}{e} < \frac{1}{2}$); 3) eliptyczne ($\frac{f}{e} < \frac{1}{2}$); 4) koszykowe lub koszowe; 5) paraboliczne; 6) gotyckie lub ostrołuczne.

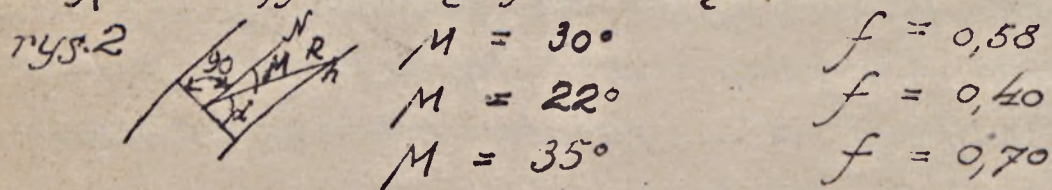
Sklepienia kolebkowe dzielą się na 1) podwyższone gdy $\frac{f}{e} > \frac{1}{2}$ i 2) niższe gdy $\frac{f}{e} < \frac{1}{2}$.

Sklepienia bywają symetryczne i niesymetryczne. Zależnie od sposobu wykonania sklepienia bywają z pojedynczych klinów i sklepienia jednolite.

Sklepienia powinny być sztywne i mocne, to znaczy:

1) Żadna część nie powinna przesuwać się lub obracać się względem drugiej części sklepienia, to znaczy punkt zadzierzenia wypadkowej, na szew działającej, powinien leżeć w jądrze przekroju (jeżeli chcemy, by nie było cignienia)

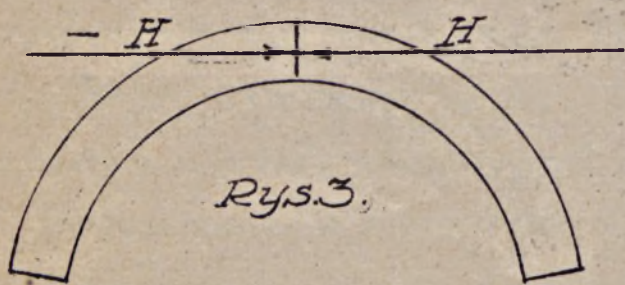
2) Wypadkowa nie powinna być pochylona do prostopadłej (normali) szwa więcej niż o kąt tarcia (rys. 2).



2) Części sklepienia powinny mieć takie wymiary, żeby naprężenia materiału nie przekraczały dozwolonego natężenia.

Nasamprzód przyjmujemy, że opory sklepienia są dostatecznie mocne.

Pod wpływem obciążenia t.j. wagi własnej i sił zewnętrznych części sklepienia będą parą w dół, będą się ciągnąć, a siły zewnętrzne będą równoważone z siłami wewnętrznymi (rys. 3)

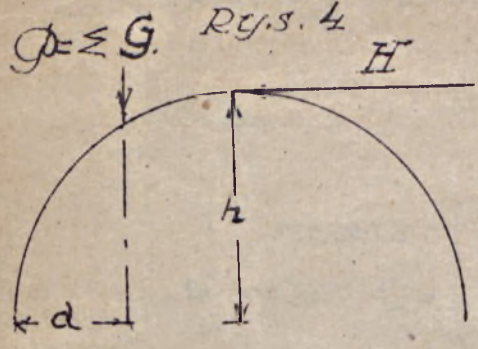


Rys. 3.

Obie połowy sklepienia wspierają się i wzajemnie ciągną na siebie w kluczu. Odrzucając jedną połowę sklepienia, musimy dodać siłę poziomą równą od działaniu jednej połowy na drugą

Tę siłę czyli parcie poziome rozpor oznaczamy H (rys. 3)

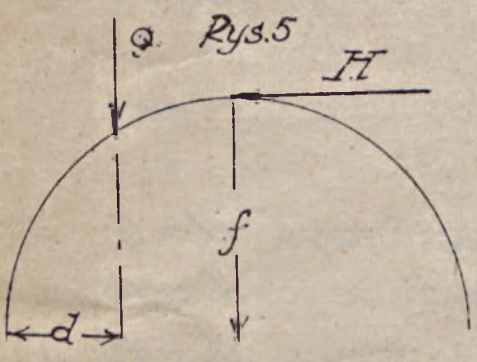
Parcie poziome H na klucz będzie wiadome, jeżeli wiadoma jego wartość i punkt zaczepienia Z , rys. 4 otrzymujemy



$$Qa = Hh$$

$$H = \frac{Qa}{h}$$

Znalezienie parcia pionowego H w przybliżeniu

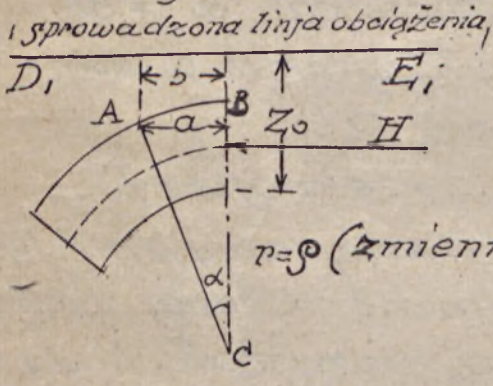


Q - wypadkowa sił (rys. 5)

$$Qd = Hf$$

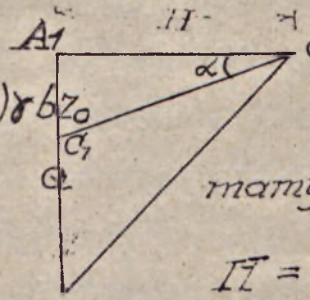
$$H = \frac{Qd}{f}$$

Rys. 6.



Sposób znalezienia parcia poziomego H przy ρ zmiennym (rys. 6)

Rys. 7

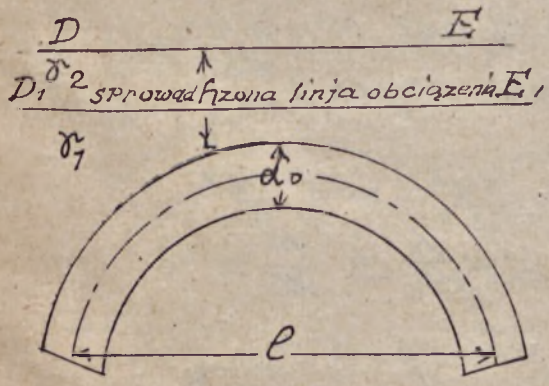


Z podobieństwa ΔABC i ΔAOC_1 (rys. 7) b)

mamy $\frac{H}{\delta b Z_0} = \frac{\rho}{b}$ gdzie $b = a$

$$H = \rho \cdot \delta \cdot Z_0$$

Rys. 8



Empiryczne wzory dają możliwość określić w przybliżeniu H i d_0 - grubość (rys. 8) sklepienia w kluczu

$$H = 0,15 \gamma \frac{l^2}{f} \left(90 + \frac{f}{10} \right) = R d_0 \text{ (wzór Tol-kinič'a)}$$

$$d_0 = d_0 + h + q \text{ (q - ciężar ruchomy)}$$

γ - ciężar gatunkowe:

- $\gamma = 2,4$ - żelbet; $\gamma = 2 - 2,2$ mur
- $\gamma = 1,6 - 1,8$ - ziemia

$$h_1 = \frac{h_2 \delta_2}{\delta_1} - \text{wysokość obciążenia}$$

sprowadzona do tworzywa sklepienia

(δ_1 - waga jednostkowa tworzywa sklepienia, δ_2 - nadsypki)

Wzory na obliczenie grubości sklepienia w za-
worze (kluczu)

$$d_0 = \frac{0,15 \delta \frac{l^2}{f} (2 + \frac{l}{2} + \frac{f}{10})}{10 f - 0,15 \delta \frac{l^2}{f}}$$

Perroncel'a - $d_0 = 0,33 + 0,36 l$

dla sklepien ceglanych $d_0 = \frac{l}{48}$ gdy $\frac{h}{l} = \frac{1}{2}$ } wzór
 półkolistych $d_0 = \frac{l}{32}$ „ $\frac{h}{l} < \frac{1}{2}$ } Rundel'a

Fontenai $d_0 = 0,70 + 0,32 l$

Krasnopolski $d_0 = \frac{d l}{k \sqrt{f}}$, gdzie d_0, l, f w cm.

K dozwolone naężenie kg/cm²

Spółczynnik dla sklepienia niobciążonego $\alpha = 5$

„ „ obciążonego $\alpha = 10$

„ Tęków $\alpha = 15$

„ mostów kołowych $\alpha = 20$

„ „ kolejowych $\alpha = 35$

Wypadkową wszystkich sił działających w danym przekroju oznaczamy przez R

Siłę R rozkładamy na $N \perp$ do przekroju i T

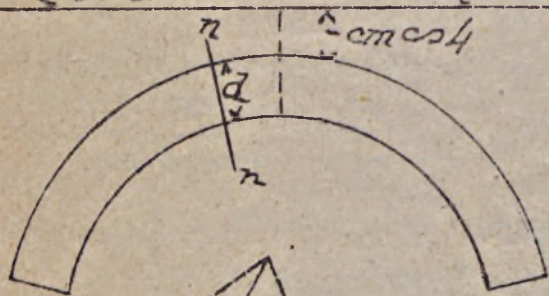
w przekroju, w środku ciężkości przekroju; dołączamy $N_i - N = N(R_{gr.10})$

Siły $N_i - N$ tworzą parę sił, moment której stały dla przekroju i równy $M = N \xi$; a pozostała N, do dołączana w środku ciężkości, daje proste sciskanie.

Dla przekroju n-n (rys.9)

Oznaczamy (rys.10) ξ - odległość R od środka

Linia sprowadzona obciążenia, ciężkości przekroju:



$J_{\text{mom. bezw.}} = \frac{1}{12} d^3$; $W = \frac{1}{6} d^2$

Napreżenie $k = \frac{N}{W} \pm \frac{M}{W} =$

$= \frac{N}{d \cdot 1} \pm \frac{N \cdot \xi}{\frac{1}{6} d^2} = \frac{N}{d \cdot 1} (1 \pm \frac{6 \xi}{d})$

Jeżeli $\text{min } k = \frac{N}{d} (1 - \frac{6 \xi}{d}) > 0$ (rys.10)

- napreżenia tylko - sciskanie



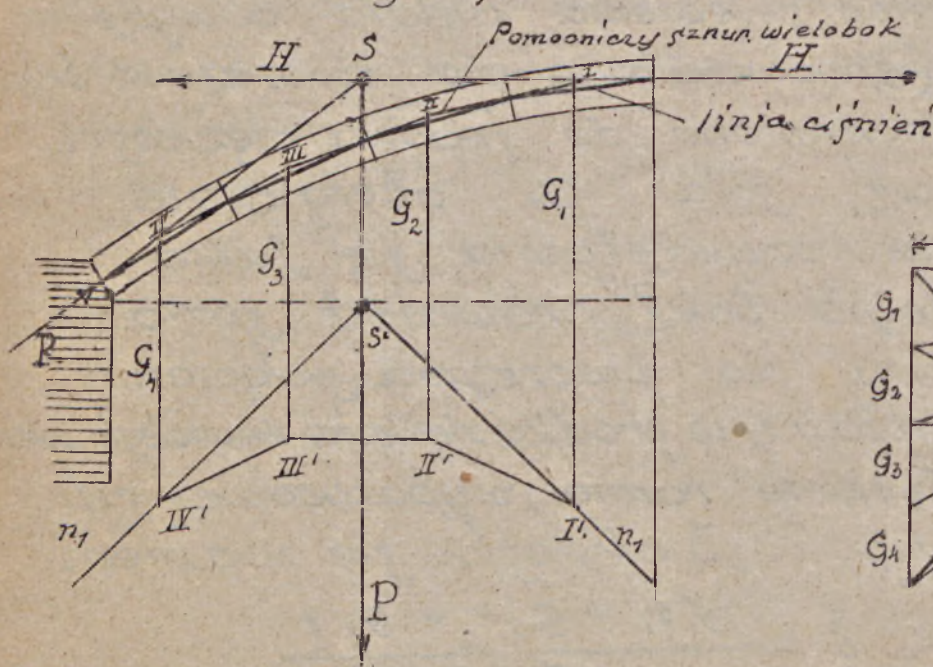
A więc znając wielkość i punkt zaczepienia H parcia poziomego (rozporu) i obciążenia G klinców, przez geometryczne sumowanie sił tych znajdujemy z łatwością parcie na wezglawie sklepienia, wielkość i punkt zaczepienia tego parcia na wezglawie (rys. 16).

Jeżeli zaś przypuścimy że parcie poziome i parcie na wezglawie przejdzie przez środek ciężkości przekroju tych - to z łatwością określimy H i R wychodząc z założenia, że H i R - w wezglawiu przecinają się z wypadkową P wszystkich sił pionowych, działających na połowę sklepienia, w jednym punkcie (rys. 16) który znajdujemy, przeprowadzając linię poziomą przez środek sklepienia w kluczu do przecięcia z tą wypadkową P - z G -

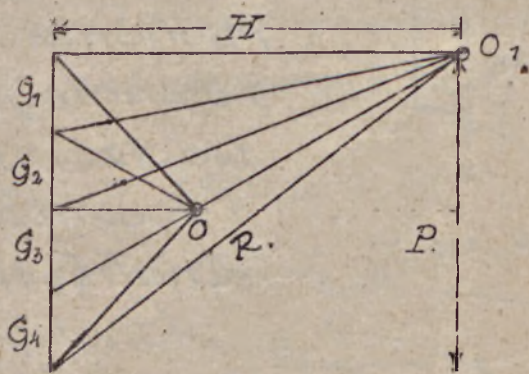
Sumując zaś wszystkie siły podzynałoc odkłuczając od końca do końca - aż do wezglawia, otrzymujemy wielobok sił, z którego łatwo otrzymujemy linię ciśnienia, łącząc między sobą przecięcia szwów poszczególnych z pomocniczym wielobokiem sił (rys. 17)

Graficzny sposób określenia H i linii ciśnienia za pomocą wieloboku sił (rys. 17 i 18)

Rys. 17.



Rys. 18.



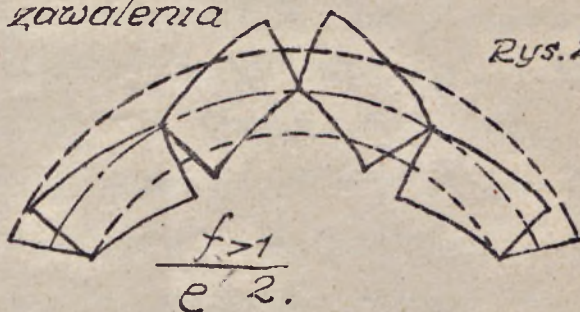
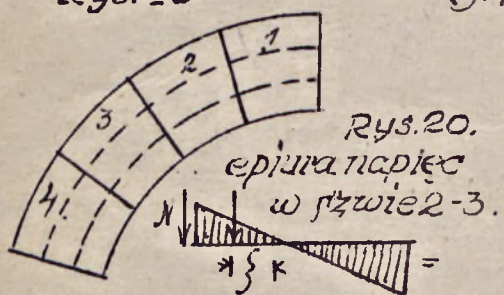
Doswiadczenia pokazaly, że zawałanie się sklepienia może nastąpić a) przez obrót klinów koło krzywizny, przyczem szwy otwierają się (rys. 21 i 22) i przez przesunięcie - zeslizgiwanie się jednej części sklepienia po drugiej (rys. 30, 33, 34, 35 i 36).

Są dwa typy zawałania się sklepienia od obracania się jednej części sklepienia koło drugiej:

1) Gdy linja ciśnień wyjdzie poza granicę jądra przekroju na zewnątrz sklepienia (rys. 19 i 20) (przeważnie w gotyckich sklepieniach)

Rys. 19

Szemat zawałania



2. Gdy linja ciśnień wyjdzie (rys. 22 i 23) poza granicę jądra przekroju ku środkowi sklepienia

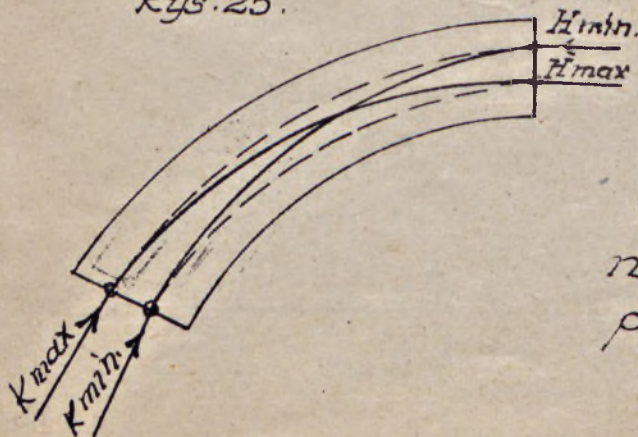
Rys. 22.

Szemat zawałania się



Zastosowując te dwa typy zawałania się do obliczenia sklepienia otrzymamy dwa wypadki t.j. gdy siłę H (rys. 25) przyozepiamy u góry jądra przekroju

Rys. 25.



klinca wówczas mamy H_{min} i gdy u dołu jądra przekroju H_{max} ; wykres linii ciśnień dla obu wypadków wskazane na rys. 26 i 27; na rys. 28 pomocniczy wielobok sił.

Zawalania się nie będzie, jeżeli linja ciśnienia przechodząc u góry jądra przekroju w kluczu (punkcie doczepiania min H) w innych przekrojach (szwach) będzie przechodzić u dołu jądra przekroju.

Wynajdując w ten sposób min. H odwiadające każdemu innemu szwu od węzława do klinca z łatwością określimy max H min (rys. 29 i 30).

Również zawalania się nie będzie jeżeli linja ciśnienia przechodząc w dołu jądra przekroju w kluczu (punkcie zaczepienia max H) w innych przekrojach (szwach) będzie przechodzić u góry jądra przekroju.

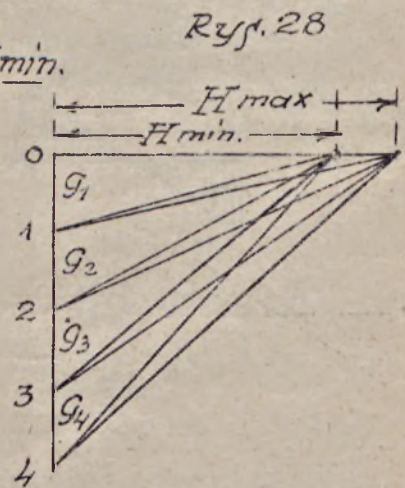
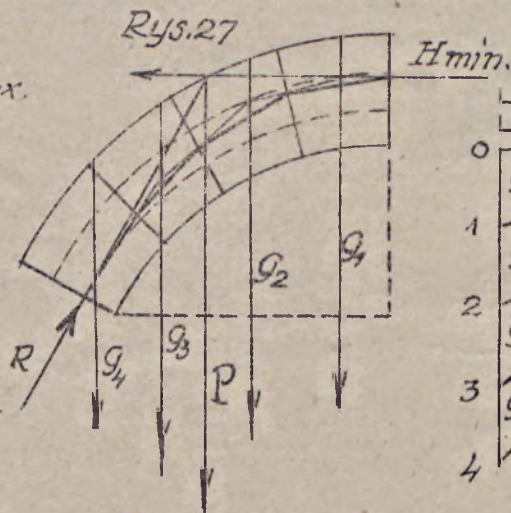
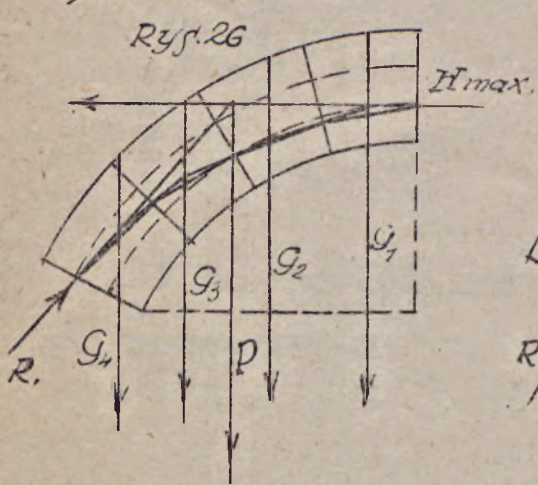
Wynajdując w ten sposób max H odpowiadające warunkowi, że parcie na każdym innym szwie od węzława do klucza przejdzie przez górną część jądra przekroju określimy max max H .

Szew niebezpieczny jest tam gdzie H największe.

Wykres linii ciśnienia dla sklepienia.

a) przy H max

b) przy H min.

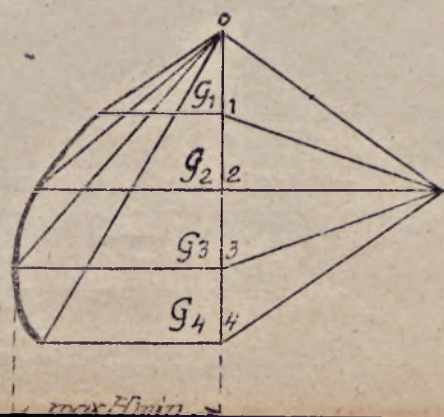
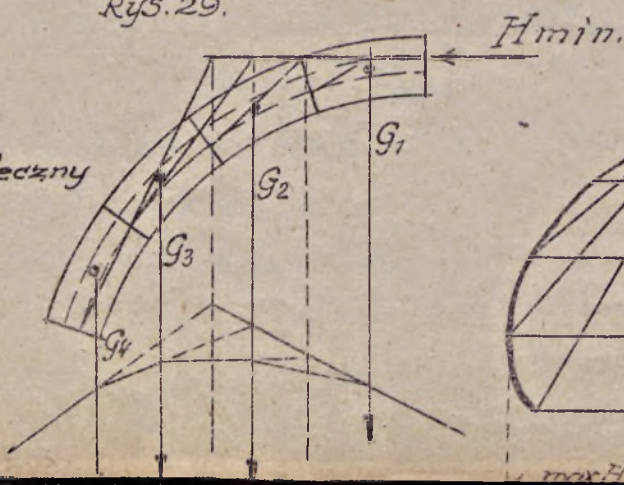


Określenie max H min

Rys. 29.

Rys. 30.

Szew niebezpieczny



Kiedy zaś linja cieni wychodzi z kąta tarcia (rys. 31) przekroju, następuje zawalenie się sklepienia przez przesunięcie jednej części po drugiej (rys. 30, 33, 34, 35 i 36)

Rys. 30.

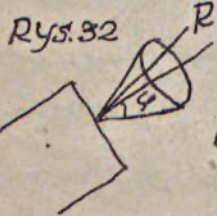


Gdy w sklepieniu przesunięcie klinów następuje na skutek działania siły scinającej T , (składowej R w samym przekroju) znaczy siła R wyszła z kąta tarcia czyli $M > \varphi = 22^\circ$ albo $T > fN$ żeby przesunięcia nie było $T \leq fN$; $f = \text{tg } \varphi$

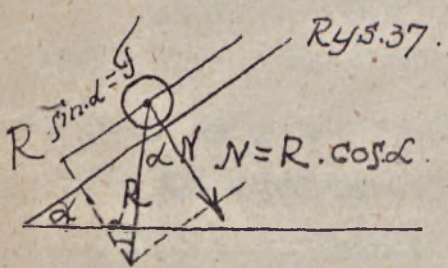
kąt pochylenia R do normali $M \leq \varphi$

Dozwolony kąt tarcia φ jest $22^\circ - 30^\circ$.

Wypadkowa R sił działających musi być w środku (rys. 32) o kącie dozwolonego tarcia, φ , aby sklepienie nie runęło.



Szematy zawalenia się przez przesunięcie. Rys. 33. Rys. 34. Rys. 35. Rys. 36.



Z rys. 37 otrzymujemy

$$T = N \cdot \text{tg } \alpha; \text{tg } \alpha = f; T = fN$$

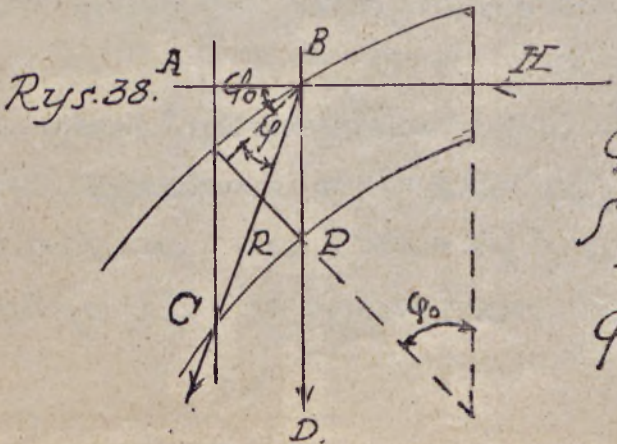
$$\text{na zadanie } R \cdot \sin \alpha = f \cdot R \cdot \cos \alpha$$

$$f = \frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = \text{tg } \alpha$$

Jeżeli R (rys. 38) wypadkowa wszystkich sił działających na kliniec pochylona pod kątem tarcia do spoiny (szwa)

w ΔABC (rys. 38)

$\angle ABC = \varphi_0 + \varphi$ gdzie



φ_0 - kąt pochylenia szwa do pionowej linii
 φ - kąt tarcia 22°

Rys. 39.



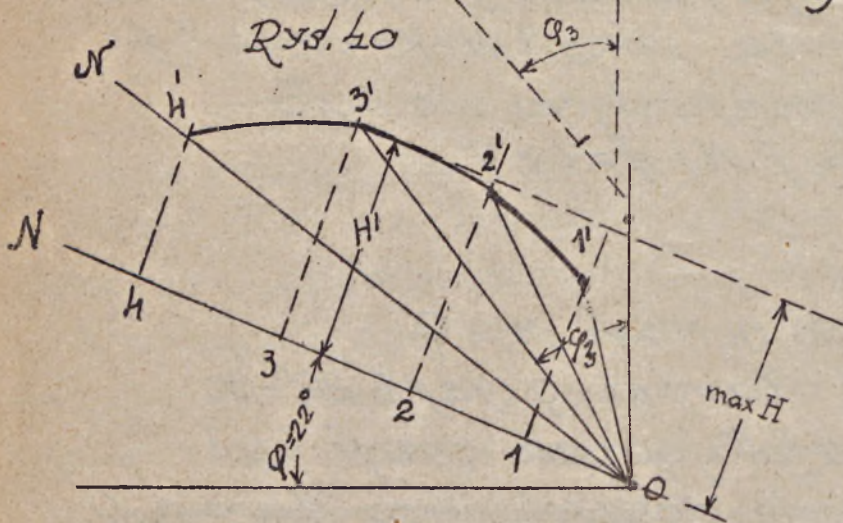
$$AB = AC \cdot \operatorname{ctg} \angle ABC$$

czyli

$$H = P \cdot \operatorname{ctg} (\varphi_0 + \varphi) = P \operatorname{ctg} (\varphi_0 + 22^\circ)$$

Gdzie φ - kąt tarcia;

φ_0 - kąt pochylecia spoiny do osi symetryj



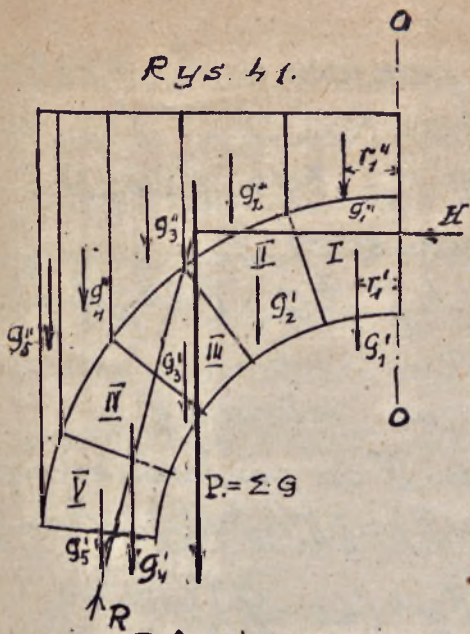
Dla odnalezienia szwa niebezpiecznego (rys. 39) na przesunięciu, od bieguna O osi rzędnych i odcięcych (rys. 40) przeprowadzamy ON pod kątem tarcia ($\varphi = 22^\circ$) do osi ściętych, na której to osi od bieguna odkładamy wielkości obciążenia klinców $0-1 = g_1$; $1-2 = g_2$ i t.d.

Od tegoż bieguna O przeprowadzamy linie $0-1'$ równoległą szwu między 1 i 2 klincem; i $0-2'$ równoległą szwu między 2 i 3 klincem i t.d. Następnie w punktach 1, 2, 3 i t.d. przeprowadzamy linie prostopadłe do linii ON aż do przecięcia z odnośnymi linjami $0-1'$; $0-2'$ i t.d.

Odcinki $1-1'$; $2-2'$; $3-3'$ i t.d. dają wielkości parę poziomych H przy, których wypadkowa wszystkich sił (linja ciśnienia) pod kątem tarcia do odnośnej spoiny (szwa)

Rzeczywiście naprz.: z trójkąta $O-3-3'$ widzimy że $3-3' = 0-3 \operatorname{ctg} \angle 3'O3$ czyli $\max H_3 = P \operatorname{ctg} (90 - (\varphi_3 + 22^\circ)) = P \operatorname{ctg} (\varphi_3 + 22^\circ)$ co znaczy, że, wypadkowa pod kątem $(\varphi_0 + 22^\circ)$ do poziomej czyli kątem 22° do linii normalnej (prostopadłej) do spoiny.

Rys. 41.



Analityczne obciążenie ramion i wypadkowych (rys. 41)

- = g' - waga klinca I.
- = r' - ramię od osi symetrii.
- = M' - moment g' względem osi symetrii.
- = g'' - waga ociążenia klinca I.
- = M'' - Moment siły g'' względem osi symetrii.

Obciążenie prowadzone podług tablicy

| No klinca | kliniec | | | obciążenie klinca | | | wypadkowa częściowa na klinca | | wypadkowe siły od środka ciężkości | | | |
|--------------|---------|--------|--------|-------------------|---------|---------|-------------------------------|----------------|---|-----------------------|-----------------------|---|
| | g' | r' | M' | g'' | r'' | M'' | $g = g' + g''$ | $M = M' + M''$ | P | $Q = \sum Q$ | $\sum M$ | Ramiona |
| 1 | A'_1 | B'_1 | C'_1 | A''_1 | B''_1 | C''_1 | $A'_1 + A''_1$ | $C'_1 + C''_1$ | $\frac{C'_1 \cdot C''_1}{A'_1 + A''_1}$ | $A'_1 + A''_1$ | $C'_1 + C''_1$ | $\frac{C'_1 + C''_1}{A'_1 + A''_1}$ |
| 2 | A'_2 | B'_2 | C'_2 | A''_2 | B''_2 | C''_2 | $A'_2 + A''_2$ | $C'_2 + C''_2$ | $\frac{C'_2 \cdot C''_2}{A'_2 + A''_2}$ | $\sum (A'_i + A''_i)$ | $\sum (C'_i + C''_i)$ | $\frac{\sum (C'_i + C''_i)}{\sum (A'_i + A''_i)}$ |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| n | A'_n | B'_n | C'_n | A''_n | B''_n | C''_n | $A'_n + A''_n$ | $C'_n + C''_n$ | $\frac{C'_n \cdot C''_n}{A'_n + A''_n}$ | $\sum (A'_i + A''_i)$ | $\sum (C'_i + C''_i)$ | $\frac{\sum (C'_i + C''_i)}{\sum (A'_i + A''_i)}$ |

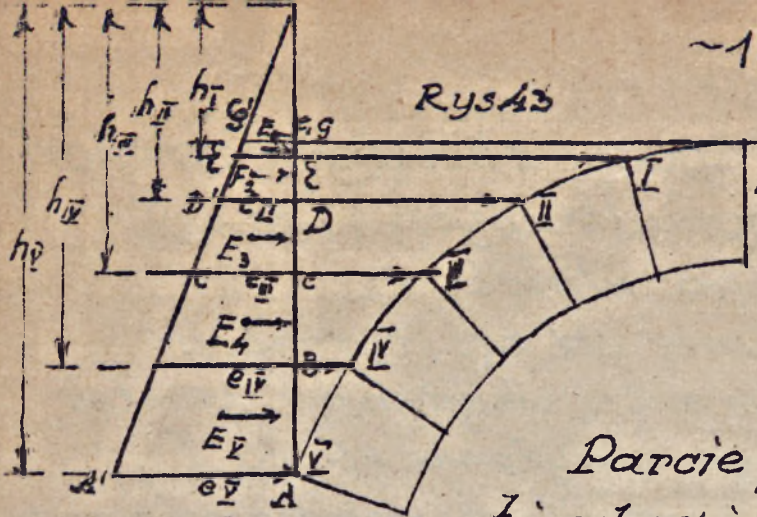
Uwzględnienie sił poziomych

Przy obciążeniu sklepienia tworzywem sypkim należy prócz pionowych sił uwzględnić i poziome, powstałe od parcia bocznego. Siłę tę łatwo wyobrazić sobie przyjmując każde ziarno tworzywa, jako gałkę (rys. 42);



rys. 42 ciężar każdej gałki, opartej na dolne, daje składowe poziome i pionowe.

Siła parcia poziomego e na 1 m^2 na głębokości h
 $e = \gamma h \tan^2 \left(\frac{90^\circ - \varphi}{2} \right)$, gdzie γ ciężar gatunkowy h - głębokość, na której określa się parcie ziemi i φ - kąt tarcia; określamy nasam przed parcia na poziomie każdej krawędzi grzbietu (rys. 43)



Parcie poziome na 1 m² płaszczyzny krawędzi IV (rys. 43)

$$e_{IV} = r h_{IV} \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90 - \varphi}{2} \right)$$

u krawędzi V

$$e_V = r h_V \operatorname{tg}^2 \left(\frac{90 - \varphi}{2} \right)$$

Parcie poziome na kliniec V

t.j. od poziomu krawędzi IV do poziomu krawędzi V

$$E_V = e_V + e_{IV}(h_V - h_{IV}) = \frac{1}{2} r (h_V + h_{IV})(h_V - h_{IV}) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{45 - \varphi}{2} \right) = \frac{1}{2} r (h_V^2 - h_{IV}^2) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{45 - \varphi}{2} \right)$$

Poz. ciśnienie na rykliniec $E_n = \frac{1}{2} r (h_n^2 - h_{n-1}^2) \operatorname{tg}^2 \left(\frac{45 - \varphi}{2} \right)$,

gdzie r - ciężar gatunkowy ziemi i φ kąt tarcia mają wielkości:

| r + / m ³ | Ziemia roślinna | | Piasek | | Żwir | | Gлина | | |
|---|-----------------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | sucha | mokra | sucha | mokra | suchy | mokry | sucha | wilg. | moka |
| φ° | 40° | 30° | 35° | 25° | 40° | 30° | 40° | 30° | 25° |
| $\operatorname{tg}^2 \left(\frac{45 - \varphi}{2} \right)$ | 0,217 | 0,333 | 0,271 | 0,406 | 0,217 | 0,333 | 0,217 | 0,333 | 0,406 |

Wykres wieloboku sił i określenie parcia

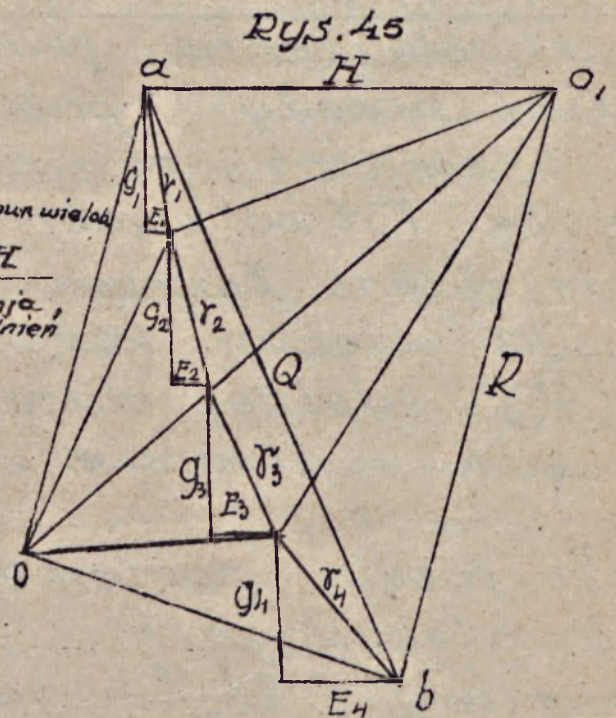
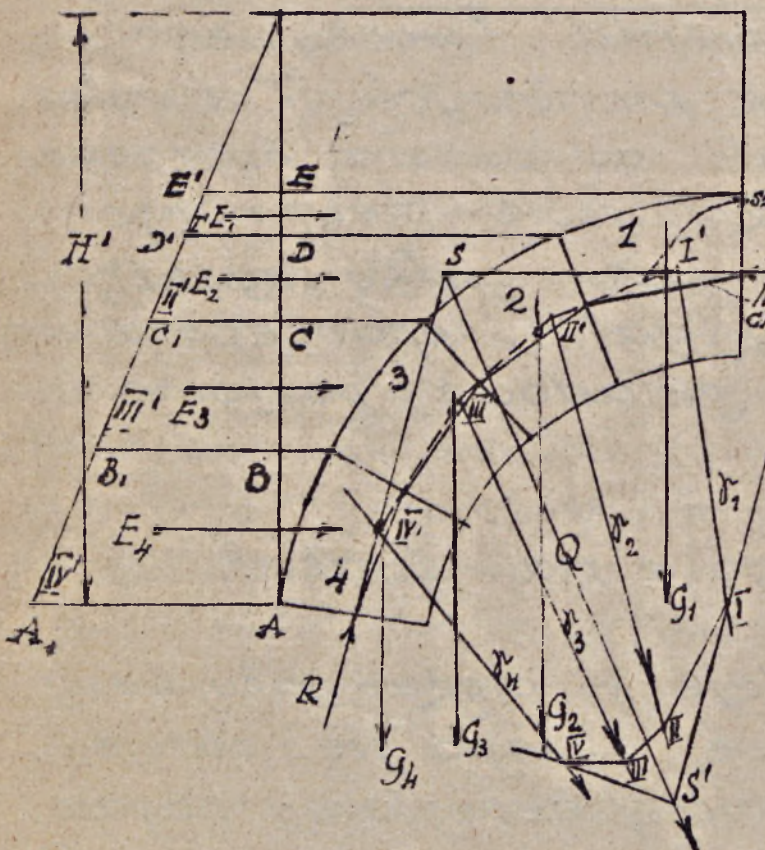
poziomego przy uwzględnieniu poziomych

Od parcia ziemi wskazane na rys. 44

Łącząc punkty przecięcia sznurowego wieloboku ze szwami otrzymamy

Rys. 44

linję ciśnien - naporową linję.



Z wieloboku sił (rys. 45) pionowych i poziomych znaj

dujemy wypadkowe poszczególne r_1, r_2, r_3 i t.d. działające na kliniec, sznurowy wielobok (rys. 44) dla tych sił r_1, r_2 i t.d. z dowolnego bieguna O daje rozpołożenie wypadkowej Q wielkość i kierunek Q otrzymujemy z rys. 45.

Przez punkt S przecięcia Q z kierunkiem H parcia poziomego powinno przechodzić odziaływanie R na węzłowie.

We wszystkich wypadkach, kiedy nasypka nad sklepieniem daje boczne parcie - łukowe parcie uwzględnia się lub jako siła pozioma (rys. 43 i 44) lub pochylona do zewnętrznej powierzchni sklepienia pod kątem tarcia φ od 17° (przy mokrym gruncie) do 33° (przy suchym gruncie), w średnim 25° . Graficznie siła ta przedstawia się jako trapez (rys. 44) naprz. dla klinca 4-go - trapez IV' ;

Siła, \bar{E}_a doczepiona w środku cięskości trapezu IV' . Tak samo siła parcia poziomego na kliniec 3 przedstawia się jako trapez III , którego wysokość $CB = H'_B - H'_C$ i którego strony równoległe (poziome) $B, B = \ell_B$ i $C, C = \ell_C$ czyli:

$$B, B = \ell_B = r H_B \operatorname{tg}^2(45 - \frac{\varphi}{2}) \text{ i } C, C = \ell_C = r H_C \operatorname{tg}^2(45 - \frac{\varphi}{2});$$

Wielkość parcia poziomego E_3 równa się powierzchni trapezu $E_3 = \frac{\ell_B + \ell_C}{2} (H'_B - H'_C) = \frac{r \operatorname{tg}^2(45 - \frac{\varphi}{2})}{2} (H_B^2 - H_C^2)$

Określenie wymiarów sklepienia.

Najamprośd podług empiryckich wzorów określamy do (rys. 46) grubości sklepienia w kluczu w każdym innym przekroju określili się w zależności od grubości w kluczu (rys. 46 i 47)

Napężenie w kluczu

$$\frac{H}{d_0 \cdot l} = k.$$

a napężenie w innych skwach $\frac{R}{d \cdot l} = k$, gdzie

k - dozwolone napręż. z tych wzorów, mamy

$$H = d_0 \cdot k.$$

$$R = d \cdot k.$$

Z rys. 47 otrzymujemy $H = R \cos \alpha$.

gdzie α - kąt nachylenia osi sklepienia w danym przekroju do poziomym

otrzymujemy: $d_0 \cdot k = d \cdot k \cdot \cos \alpha$; czyli

$$d_0 = d \cdot \cos \alpha, \text{ skąd}$$

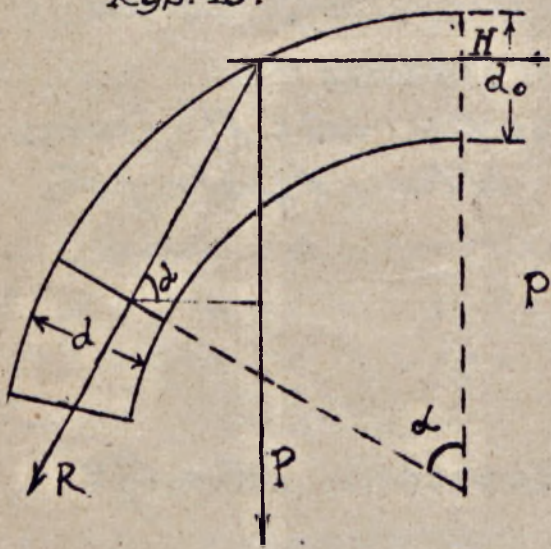
$$d = \frac{d_0}{\cos \alpha} = d_0 \cdot \sec \alpha; \text{ to}$$

znaczy: w sklepieniu (Tęku)

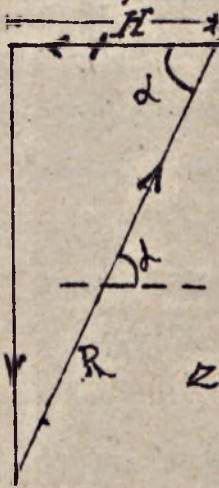
jednakowej wytrzymałości reżt

pionowy każdej spoiny w każdym skwie
równa się grubości sklepienia w kluczu,
co uwidoczniono na rys. 48

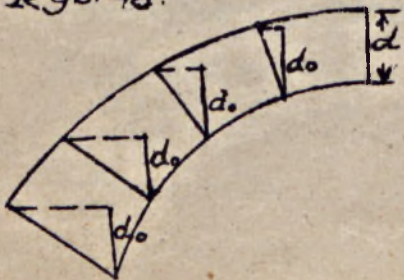
Rys. 46.



Rys. 47.



Rys. 48.

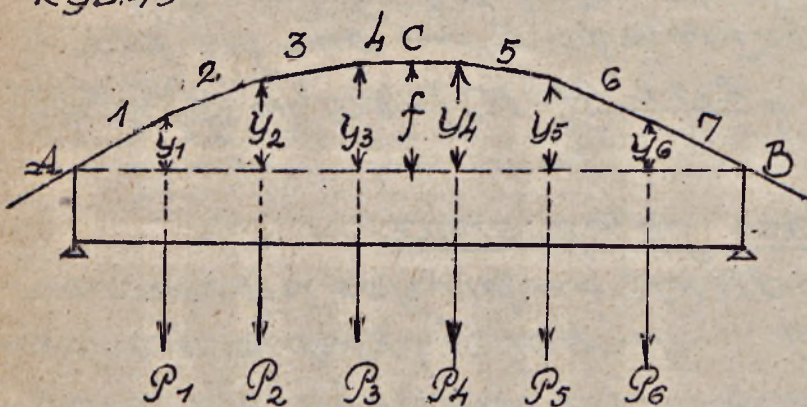


Grubość przy węzłowi zależy od kąta α pochylenia spoiny do pionowej: czyli od kątu pochylenia osiowej linii w danym punkcie do poziomej; zwiększając się odzwornika (klucza) do węzłowi, tak że rzut pionowy szwa $d/\cos\alpha = d_0 = \text{const}$. Następnie, określwszy wymiary sklepienia, pozostaje sprawdzić stateczność i wytrzymałość.

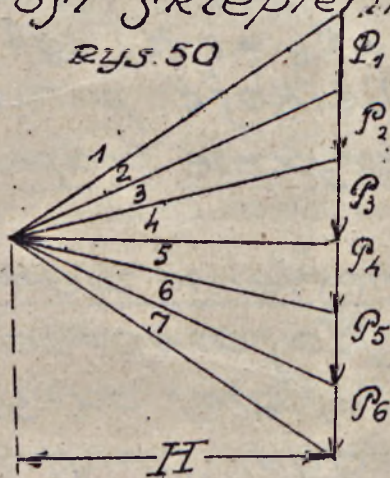
Analityczne obliczenie środkowej linii (formy) sklepienia.

Przyjmujemy mamy sklepienie w którym linia cieżnien przypada do osi sklepienia.

RYS. 49



RYS. 50



Przyjmując, że sklepienie ACB pracuje jako zwykła belka na dwóch oporach A-B, rozpiętość której równa się teoretycznej rozpiętości sklepienia, oraz obciążoną siłami P_1, P_2, \dots (rys. 49 i 50).

Rozpatrujemy płaszczyzny ACB jako płaszczyzny momentów dla tych sił wewnętrznych.

$$M_1 = Hy_1$$

$$M_2 = Hy_2$$

$y_1 = \frac{M_1}{H} ; y_2 = \frac{M_2}{H}$ i t.d. z wzoru $H = \frac{Mc}{f}$ gdzie Mc - moment środkowy

f - strzałki środkowej linii sklepienia otrzymujemy

$$y_m = \frac{M_m}{H} = \frac{M_m \cdot f}{Mc}$$

na przecięciu prostych O_1, d_1, O_2 będzie biegunem sznurowego wieloboku, którego przejdzie przez A, B, C .

Sposób ten nazywa się sposobem Winklera

I sposób Winklera

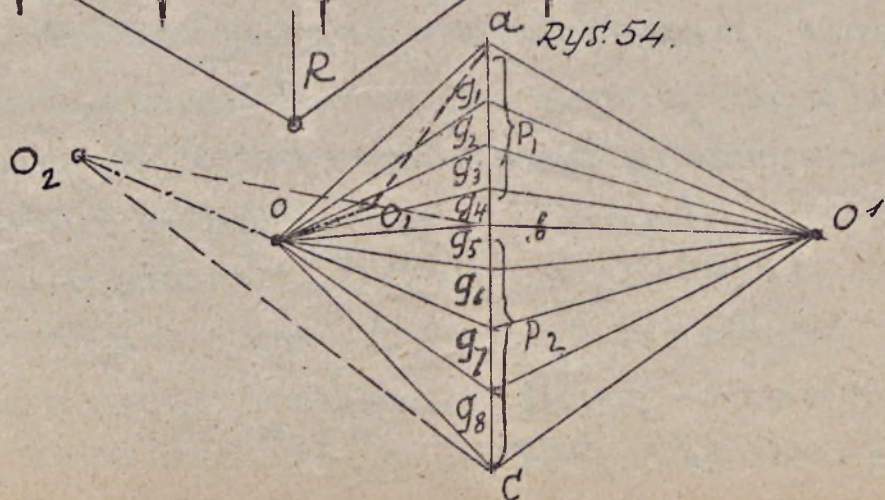
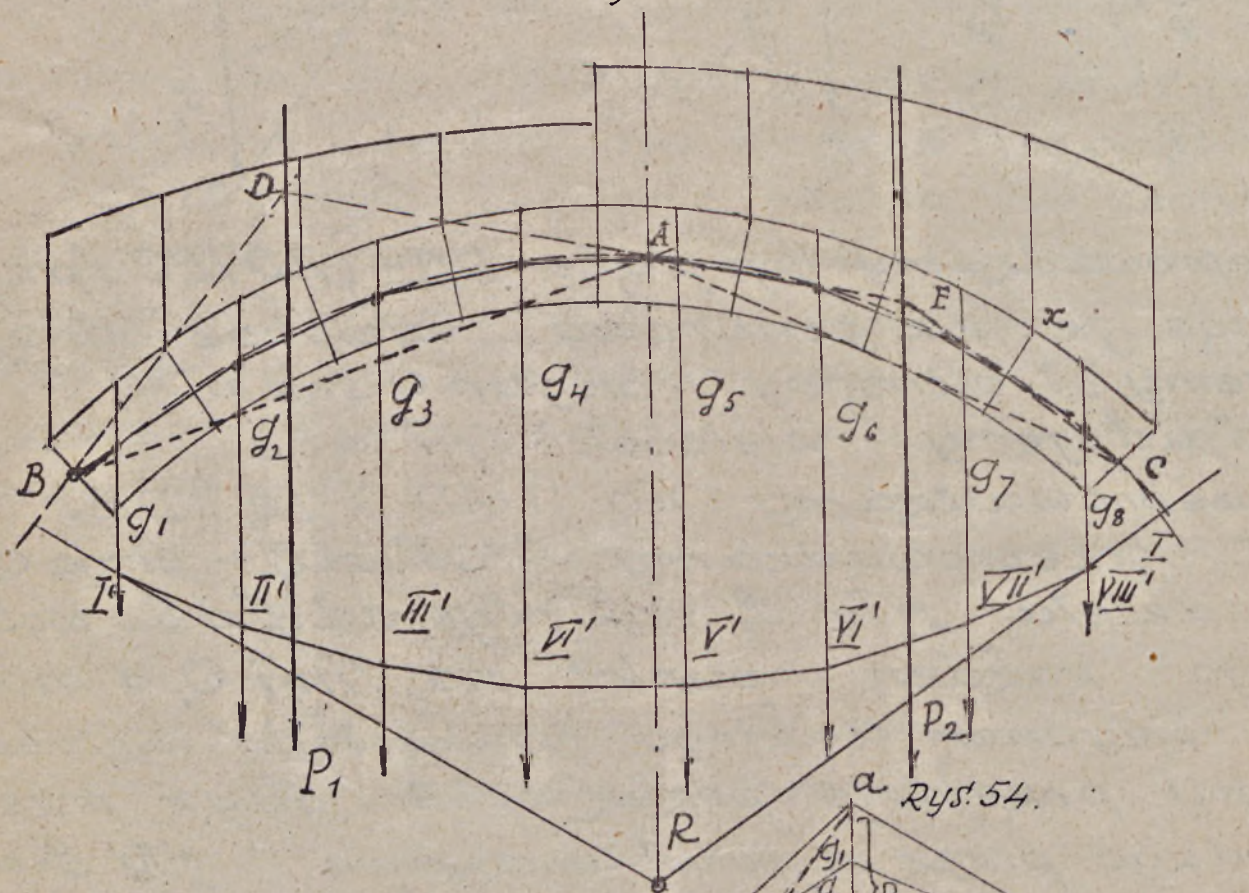
Zastosowując wyprowadzone odnajdujemy P_1, P_2 wypadkowe sił działających na każdą połowę sklepienia za pomocą pomocniczego sznurowego wieloboku $I' II' III' IV' V' VI' VII' VIII'$.

Przez A przeprowadzamy prostą DAE i górnymi D, E z B, C prostymi BD, CE .

W wieloboku sił przeprowadzamy $g_1 \parallel DE$ i $a, g_8 \parallel DB$ i $o_2 \parallel EC$.

Przez O_1 i O_2 przeprowadzamy linie $O_1 O \parallel AB$ i $O O_2 \parallel AC$. — O jest biegunem sznurowym wieloboku, którego przejdzie przez A, B, C . (rys. 53 i 54)

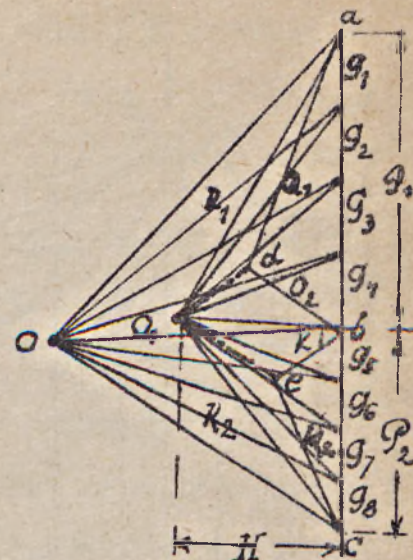
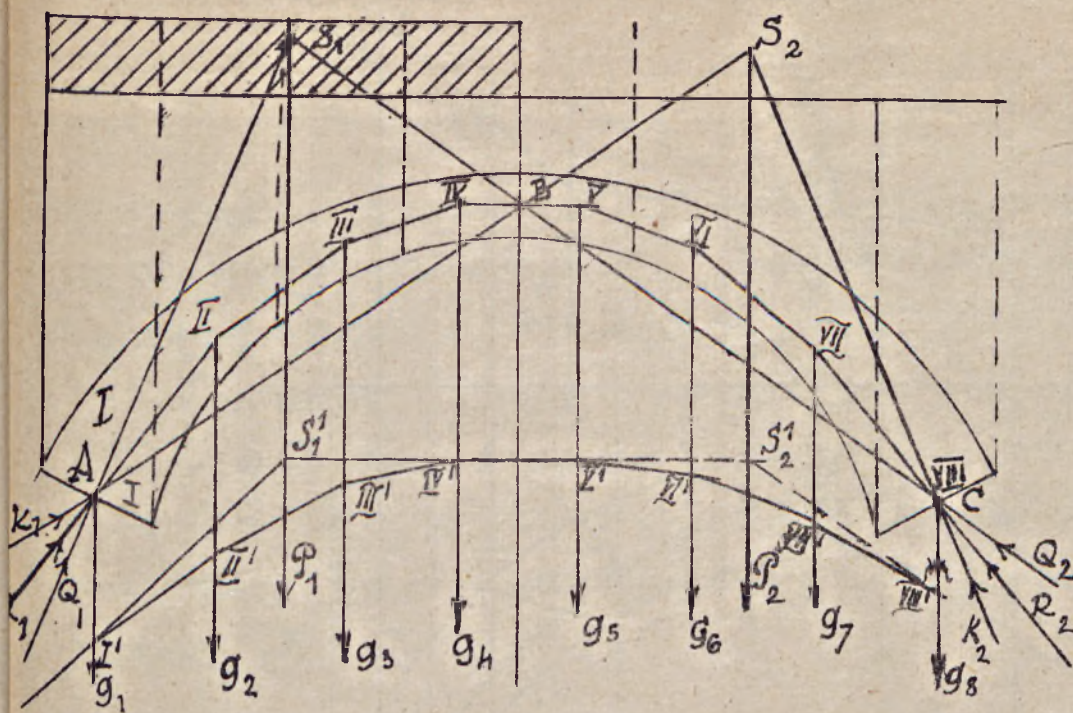
Rys. 53.



II sposób (Winklera)

Rys. 55.

Rys. 56



Za pomocą sznurowego wieloboku $I'II'III'IV'V'VI'VII'VIII'$ z bieguna o odnajdujemy P_1 i P_2 wypadkowe sił na każdą partowę sklepienia i rozpotożenie ich (rys. 55 i 56).

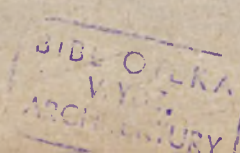
Przeprowadzamy przez punkty A, B i C proste S_1BC i AS_2 do przecięcia się z wypadkowymi P_1 i P_2 w punktach S_1 i S_2 .

Przeprowadzamy $ad \parallel AS_1$ i $bd \parallel BC$ i następnie z punktu d (przecięcia linii ad i bd) przeprowadzamy $dO_1 \parallel AB$. - Sznurowy wielobok-pomocniczy, rozpoczęty z punktu A przy biegunie w dowolnym punkcie na linii dO_1 (jak dowiedziono na str. 15) przejdzie przez punkt B.

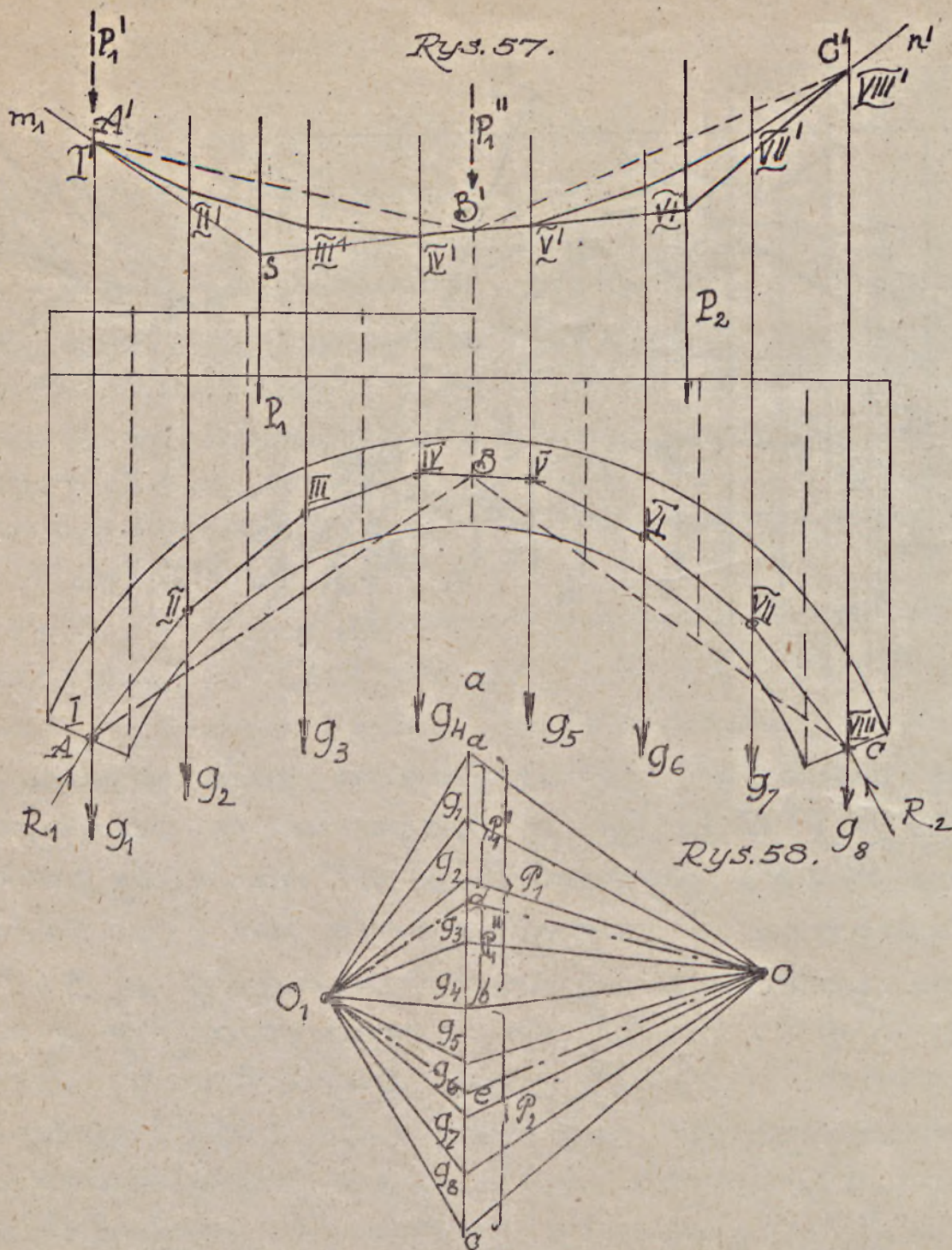
Przeprowadzamy $be \parallel AB$ i $ce \parallel CS_2$ i następnie $eO_1 \parallel BC$ - każdy punkt na linii eO_1 wzięty, jako biegun da sznurowy wielobok przez punkty B i C.

A więc z punktu O_1 na przecięciu linii dO_1 i eO_1 , jako z bieguna kreśliśmy promienie i dla nich sznurowy wielobok z punktu A, który przejdzie przez punkty B i C.

Odległość H bieguna od wieloboku sił daje parcie poziome.



III Sposób (Landego)



Budujemy (rys. 57) o dowolnym biegunie O wielobok sznurowy $m', I', II', III', IV', V', VI', VII', VIII', n'$ i określamy punkty A', B', C' , nad punktami A, B, C i przeprowadzamy zamykające $A'B'$ i $B'C'$. Następnie w wieloboku sit (rys. 58) przeprowadzamy $Od \parallel A'B'$ i $Oe \parallel B'C'$ i z tych punktów d i e przeprowadzamy $dO, \parallel AB$ i $eO, \parallel BC$. - Przecięcie tychże linii dO i eO , daje nam biegun O_1 sznurowego wieloboku, który przejdzie jednocześnie przez A, B i C . Podobnie jak dowiedziano było na str. 15ej, punkt d dzieli siły P_1 (wypadkową sił działających na lewą połowę sklepienia) na siły $P_1' = ad$ i $P_1'' = db$ przechodzące przez A' i B' . Wobec tego sznurowy wielobok przechodzący przez A i B powinien mieć

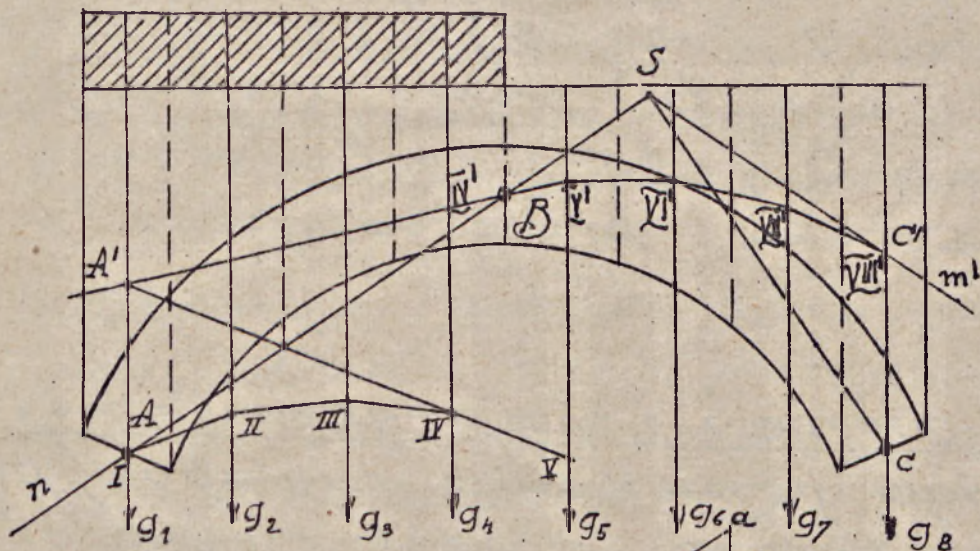
biegun na linii, równoległej A-B i przechodzącej przez d. t.j na linii dO,

Rozumując w ten sam sposób (rozkładając wypadkową P_2 sił, działających na prawą część sklepienia na siły $P_2' = be$ i $P_2'' = ec$, przechodzące przez B i C) możemy dowiedzieć, że sznurowy wielobok przechodzący przez B i C będzie miał biegun na linii eO, $\parallel BC$.

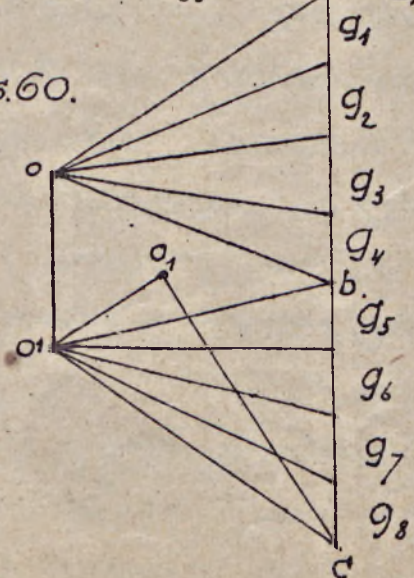
A więc przyjmując, przecięcie prostych dO, i eO, za biegun, kreśliśmy dla niego promienie i sznurowy wielobok poczynając od A - ten sznurowy wielobok przejdzie przez B i C.

IV sposób (Burcharda)

Rys. 59.



Rys. 60.



Budujemy (rys. 59) wielobok sznurowy m I II V według dowolnie obranego bieguna O, poczynając z punktu A. Przedłużamy IV V do przecięcia z linią pionową przechodzącą przez A, łączymy A' i B. W wieloboku sznurowym (rys. 60) z punktu b prowadzimy prostą $bo' \parallel A'B$ do przecięcia się z pionową oo' z bieguna O.

Otrzymujemy biegun O', który przejdzie jak założyliśmy przez punkt A, lecz też i przez B. Na wykresie wybudowana tylko druga połowa tego wieloboku sznurowego poczynając z B-V-VI-VII-VIII. Ostatni bok VIII przecina linię pionową, przechodzącą przez C w punkcie C'. przedłużamy tę stronę do przecięcia AB w punkcie S.

Z punktu B (rys. 60) przeprowadzamy $CO \parallel SC$ a z O' proste $O'O, \parallel AB$, otrzymamy biegun O, który jest biegunem sznurowego wieloboku, przechodzącego przez A B i C.

Linja ciężnień i naprężenie

Mając sznurowy wielobok, przechodzący przez środek ciężkości w węzłach i zworniku, linię ciężnień otrzymujemy, łącząc między sobą punkty przecięcia tego sznurowego wieloboku ze szwanami.

Zupełnie w ten sam sposób wyznaczymy linię ciężnień (str. 15-20) jeżeli samo sklepienie jest niesymetryczne.

Najniegodniejsze rozłożenie ruchomego obciążenia odpowiada obciążeniu jednej części sklepienia od zwornika do węzła.

Obliczenie sklepienia sprowadza się do wykreślenia linii ciśnień - linii naporowej - linii. Tężącej punkty zaczepienia wypadkowej - wszystkich sił dla każdego szwa.

Linia ciśnień daje możliwość z łatwością określić wielkość i kierunek wypadkowej R wszystkich sił działających na sklepienia w każdym szwie z lewej albo z prawej strony od szwa i odległości doczepienia tej wypadkowej od środka ciężkości szwa (przekroju) sklepienia.

...OBLICZENIE NAPRĘŻENI...

Z linii ciśnień dla każdego szwa sklepienia (we wszystkich wypadkach wykreślenia linii ciśnień) - i z wieloboku sił otrzymujemy wielkość wypadkowej R wszystkich sił w każdym szwie i punkt doczepienia jej, czyli odległość f tej wypadkowej do środka ciężkości. Zastosowując wzory wskazane na str. 415-ej otrzymujemy naprężenia.

Zaznaczyć jednak należy, że gdy linia ciśnień układa się w jądrze przekroju dla zespołu sił obciążających sklepienie prawdziwa jedna tylko naporowa linia, którą możemy określić za pomocą teorii sprężystości. Winkler dowiódł, że ze wszystkich naporowych linii (których właściwie mówiąc możemy wykreślić nieskończoną ilość) prawdziwą będzie ta, dla której

Rys. 61.

rejsumma kwadratów uchybień (odległości) od osi sklepienia jest najmniejszą, czyli płaszczyzna między linią naporową i osią sklepienia jest najmniejszą (liczącą



plaskożyzną z obu stron osi, sklepienia różnych znaków) czyli summa plaskożyzny z jednej strony równa się z drugiej.

Odległość linii naporowej w kluczu podług Winkler'a

$$\text{od B: } e = \frac{5}{16} \frac{d_0^2}{k}$$

Odległość linii naporowej w wezgiowiu

$$\text{od A: } e_1 = cr \varphi_0 \left(2e + \frac{1}{8} \cdot \frac{h_p f}{h_k + 0,14 h_k} \right)$$

$$\text{od C: } e_2 = cr \varphi_0 \left(2e - \frac{1}{8} \cdot \frac{h_p f}{h_k + 0,14 h_k} \right)$$

φ_0 kąt pochylenia wezgiowia do pionowej linii:

f - szerokość (podniebienie osiowej linii)

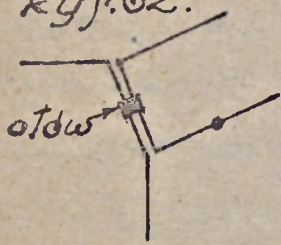
d_0 - grubość w kluczu

h_k wysokość spowodowana ruchomego obciążenia sklepienia (do p tworzywa sklepienia, gdzie p waga jednostkowa) mtr.

h_p spowodowana wysokość stałego obciążenia sklepienia (do p tworzywa sklepienia) mtr.

Dla tego, żeby linję ciśnienia spowodzić do osi sklepienia w zworniku i (rys. 62) w wezgiowiu robią specjalną konstrukcję jak na rys. podkładają listewkę z otowia, okasa-

Rys. 62.



mi zaś twardey kamień, przeguby ze stali lub żelaza i t.p.

...FILARY I PRZYCZÓŁKI...

Sprawdźcie wytrzymałość i szateczność przyczółka czy filara, to znaczy sprawdzić wytrzymałość różnych poziomych szwów, co spowodza się do odnalezienia wielkości, kierunku i punktu zaczepienia wypadkowej wszystkich sił przy najniegodniejszym rozkładzie ich.

Zwykle sprawdzają się poziome
szwy (przekroje) u obrzeża (wierzchu funda-
mentu) i u podstawy fundamentu, to
też zadanie sprowadza się do odnalezienia
wypadkowej wszystkich sił działających
na filar czyli przyczółek powyżej
każdego z tych przekroi.

Filar będzie stateczny, jeśli wypadkowa
wszystkich sił przejdzie w przekroju da-
nym między D i T. (rys. 63 i 65)

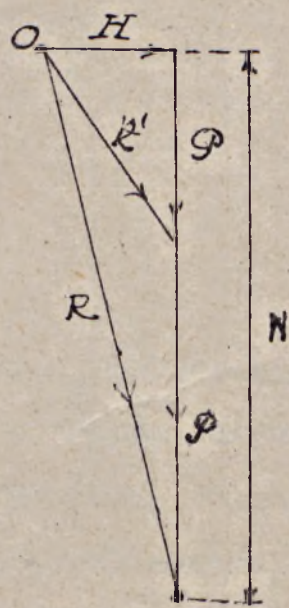
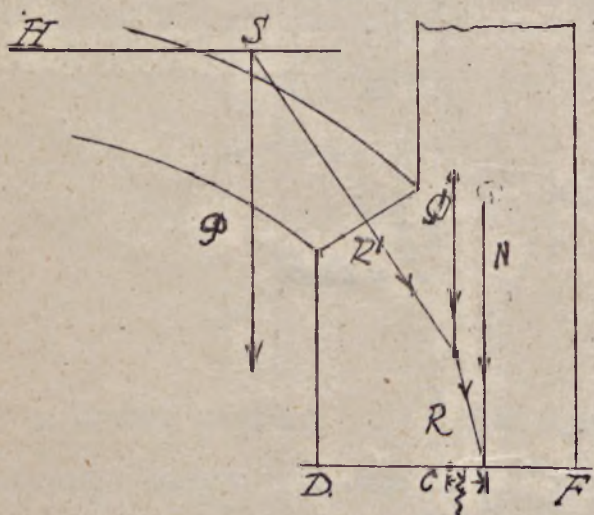
Wytrzymałość będzie dostateczna
jeśli naprężenie czyli ciśnienie w przekroju
nie przekracza dozwolonej wielkości.
Obliczenie naprężeń prowadzi się podług wzoru
wskazanego na str. 4-ej lub 5-ej.

I wypadek - Filar jednostronnie
obciążony

W tym wypadku (rys. 63 i 64) wypadkowe R
wszystkich sił, działających na filar powyżej
danego przekroju DF otrzymuje się geometrycznym
sumowaniem parcia R' na wezłowie

Rys. 63.

Rys. 64.



sklepienia z wagą Φ części filara powyżej danego
przekroju DF za pomocą wieloboku sił (rys. 64)
lub pomocniczego sznurowego wieloboku

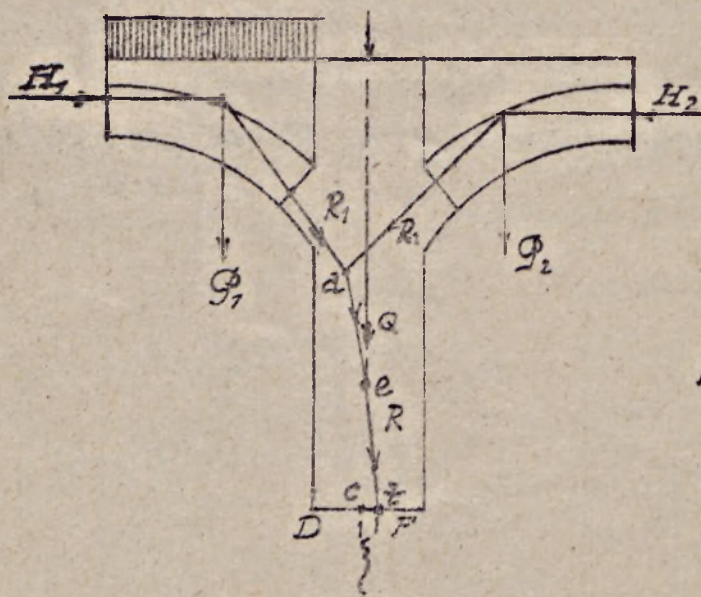
Dla odnalezienia najniegodniejszego rozłożenia sił należy określić R w dwóch wypadkach: 1) z obciążeniem ruchomym nad sklepieniem i 2) bez ruchomego obciążenia nad sklepieniem chociaż większe obciążenie pionowe Q daje większe odśrojenie na przekroju DE ale wypadkowa R przesunęła się przytem bliżej do środka ciężkości przekroju: bywają wypadki, że oddalenie R od środka ciężkości przekroju wpływa więcej.

Przy projektowaniu filara należy zwrócić uwagę na sposób prowadzenia robót - czy sklepienia będą murować się z obu stron jednocześnie, czy nie. Oczywiście w pierwszym wypadku grubość filara będzie mniejszą

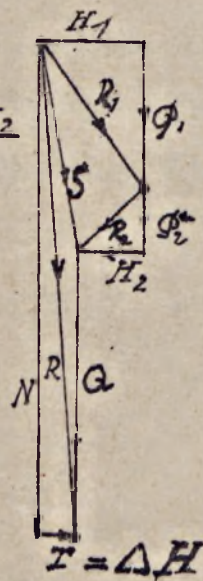
II Wypadek

Filar dwustronnie obciążony

Rys. 65.



Rys. 66.



Przy jednakowych sklepieniach i obciążeniu ich parcie poziome od obu sklepień równoważą się i filar podlega tylko pionowym siłom.

Przy niejednakowych sklepieniach lub przy niejednakowym obciążeniu sklepień na filar przejdzie pozioma siła $\Delta H = (H_1 - H_2)$

Najniegodniejszym rozłożeniem obciążenia będzie takie, przy którym wypadkowe R wszystkich sił działających na sklepienie najbardziej odchyła się w bok, to też ruchome obciążenie my ustawiamy (rys. 66) nad sklepieniem z jednej strony filara.

Zadanie sprowadzone do geometrycznego sumowania parcia na wierzgłowia obu sklepień R_1 i R_2 , obu sklepień (rys. 66) z wagą własną filara Q za pomocą wieloboku sił (rys. 66).

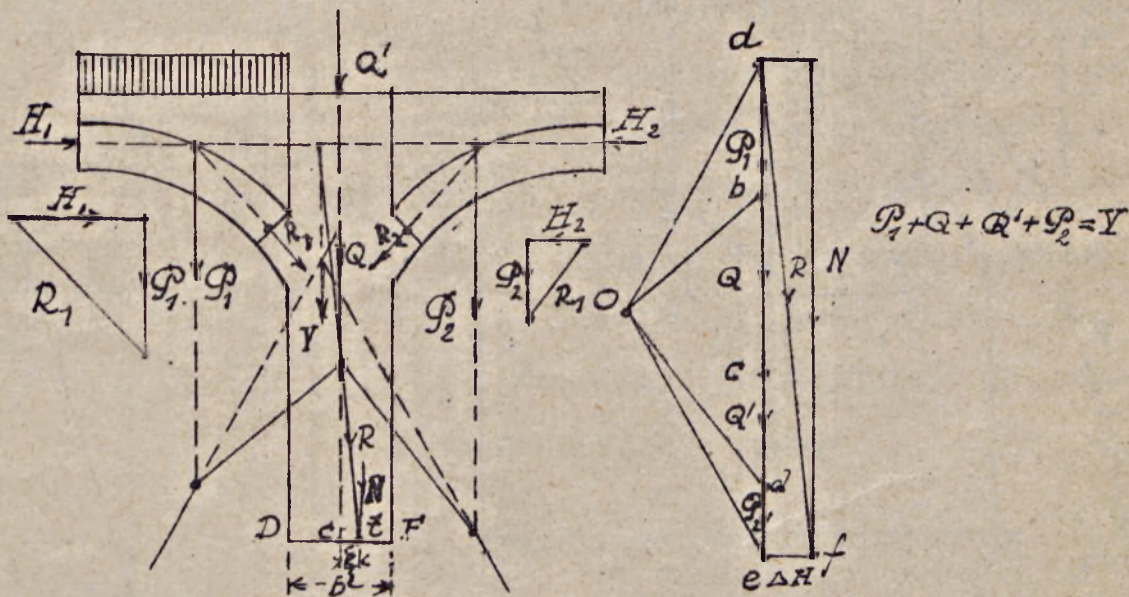
Punkt dołączenia R odnajdujemy w ten sposób, że przez punkt d przecięcia sił R_1 i R_2 przeprowadzamy linię równoległą do S (suma sił R_1 i R_2) do przecięcia z linią Q , w punkcie e .

Z punktu e przeprowadzamy linię równoległą R do przecięcia w danym przekroju w punkcie z .

Sumowanie sił może być za pomocą sznurowego wieloboku (rys. 67 i 68)

Rys. 67.

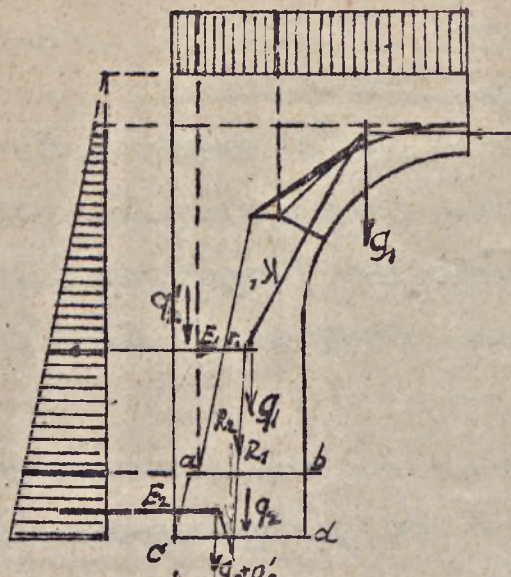
Rys. 68



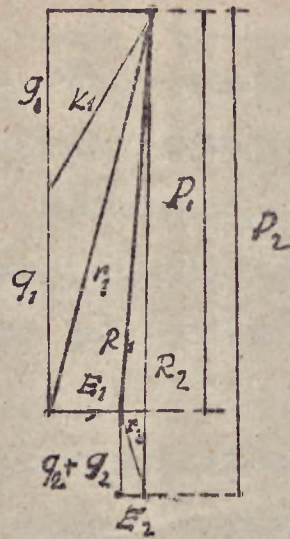
Obliczenie przydziałków prowadzi się w ten sam sposób (rys. 69 i 70) tylko wprowadza się siła bocznego parcia ziemi podług

wzorow wskazanych na str. 12-iej i 13-iej.

Rys. 69.



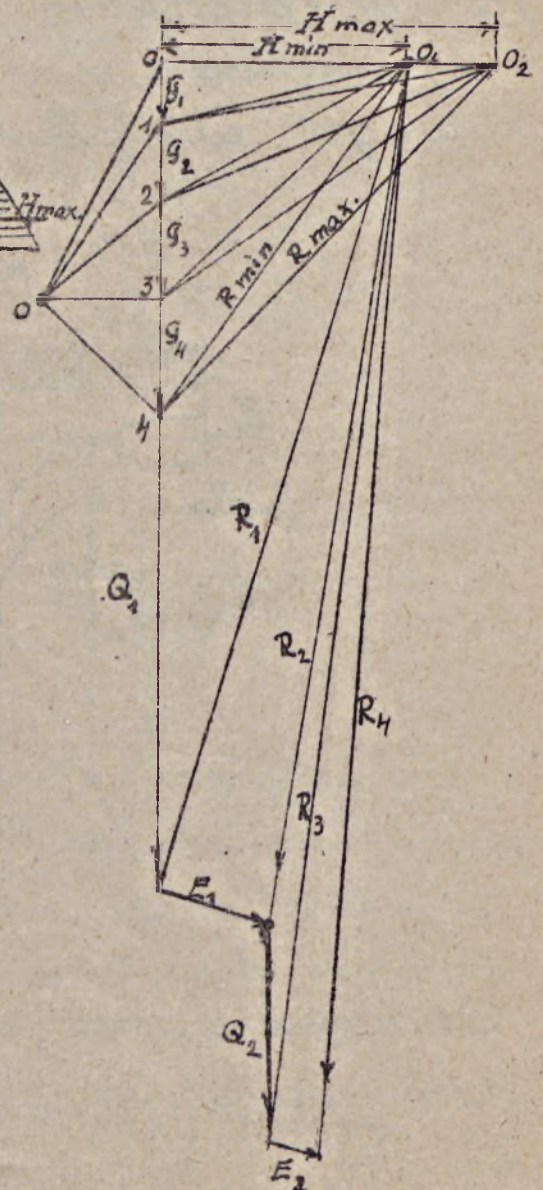
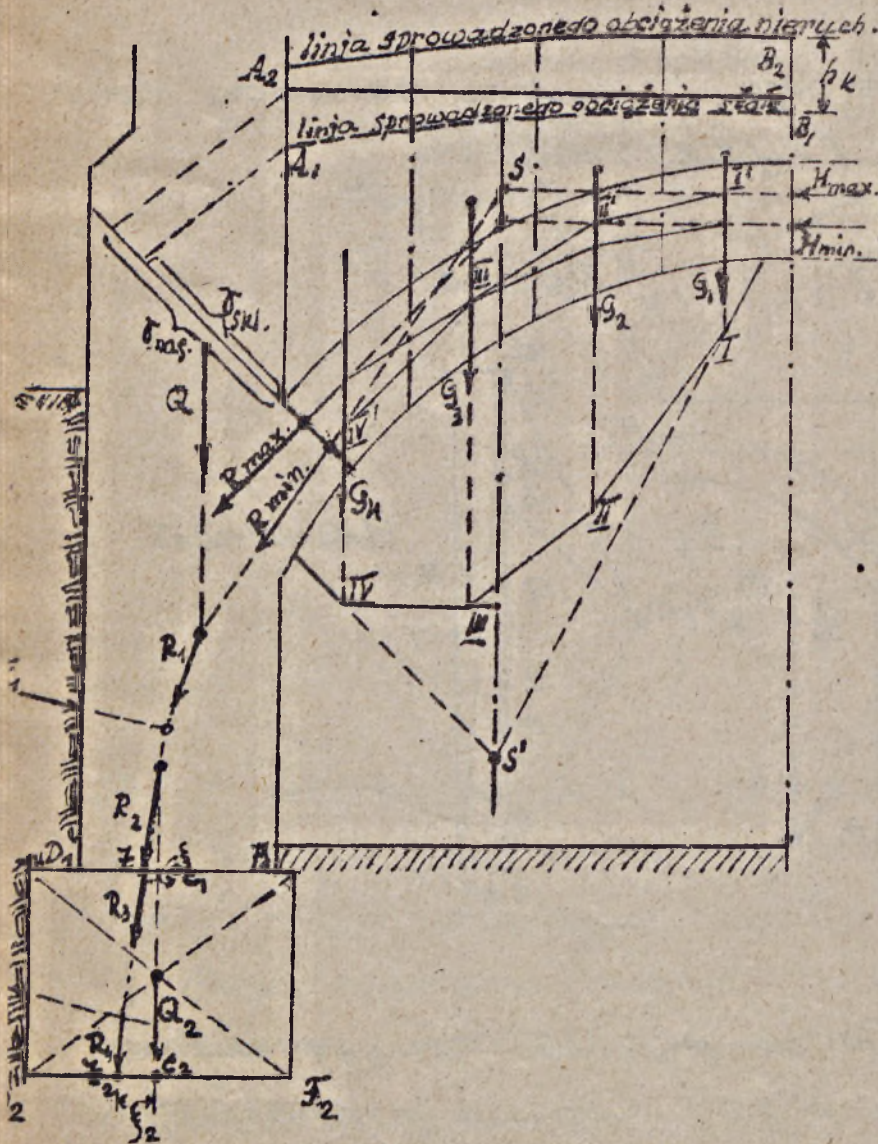
Rys. 70.



Wplyw doczepienia H w sklepieniu rowniez mozemiec znaczenie, gdyz doczepiajace H u gory jadra przekroju my otrzymujemy R bardziej pochyla (rys. 71 i 72)

Rys. 71.

Rys. 72.

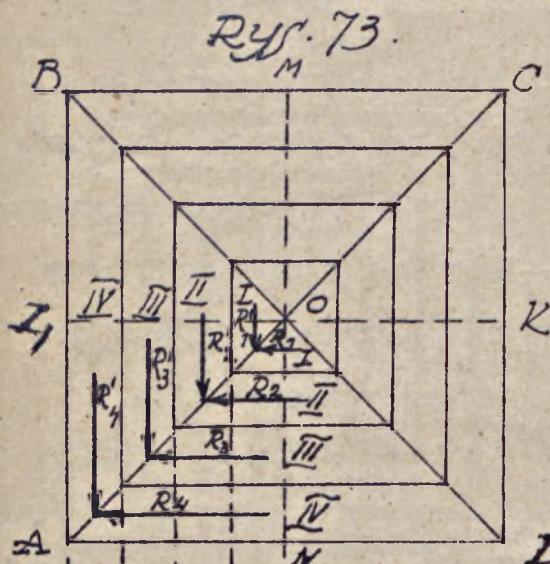


Krzyżowe sklepienia.

Krzyżowe sklepienia, jak wiadomo z budownictwa, otrzymują się z przecięcia się dwóch walcowych (kolebkowych) sklepień.

Jeżeli spoiny równoległe do osi walcowych sklepień, czyli prostopadłe do czołowych przekroji - krzyżowe sklepienia nazywamy sklepieniami asyryjskiemi (rys. 73) Jeżeli zaś spoiny (szwy) prostopadłe do żeber, nazywamy je sklepieniami w jedninkę - (rys 79)

I Asyryjskie sklepienia



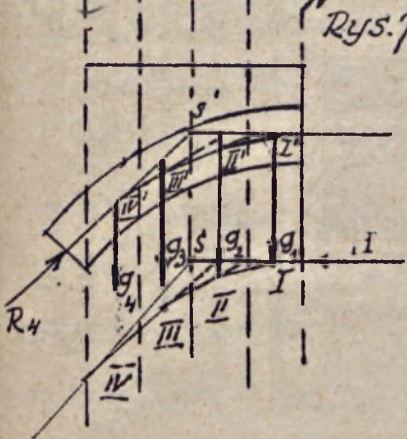
Rozpatrzymy najprostszy wypadek - sklepienia w rzucie poziomym stanowią kwadrat.

Dzielimy każdą kolebkę na pasy równe i równoległe do czołowych w tym wypadku podzielono na cztery I, II, III i IV.

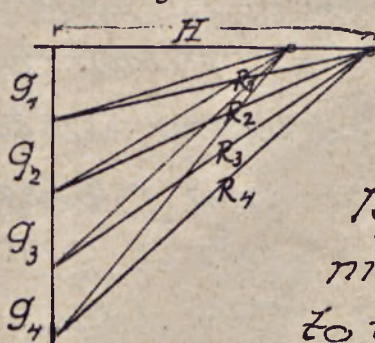
Sklepienia symetryczne,

więc dość łatwo rozpatrzeć 1/4 część LON

Każdy pas jest łukiem czyli sklepieniem kolebkowym, to też obliczenia się w ten sam sposób, jak wskazano wyżej



Rys. 75.



Rozpatrujemy szczególnie największego pasa IV sklepienia kolebkowego.

Dzielimy sklepienie na tyle części, na ile zostało podzielone same sklepienie krzyżowe t.j. na cztery pasy.

Z poprzedniego wiadomym sposobem wykreślamy linię ciśnienia i określamy parcie

poziome H oraz ciśnienie na węzłowie R_4 .
W ten sposób znajdujemy ciśnienie R_4, R_3, R_2, R_1
dla łęków (pasów sklepień) IV, III, II, I . Spraw-
dziwszy stateczność i wytrzymałość ele-
mentarnych łęków pozostaje nam spraw-
dzić stateczność i wytrzymałość zebra.
Z powyższego wynika że na zebra działają
siły R_1 i R_1' ; R_2 i R_2' ; i t.d.

Rozpatrujemy zebro AOC jako łęk, (rys 76) który
przyjmuje na siebie obciążenie elementar-
nych łęków i które bezpośrednio opiera
się na opory. Każda z tych sił może
być rozłożona na poziome H i piono-
we $2g$.

Pancie poziome H i H' każdego sklepie-
nia daje (rys 77) wypadkową H_1 , która dzia-
ła w kierunku zebra. - Obciążenie pio-
nowe każdego klinca jest podwójne
 $2g_1$ i $2g_2$ i t.d, niż byto w poprzednim wypadku (rys. 74 i 75)

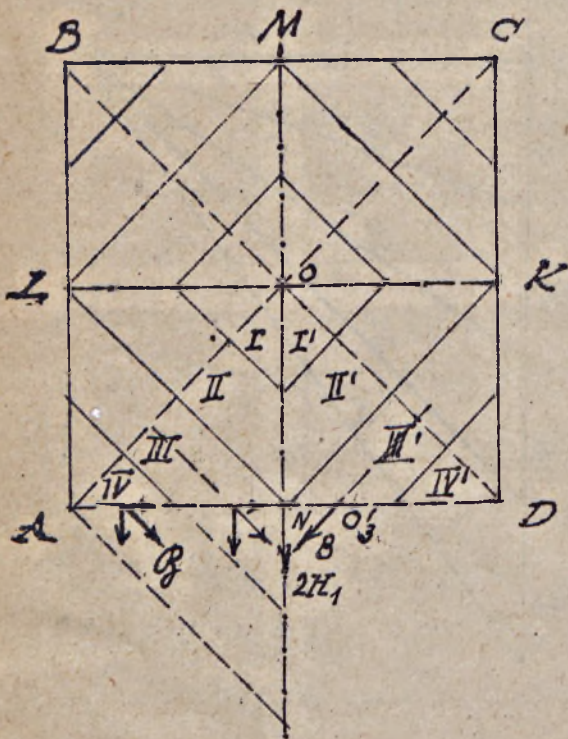
Budujemy z tych ostatecznych i pancia
poziomego H_1 wielobok sił (rys. 77), z któ-
rego otrzymujemy siły S_1, S_2, S_3 i S_4 określa-
jące pancie na zebro sklepienia w pasach I, II, III, IV

Prowadzimy przez punkty (rys. 76) 1, 2, 3 i 4
środki ciężkości szwów lub dolną część
jądra przekroju (w sklepieniu) proste
równoległe S_1, S_2, S_3 i S_4 , oraz za pomocą
wieloboku sznurowego (rys. 76) i dowolnego
bieguna O (rys. 78) określiliśmy wypadkową K sił pan-
cia na zebra sklepienia. Następnie prowa-
dzimy w zworniku poziomą (kierunek I_1)
do przecięcia się z K w punkcie S_1 , który
łączymy z punktem A węzłowa, przez
co otrzymaliśmy kierunek AS' siły R
pancia na węzłowie. Wielkość R i H_2
otrzymamy z wieloboku sił (rys. 78)
przeprowadzamy z punktu e linię $eo, \parallel AS$

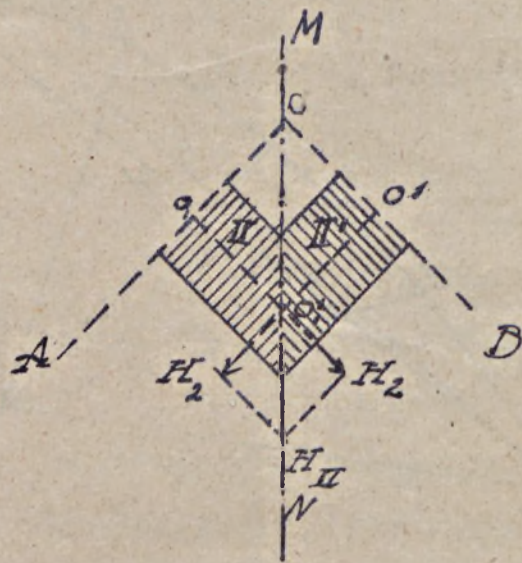
Również i każde inne sklepienie można sprowadzić do elementów, które również sprawdzają się jak zwykrajne walcowe sklepienie.

II. KRZYŻOWE SKLEPIENIE W JEDLINCE.

Rys. 79.



Rys. 80.



Wobec tego że spoiny są prostopadłe do żeber w tym urządzeniu sklepień wydkie tamy II elementa (rys. 80) - pasy prostopadłe do żeber AO i OD

Rozpatrujemy oddzielne pasy II i II' schodzące się w zworniku: część II daje w kluczu parcie poziome H_2 w płaszczyźnie osiowej linii $O_1 O_1'$, zaś część II' daje parcie poziome H_2'' w płaszczyźnie osiowej linii $O' O_1'$. Obie te poziome siły H_2 i H_2'' dają wypadkową H_{II} siłę poziomą w kierunku MN osi sklepienia wypierającą czółtową część AD na zewnątrz. Elementarne pasy, jak III i III', które nie wspierają się wzajemnie w zworniku (części pasy po obrybie czworokąta IMKN) dają

parcie B i B' na czołową część AB w płaszczyźnie osiowych linii $o_3, o_2, o_1, o_2', o_3'$.

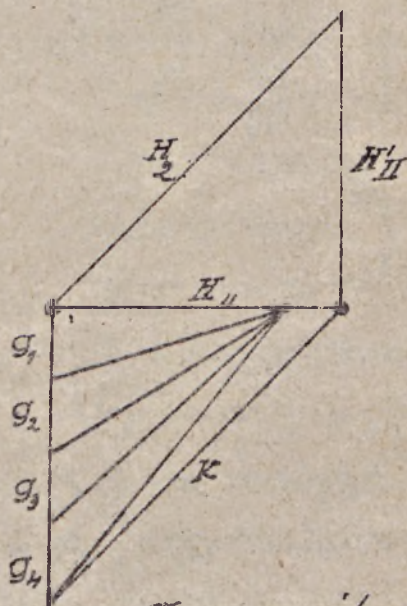
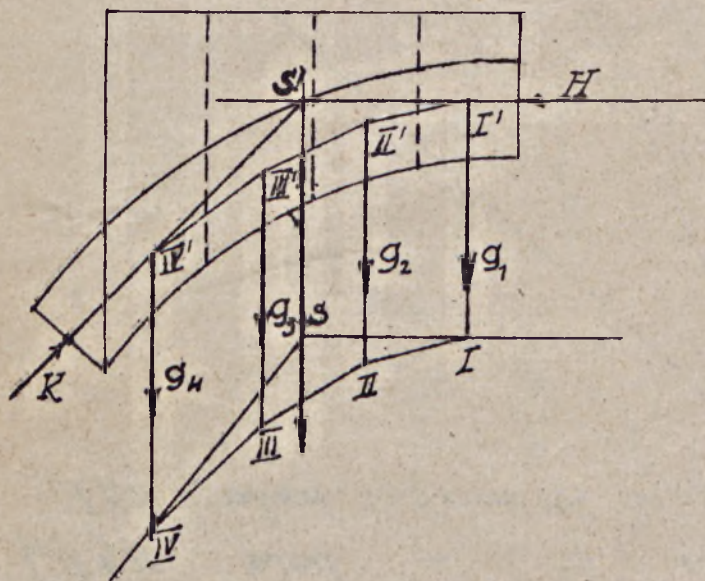
Te siły rozkładają się na składowe: w czołowej części AD i w kierunku \perp do płaszczyzny czołowej części.

Te ostatnie siły wypierają czołową część na zewnątrz.

Dla tego w tym uстроju sklepienia łębra AB, BC, CD i DA muszą być wzmocnione łękami, które wytrzymują te siły, o ile one nie zrównowazają się parciem z obok położonych sklepień.

Rys. 81.

Rys. 82.



Pasy IV i IV' , III i III' dają parcie Q na czołową część AB . Dla określenia siły Q należy przedstawić że pasy IV , III i III' wosi MN - tedy pasy IV i IV' będą wypierać się wzajemnie - tworzyć całe sklepienie.

Odnalezienie parcia poziomego w zworniku i parcia na wezgiowie nie przedstawia trudności.

Siły Q otrzymujemy z wieloboku g (rys. 82), sumując wagi pasów IV i III z $H4$.

Rozpatrzymy szczegółowo np. IV (rys. 81)

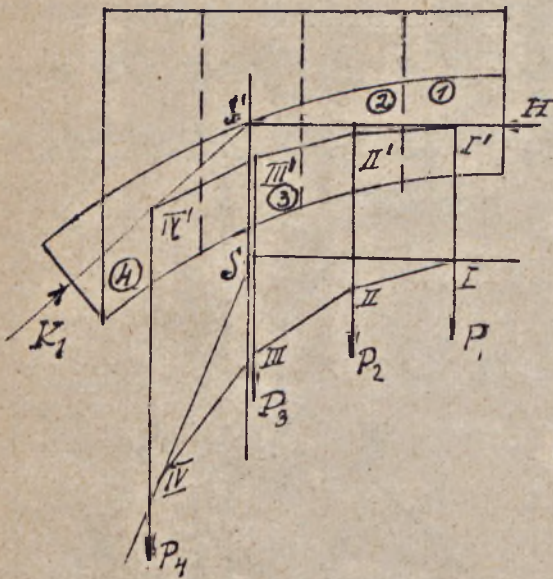
Dzielimy, przedłożoną IV część do osi MN kolebki, na tyle części na ile pasów zostało podzielone całe sklepienie, t.j. na cztery.

Wiadomym sposobem znajdujemy H parcie poziome IV, III, II i I części.

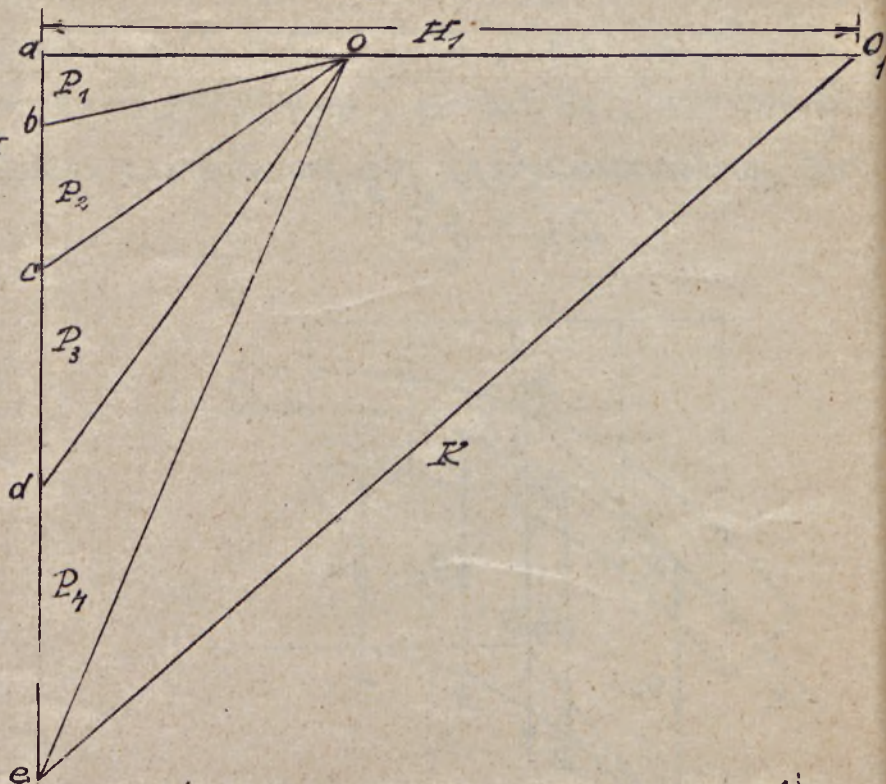
Dla sprawdzenia wytrzymałości i stateczności

żebra sklepienia, dzielimy go również na cztery części. Na żebro działają tylko pionowe siły, bo poziome parcia składowe na żebro z obu stron żebra równoważą się i pozostają pionowe siły składowe (rys. 83 i 84):

Rys. 83.



Rys. 84.



na część ① - , $P_1 = 2g_1$, gdzie g_1 waga pasa. I (i I')
 " " ② - , $P_2 = 2g_2$ " g_2 " pasa II (i II')
 " " ③ - , $P_3 = 2g_3$ " g_3 " " " III (i III')
 " " ④ - , $P_4 = 2g_4$ " g_4 " " " IV (i IV')

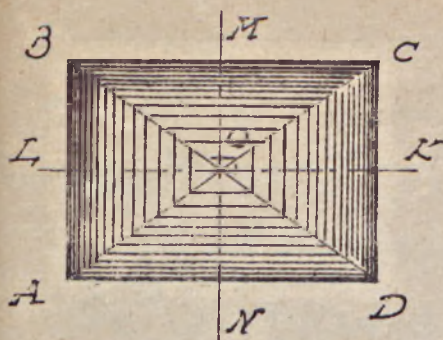
Mając obciążenie, znajdujemy wiadomym sposobem parcie poziome H_1 i parcie na węzłowie k , a potem już linię ciśnienia w żebrze.

Na czółowiy łęk AB, BC, CD i DE działają, jak wyżej wskazano, boczne siły wypierające łęk na zewnątrz; siły te w zworniku $2H_2$ (suma $2P_1$ parcia H_1 z I i II pasów). Siły Q od pasów III i IV otrzymujemy jak wyżej wskazano.

Te siły boczne równoważą się lub z siłami równoznacznymi od sklepienia obok położonych, lub siłami czółowymi.

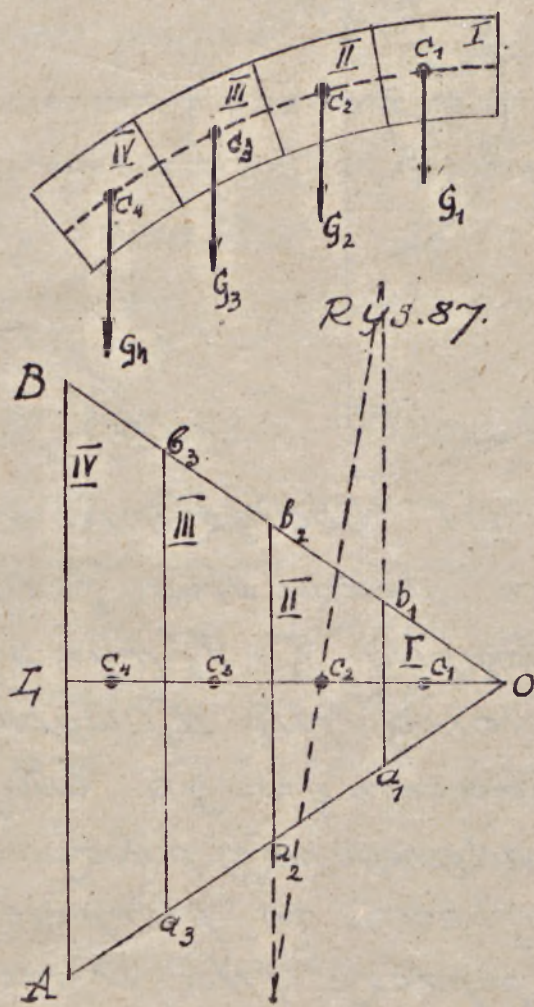
SKLEPIENIA KLASZTORNE

Rys. 85.



Sprawdzenie wytrzymałości sklepien klasztornych (rys. 85) robi się w ten sam sposób, jak kolebkowych - przyjmuje się jednak całą szerokość pasów t.j. wagę ich między przekątnymi AC i BD (rys. 86 i 87)

Rys. 86



Rys. 87.

Dla sklepien w przekroju I-K wykreślamy linję ciśnień dla połowy (rys. 86) wiadomem sposobem. Obciążenia pionowe G_1 - waga części I ($a_1 b_1$) G_2 - waga części II ($a_2 b_2$) G_3 - " " III ($a_3 b_3$) G_4 - " " IV ($A a_3 b_3 B$) w identyczny sposób sprawdza się sklepienie w przekroju MN,

BANIASTE SKLEPIENIA.

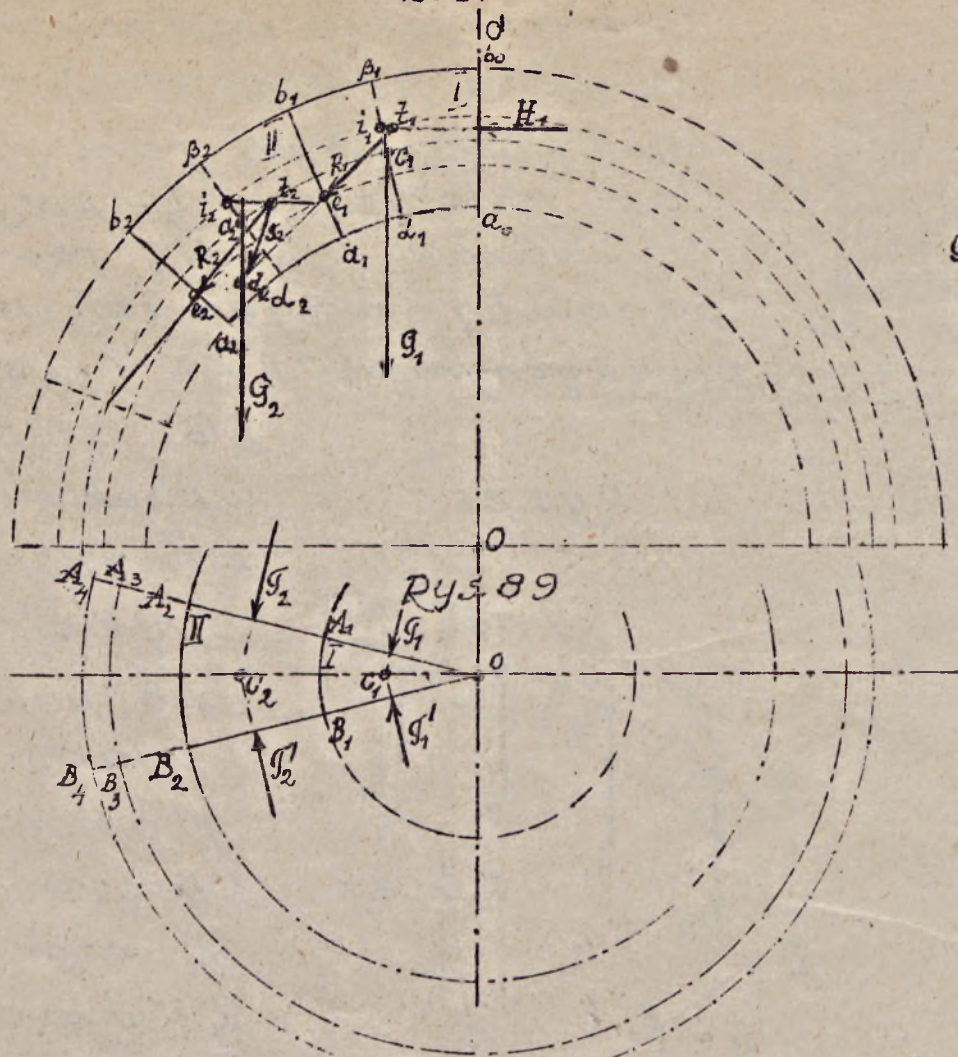
I sposób Witmana.

Dzielimy baniaste sklepienia płaskościenne pionowymi, przechodzącymi przez oś OO' (południkami) na części. Poza tem stózkowemi powierzchniami, przechodzącymi przez środek O dzielimy go na pierścienia. I, II i t.d.

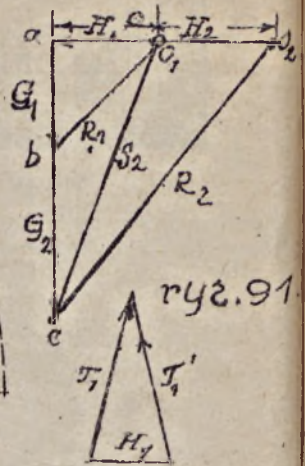
Rozpatrujemy dwa otrzymane - w ten sposób

kliniec I i II (rys. 88,

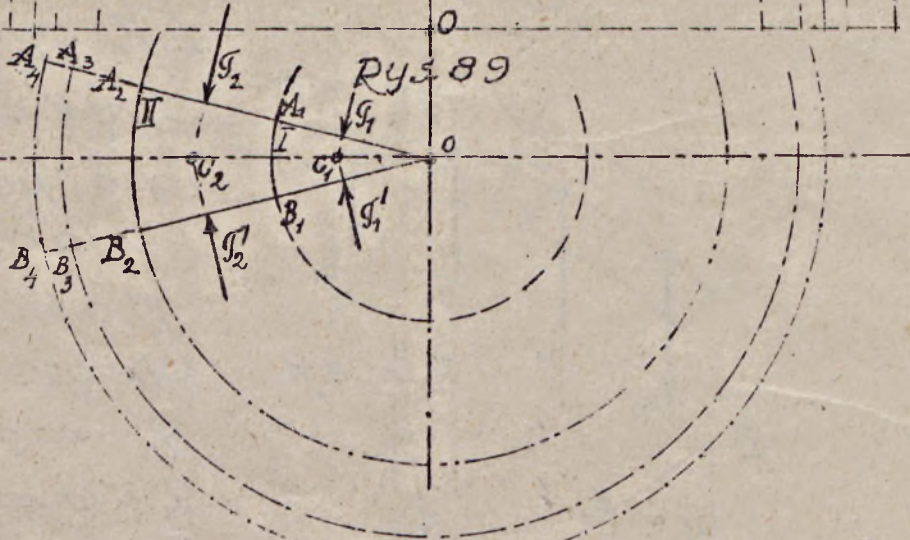
Rys. 88.)



Rys. 90



Rys. 89



Pod działaniem sił obciążenia każda z tych pierścieni wspiera jedną drugą, czyli naprz: na kliniec I działają siły T_1 i T_1' (rys. 89); te siły w sumie dają (rys. 90) - poziomą siłę H_1 - wypierającą klin na zewnątrz i pożątem d waga własna G_1 parcie D_1 na dolny kliniec (następnego, niżej położonego, pierścienia). O ile kliniec w pośrednim pierścieniu - na niego dodaje się jeszcze siła D na górną powierzchnię jego parcie od wyżej położonego pierścienia. Przyjmując, że siła H dołączona do góry jądra przekroju średniego^{x)} przeprowadzamy przez ten punkt i linię poziomą przyjmując ją za kierunek H_1 . Przez punkt t_1 przecięcia H_1 i G_1 przejdzie ich wypadkowa R_1 . Przyjmujemy, że siła R_1 przecina szew a, b_1 u dołu e_1 jedna przekroju;

^{x)} przechodzącego przez c_1 - środek ciężkości klinca I.

z wieloboku. sił (rys. 90) określiła się R_1 i H_1 .
 Rozpatrując następnie współdziałanie sił na kliniec następny II z wielob. sił znajdujemy (rys. 90) wielkość sumy sił $R_1 + G_2 = S_2$ i punkt doczepienia jej (rys. 88) przecięcie e_2 sił G_1 i R_1 .

Następnie - przyjmując, jak wyżej, że parcie poziome H_2 (suma sił T_2 i T_2') przechodzi przez i_2 górną część jądra średniego przekroju β_2 klinca II. (tj. przechodzącego przez C_2 środek ciężk. jego),

Znajdujemy punkt t_2 przecięcia sił S_2 i H_2 .
 Przez ten punkt t_2 i przez dolną część e_2 jedna przekroju powinna przejść siła R_2 .

Przeprowadzając (rys. 90) $co_2 \parallel t_2 e_2$ otrzymujemy wielkość R_2 i t.d. aż do wezwłowa baniastego sklepienia.

• III sposób Föppl'a.

Przyjmując, że parcie poziome H na każdym kliniec przechodzi przez środek ciężkości jego, zaś ciśnienie klinca na następny kliniec przechodzi przez środek ciężkości szwa, budujemy linię ciśnień jak to wskazano na rys. 92 i 93.

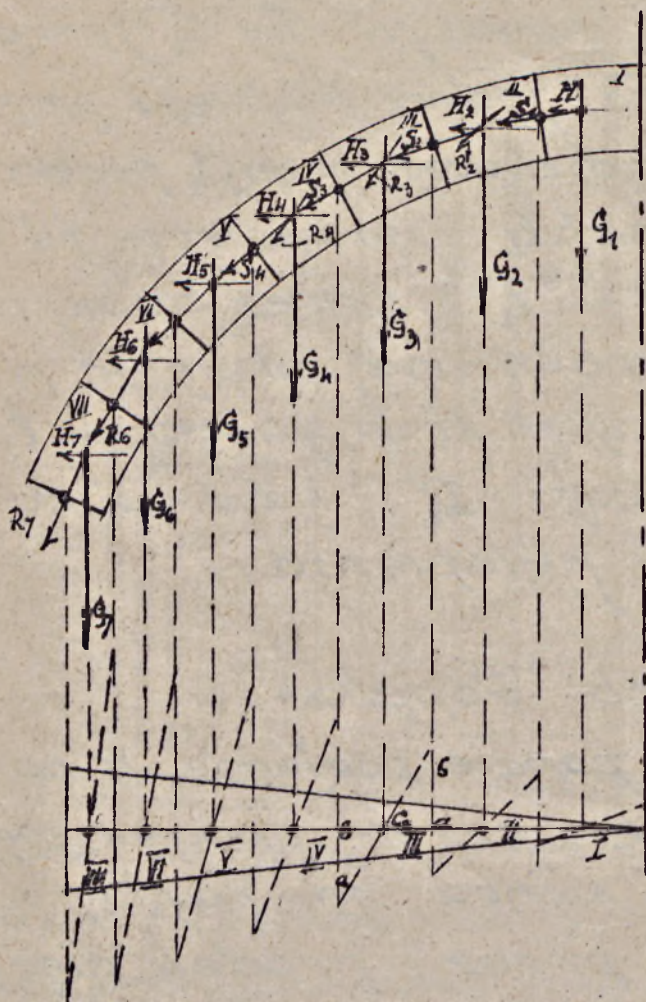
Na kliniec I działa waga własna G_1 i parcie poziome H_1 . Wypadkowa ich S_1 przechodzi przez środek ciężkości szwa między I-ym i II-ym kliniec.

Mając kierunek S_1 z wieloboku sił (rys. 93) otrzymujemy wielkość H_1 i S_1 .

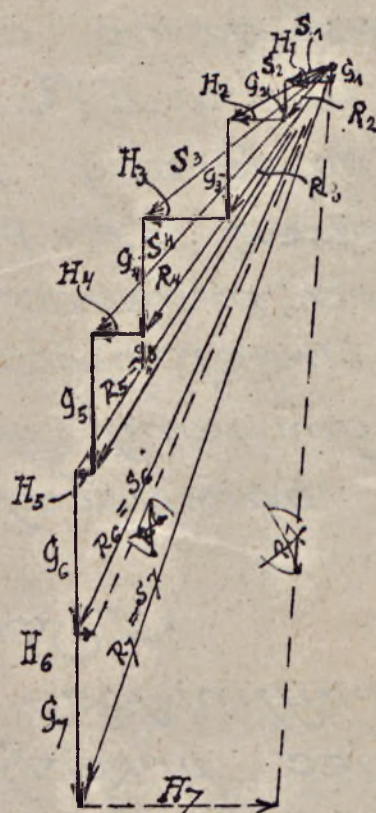
Z tegoż wieloboku otrzymujemy wypadkową R_2 sił S_1 i wagi G_2 klinca II. Na rys. 92 przez punkt przecięcia S_1 i G_2 przeprowadzamy linię równoległą kierunku R_2 - odnajdujemy w ten sposób rozłożenie R_2 w sklepieniu, które będzie działać na kliniec II. Prócz tego na ten że

kliniec działa H_2 parcie poziome (przechodząc przez środek ciężkości tego klinca.

Rys. 92.



Rys. 93.



Przez punkt przecięcia R_2 i H_2 i przez środek ciężkości szwa między II i III kliniec przeprowadzamy linię - która da kierunek S_2 .

Mając kierunek S_2 w wieloboku sił (rys. 93) określamy wielkość H_2 .

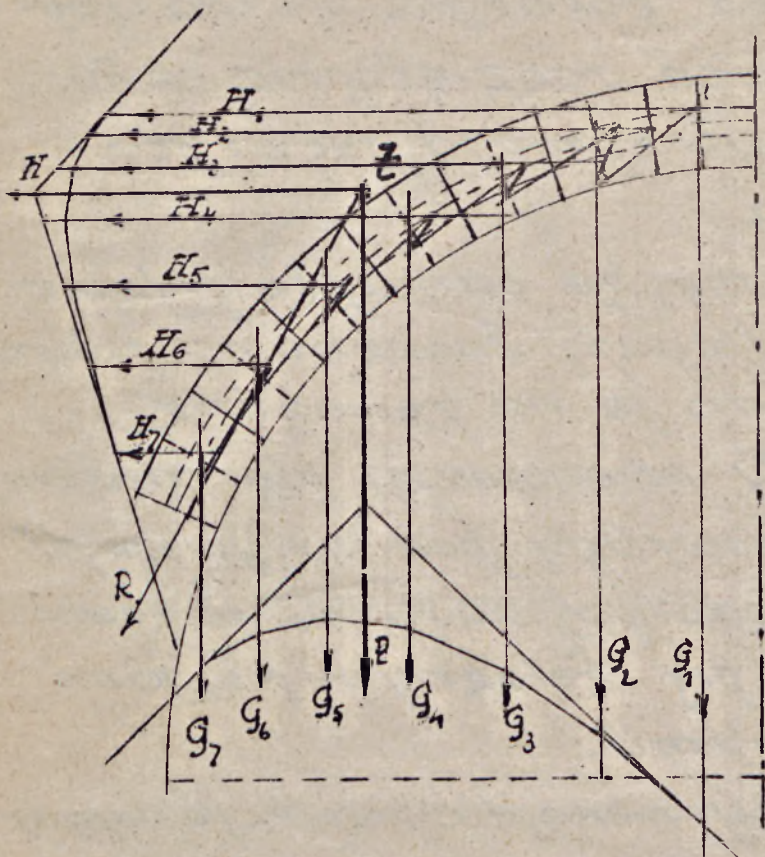
Następnie przeprowadzamy S_2 do przecięcia z G_3 i z wieloboku sił otrzymujemy wielkość i kierunek R_3 i t.d.

Jeżeli przy tym, w jakimkolwiek klinie, nappz. V, okaże się, że H_6 ma kierunek z lewa na prawo łukowy odzucamy. t.j przyjmujemy $R_6 = S_6$

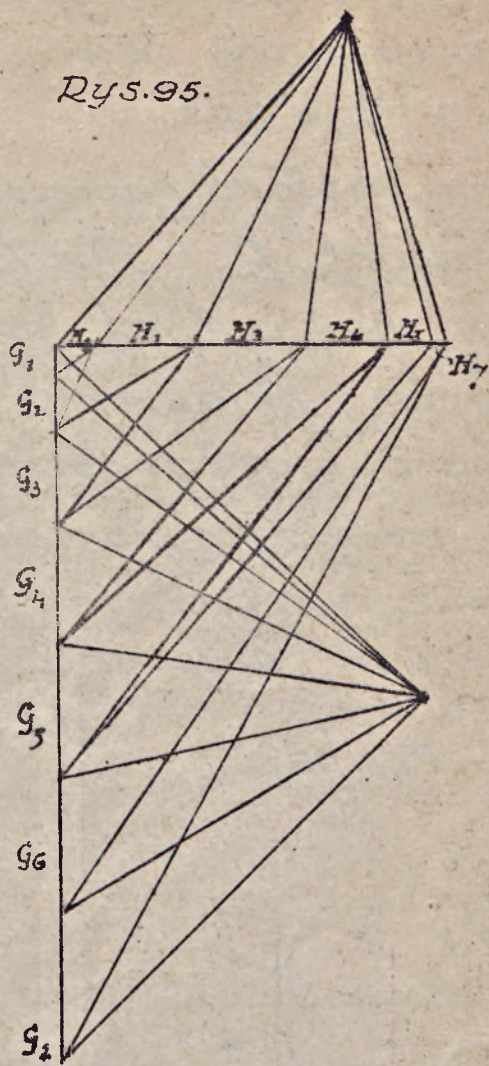
Żeby sprawdzić prawidłowość wykresu - sumujemy parcia poziome H_1, H_2, H_3 , i t.d. wszystkich pierścieni, czyli klinców I, II, III i t.d., i obciążenia klinców (ciężary) (wydzielonych elementów wszystkich pierścieni) G_1, G_2, G_3 i t.d. (rys. 94 i 95).

Wypadkowa H wszystkich parć poziomych powinna przecięć wypadkową R wszystkich sił pionowych w tym samym punkcie w którym przeciętnie tą parcie na wezgiłowiu R_s .

Rys. 94.



Rys. 95.



A więc jeżeli $H = H_1 + H_2 + H_3 + \dots$; $P = G_1 + G_2 + G_3 + \dots$
i R parcie na wezgiłowiu przecinają się w jednym i tym samym punkcie t - wykreś prawidłowy.

Uwaga:

Tu należy dodać kilka słów o odnalezieniu środka ciężkości poszczególnych klinców I, II, III i t.d.: (rys. 92)

W pionowym przekroju środek ciężkości będzie leżał na środkowej powierzchni klinca.

Zaś w rzucie poziomym środek ciężkości będzie na środku ciężkości trapezów, które tworzą rzuty poziome środkowych powierzchni klinców.

Znosząc te ostatnie pionowym i linjami na środkową linię pionowych przekroji klinców otrzymujemy środki ciężkości poszczególnych klinców.

Stępczość baniastego sklepienia będzie dostateczna, jeżeli wszystkie punkty t przecięcia wypadkowych parć na kliniec i wagi (r. 88)

klinca z parciem poziomym na kliniec będzie w jednę przekroju i jeżeli kąt φ pochylecia poszczególnych wypadkowych R tworzy z linią normalną do szwa kąt mniejszy od kąta tarcia $\varphi_0 = 22^\circ$.

Wytrzymałość sprawdza się podług wielkości wypadkowych R . Praktyka pokazała, że dla wszystkich baniastych sklepień rozpiętością do 20m. baniaste sklepienia wytrzymują, jeżeli statyczność wystarczająca.

Z powyższego widzimy, że baniaste sklepienia na nasadzie podlegają znacznym siłom poziomym wypierającym je na zewnątrz.

Te siły równoważą się tarcie, które powstają pod wpływem sił prostopadłych do szwów, lub równoważą się żelaznymi ściągami (obręczami).

Żeby określić wielkość ciągnięcia, rozrywającego ściąg (obręcz) znajdujemy wypadkową H_0 wszystkich parć poziomych na AOC i wypadkową H'_0 wszystkich parć poziomych na części ADC . Rozkładając siły H_0 i H'_0 na H_1 , H_1' , H_2 i H_2' otrzymujemy siły które będą rozciągać ściąg (obręcz) naokoło położony

Jeżeli suma parć poziomych na całą podjętą bani H , to oczywiście parcie H_1 rozrywające ściąg (obręcz) $H_1 = \frac{H}{2\pi}$:

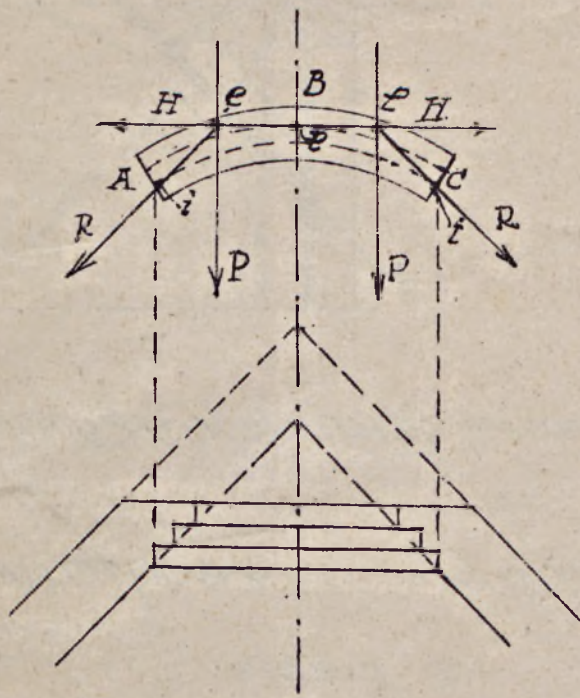
Jeżeli suma parć poziomych na całą podjętą bani H , to oczywiście parcie H_1 rozrywające ściąg (obręcz) $H_1 = \frac{H}{2\pi}$:

Zasady • OBŁIŻENIE ŻAGIELKOWYCH SKLEPIEŃ

Sklepienia żagielkowe, jak wiadomo, tworzą przejście z podstały bezpośrednio do nasady bani, lub do bębna (kubła) na którym opiera

się bania. Jeżeli sklepienie żagielka przedstawia szereg łuków kolebkowych (rys. 97) obliczamy pionowe obciążenia na łuk sklepienia ABC żagielka, wypadkową sił pionowych P na każdą połowę tego sklepienia

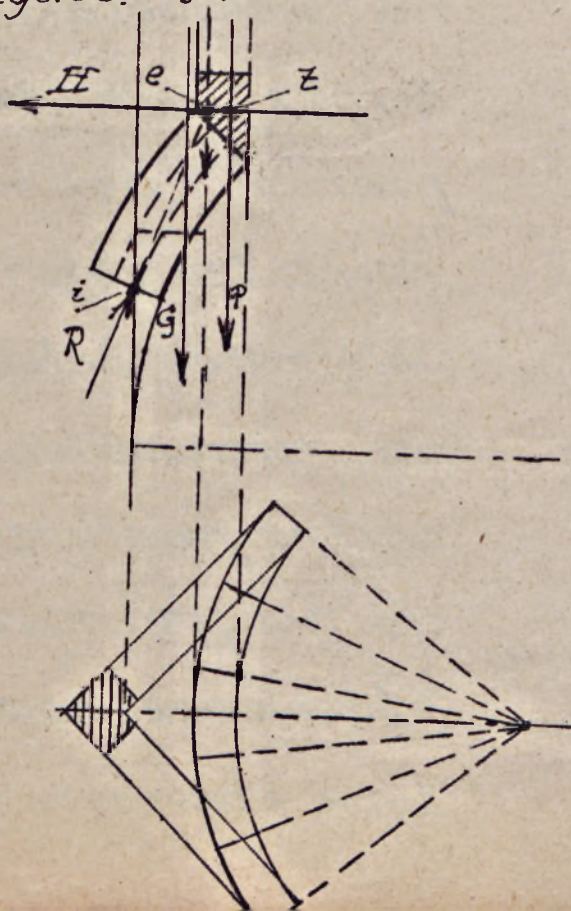
Rys. 97.



Następnie określamy H -parcie poziome w zworniku i R -parcie na węzłowie w sposób zwyczajny: dołączając H do górnej części jądra przekroju i łącząc punkt e przecięcia H z P i punkt i dolną część jądra przekroju w węzłowie, otrzymujemy kierunek R .

Jeżeli sklepienie żagielka ma formę baniastego sklepienia (rys. 98), przyjmujemy, że parcie poziome H przechodzi przez z przecięcie siły P , obciążenie pionowe żagielka z górną częścią jądra przekroju w zworniku.

Rys. 98. $g+P$



Parcie na podstawę żagielka powinno przejść przez z dolną część jądra przekroju żagielka i punkt e przecięcia wypadkowej sił pionowych Q i P z H . Znalazszy kierunek R - budujemy wielobok sił i określimy H .

Dla umocowania żagielek poleca się zakładać ankrę; typ takich ankrów wskazany na rys. 99, 100 i 101.

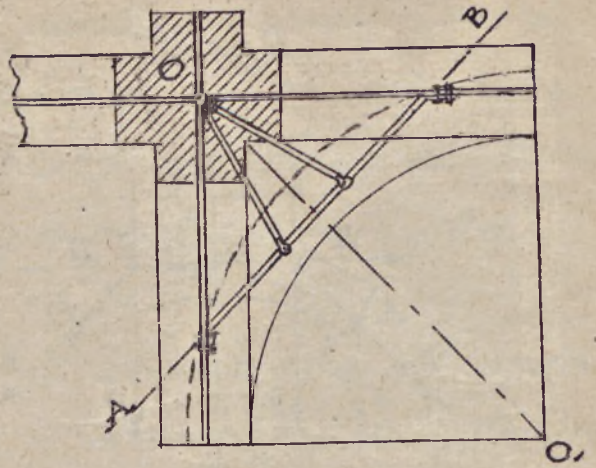
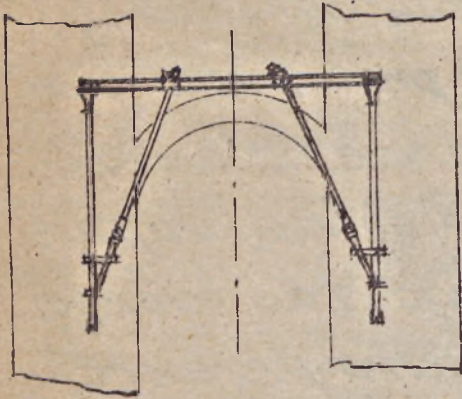
Rys. 100

Rys. 101

Rys. 99.

Przekrój A-B.

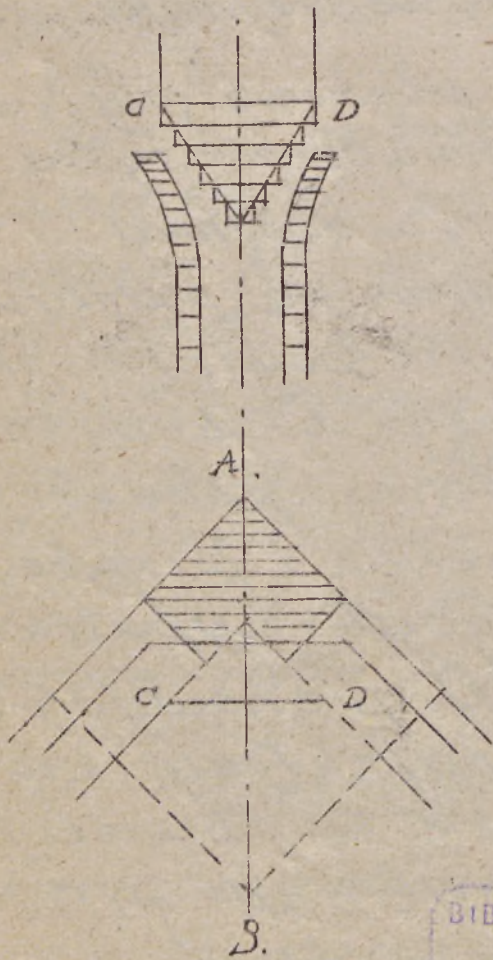
Przekrój O-O!



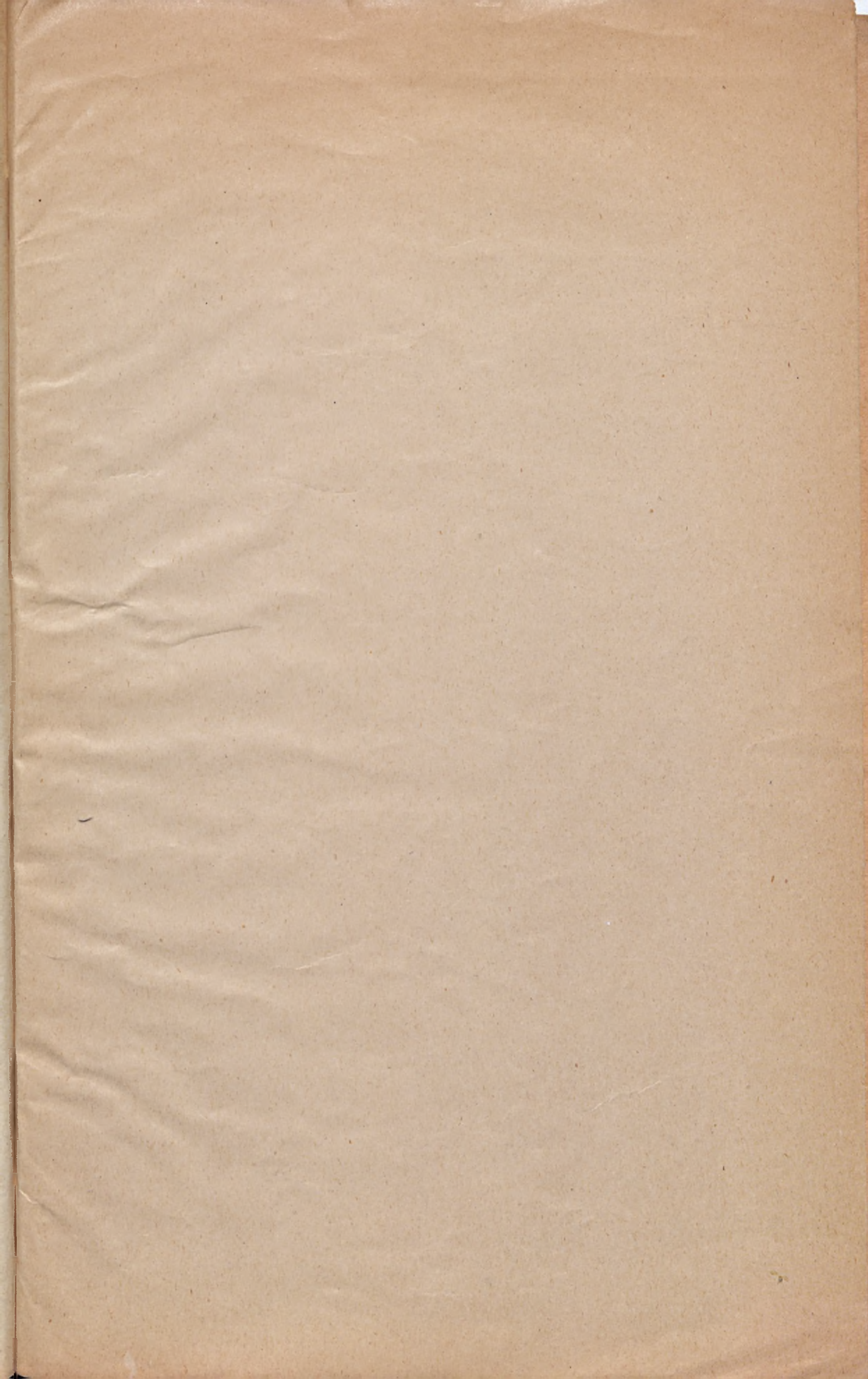
Wcale odmienne obliczenie żagielek gzymsowych (rys. 102)

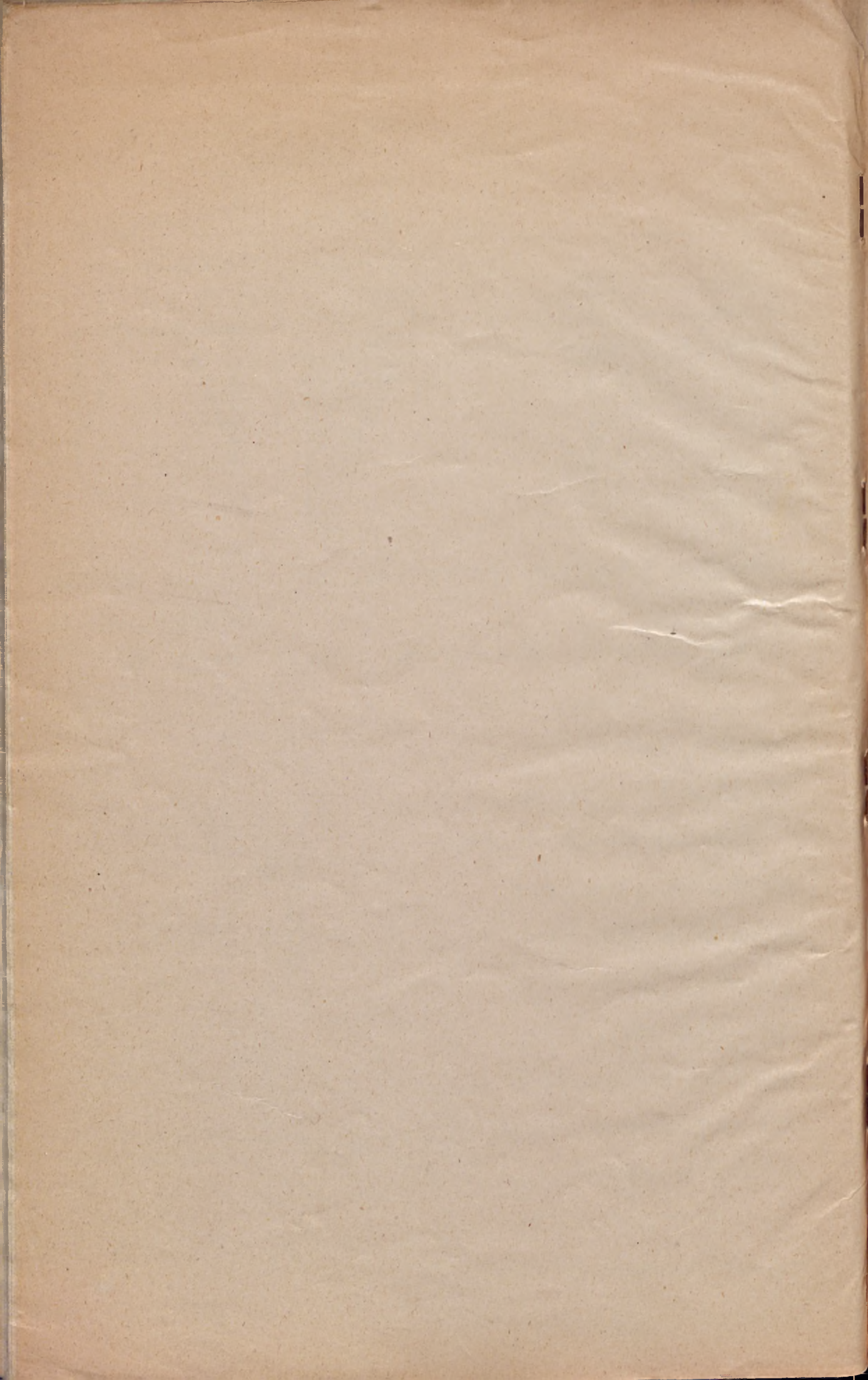
W tym typie, żagielek przedstawia z siebie

Rys. 102.



gzyms zwyczajny; to też ciężar, przypadający na żagielek od baniastego sklepienia i bębna, ścina ten gzyms; Obliczenie polega na sprawdzeniu wytrzymałości jego na ścinanie. Założenie ankrów w tym typie konieczne.





Depozyt K.S. (A).
1949/k

6884