

które - jako ujemne - powodują rozrywanie betonu w kierunku ukośnym.

Na wskazanie sposobu obliczania strzemion i prętów ukośnych /odgiętych/ nie pozwalają ramy niniejszego skryptu. Obszerne wskazówki znaleźć można w odpowiednich podręcznikach, a częściowo także w przykładzie liczbowym, zamieszczonym poniżej.

O b l i c z e n i e a n a l i t y c z n e

F i l a r ó w .

Omówienie.

Obliczenie filarów zapór krytych płytami w niczym się nie różni od obliczenia filarów zapór o łukach wielokrotnych - nie będzie więc powtarzane.

Zapory kryte płytami należą do typu zapór lekkich, należy więc zwrócić główną uwagę na dostateczne zabezpieczenie przed poślizgiem przez przyjęcie odpowiedniego pochylenia od strony wody $/1:n/$.

Poniżej podane jest obliczenie głowicy filara oraz wykreślony sposób obliczania filarów. W przykładzie liczbowym przedstawione jest obli-

czenie analityczne filara w ten sposób, że wyrażenie ujawnia się podobieństwo tego obliczenia do obliczenia zapór ciężkich.

Obliczenie głowicy.

Przyjmuje się, że reakcja R płyty działa w odległości $\frac{2}{3} \cdot c$ od końca płyty /rys.84 i 87/. t.zn. że naprężenia normalne σ_n rozkładają się według trójkąta. Obliczenie przeprowadza się na 1 mb płyty, traktując głowicę jako belkę utwierdzoną o zmiennej wysokości t ;

$$\sigma_n = \frac{2 \cdot R}{100 \cdot c} < \sigma_{dop}$$

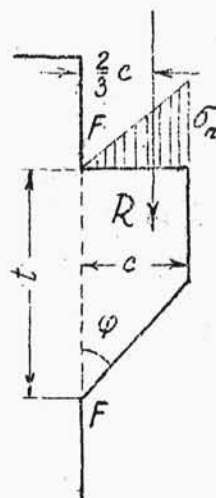
σ_{dop} powinno się przyjmować nie większe od 25 kg/cm^2 ,

aby zabezpieczyć się przed rozkruszaniem krawędzi głowicy.

Na podstawie powyższej zależności sprawdza się przyjętą poprzednio wielkość c

Moment gnący w płaszczyźnie FF /rys.87 i 88/

$$M = R \cdot \frac{2}{3} c ; \quad \text{kg/cm}^2$$



rys. 87

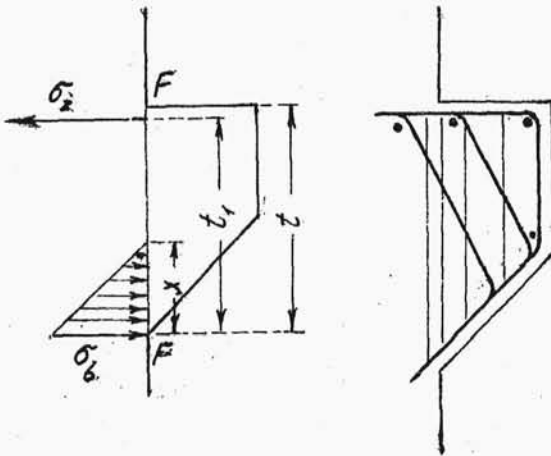
a wymiary głowicy:

wysokość użyteczna

$$t_1 = C_1 \cdot \sqrt{\frac{M}{100}} ; \text{ cm}$$

przekrój wkładki stalowych

$$A_z = C_2 \cdot \sqrt{M \cdot 100} ; \text{ cm}^2$$



rys. 88.

Zwykle stosuje się $t =$ od $1,6 \cdot c$ do $2,0 \cdot c$. Sprawdzenie naprężeń σ_b i σ_z odbywa się przy pomocy wzorów podanych wyżej w ustępie "Obliczenie pły-

ty" /str.201/. Sprawdzenie naprężeń ścinających /wzór dla belki o zmiennym przekroju/:

$$\tau_{max} = \frac{R - \frac{M}{t_1} \cdot \operatorname{ctg} \varphi}{100 \cdot (t_1 - \frac{x}{3})} < \tau_{dop} ;$$

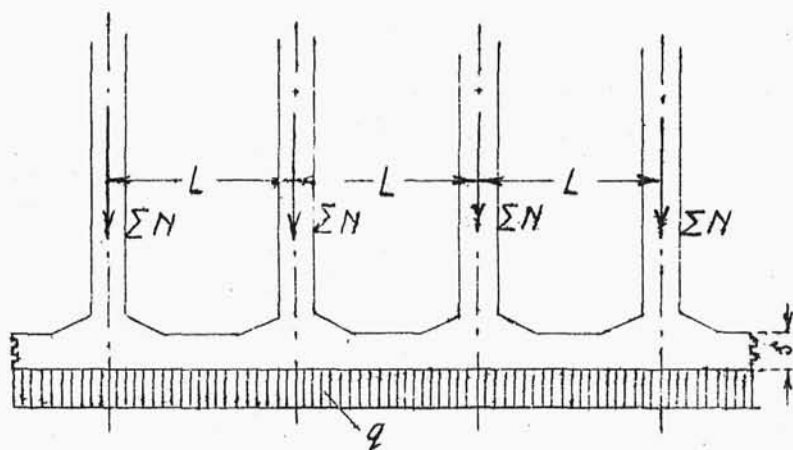
Naprężenia ścinające będą tym mniejsze, im mniejszy będzie kąt φ /kąt ten pokazany jest na rys.87/.

Obliczenie płyty fundamentowej.

W obliczeniu zakłada się, że ciężar budowli i parcie wody rozkłada się równomiernie na całą powierzchnię płyty /rys.89/

$$q = \frac{\sum N}{L b};$$

$\sum N$ jest sumą składowych pionowych sił, działających na zapórę i obliczonych w stosunku do jednego przęsła.



rys.89.

Płytę oblicza się jako ciągłą, obciążoną między szwami dylatacyjnymi równomiernie oddziaływaniem gruntu q . Moment gnący w środku przęseł pośrednich $\frac{qL^2}{15}$ i na podporach $-\frac{qL^2}{9}$. Przy szwie dylatacyjnym płytę oblicza się jak wspornik.

Grubość s płyty oblicza się ze wzoru

$$W \geq \frac{M}{\sigma_{dop}} ;$$

gdzie wskaźnik wytrzymałości

$$W = \frac{100 \cdot s^2}{6} ; \quad \text{cm}^3$$

Najmniejsza grubość płyty = 0,5 m; zwykle

$$s \cong \frac{L}{8} \quad \text{albo nawet} \quad s \cong \frac{L}{10} ;$$

P r z y k ł a d l i c z b o w y .

Dane.

Jako przykład podane jest obliczenie analityczne zapory o wysokości $H = 40$ m . Pochylenie od strony wody $n = 0,7$; od strony powietrza $m = 0,5$ /rys.94/. Filary są jednakowej grubości $\alpha = 1,10$ m na całej wysokości i rozstawione są co $L = 5,50$ m. Ciężar właściwy żelbetu 2400 kg/m^3 , a betonu w filarach 2300 kg/m^3 . Dopuszczalne naprężenia w żelbetowej płycie:

$$\sigma_{b.dop.} = 40 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{z.dop.} = 1200 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{dop.} = 4 \text{ kg/cm}^2 ;$$

Dopuszczalne naprężenia w betonowym filarze

$$\sigma_{dop} = 20 \text{ kg/cm}^2$$

$$\tau_{dop} = \frac{1}{2} \sigma_{dop} = 10 \text{ kg/cm}^2 ;$$

Obliczenie płyty.

Współczynniki.

Dla dopuszczalnych wielkości naprężeń w betonie i wkładkach stalowych 40/1200 kg/cm² mamy

$$C_1 = 0,411$$

$$C_2 = 0,00228$$

$$C_3 = 0,00556$$

Rozpiętość teoretyczna płyty.

Przyjmując $c = 0,90$ m, wypada

$$L_1 = L - a - 2 \cdot \frac{2}{3} c = 3,20 \text{ m}$$

Grubość użyteczna płyty

Korzystamy ze wzoru, uwzględniającego od razu ciężar własny płyty /str.204/. Obliczając d_1 w głębokości $H = 40$ m, przyjmujemy $e_1 = 5$ cm /grubość przykrycia wkładki stalowej/, zatem wstawiając odpowiednie wartości liczbowe, otrzymujemy ostatecznie

$$d_1^2 - 3 \cdot d_1 - 8668 = 0;$$

$$d_1 = 94,6 \text{ cm};$$

Przyjmujemy

$$d_1 = 95 \text{ cm};$$

$$d = d_1 + e_1 = 100 \text{ cm};$$

Przekrój wkładek stalowych.

$$A_z = C_3 \cdot 100 \cdot d_1 = 0,00556 \cdot 100 \cdot 95 = 52,85 \text{ cm}^2$$

Przyjmując pręty \emptyset 26 mm o polu przekroju $a_z = 5,31 \text{ cm}^2$, należy je rozmieścić w odstępach

$$e = 100 \cdot \frac{a_z}{A_z} = \frac{100 \cdot 5,31}{52,85} = 10 \text{ cm}$$

/wielkość e pokazana jest na rys.85/. Wypada wtedy $100 : 10 = 10$ prętów/mb, a rzeczywisty przekrój wkładki

$$A_z = a_z \cdot \frac{100}{e} = 5,31 \cdot \frac{100}{10} = 53,1 \text{ cm}^2$$

$$A_z = 53,1 \text{ cm}^2$$

Sprawdzenie naprężeń.

Rzeczywisty moment gnący wynosi $M = 5296600 \text{ kg} \cdot \text{cm}$. Położenie osi obojętnej i naprężenia /wg wzorów podanych na str.203/

$$x = 31,7 \text{ cm}$$

$$\sigma_b = 39,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_z = 1181 \text{ kg/cm}^2$$

Naprężenia rzeczywiste nie przekraczają granic dopuszczalnych. Największy moment gnący, jaki może płyta przenieść, wynosi:

$$\max M = A_z \sigma_{z, dop} \left(d_1 - \frac{x}{3} \right) =$$

$$= 53,1 \cdot 1200 \cdot \left(95 - \frac{31,7}{3}\right) = 8\,380\,000 \text{ kgom}$$

/porów.rys.91/.

Napężenia w różnych głębokościach.

Grubość płyty u góry, w koronie zapory, ustalamy ze względów praktycznych w wielkości 0,30 m, Jeśli grubość płyty zmieniać się będzie liniowo od 1,00 m w głębokości 40 m do 0,30 m na poziomie zwierciadła wody, wówczas napężenia w przekrojach pośrednich będą coraz większe w przekrojach coraz wyższych, przekraczając nawet $\sigma_{b, dep}$. Dopiero u samej góry napężenia zaczynają się zmniejszać i osiągają wielkość = 0 na poziomie zwierciadła wody /rys.90/.

Napężenia w przekrojach oblicza się w następujący sposób. Grubość płyty d znana jest w każdym jej miejscu, zatem przyjmując pewną wartość $e_1 = 3 \dots 5$ cm warstwy okrywającej zbrojenie, określić można grubość użyteczną d_1 w każdym przekroju płyty. Poza tym w każdym przekroju znamy moment gnący, wywołany parciem wody i ciężarem własnym płyty. W ten sposób można określić współczynnik

$$C_1 = \frac{d_1}{\sqrt{\frac{M}{100}}};$$

Napężenia w różnych głębokościach.

y	d	d_1	M	C_1	σ_s
m	cm	cm	kgcm	—	kg/cm ²
0	30	—	0	—	0
5	39	36	708 870	0,428	38,0
10	48	44	1 364 800	0,377	44,6
15	56	52	2 018 900	0,366	46,5
20	65	61	2 674 900	0,373	45,3
25	74	70	3 330 700	0,384	43,6
30	82	78	3 984 800	0,391	42,6
35	91	86	4 640 800	0,399	40,2
40	100	95	5 296 600	—	39,6

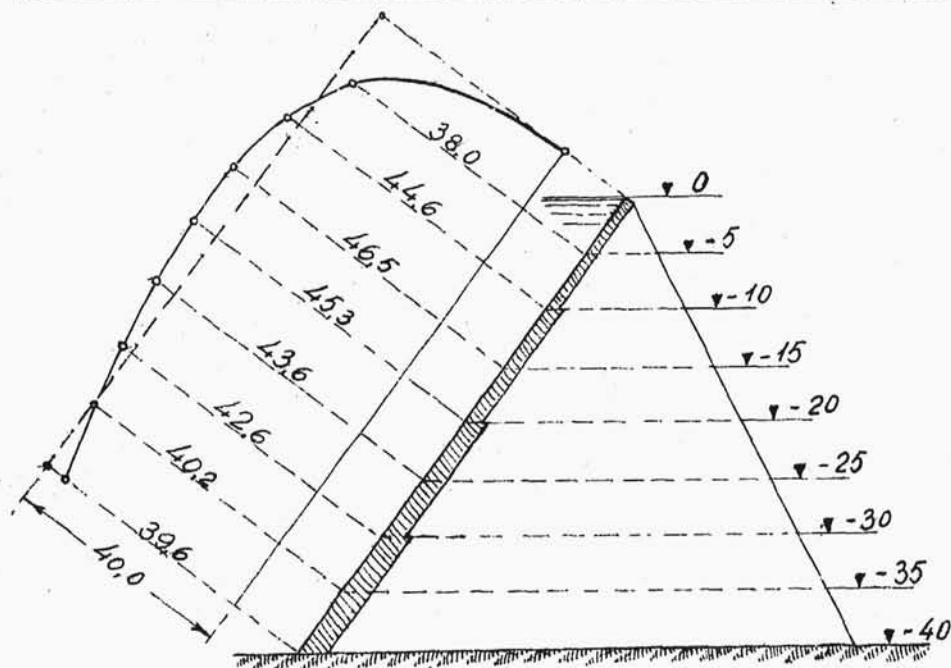
i dla tego C_1 znajdziemy z tablic wielkość $\tilde{\sigma}_s$, zakładając, że przekrój wkładki stalowych ma być całkowicie wykorzystany, t. zn. że $\tilde{\sigma}_s = 1200 \text{ kg/cm}^2$. Rezultat rachunku przedstawiony jest w zestawieniu powyżej i na rys.90.

Wymiary płyty w głębokościach pośrednich.

Na podstawie powyższego rezultatu należy obliczyć grubości płyty i przekrój wkładki stalowych w różnych głębokościach w ten sam sposób, co dla przekroju najniższego. Przebieg obliczenia podany

Wymiary płyty w różnych głębokościach.

y	Wymiary płyty			Wkładki stalowe			Sprawdzenie naprężeń			
	e	d ₁	d	φ	e	A _z	M	x	σ _b	σ _z
m	cm	cm	cm	mm	cm	cm	kgcm	cm	kg/cm ²	kg/cm ²
5	3	35	38	16	10,0	20,10	707 200	12,3	37,2	1140
10	4	49	53	18	9,0	28,20	1 373 600	16,5	38,3	1119
15	4	59	63	20	9,5	33,05	2 031 400	19,7	39,4	1173
20	4	68	72	22	10,0	38,00	2 687 200	22,7	39,3	1171
25	4	75	79	24	10,5	43,05	3 339 500	25,4	39,5	1167
30	4	82	86	24	9,5	47,60	3 991 800	27,8	39,5	1151
35	5	89	94	26	10,5	50,57	4 645 900	30,0	39,2	1164



rys. 90.

jest na str. 215 w formie zestawienia. Różnice w wymiarach płyty w porównaniu z obliczeniem poprzednim są widoczne.

Naprężenia ukośne.

Największe naprężenia ścinające w płycie występują w przekrojach podporowych na osi obojętnej. Rozpatrzmy poniżej tylko przekrój najgłębszy. Reakcja R płyty w głębokości $H = 40$ m

$$R = \frac{1}{2} (\gamma H + \gamma' d) L, ;$$

po wstawieniu odpowiednich wielkości wypada

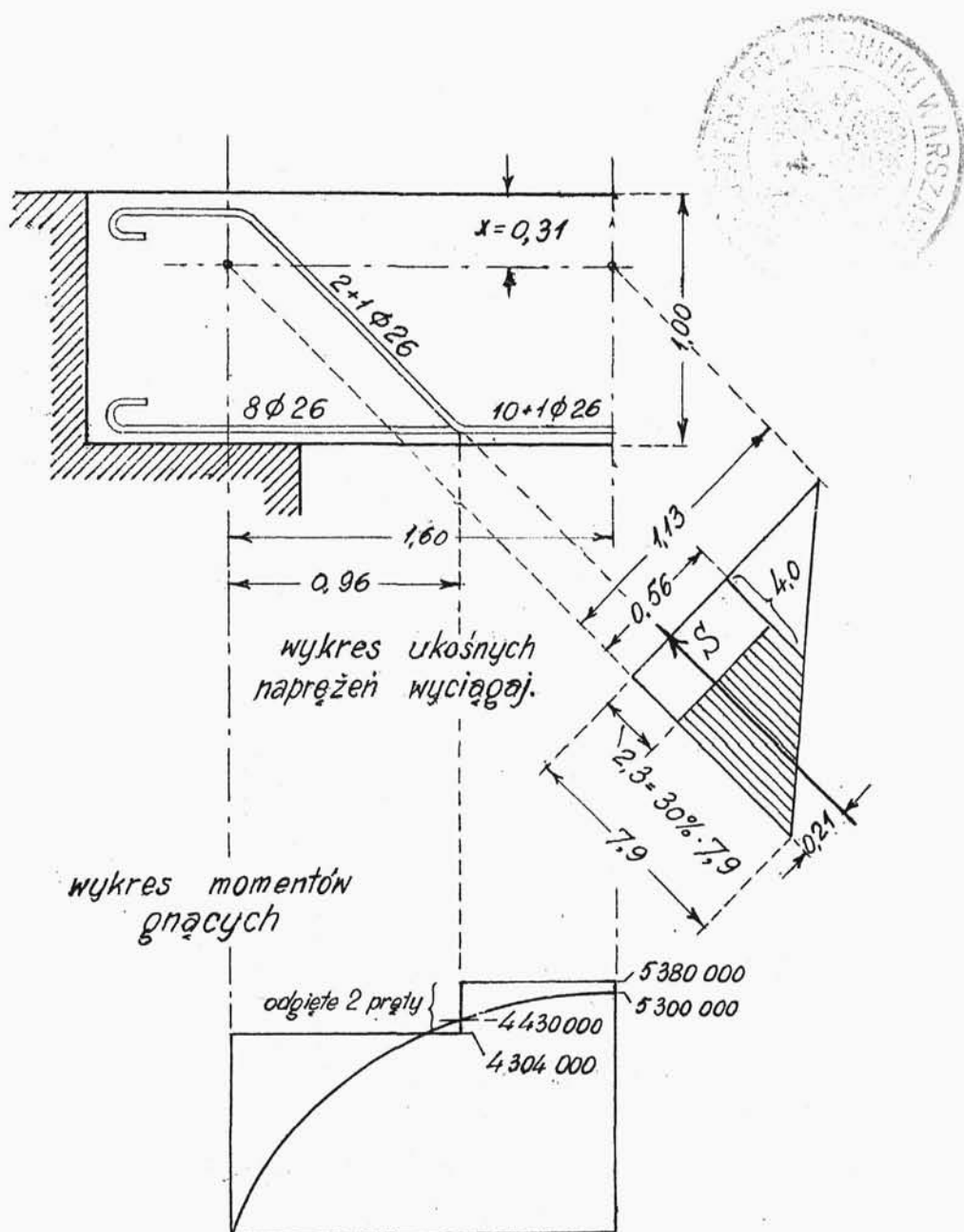
$$R = 66\,210 \text{ kg}$$

Naprężenia tnące:

$$\tau = \frac{R}{100 \cdot (d_r - \frac{x}{3})} = \frac{66210}{100 \cdot 95 - \frac{31,7}{3}} = 7,9 \text{ kg/cm}^2$$

Ponieważ $\tau > \tau_{dop} = 4 \text{ kg/cm}^2$, muszą więc być przewidziane strzemiona i pręty ukośne /odgięte/ w odpowiedniej ilości. Gdyby wypadło $\tau > 14 \text{ kg/cm}^2$, należałoby powiększyć grubość płyty.

Na rys. 91 przedstawiony jest wykres naprężeń ukośnych rozciągających /głównych/ równych co do wartości liczbowej naprężeniom ścinającym. Część tych naprężeń rozciągających przejęta jest przez beton, a pręty odgięte muszą przejąć siłę S , któ-



rys. 91.

ra przedstawiona jest polem zakreskowanym. Licząc na 1 m = 100 cm szerokości płyty, wypada /porów.

rys. 91/

$$S = \frac{(7,9 - 2,3) + (4,0 - 2,3)}{2} \cdot 56 \cdot 100 = 20\,440 \text{ kg}$$

Tę siłę wyciągającą przejmą 3 pręty $\emptyset 26$ /naprężenia w nich przekroczą nieznacznie naprężenia dopuszczalne

$$\sigma_z = \frac{S}{3 \cdot a_z} = \frac{20440}{3 \cdot 5,31} = 1280 \text{ kg/cm}^2 /$$

Należałoby więc odgiąć 3 pręty, lecz nie pozwala na to rozkład momentów gnących w płycie. Dlatego odgiąć można tylko 2 pręty oraz trzeba wstawić 1 pręt ukośny dodatkowy.

Strzemiona.

Strzemiona z drutu $\emptyset 12 \text{ mm}$ / $a_z = 1,13 \text{ cm}^2$ / obejmują po 3 pręty głównego zbrojenia płyty /rys. 76 i 81/. Wykres naprężeń tnących podany jest na rys 92. Nie uwzględniamy tej części wykresu, gdzie $\tau < 4 \text{ kg/cm}^2$ /gdyż tam naprężenia ścinające przejmie sam beton/. Z pozostałego wykresu odrzuca się jeszcze tę część naprężeń, którą przejmują pręty ukośne, a resztę rozdzielamy między strzemiona.

Pręty odgięte przejmą naprężenia ścinające w

wielkości /porów, rys. 92/

$$\tau' = \frac{3 a_z \sqrt{2} \cdot \tau_{dop}}{100 \cdot l'} = \frac{3 \cdot 5,31 \cdot \sqrt{2} \cdot 800}{100 \cdot 96} = 1,9 \text{ kg/cm}^2$$

zatem ogólny przekrój strzemion

$$A_s = \frac{S}{\tau_{dop}} = \frac{1}{800} \cdot \frac{(7,9 - 1,9) + (4,0 - 1,9) \cdot 79 \cdot 100}{2} = 40 \text{ cm}^2$$

Jeśli strzemiona obejmować będą po 3 pręty głównego zbrojenia płyty, to na 1 m szerokości /wymiar po przecznicy do rozpiętości płyty/ będzie 7 prętów /gałązek/ strzemion o łącznym przekroju

$$7 \cdot a_z = 7 \cdot 1,13 = 7,91 \text{ cm}^2$$

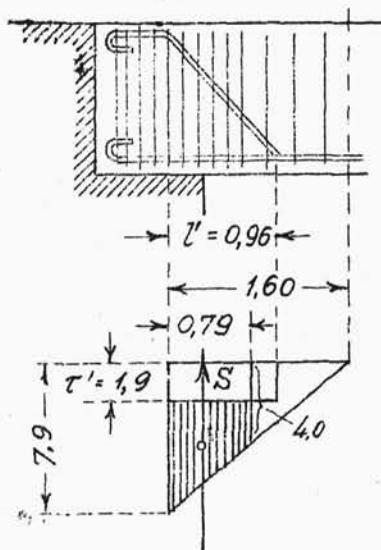
Strzemiona muszą więc być rozstawione w odstępach

$$\frac{\frac{69}{40}}{7,91} = 13 \text{ cm}$$

W części środkowej płyty strzemiona rozstawione są w przybliżeniu co 25 cm.

Obliczenie głowicy filara.

Naprężenia normalne /miałdzące/:



rys. 92.

$$\sigma_n = \frac{2 \cdot R}{100 \cdot c} = \frac{2 \cdot 66210}{100 \cdot 90} = 13,6 \text{ kg/cm}^2$$

wypadają zupełnie bezpieczne, nie potrzeba więc zmieniać przyjętej poprzednio wielkości $c =$

$= 0,90 \text{ m}$. Największy moment gnący w głowicy

$$M = R \frac{2}{3} c = 66210 \frac{2}{3} 90 = 3\,972\,600 \text{ kg cm}$$

Wysokość użyteczna głowicy

$$t_1 = C_1 \sqrt{\frac{M}{100}} = 0,411 \cdot \sqrt{\frac{3\,972\,600}{100}} = 82 \text{ cm}$$

Przyjęto $t_1 = 115 \text{ cm}$; $t = t_1 + 5 = 120 \text{ cm}$

/rys. 93/; przekrój wkładek stalowych

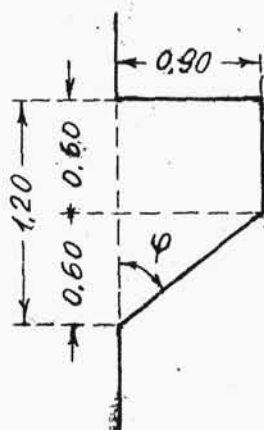
$$A_2 = C_2 \cdot \sqrt{M \cdot 100} =$$

$$= 0,00228 \cdot \sqrt{3\,972\,600 \cdot 100} = 45,5 \text{ cm}^2$$

Przyjęto 10 $\emptyset 22$ o ogólnym przekroju tylko

$A_2 = 38 \text{ cm}^2$ Sprawdzenie naprężeń:

wg odpowiednich wzorów wypada



rys. 93.

$$\sigma = 30,9 \text{ cm}$$

$$\sigma_b = 24,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_z = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

Największe naprężenia ścinające :

$$\tau_{max} = \frac{R - \frac{M}{t_1} \operatorname{ctg} \varphi}{100 \left(t_1 - \frac{x}{3} \right)};$$

Przyjmujemy $\operatorname{ctg} \varphi = \frac{2}{3}$ /rys. 93/, wtedy

$$\tau_{\max} = 4,1 \text{ kg/cm}^2$$

i prętów ukośnych ani strzemion można nie dawać.

Obliczenia filara

Wymiary i dane dotyczące filarów przedstawione są na rys. 94. Obliczamy naprężenia w głębokości $y = 10 \text{ m}$. Jak powiedziano w rozdziale, omawiającym obliczanie filarów zapór o łukach wielokrotnych / str. 102 i 103/, korzystać można ze wzorów dla zapór ciężkich, wstawiając $\gamma \frac{L}{a}$ zamiast γ .
W danym wypadku

$$\gamma \cdot \frac{L}{a} = 5 \cdot \gamma :$$

Korzystamy więc ze wzorów

$$\sigma_x = a_1 \cdot x + b_1 \cdot y ;$$

$$\sigma_y = a_2 \cdot x + b_2 \cdot y ;$$

$$\tau = c \cdot x + d ;$$

/cz. I str. 162/, przy czym współczynniki a, a_2, b, b_2, c, d wg wzorów podanych na str. 165 cz. I - uwzględniając wyżej przytoczoną uwagę - wynoszą /zbiornik pełny/:

$$a_1 = - 2,04$$

$$a_2 = 1,65$$

$$b_1 = 1,91$$

$$b_2 = 2,77$$

$$c = - 0,47$$

$$d = 2,04$$