

## Silosy.

Napisał prof. dr. inż. Stefan Bryła.

Są to zbiorniki do przechowywania materiałów sypkich (zmielonych, ziarnistych, np. zboże, mąka, cement, ruda, tłuczeń, węgiel, cukier, sól itp.) z otworami lejkowatymi u dołu do wypróżnienia zawartości. Buduje się je najczęściej żelbetowe, wyjątkowo z żelaza (ze ścianami betonowymi), cegły (komory okrągłe) lub drzewa wykonywa się silosy podrzędного znaczenia.

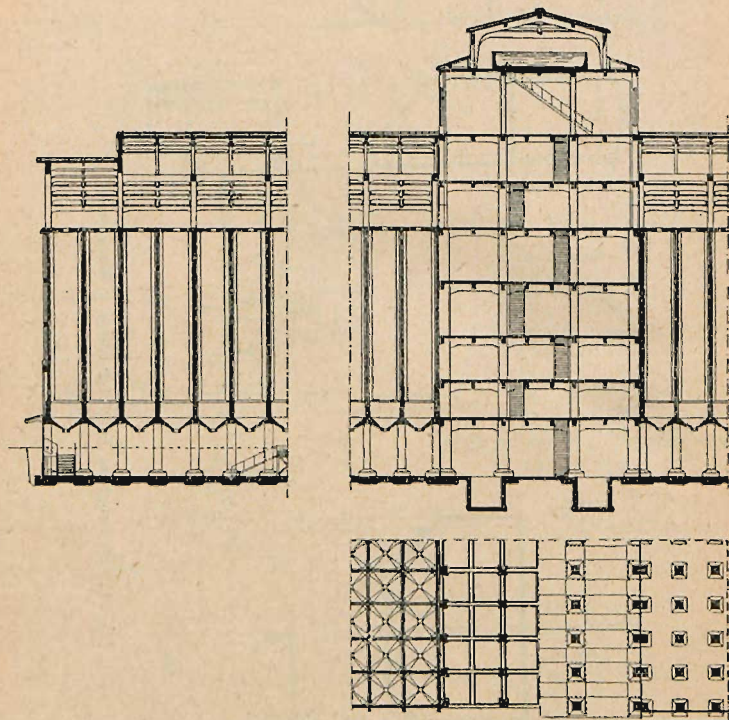


Fig. 725. Silosy zbożowe w Lublinie.

Ściany żelbetowe w silosach dla węgla, rudy, tłuczni, gipsu i cukru należy od wewnątrz zabezpieczyć warstwą gęstej wyprawy, lepiej stalobetonu (beton z opiłkami żelaznymi), który jest bardzo wytrzymały na ścieranie, klinkierami itd.; w silosach zbożowych wyprawa niepotrzebna.

Rozróżniamy silosy wielkokomorowe (szerokie), których wymiary rzutu poziomego są wielkie w stosunku do wysokości ścian (fig. 724) i silosy celkowe (fig. 725) o przekroju poziomym podzielonym na pole prostokątne (najczęściej kwadratowe), sześciokątne (fig. 726), rzadziej ośmiokątne w połączeniu z kwadratowymi (fig. 727) lub okrągłe (tu tracimy około 20% przestrzeni, fig. 728, ale ścianki pracują tylko na ciągnięcie, więc mogą być cienkie). Opierają się na słupach. W przekroju podłużnym mogą być celki pionowe (fig. 724, 725) (łatwiejsze do wykonania) i ukośne o ścianach nachylonych do poziomu pod kątem większym lub równym kątowi  $\varphi$  tarcia naturalnego stoku. Mają one na celu uniknięcie wielkich wysokości przy

równoczesnem wyzyskaniu przestrzeni, czyli takie pomieszczenie materiałów, aby pionowa wysokość warstwy nie przekroczyła pewnej granicy.

Silosy zbożowe wykonywa się jako celkowe o szerokości celek 5—6 m, a wysokości 20—25 m; ściany pokrywa się zaprawą cementową. Silosy węglowe wielkokomorowe tylko w zakładach, zużywających węgiel masowo (gazownie itd.); pozatem zwykle celkowe lub ukośne; warstwa węgla nie powinna przekraczać 5—7 m ze względu na niebezpieczeństwo samozapalenia się; z tegoż powodu dostęp świeżego powietrza powinien być zamknięty możliwie szczelnie, nadto tusta zaprawa cementowa lub stalobetonowa (j. w.); ważna też ze względu na ochronę betonu, jeżeli węgiel zawiera duży procent siarki. Silosy na rudę mogą być wielkokomorowe.

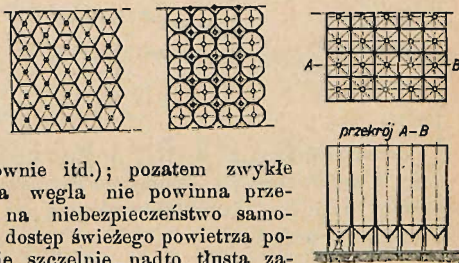


Fig. 726—728.

Ciśnienie w silosach dla małych wysokości ( $h \leq b \operatorname{tg} \varphi$ ) oblicza się wedle wzoru

$$p = \gamma h \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{1}{2} \varphi \right) \dots \dots \dots (1)$$

gdzie  $\varphi$  jest kątem tarcia danego materiału (por. tom II, str. 1444).

Ciśnienie na jednostkę powierzchni poziomej dna:

$$g = \gamma h \dots \dots \dots (2)$$

Ciśnienie na ściany i dno silosów głębokich (celkowych) zmniejsza się dzięki tarcia materiału sypkiego o ściany

$$f = \operatorname{tg} \varphi_1 = 0,3 - 0,4,$$

przyczem: dla ścian niewyprawionych  $\varphi_1 = \varphi$ ,

dla wyprawionych gładko  $\varphi_1 = \frac{3}{4} \varphi$ .

Maximum ciśnienia otrzymamy pod założeniem, że ciężar elementarnej warstwy  $\gamma F dh$  równoważy tarcie na obwodzie  $O$ , czyli  $dq = 0,3$  więc  $\gamma F dh = p f \cdot O \cdot dh$ , stąd

$$p = p_{\max} = \frac{\gamma F}{f \cdot O} \dots \dots \dots (3)$$

gdzie  $\gamma$  ciężar właściwy zawartości silosu.

Dla celek kwadratowych  $O = 4 a$ ,

$$F = a^2, \quad p_{\max} = \frac{\gamma a}{4 f}.$$

Ciśnienie to występuje teoretycznie w głębokości  $h_x = \infty$  pod powierzchnią zawartości. W głębokości skończonej  $h$  zachodzi równanie równowagi (fig. 729)

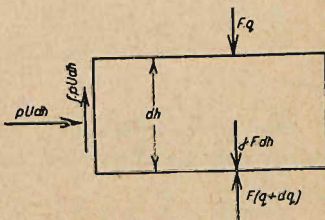


Fig. 729.

$$F dq = dh (\gamma F - f p O) \dots \dots \dots (4)$$

Nazwijmy  $k = f \frac{p}{q} \dots \dots \dots (5)$

zaś  $a = \frac{O}{F} \dots \dots \dots (6)$

to przez całkowanie (4) otrzymamy  $q = \frac{\gamma}{k\alpha} (1 - e^{-k\alpha h})$ ,

$$\text{zaś} \quad (p = p_{\max} 1 - e^{-k\alpha h}) \dots \dots \dots (7)$$

Z uwagi na 1., 2. i 5. można przyjąć

$$k = f \operatorname{tg}^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right) \dots \dots \dots (8)$$

Jeżeli nazwiemy  $1 - e^{-k\alpha h} = \xi$ , to  $p = \xi p_{\max}$ ,  $q = \xi g_{\max}$ . Wielkości  $\xi$  zestawione są w tablicy na str. 2191:

Obliczenie ścian: Silosy okrągłe por. obliczenie zbiorników str. 2185.

Silosy kwadratowe:

$$M_a = + \frac{p a^2}{24}, \quad M_m = - \frac{p a^2}{12},$$

$$\text{siła osiowa rozciągająca} \quad N = \frac{p a}{2}.$$

Silosy prostokątne:

$$M_m = - \frac{1}{12} p \frac{J_b a^3 + J_a b^3}{J_b a + J_a b}, \quad \text{dla } J_a = J_b, \quad M'_m = - \frac{1}{12} p \frac{a^3 + b^3}{a + b},$$

$$M_a = + \frac{1}{24} p \left( 3a^2 - 2 \frac{J_b a^3 + J_a b^3}{J_b a + J_a b} \right), \quad M'_a = \frac{1}{24} p \frac{a^3 + 3a^2 b - 2b^3}{a + b},$$

$$M_b = \frac{1}{24} p \left( 3b^2 - 2 \frac{J_b a^3 + J_a b^3}{J_b a + J_a b} \right), \quad M'_b = \frac{1}{24} p \frac{b^3 + b^2 a - 2a^3}{a + b}.$$

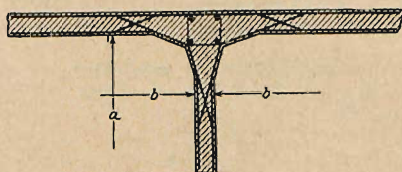


Fig. 730.

Siły osiowe w ścianie krótszej  $N_b = 0,5 p a$ , w dłuższej  $N_a = 0,5 p b$ . Ściany liczy się zatem na mimośrodkowe rozciąganie mimośródk, przyczem

$$c = \frac{M}{R}.$$

Jeżeliby  $M_b$  wypadło ujemne, to i tak należy w danym boku zastosować uzbrojenie na  $+ M_b = + p \frac{b^2}{24}$ .

Wedle tych samych wzorów można obliczać siłosy celkowe, dając jednak w ścianach wewnętrznych uzbrojenie obustronne.

Uzbrojenie naroży por fig. 730.

Silo y wielkokomorowe mają zazwyczaj ściany wzmocnione przy pomocy żeber w odstępach 3–5 m.

Tablica spóliczynników  $\xi$ .

$h$	$\alpha k = \frac{Ok}{F}$ w $m^{-1}$																			
	0,050	0,075	0,100	0,125	0,150	0,175	0,200	2,225	0,250	0,275	0,300	0,325	0,350							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
1	0,049	0,072	0,095	0,117	0,139	0,160	0,181	0,202	0,221	0,240	0,259	0,277	0,294							
2	0,095	0,139	0,181	0,221	0,259	0,294	0,330	0,362	0,393	0,423	0,451	0,478	0,503							
3	0,139	0,202	0,259	0,312	0,362	0,408	0,451	0,491	0,528	0,562	0,594	0,623	0,650							
4	0,181	0,259	0,330	0,393	0,451	0,483	0,550	0,594	0,632	0,667	0,699	0,727	0,753							
5	0,221	0,312	0,393	0,464	0,528	0,583	0,632	0,675	0,714	0,747	0,777	0,803	0,826							
6	0,259	0,362	0,451	0,528	0,594	0,650	0,699	0,741	0,777	0,808	0,835	0,861	0,878							
7	0,294	0,408	0,503	0,583	0,650	0,705	0,753	0,793	0,826	0,858	0,878	0,896	0,914							
8	0,330	0,451	0,550	0,632	0,699	0,753	0,798	0,835	0,865	0,889	0,909	0,926	0,939							
9	0,362	0,491	0,594	0,675	0,741	0,793	0,835	0,868	0,893	0,916	0,933	0,946	0,957							
10	0,393	0,528	0,632	0,714	0,777	0,826	0,865	0,893	0,918	0,936	0,950	0,961	0,970							
11	0,423	0,562	0,667	0,747	0,808	0,858	0,889	0,916	0,936	0,951	0,963	0,972	0,979							
12	0,451	0,594	0,699	0,777	0,835	0,878	0,909	0,933	0,950	0,963	0,973	0,980	0,985							
13	0,478	0,623	0,727	0,803	0,861	0,896	0,926	0,946	0,961	0,972	0,980	0,985	0,989							
14	0,503	0,650	0,753	0,826	0,878	0,914	0,939	0,957	0,970	0,979	0,985	0,989	0,993							
15	0,528	0,675	0,777	0,846	0,893	0,929	0,950	0,966	0,977	0,984	0,989	0,992	0,995							
16	0,550	0,699	0,798	0,864	0,909	0,939	0,962	0,973	1	1	1	1	1							
18	0,594	0,741	0,835	0,893	0,933	0,957	0,973	1	1	1	1	1	1							
20	0,632	0,777	0,865	0,920	0,950	0,970	1	1	1	1	1	1	1							

Obliczenie uzbrojenia najlepiej przeprowadzić wedle art. Dra Chmielowca: Obliczenie ścian całkowych silosów żelbetowych. Przegląd techniczny 1928:

Znając grubość ścianki  $h$  i odstęp wkładek od krawędzi  $a$ , znajdziemy najwygodniej potrzebne uzbrojenie  $F$  jako rzędną punktu przecięcia się krzywych  $F_1$  i  $F_2$ , przyczem 1. dla ściany zewnętrznej (uzbrojenie jednostronne), jeżeli nazwiemy  $A = N : \sigma_z$ ,  $B = \frac{b}{30} \frac{x^2}{h-a-x}$ ,  $C = Ae - B \left( \frac{h}{2} - \frac{x}{3} \right)$  to  $F_1 = A + B$ ,  $F_2 = C : \left( \frac{h}{2} - a \right)$ ; 2. dla ściany wewnętrznej zaś (uzbr. symetryczne)  $A = N (h - a - x) : \sigma_z$ ,  $\beta = \frac{bx^2}{30}$ ,  $C = 2eA - B \left( h - \frac{2}{3}x \right)$ ,  $F_1 = (A + B) : (h - 2x)$ ,  $F_2 = C : (h - 2a)^2$ . Całkowite uzbrojenie na szerokości  $b$  (zwykle 100 cm) wynosi  $2F$ . Przyjmując kilka dowolnych wartości dla  $x$  obliczamy  $F_1$  i  $F_2$  tabelarycznie i wykreślamy krzywe  $F_1$  i  $F_2$  na papierze kratkowanym lub milimetrowym od ręki. Rzędna punktu przecięcia się obu krzywych przedstawia szukaną wartość  $F$ . Odcięta zaś daje odstęp osi obojętnej od warstwy skrajnej ścisłkanej. Naprężenie wkładek rozciąganych  $\sigma_z$  przyjmujemy równe dopuszczalnemu  $\sigma_z = k$ , naprężenie wkładek ścisłkanych  $\sigma_z' = \sigma_z \frac{x-a}{h-a-x}$ , naprężenie w betonie  $\sigma_b = \frac{\sigma_z}{15} \frac{x}{h-a-x}$ .

W ścianach zewnętrznych należy przyjąć mniejsze naprężenie dopuszczalne żelaza na rozciąganie  $k_z = 1000 \text{ kg/m}^2$  z uwagi na różnicę tem-

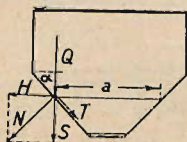


Fig. 731.

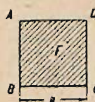


Fig. 732.

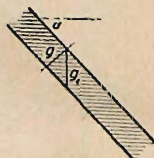


Fig. 733.

peratur zewnętrznej i wewnętrznej, a także zmniejszyć naprężenie dopuszczalne betonu. Grubość ścian przyjmuje się conajmniej 6—8 cm.

Lejkowate dno silosu całkowego oblicza się pod założeniem, że sytki materiał jest płynem nieściśliwym, który wywiera na jednostkę rzutu poziomego pochyłej ściany pionowe ciśnienie

$$g = \frac{fp}{R} = p \cotg^2 \left( 45 - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Siła  $Q = Fq_{\max}$  rozkłada się na  $N$  i  $T$  (fig. 731). Siła  $T$  powoduje rozciąganie podłużne. Siła  $N$  rozkłada się na  $H$  i  $V$ . Siła  $H$  powoduje w obwodzie  $ABCD$  (fig. 732) rozciąganie  $R$  i moment  $M$ , zaś siła  $V$  przeciwdziała naprężeniu ścinające:

$$T = \frac{V}{Og_1},$$

gdzie  $g_1 = g : \cos \alpha$ , jest pionową grubością pochyłej ściany (fig. 733). Konstrukcja lejka por. np. fig. 734.

Dla małych silosów można wykonać dno poziome i nadbetonować je chudym betonem (fig. 724), celem uzyskania odp. lejków (sposób łatwiejszy, ale wymagający większej ilości materiału).

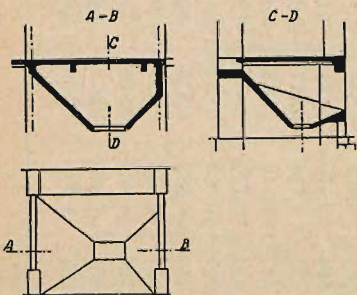


Fig. 734.