

# DOUĂ SILOSURI

pentru ciment și făină de ciment brută

CONSTRUITE DE

**Societatea de Beton armat Wladimir de Hertza & Inginer S. Soru**

DE

**INGINER S. SORU**

Diplomat al Școlii Naționale de Poduri și Șosele

Societatea anonimă de materiale de construcții «Titan» a clădit pe terenul iei, în mărime de 24 hectare, de pe lângă șoseaua Călărașilor (Vergului), 1 km de raza orașului București, două fabrici imponente: una pentru ciment și alta pentru cărămidă silico-calcară, din care prima are o producție anuală de 30000 t. ciment, cu posibilitate de dublare, și a doua de 20 milioane cărămizi.

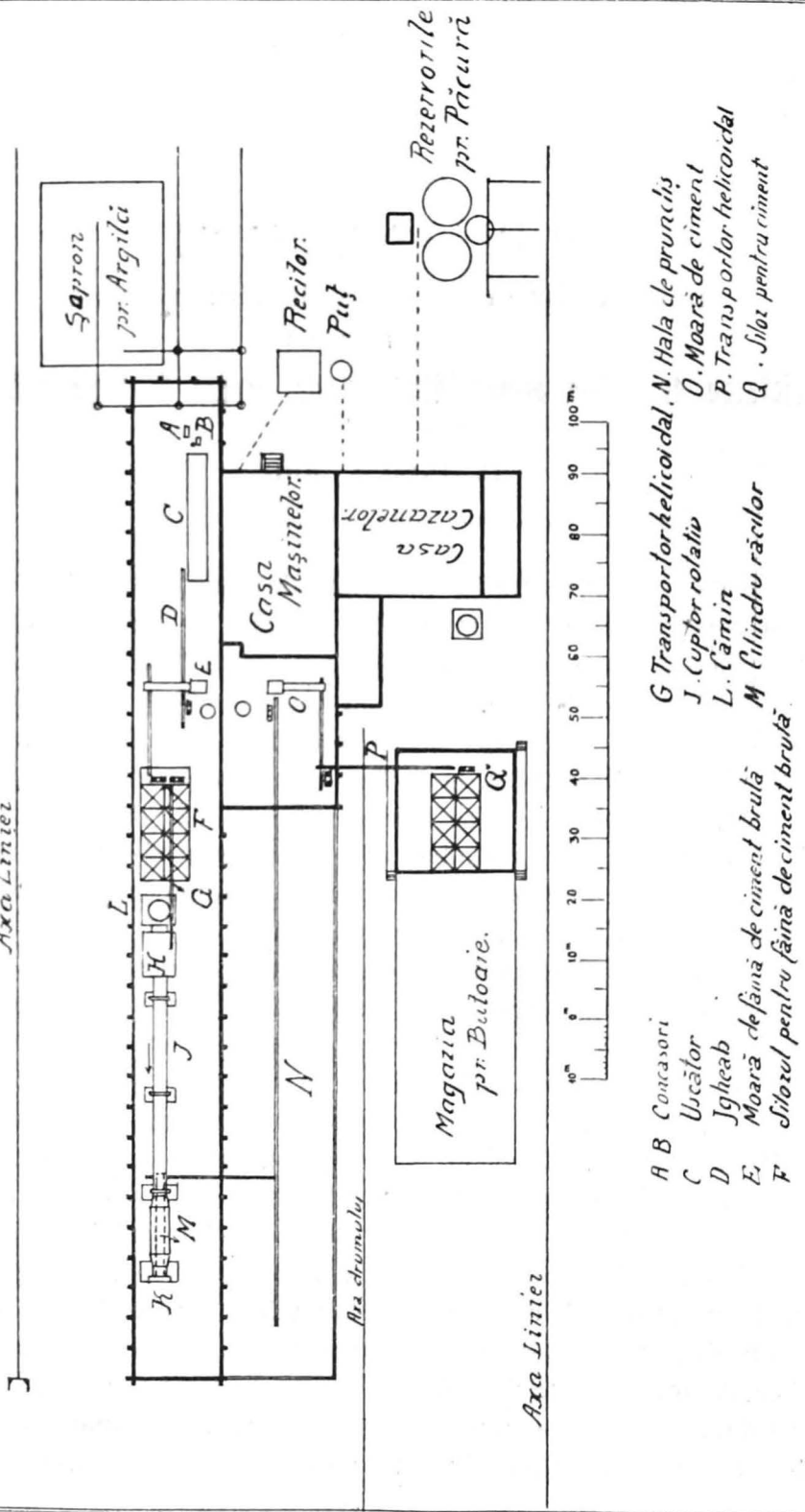
Ambele fabrici, cari se alimentează ca materii prime cu nisipul și argila găsite în abundență la fața locului și cu piatră calcară adusă din carierele din Dobrogea și Dâmbovița, și cari sunt deservite de o linie de garaj ce le leagă cu C. F. și de o haltă a C. F. așezată în dreptul lor, urmează a fi inaugurate în curînd și vor ocupa de sigur dat fiind, că iele au fost construite după ultimele cerințe ale tehnicii moderne, un loc de frunte între stabilimentele industriale din țară.

Cele 2 silozuri, de cari voim să ne ocupăm, fac parte din fabrica de ciment. Rostul lor se vede din fig. 1 care reprezintă în mod schematic mersul fabricațiunei.

Cele 2 materii prime constitutive ale cimentului, peatra calcară și argila, intră în concasorii A și B, de unde după sfărămare trec în uscătorul C. care le scoate umiditatea și le dă apoi drumul în șgheabul tremurător (Schüttelrinne) D ce le duce cu ajutorul unei helice de transport (Schnecke) la moara de făină brută E, unde are loc prima măcinare a amestecului, în urma căreia materialul ie ridicat de elevatori și introdus în *silosul pentru făină brută* (Rohmehl-

# Fabrica de Ciment „Titan”

Dispoziția generală a fabricii -  
Axa Liniei



- A B Concasoare
- C Urcător
- D Igheab
- E Moară de făină de ciment brută
- F Silozul pentru făină de ciment brută
- G Transportor helicoïdal
- J. Cuptor rotativ
- L. Cămin
- M Cilindru răcirii
- N. Hala de prunchis
- O. Moară de ciment
- P. Transportor helicoïdal
- Q. Siloz pentru ciment

Fig. 1

silo) F. Prin gurile de scurgere de la partea inferioară a pîlniilor, se poate da apoi materialului printr'un elevator, acces la șgheabul cu helicea de transport G ce-l duce la capul H al cuptorului rotativ (Drehofen) J. La capătul opus K al cuptorului are loc arderea păcurei, a cărei flacără pătrunde în interiorul cuptorului, în care, la o temperatură de 1800°, se face arderea materialului. În scopul unui contact cît mai intim al flacărei cu materialul ce intră în cuptor pe partea opusă, iel capătă în virtutea mișcărilor combinate de translație și de rotație—prima din cauza pantei și a doua din cauza mișcării de rotație a cuptorului—o mișcare helicoidală. Tragerea în interiorul cuptorului ie activată de căminul L. Arderea terminată, materialul în formă de prundiș (Klinker) cade în cilindrul recitor M așezat de desuptul cuptorului, de unde i-e apoi luat și depositat în hala pentru prundiș (Klinkerhalle) N. De aici ie transportat la moara de ciment O, unde are loc ultima operație de macinare și în urma căreia se obține cimentul, așa cum se vinde în comerțiu.

Necesitatea de înmagazinare a cimentului fabricat, pe de o parte, și aceia a unei expediții raționale a mărfii, pe de altă parte a condus la ideia silozurilor ca ultimă verigă în lanțul fabricațiunei. Din moara O pulberea de ciment obținută trece dar prin helicea de transport P spre *silosul de ciment* Q. În ale cărui celule ie introdusă prin intermediul unel elevator și al unor helice de transport așezate deasupra celulelor.

Combustibilul întrebuițat în fabricație ie păcura. Aburul produs prin ferberea apei trece prin tuburi din casa cazanelor în casa mașinelor, unde pune în mișcare mașinele de aburi, cari la rîndul lor pun în mișcare prin intermediul a doi generatori, 10 motori electrici (7 în fabrica de ciment și 3 în fabrica de cărămizi); iar acestea pun în mișcare mașinele și aparatele la cari sunt atașați. Puterea motrice disponibilă ie calculată la 1300 cai putere.

*Silosul de ciment* servă, după cum am arătat, pentru înmagazinarea cimentului gata fabricat. El ie construit întreg din beton armat care, în special prin proprietatea lui de a-i se putea da ușor forme complicate, se pretează mai mult ca ori-care alt material la ast-fel de construcții, fără a mai vorbi de celelalte calități excelente ale lui precum rezistența la foc, lipsa nevoiei de întreținere și reparațiuni etc. etc.

Pe planșa X se află reprezentată construcția, care constă din 8 celule pătrate terminate cu pînii de scurgere, a căror secție dreaptă e în formă de octogon regulat.

Celulele sunt acoperite cu uu planșeu horizontal prevăzut cu orificii de introducere a materialului adus pe calea arătată din moara de ciment. Sus construcția se termină cu un acoperiș făcut și el din beton armat și acoperit cu o învelitoare din carton asfaltat.

În afară de corpul celular care, spre a feri materialul înmagazinat de influența intimperiiilor mai este îmbrăcat pe din afară cu un perete de cărămidă de care-l desparte un strat de aer izolator de vre-o 8 cm. grosime, mai sunt de menționat stîlpii de razâm, casa scării și scara, cum și halele pentru împachetatul cimentului (Packhallen) și rampele de încărcare, care-s toate din beton armat.

Scurgerea cimentului din pînii în saci are loc când se deschid zăvoarele metalice atașate de gurile pîniiilor. Sacii ast-fel umpluți se cîntăresc și sunt duși spre una sau cealaltă din cele 2 hale, după cum transportul lor urmează a se face pe calea ferată sau pe șosea. Pentru a obține înălțimea rampelor comodă pentru încărcare de asupra șoselei, respectiv a C. F., era necesară o umplură de pămînt susținută de jur împrejur de un zid de sprijin în beton, care servă în acelaș timp pentru înțepenirea rampelor construite în porte à faux.

Fundațiile stîlpilor sunt din beton și mărimea lor corespunde unei presiuni pe pămînt de  $2,5 \text{ kg/cm}^2$ . În cele 8 celule se poate înmagazina o cantitate de ca.  $1800 \text{ m}^3$  sau 250 vagoane ciment.

Calculul pereților celulari ca și al pîniiilor s'a făcut după principiile dezvoltate de autorul acestor rînduri în uvrajul său despre silosuri, care face parte integrantă din «*Handbuch für Eisenbetonbau*» al lui *Ungerer*. Le repetăm aicea pe scurt :

Determinarea presiunii laterale exercitate de material asupra pereților celulei nu se poate face după legea împingerii pămîntului întrebuițată la calculul zidurilor de sprijin, căci la o adîncime oare-care, planul de alunecare ce delimitează prisma de presiune, nu mai taie suprafața materialului din celulă ; legea după care variază presiunea, și care în metodele obicinuite la ziduri de sprijin era dedusă din condițiile de echilibru al prisme de presiune, în cazul celulei nu mai este dar aplicabilă. Din motive analoge nu se pot întrebuița nici metodele deduse pe cale analitică pentru

împingerea pământului de *Mohr*, *Rankine* etc. Nu se poate invoca nici legea hidrostatică care nu-i valabilă de cît pentru fluide (frecarea între molecule = 0).

De aceea era imperios a se trata chestiunea — independent și de legea împingerii pământului și de cea hidrostatică — atît pe cale experimentală cît și pe cale teoretică, căutînd a stabili metode de calcul în armonie cu rezultatele obținute pe ambele căi.

Cel dintîu care a stabilit, sprijinindu-se pe experiențe proprii, o metodă de calcul a presiunii materialului în celulă este germanul *Janssen*.

El a observat că presiunea verticală a materialului în celulă crește cu adîncimea numai pînă la un punct dat, dela care apoi ea rămîne constantă, și a dedus de aceea că dela acest punct-limit, căruia-i corespunde și presiunea laterală maximă, în jos, greutatea materialului e în echilibru cu forțele de frecare dezvoltate între material și pereții celulei. Aceasta l-a condus, bazat și pe ipoteza că presiunea laterală e proporțională cu cea verticală, la următoarea metodă de calcul :

Insemnînd cu :

$p_b$  presiunea specifică verticală

$p_s$  » » laterală

$f = \operatorname{tg} \varphi' =$  Coeficientul de frecare între material și peretele celulei.

$$k = \frac{p_s}{p_b} \cdot f$$

$U =$  perimetrul celulei

$F =$  secția dreaptă a coloanei de material din celulă

$x =$  adîncimea considerată a materialului

$\gamma =$  greutatea specifică » »

$e =$  baza logarimilor naturali

atuncea rezultă (fig. 2)

$$F (p_b + dp_b - p_b) = \gamma F dx - fp_s U dx$$

$$dp_b = \gamma dx - \frac{fp_s U}{F} dx$$

sau înlocuind  $f$  cu  $f = \frac{kp_b}{p_s}$  obținem

sau :

$$df_b = \gamma dx - k p_b \frac{U}{F} dx$$

$$\frac{df_b}{\gamma \left( 1 - \frac{k U f_b}{F \gamma} \right)} = dx.$$

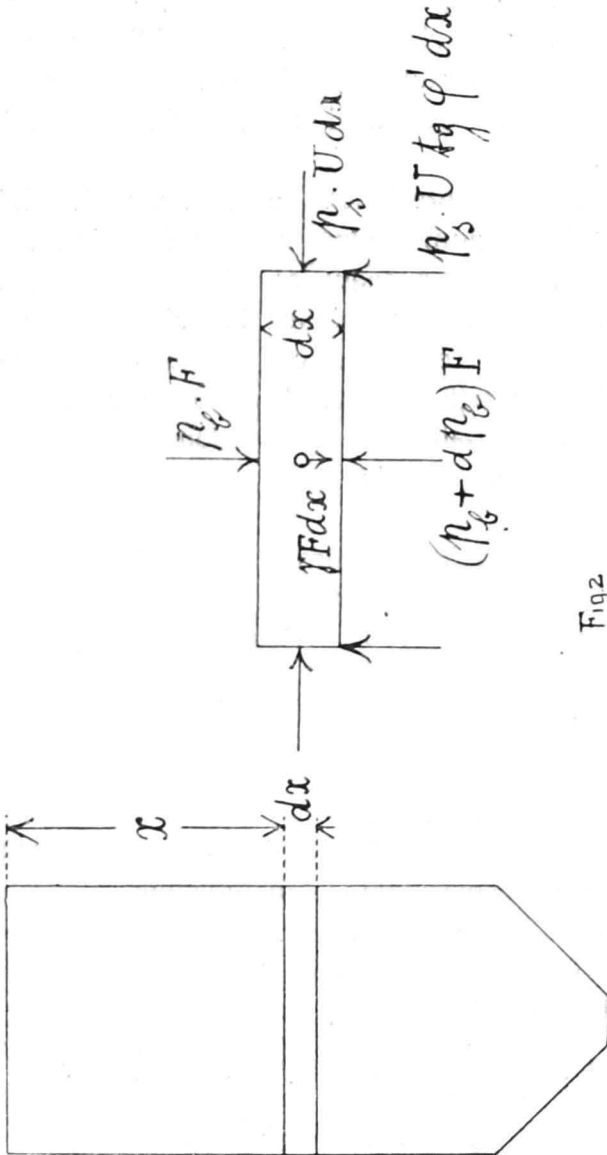


Fig. 2

Integrarea între limitele 0 și  $f_b$ , respectiv 0 și  $x$ , dă :

$$\int_0^{p_b} \frac{dp_b}{\gamma \left( 1 - \frac{k U f_b}{F \gamma} \right)} = \int_0^x dx$$

sau :

$$-\frac{F}{kU} \log \text{nat} \left( 1 - \frac{kU}{\gamma F} p_b \right) = x$$

sau :

$$\log \text{nat} \left( 1 - \frac{kU}{F \gamma} p_b \right) = -\frac{kUx}{F}$$

$$1 - \frac{kU}{F \gamma} p_b = e^{-\frac{kUx}{F}}$$

$$1 - e^{-\frac{kUx}{F}} = \frac{kU}{F \gamma} \cdot p_b$$

De unde rezultă

$$(1) \quad p_b = \frac{F \gamma}{kU} \left( 1 - e^{-\frac{kUx}{F}} \right)$$

$$(2) \quad p_s = \frac{k p_b}{f} = \frac{F \gamma}{fU} \left( 1 - e^{-\frac{kUx}{F}} \right)$$

Pentru o celulă patrată cu latura =  $s$  avem  $F = s^2$  și  $U = 4s$   
 Expresiunile (1) și (2) devin atunci :

$$p_b = \frac{s \gamma}{4k} \left( 1 - e^{-4k \frac{x}{s}} \right)$$

$$p_s = \frac{s \gamma}{4f} \left( 1 - e^{-4k \frac{x}{s}} \right)$$

Pentru a calcula  $p_b$  și  $p_s$  într'un caz dat mai lipsesc numai valorile lui  $k$  și a lui  $f$ . *Janssen* pune  $k$  variabil între 0,203 și 0,235, și  $f$  variabil între 0,302 și 0,345 și ia :

$$p_s = \frac{0,235}{0,345} p_b = 0,680 p_b,$$

sau :

$$p_s = \frac{0,203}{0,302} p_b = 0,675 p_b,$$

ceea ce dă rotund :  $p_b = 0,7 p_b$ .

*Koenen* reia calculul lui *Janssen* și pune :

$$k = \frac{p_s}{p_b} \cdot f = \frac{\gamma x \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)}{\gamma x} \operatorname{tg} \varphi' = \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi',$$

în care  $\gamma x \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$  corespunde formulei cunoscute pentru împingerea pământului sub influența unei supraîncărcări;  $\varphi$  este unghiul taluzului natural al materialului, și  $\varphi'$  unghiul de frecare a materialului de peretele celular.

Cu notația :

$$m = \frac{kU}{F} = \frac{U}{F} \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \operatorname{tg} \varphi'.$$

se obține :

$$(3) \quad f_b = \frac{\gamma}{m} (1 - e^{-mx}),$$

și :

$$(4) \quad p_s = \frac{\gamma}{m} (1 - e^{-mx}) \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

Ultima ecuație se poate reprezenta grafic, raportînd-o la sistemul de axe coordonate XOY în care abscisele să reprezinte adîncimile  $x$  și ordonatele presiunile laterale corespunzătoare  $p_s$ . Se obține astfel curba presiunilor laterale, care trece prin origina O a axelor coordonate, căci pentru  $x=0$ ,  $e^{-mx}=e^0=1$  și  $p_s=0$ .  $p_s$  crește cu  $x$  și devine pentru  $x=\infty$  :

$$p_{smax} = \frac{\gamma}{m} \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{\gamma}{\frac{U}{F} \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) \operatorname{tg} \varphi'} \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right)$$

sau :

$$f_{smax} = \frac{\gamma}{\frac{U}{F} \operatorname{tg} \varphi'},$$

Pentru o celulă patrată cu lățimea  $s$  această expresie devine :

$$f_{smax} = \frac{\gamma s}{4f}$$

( $f = \operatorname{tg} \varphi'$ ).

Linia dreaptă :

$$y = f_{smax},$$

reprezintă asymptota curbei.

Pentru simplificarea calculului *Mörsch* propune a se înlocui curba cu linia frântă OFC la care OF corespunde ecuației :



$$y = \gamma x \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right).$$

Această linie dreaptă ie tangentă la curbă în O căci pentru acest punct derivata :

$$\begin{aligned} \frac{d p_s}{d x} &= -\frac{\gamma}{m} \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \frac{-m}{c^{m x}} = \gamma \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \frac{1}{c^{m x}} = \\ &= \gamma \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{d y}{d x}. \end{aligned}$$

În modul acesta se obțin însă valori prea mari pentru  $f_s$ , cum se poate vedea din următorul exemplu numeric, care arată în acelaș timp cum se pot aplica formulele de mai sus.

Să luăm o celulă dreptunghiulară cu dimensiunile 4,80m.  $\times$  3,64m. în plan și 19,0 m înălțime.

Materialul ie grâu cu :

$$\gamma = 760 \text{ kg/m}^3 \quad \varphi = 26^\circ \quad \varphi' = 18^\circ.$$

Se obține :

$$\operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = 0,3895 \quad \operatorname{tg} \varphi' = 0,32.$$

$$\frac{U}{F} = \frac{2(4,8 + 3,64)}{4,8 \times 3,64} = 0,97.$$

Așa dar :

$$m = \frac{U}{F} \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi' = 0,97 \cdot 0,3895 \cdot 0,32 = 0,121.$$

Adîncimea  $h$  căreia-i corespunde  $f_{s \max}$  se găsește la intersecția dreptelor  $y = p_{s \max}$  și  $y = \gamma x \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$  și se dedă la :

$$h = \frac{p_{s \max}}{\gamma \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} = \frac{\frac{\gamma}{F} \operatorname{tg} \varphi'}{\gamma \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)} = \frac{1}{\frac{U}{F} \cdot \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \operatorname{tg} \varphi'} = \frac{1}{m},$$

sau :

$$h = \frac{1}{0,121} = 8,3 \text{ m.}$$

iar :

$$p_{smax} = \frac{760}{0,97 \cdot 0,32} = 2450 \text{ kg/m}^2.$$

La adîncimea  $x=8,3$  se obține după metoda exactă :

$$p_s = \frac{760}{0,121} (1 - e^{-0,421 \cdot 8,3}) \cdot 0,3895.$$

$$e^{-0,421 \cdot 8,2} = e^{-1} = \text{Cosh } 1 - \sinh 1 = 1,5431 - 1,1752 = 0,3679,$$

așa dar :

$$p_s = \frac{760}{0,121} (1 - 0,3679) \cdot 0,3895 = 1540.$$

Eroarea ce se comite prin înlocuirea curbei cu linia frîntă O F C este  $dără = 2450 - 1540 = 910$ ; adică se calculează cu  $\frac{910}{1540} = \approx 60\%$  în plus.

Pentru a evita ast-fel de erori, fără a recurge totuș la calculul exact prea complicat pentru trebuințele practice, se poate întrebuița metoda următoare care întrunește condițiile de exactitate — din punct de vedere practic — și de simplitate în aplicare. Se determină în fig. 3 punctul de intersecție D a horizontalei duse prin F cu curba, și se duce prin D o tangentă la această curbă, care se prelungește pînă la intersecția ei în A cu axa O Y și în cu asimptota G C. Înlocuim apoi curba cu linia frîntă O A B C. Triunghiul în plus O A E nu strică, căci ori-cum peretele nu poate începe sus cu o grosime = 0; pe de altă parte dispăre triunghiul E D F care mărea inutil presiunile.

Ecuția tangentei A B este :

$$Y = \frac{dp_s}{dx} X + n,$$

Cu :

$$\frac{dp_s}{dx} = \gamma \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \frac{1}{e^{mx}}.$$

care pentru  $x = b = \frac{1}{m}$  devine :

$$\frac{dp_s}{dx} = \frac{\gamma}{e} \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right),$$

și ecuația tangentei devine :

$$Y = \frac{\gamma}{e} \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) X + n.$$

Egalind ordonata curbei și a tangentei pentru punctul de contact se obține :

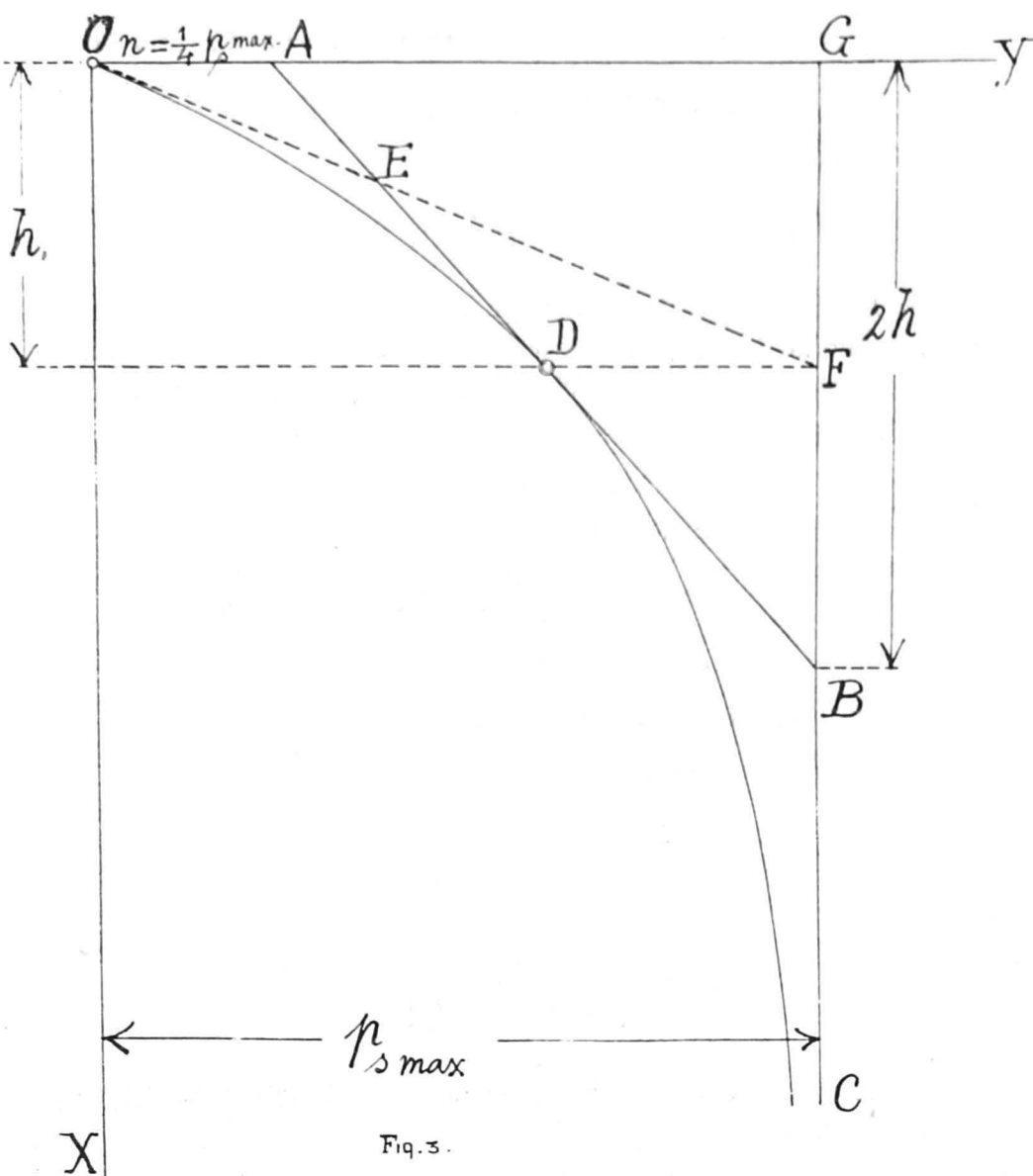


Fig. 3.

$$\frac{\gamma}{m} \left(1 - e^{-m \cdot \frac{1}{m}}\right) \cdot \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) = \frac{\gamma}{e} \operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\varphi}{2}\right) h + n.$$

sau :

$$n = \gamma b \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \left[ 1 - \frac{1}{e} - \frac{1}{e} \right] = 0,264 p_{smax},$$

valoare ce se dedă prin înlocuirea lui  $e$  (baza logaritmilor naturali), prin  $e = 2,7182$  și a productului  $\gamma b \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right)$  prin  $p_{smax}$ .

Introducînd valoare lui  $n$  — pe figură reprezentată prin distanța  $OA$  — cum și  $\gamma \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) = \frac{f_{smax}}{b}$  în ecuația tangentei, aceasta devine :

$$(5) \quad Y = f_s = p_{smax} \left( \frac{0,3679}{b} X + 0,2642 \right),$$

$f_{smax}$  și  $b$  odată calculate, putem cu ajutorul acestei formule determina valorile lui  $f_s$  pentru diferitele valori ale lui  $X$ . Formula aceasta e valabilă pînă la punctul de intersecție  $B$  a tangentei  $AB$  cu asimptota. De aici în jos se ia :

$$f_s = f_{smax}.$$

Abcisa punctului  $B$  se dedă la :

$$X_B = \frac{1 - 0,2642}{\frac{0,3679}{b}} = 2b.$$

Mersul operațiunii este dar următorul :

Se determină valorile :

$$p_{smax} = \frac{\gamma}{\frac{U}{F} \cdot \operatorname{tg} \varphi'},$$

și :

$$b = \frac{f_{smax}}{\gamma \operatorname{tg}^2 \left( 45^\circ - \frac{\gamma}{2} \right)}.$$

Se desemnează apoi sistemul de axe coordonate  $XOY$  (fig. 3) și se ea pe  $OY$ ,

$$OA = 0,264 f_{smax},$$

sau rotund :

$$OA = \frac{1}{4} p_{smax}.$$

Se trage apoi paralela GC la OX la distanța  $OG = p_{smax}$  și se face :

$$GB = 2b,$$

se leagă apoi A cu B.

Linia OABC reprezintă atunci, prin ordonatele sale în raport cu OX, diagrama presiunilor laterale.

Valorile lui  $p_s$  se pot obține și analitic cu ajutorul ecuației (5). Presiunea verticală maximă se dedă la :

$$f_{bmax} = \frac{f_{smax}}{\operatorname{tg}^2\left(45^\circ - \frac{\gamma}{2}\right)}.$$

După determinarea presiunilor se pune problema determinării momentelor încovoietoare pe baza cărora urmează a se face dimensionarea pereților.

În fig. 4 este înfățișată o celulă dreptunghiulară cu laturile  $b$  și  $l$  supuse unei presiuni interioare, normală pe pereți și uniform repartizată  $p$  (în sensul perpendicular pe planul figurei se presupune o lungime = 1). Spre simplificarea calculului se consideră celula

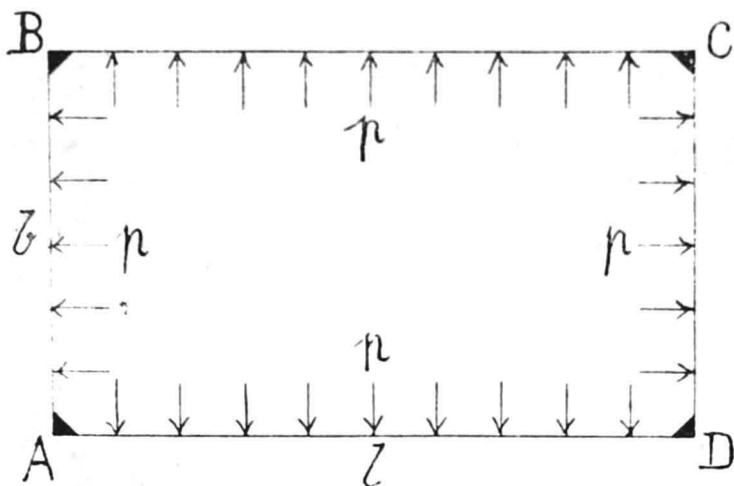


Fig. 4.

izolată, adică independentă de cele vecine, și o aceeași grosime pentru toți pereții (Momentul de inerție = constant). Se mai presupune, ceea ce e constructiv realizabil, că pereții adjațenți sunt în așa grad înțepeniți unul într'altul încât, după deformare, tangentele la liniile elastice în colțurile celulei să facă între ele tot un unghi drept (fig. 5).

Considerînd dară celula ABCD (fig. 6), se vede ușor, că din cauza simetriei, cele 4 momente de înțepenire (la colțuri) sunt egale. Să le însemnăm cu  $M_E$ . Momentul încovoetor în punctul cu abscisa  $x$  al peretelui AD este dar :

$$M_x = M_E + \frac{1}{2} p x (l-x).$$

Din ecuația liniei elastice :

$$EJ \frac{d^2y}{dx^2} = M_x = M_E + \frac{1}{2} p x (l-x),$$

se obține prin integrare, cu  $EJ = \text{const}$  :

$$EJ \int_0^l d \left( \frac{dy}{dx} \right) = M_E \int_0^l dx + \frac{1}{2} p \int_0^l x (l-x) dx,$$

sau :

$$EJ \left( \frac{dy}{dx} \right)_0^l = M_E l + \frac{1}{12} p l^3.$$

Cu referire la fig. 5, în care liniile punctate represintă tan-

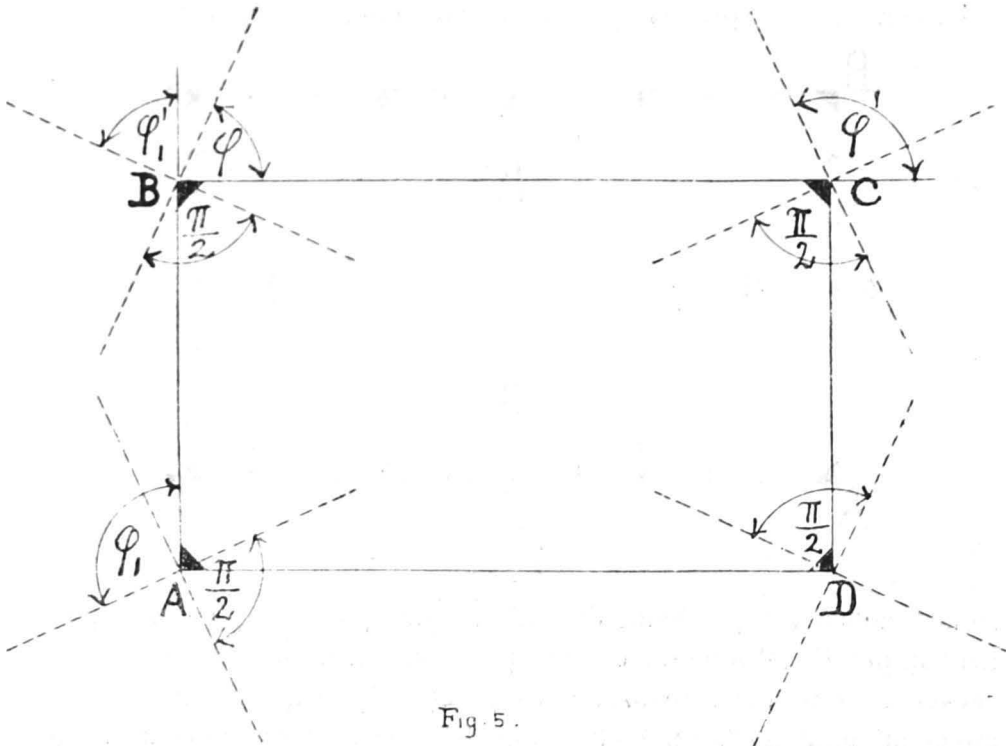


Fig. 5.

gentele la liniile elastice în colțurile celulei, se obține pentru latura BC :

$$(6) \quad EJ(\operatorname{tg} \varphi' - \operatorname{tg} \varphi) = M_E l + \frac{1}{12} p l^3,$$

și pentru latura A B :

$$(7) \quad EJ(\operatorname{tg} \varphi'_1 - \operatorname{tg} \varphi_1) = M_E b + \frac{1}{12} p b^3.$$

Pe de altă parte avem :

$$\varphi + \varphi_1 = \pi; \operatorname{tg} \varphi_1 = -\operatorname{tg} \varphi,$$

$$\varphi' + \varphi'_1 = \pi; \operatorname{tg} \varphi'_1 = -\operatorname{tg} \varphi'.$$

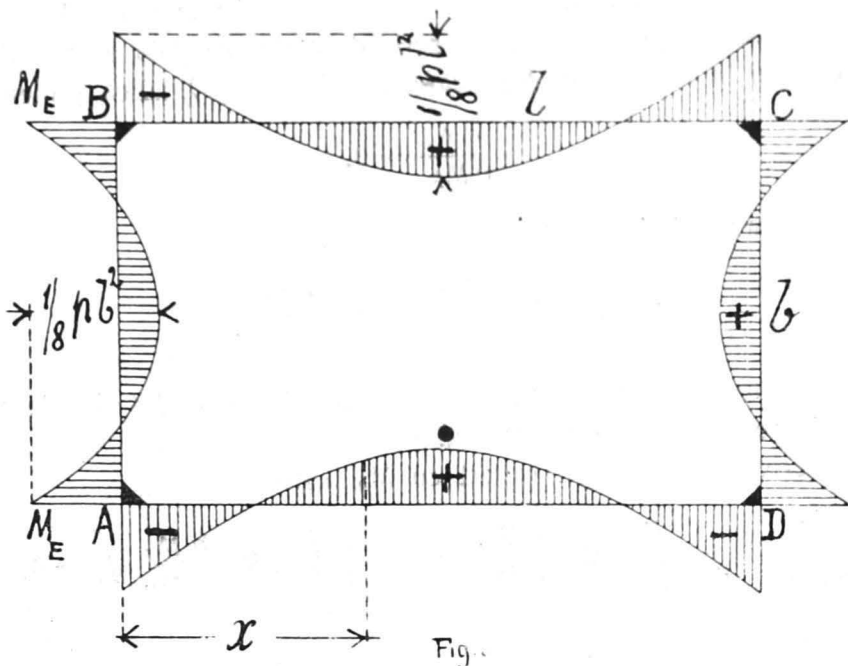
Aceste valori introduse în (7) dau :

$$(8) \quad EJ(-\operatorname{tg} \varphi' + \operatorname{tg} \varphi) = M_E b + \frac{1}{12} p b^3.$$

Adunînd (8) cu (6) obținem :

$$M_E = \frac{1}{12} p \cdot \frac{b^3 + l^3}{b + l}.$$

În fig. 6 suprafețele hașurate reprezintă diagrama momentelor



incovoietoare, cari odată determinate dimensionarea pereților se face după metodele obicnuite.

Momentele pozitive maxime sunt :

$$M_b = \frac{1}{8} p b^2 - \frac{1}{12} p \cdot \frac{b^3 + l^3}{b + l} = \frac{1}{8} p b^2 - \frac{1}{12} (b^2 - bl - l^2),$$

sau :

$$M_b = \frac{1}{24} p (b^2 + 2 bl - 2 l^2),$$

și :

$$M_l = \frac{1}{24} p (l^2 + 2 bl - 2 b^2).$$

În ipoteza unei celule pătrate ( $b=l$ ) se obține :

$$M_E = - \frac{1}{12} p l^2,$$

$$M_l = + \frac{1}{24} p l^2,$$

adică valori la fel ca pentru o grindă perfect înțepenită la razăme și încărcată uniform pe toată lungimea ei.

Dacă numai cîte 2 pereții paraleli au acelaș moment de inerție, d. e. pereții cu lungimea  $l$   $J_l$  și cei cu lungimea  $b$   $J_b$  atunci  $M_E$  se poate obține egalînd cu zero derivata parțială a travaliului deformaiei în raport cu  $M_E$  (legea lui *Castigliano*), adică punem :

$$\frac{\partial A}{\partial M_E} = 0,$$

în care travaliul  $A$  este :

$$A = 2 \cdot \frac{1}{2} \int \frac{M_x^2 dx}{E J_b} + 2 \cdot \frac{1}{2} \int \frac{M_z^2 dz}{E J_l},$$

$x$  și  $z$  sunt abscisele măsurate dela B pe BC resp. AB ale elementelor diferențiale  $dx$  resp.  $dz$  (fig. 6).

Derivata parțială în raport cu  $M_E$  este :

$$\frac{\partial A}{\partial M_E} = \frac{1}{E J_b} \int_0^l 2 M_x \frac{\partial M_x}{\partial M_E} dx + \frac{1}{E J_l} \int_0^b 2 M_z \frac{\partial M_z}{\partial M_E} dz = 0,$$

sau :

$$\frac{1}{J_b} \int_0^l M_x \frac{\partial M_x}{\partial M_E} dx + \frac{1}{E J_l} \int_0^b M_z \frac{\partial M_z}{\partial M_E} dz = 0,$$

cu :



$$M_x = M_E + \frac{1}{2} p x (l - x),$$

și :

$$M_z = M_E + \frac{1}{2} p z (l - z).$$

se obține :

$$\frac{\partial M_x}{\partial M_E} = 1; \quad \frac{\partial M_z}{\partial M_E} = 1,$$

așa dar :

$$\frac{1}{J_b} \int_0^l \left( M_E + \frac{1}{2} p l x - \frac{1}{2} p x^2 \right) dx + \frac{1}{J_l} \int_0^b \left( M_E + \frac{1}{2} p b z - \frac{1}{2} p z^2 \right) dz = 0,$$

sau :

$$\begin{aligned} & \frac{1}{J_b} \left( l M_E + \frac{1}{2} p l \cdot \frac{1}{2} l^2 - \frac{1}{2} p \cdot \frac{1}{3} l^3 \right) + \\ & + \frac{1}{J_l} \left( b M_E + \frac{1}{2} p b \cdot \frac{1}{2} b^2 - \frac{1}{2} p \cdot \frac{1}{3} b^3 \right) = 0, \end{aligned}$$

ceia-ce dă :

$$M_E = - \frac{1}{12} p \cdot \frac{J_l \cdot l^3 + J_b \cdot b^3}{J_l \cdot l + J_b \cdot b}.$$

*Silosul pentru făină de ciment brută.* Acest silos este constituit asemenea din 8 celule pătrate acoperite cu un planșeu și terminate cu pîlnii de scurgere (Planșa XI). Totul e sprijinit pe stîlpi susținuți la rîndul lor de fundații de beton, cari transmit sarcinile pe teren așa că rezultă o presiune de 2,5 kg/cm<sup>2</sup>. Cu excepția fundațiilor, toată construcția e din beton armat și e calculată, în ceia-ce privește corpul celular, după pricipiile dezvoltate mai sus.

Silosul acesta, ăl cărui scop se vede din descripția mersului fabricațiunei, făcută la început, are o capacitate de ca. 1300 m<sup>3</sup>. Aflîndu-se în interiorul casei cuptoarelor n'are nevoie de acoperiș.