

CENTRAAL INSTITUUT VOOR LANDBOUWKUNDIG ONDERZOEK

Publikatie van het Droogtechnisch Laboratorium, no.74

ONTWERP VOOR KLEINE SILO'S VAN GEWAPEND BETON VOOR
GRAANOPSLAG IN DE BUITENLUCHT OP HET BOERENBEDRIJF

door

Prof.ir J.J.I.Sprenger

21/1/1977

ONTWERP VOOR KLEINE SILO'S VAN GEWAPEND BETON VOOR GRAANOPSLAG IN DE BUITENLUCHT OP HET BOERENBEDRIJF

door

Prof.ir J.J.I. Sprenger

Korte inhoud

Indien kleine silo's voor graanopslag op het boerenbedrijf in een schuur of loods moeten worden gebouwd, kan men als materiaal hout, board, metaalgaas of een dergelijk materiaal, op passende wijze versterkt, toepassen. Komen zij echter in de buitenlucht te staan, dan zal het wandmateriaal waterdicht en isolerend behoren te zijn; in dit geval is gewapend beton het aangewezen materiaal.

De silo's dienen boven te worden afgedekt door een licht plaatstalen dak, dan wel door hout met dakvilt of met dekzeilen. De constructie hiervan is van zo eenvoudige aard, dat het niet nodig werd geoordeeld, hiervoor details te geven.

Het hieronder volgende heeft dus betrekking op de constructie van de silo-wanden, die gedacht zijn te bestaan uit 13 cm dikke betonplanken, welke tussen stijlen worden ingeschoven en daarna monolithisch verbonden.

Bezien uit een oogpunt van sterkte-berekening, zouden de planken naar boven toe lichter kunnen worden bewapend. Zulks wordt niet voorgesteld, teneinde verwisseling tijdens de montage te voorkomen. Zou men ter besparing toch tot vermindering van bewapening willen overgaan, dan dienen de verschillende planken duidelijk gemerkt te zijn. De planken dienen echter ook dan over de volle hoogte even dik te worden genomen, anders zou een uitstekende rand ontstaan, welke het regelmatig omlaagglijden van het graan verhindert.

De monolitische constructie, zonder naden, biedt aan klanders en dergelijke parasieten geen gelegenheid, zich te nestelen.

Inleiding

Gewapend beton is volgens definitie een oordeelkundige samenvoeging van de grondstoffen voor beton (grind + zand + cement + water) met wapeningsstaal. Het materiaal is speciaal geschikt, om er tamelijk willekeurige, monolitische, constructies van te vervaardigen, waarbij het beton de drukspanningen en het staal de trekspanningen opnemen.

Evenwel vragen zowel het project als de uitvoering ervan, een bepaalde mate van deskundigheid. Men mag niet verwachten, dat de dorpstimmerman-metselaar in staat is, andere dan zeer eenvoudige gewapend-betonwerken uit te voeren. Voor een meer gecompliceerd ontwerp als het onderhavige zou men dus een speciale gewapend-betonfirma dienen aan te trekken. En dit zal slechts dan voor een redelijke prijs mogelijk zijn, indien het een groot objekt betreft, hetgeen bij voorbaat is uitgesloten.

Wenst men dus kleine silo's van gewapend beton te bouwen op een tamelijk afgelegen plaats, dan dienen daarbij de volgende richtlijnen in het oog te worden gehouden:

- a. de constructie wordt in hoofdzaak samengesteld uit op de fabriek vooraf vervaardigde ("precast") onderdelen, die op het werk in elkaar worden gezet en verbonden, of:
- b. bij het ontwerp wordt naar vergaande eenvoud gestreefd, waardoor de uitvoering binnen het bereik van een dorpstimmerman valt. Hierbij zullen de aan de constructie te stellen eisen aan de uitvoering dienen te worden aangepast.

Men heeft in Engeland getracht, voorschriften samen te stellen voor de bouw van zulke silo's van gewapende baksteen. De ermede opgedane ervaringen zijn dusdanig ongunstig (scheuren, zelfs instorting), dat dit voorbeeld voor ons land geen navolging verdient. De constructie zal zo ontworpen dienen te worden, dat op de sterkte-berekening geen aanmerkingen kunnen worden gemaakt, althans wanneer zulks van Overheidswege wordt geadviseerd.

In het algemeen zal de onder a. genoemde oplossing (samenstelling uit vooraf vervaardigde onderdelen) aangewezen zijn voor rechthoekige of vierkante cellen.

De sub b. vermelde mogelijkheid vraagt een ronde (cilindervormige) constructie, zoals deze bij het ensileren gebruikelijk is. Hierdoor wordt het in beslag genomen vloeroppervlak wat groter, doch dit bezwaar dient dan ter wille van kostenbesparing te worden aanvaard. Men kan zich de constructie denken als te bestaan uit stukken van een verticale cylinderwand, die in het werk worden samengelast op soortgelijke wijze als hieronder voor de "planken" wordt beschreven. De bewapening kan dan lichter uitvallen dan die van de "planken", omdat geen buigspanningen zullen optreden.

Verder dient nog een opmerking te worden gemaakt omtrent de fundering. De op de grond toe te laten druk is in het algemeen sterk afhankelijk van plaatselijke omstandigheden. Op zandgrond kan men gewoonlijk wel 5 kg/cm^2 toelaten, op veengrond vaak nog niet het $1/10$ deel hiervan.

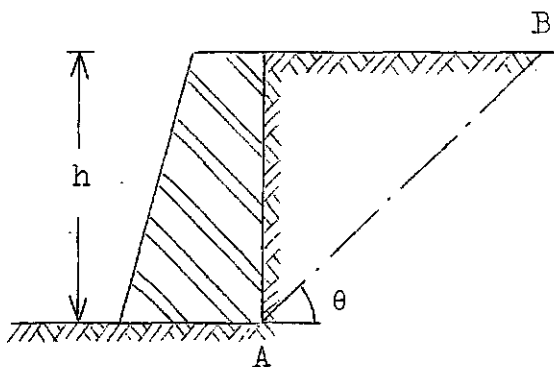
De hier beschouwde objekten zijn in de regel te klein, dan dat men daarvoor zal gaan heien; het transport van een heistelling, waarbij een ploeg hoog betaalde vakarbeiders behoort, is nl. een kostbare geschiedenis. Om deze reden is er bij de navolgende beschouwingen van uitgegaan, dat de bodemgesteldheid zodanig is, dat daarop ten minste $\frac{1}{2} \text{ kg/cm}^2$ (d.i. 5 ton/m^2 , overeenkomende met graanopslag van $6\frac{1}{2}$ m hoog) mag worden toegelaten. Of deze omstandigheden inderdaad aanwezig zijn, behoort dus van geval tot geval te worden nagegaan. Is deze belasting te hoog, dan dient hetzij

de fundering te worden gewijzigd, dan wel de silohoogte te worden beperkt. Bij betere bodemgesteldheid zal met een lichtere funderingsplaat dan de beschrevene kunnen worden volstaan.

HOOFDSTUK I. DE BEREKENING VAN GRAANDRUK OP EEN SILOWAND.

Wij willen in de eerste plaats de druk van graan (of grond) op een lange, rechte grondkerende wand bespreken.

Er bestaat een uiterst omvangrijke literatuur - zowel theoretische beschouwingen als resultaten van drukmetingen omvattende - over de druk van korrelachtige massa's (grond, zand) op keermuren. In het onderstaande zal uitsluitend worden beschouwd de actieve gronddruk, waarbij de muur wijkt als gevolg van de druk van de grondmassa, zulks in tegenstelling met passieve gronddruk, waarbij het grondkerende lichaam (bijv. een ankerplaat) de grond wegdrukt.



Figuur 1

De grootte van de werkelijk optredende actieve gronddruk is praktisch niet te voorspellen, omdat hij afhankelijk is van wijze van aanvulling, krimp van de grond, regenval etc. Daarom wordt voor de berekening van een dergelijke muur nog steeds gebruik gemaakt van de bijna 200 jaar oude, geniale, theorie van Coulomb.

Coulomb redeneerde als volgt: Veronderstel, dat de muur als gevolg van te grote druk wat wijkt. Dan zal de achterliggende grond naschuiven. Aangenomen wordt, dat de afschuiving geschiedt langs het platte glijdvlak AB (Fig.1), hetwelk een hoek θ met het horizontale vlak maakt (de aanname van een plat vlak is later voldoende nauwkeurig gebleken), dan kan men de druk op de muur door de afschuivende grondwig uitdrukken als functie van θ . Variëer nu θ zodanig (ongunstigste glijdvlak), dat de gronddruk maximum wordt, en bereken hierop de muur. Men vindt dan:

$$\text{Gronddruk} = \frac{1}{2} \gamma \cdot h^2 \cdot \lambda_a \quad \gamma = \text{S.G. grond.}$$

λ_a is dus de verhouding van de gronddruk tot zuivere waterdruk.

Deze grootte λ_a is afhankelijk van de inwendige wrijvingshoek van de grond φ , van de wandwrijvingshoek ψ ($\psi \leq \varphi$), van de helling van het muurachtervlak, alsmede van de terreinhelling. Hierdoor wordt een becijfering tamelijk omslachtig. Daarom zal men in de praktijk de numerieke waarde van λ_a aan tabellen ontleenen (bijv. Krey. Erddruck, Erdwiderstand).

Gaan wij thans over van de rechte muur naar een gesloten silo, dan zijn er twee omstandigheden, die tot afwijkingen van de theorie van Coulomb aanleiding geven:

1. de muur kan niet wijken, en
2. de lengte van het afschuivingsvlak is beperkt door de silobreedte.

Daarom maakt men voor dit geval gebruik van een wijziging van deze theorie, zoals deze door Engesser is voorgesteld. Het zou te ver voeren, hier deze "geometrische" gronddruktheorie te gaan behandelen; zij is uitvoerig beschreven in het "Handbuch für Eisenbetonbau" 3^{te} Aufl. Band XIV (Silos), in welk boek ook tabel-

len voor de praktische toepassing ervan worden gegeven.

Een uittreksel van deze tabellen voor $\varphi = 25^\circ$, met enkele correcties, wordt als Bijlage II bij dit verslag gevoegd. In deze figuur komt dus α_1 overeen met λ_a .

Voor numerieke berekeningen dient men in de eerste plaats te kennen de hoek van natuurlijk talud (of inwendige wrijvingshoek) φ . Voor tarwe vonden wij in de literatuur:

1. volgens "Engng Data on Grain Storage" 25°
2. " " "Handb. f. Eisenbetonbau" $25^\circ - 28^\circ$
3. " " "Hoffmann-Mohs. Das Getreidekorn" bij 15 % vocht 30° bij 22 % vocht 38°

Uit eigen onderzoekingen is ons gebleken, dat de bedoelde hoek bij hogere vochtgehalten groot is. Hij neemt met het vochtgehalte af, totdat dit 16 - 17 % geworden is, blijft dan praktisch constant in de zone 17 - 14 %, en wordt bij lagere vochtgehalten nog kleiner. Aangezien een kleine waarde voor φ de grootste gronddruk geeft, lijkt het voorzichtig, het laagste van de literatuurcijfers aan te houden, i.c. $\varphi = 25^\circ$, welke waarde goed overeenkomt met onze metingsresultaten bij 14 - 17 % vocht.

Voor andere graan- of zaadsoorten (gerst, haver, maïs, rogge, lupinen, bonen) liggen de φ -waarden hoger. Slechts lijnzaad of koolzaad komen, in droge toestand, iets ongunstiger uit. Aannemende, dat opslag van deze oliehoudende zaden slechts zelden zal voorkomen, kan men in zulke uitzonderingsgevallen wel met een wat kleinere veiligheidscoëfficiënt volstaan. Ook bij opslag van andere graansoorten dan tarwe schijnt dus de aanname van $\varphi = 25^\circ$ voldoende gemotiveerd te zijn.

Behalve van de inwendige wrijvingshoek φ hangt de druk op de wanden mede af van de wandwrijvingshoek ψ . Van deze laatste hoek kan worden gezegd, dat hij nooit groter in rekening behoeft te worden gesteld dan φ , omdat dan graan langs graan zou gaan glijden. De waarde van ψ hangt af van de gladheid, waarmede het beton is afgewerkt, en hieromtrent valt weinig te voorspellen. Bij gronddrukberekeningen gaat men vaak uit van $\psi = \varphi : 2$.

In Bijlage II zijn de waarden van $\psi = \varphi$, $\psi = \frac{\varphi}{2}$ en $\psi = 0$ aangegeven; normaal zal met $\psi = \varphi : 2$ (α_1) worden gerekend.

Met deze gegevens hebben wij een berekening opgesteld voor genormaliseerde silo's, die een inwendige maat van 3 x 3 m bezitten. Het blijkt, dat het graan erin zonder bezwaar tot 5 - 6 m hoog kan worden opgeslagen, zodat elke cel ca. 40 ton kan bevatten.

De uitkomsten van deze berekening zijn in de volgende tabel neergelegd:

x (m)	1	2	3	4	5	6	Opm.
In rekening te stellen:	1,75	2,75	3,75	4,75	5,75	6,75	
p (t/m ²)	0,475	0,721	0,922	1,058	1,13	1,165	
M = $\frac{1}{10}$ p l ² (tm)	0,465	0,706	0,905	1,035	1,105	1,14	l=3,13
T = p a (t/m ¹)	1,425	2,163	2,766	3,174	3,39	3,50	a=3,-

en met de cijfers voor x = 6 zijn de sterkteberekeningen uitgevoerd (zie Bijlage I).

Het blijkt, dat de wanden doelmatig 13 cm dik kunnen worden. Teneinde het gewicht van een eenheid (betonplank) tot 220 kg te limiteren (de stukken kunnen dan nog juist door 4 man met de hand worden versjouwd), is de plankbreedte op 25 cm gesteld. De verbindingstijlen worden zwaarder (voor de T-verbindingen 60 kg/m' en voor de L-verbindingen 100 kg/m'), hetgeen niet zo'n bezwaar is, omdat voor de montage toch driepoot-bokken nodig zijn. Bijlagen III t/m V geven diverse details.

Wij stellen ons de uitvoering als volgt voor: De plaatselijke aannemer stort een 15 cm dikke betonvloer, bewapend met een dubbel net \varnothing 10 - 20. Hij spaart hierin gaten voor de stijlen.

Na verharding wordt de plattegrond van de silo erop uitgezet, worden de stijlen gesteld, en de gaten in de vloer aangegeven. Men stelt nu over het gehele werk 1 of 2 planken, vlecht de verbindingbeugels, schuift korte wapeningsstaven in, en gaat zo door, tot de silo 1 m hoog is. Enkele gaten worden tijdelijk met hout gedicht, en de verbindingsskolommen worden alle 1 m hoog gestort. Na enige verharding gaat men op deze wijze verder, totdat de silo op hoogte is. Uiteindelijk worden de naden met cement-specie opgevoegd.

Wenst men onder in de silo stortopeningen met schuiven aan te brengen, dan is zulks mogelijk, door enkele kortere planken bij te bestellen. Deze komen dan te dragen tegen op de vloer gestorte, dunne driehoekige steunberen.

De kosten van dergelijke silo's taxeren wij, naar gelang van de omvang, op f.50,- - f.70,- per ton graanopslag. Het spreekt vanzelf, dat deze prijs sterk afhankelijk is van de omstandigheid, of een betonfabriek in deze constructie toepassingsmogelijkheden ziet, en dan de aanmaak der verschillende onderdelen op grotere schaal zal entameren.

Zij blijven met deze cijfers aanmerkelijk lager dan die voor een groot silo-gebouw.

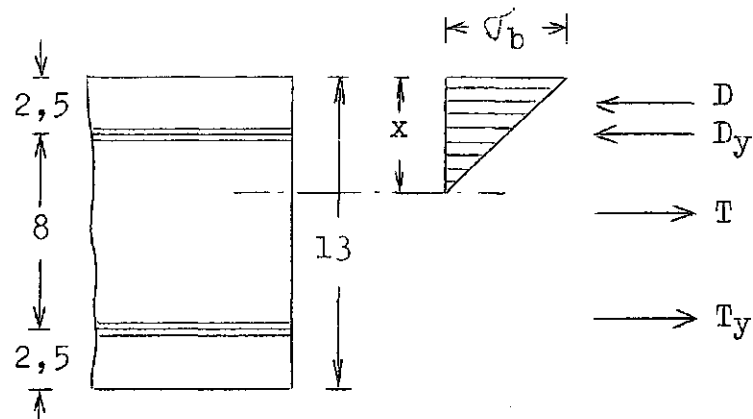
Wageningen, september 1956.

No. S. 2734

70 ex.

Spanningsberekening van de gewapend-betonconstructie

Gegeven: $M = 114000 \text{ kg cm}$ $T = 3500 \text{ kg}$ $f_y = f_y' = 9,44 \text{ cm}^2$
 $b = 100 \text{ cm}$



$$\sigma_y' = \frac{x - 2,5}{x} \cdot 15 \cdot \sigma_b \qquad D = \frac{1}{2} \cdot \sigma_b \cdot x = 50 \cdot \sigma_b \cdot x$$

$$\sigma_y = \frac{10,5 - x}{x} \cdot 15 \cdot \sigma_b \qquad D_y = f_y \cdot \sigma_y'$$

$$T_y = f_y \cdot \sigma_y \qquad T = 3500 \qquad D + D_y = T + T_y$$

$$M = D \left(10,5 - \frac{x}{3}\right) + D_y \cdot 8 - T \cdot 4$$

Wij hebben verschillende waarden voor x geprobeerd en ze gewijzigd, totdat aan de evenwichtsvoorwaarden bleek te zijn voldaan. Dit was het geval bij $x = 4,275$.

$$\sigma_y' = \frac{1,775}{4,275} \cdot 15 \cdot \sigma_b = 6,23 \sigma_b \qquad D = 213,75 \sigma_b$$

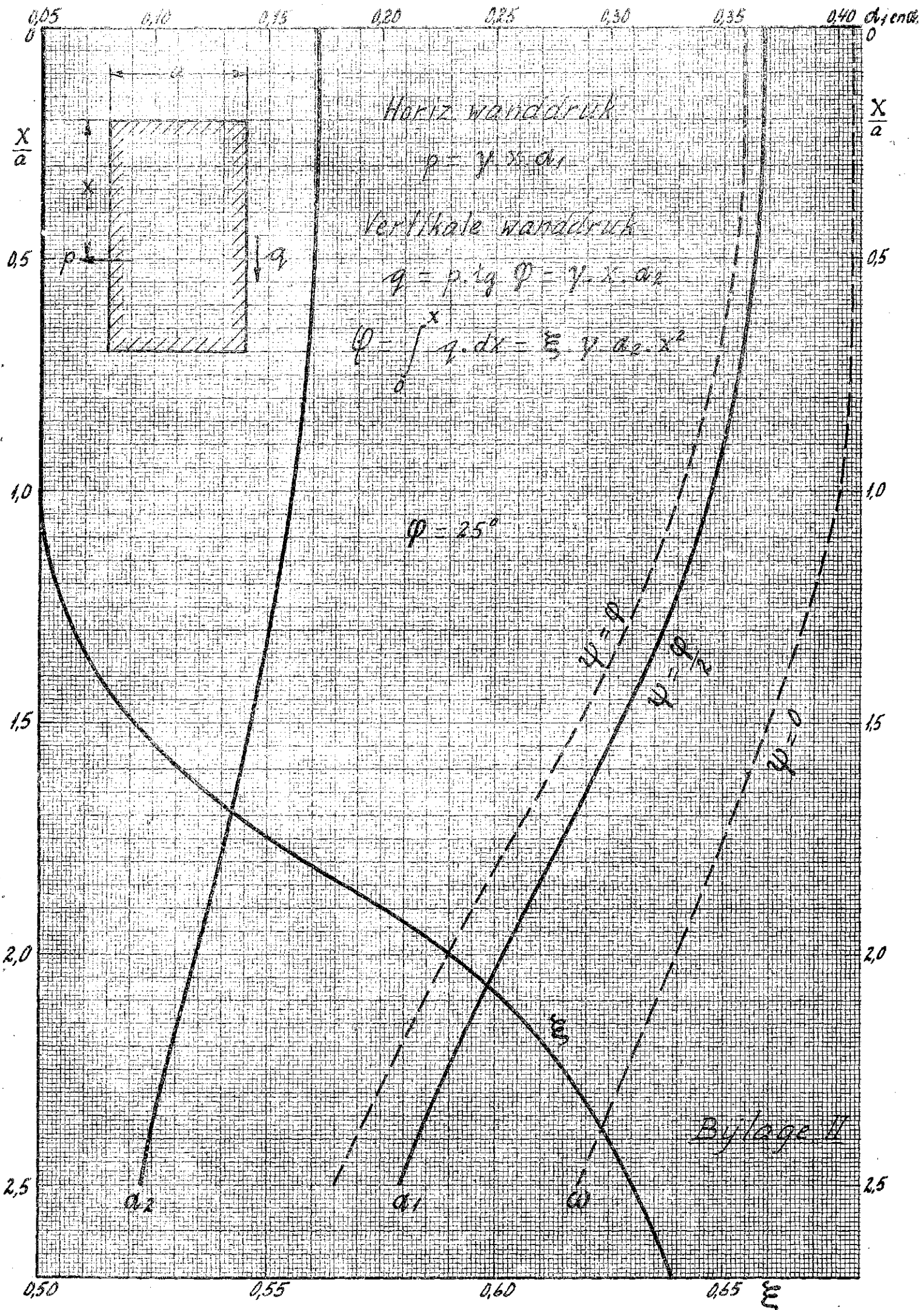
$$\sigma_y = \frac{6,225}{4,275} \cdot 15 \cdot \sigma_b = 21,84 \sigma_b \qquad D_y = 58,8 \sigma_b$$

$$T_y = 206,2 \sigma_b \qquad \text{Uit } D + D_y = T + T_y \text{ volgt: } \sigma_b = 52,75$$

$$\sigma_y' = 329 \qquad \sigma_y = 1152 \qquad D_y = 3100 \qquad T_y = 10875$$

$$D = 11275 \qquad D + D_y = 14375 \qquad T + T_y = 14375$$

$$M = 11275 \cdot 9,075 + 24800 - 14000 = 113120.$$



Horiz wanddruck

$$p = \gamma \cdot x \cdot a_1$$

Vertikale wanddruck

$$q = p \cdot i_g \quad \varphi = \gamma \cdot x \cdot a_2$$

$$\Phi = \int_0^x q \cdot dx = \frac{1}{2} \gamma \cdot a_2 \cdot x^2$$

$\varphi = 25^\circ$

$\psi = \varphi$

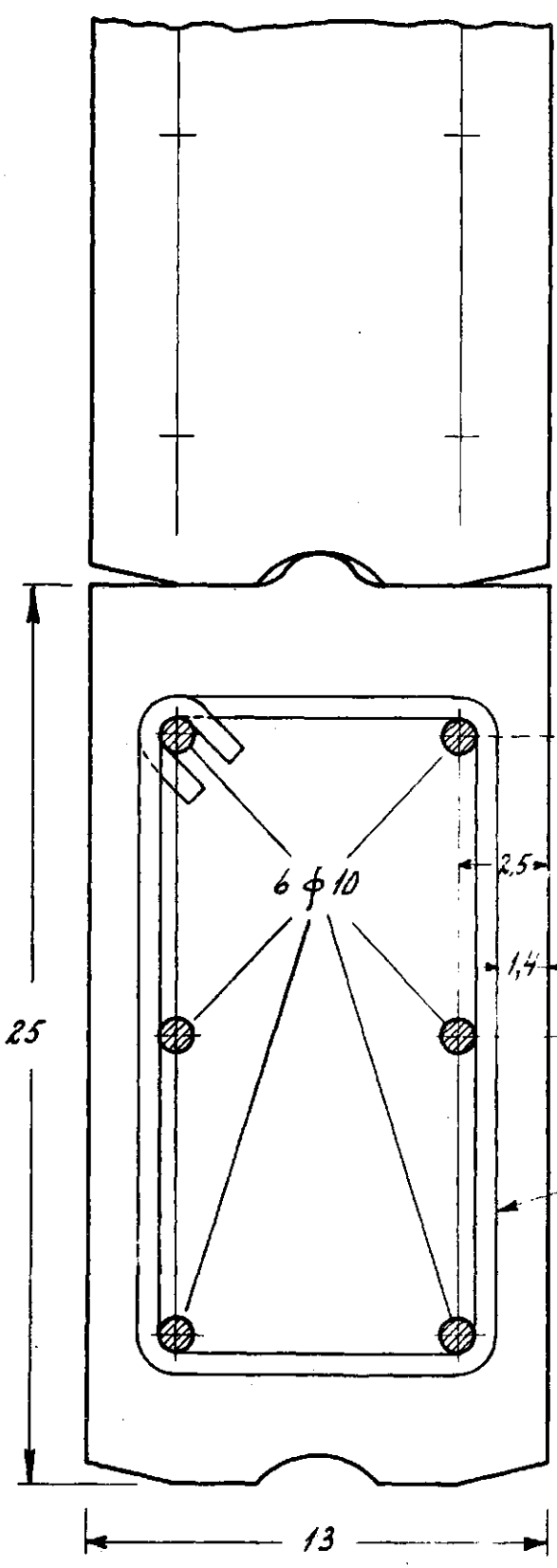
$\psi = \frac{\varphi}{2}$

$\psi = 0$

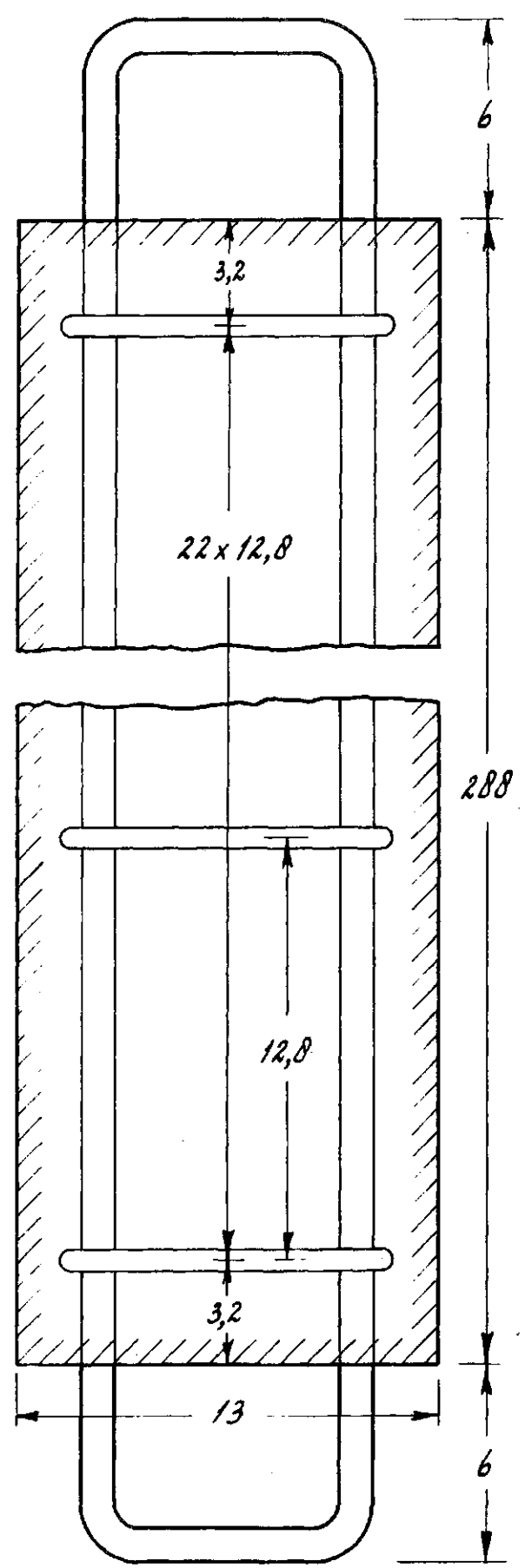
Bylage II

Detail betonplanken

Schaal 1:2



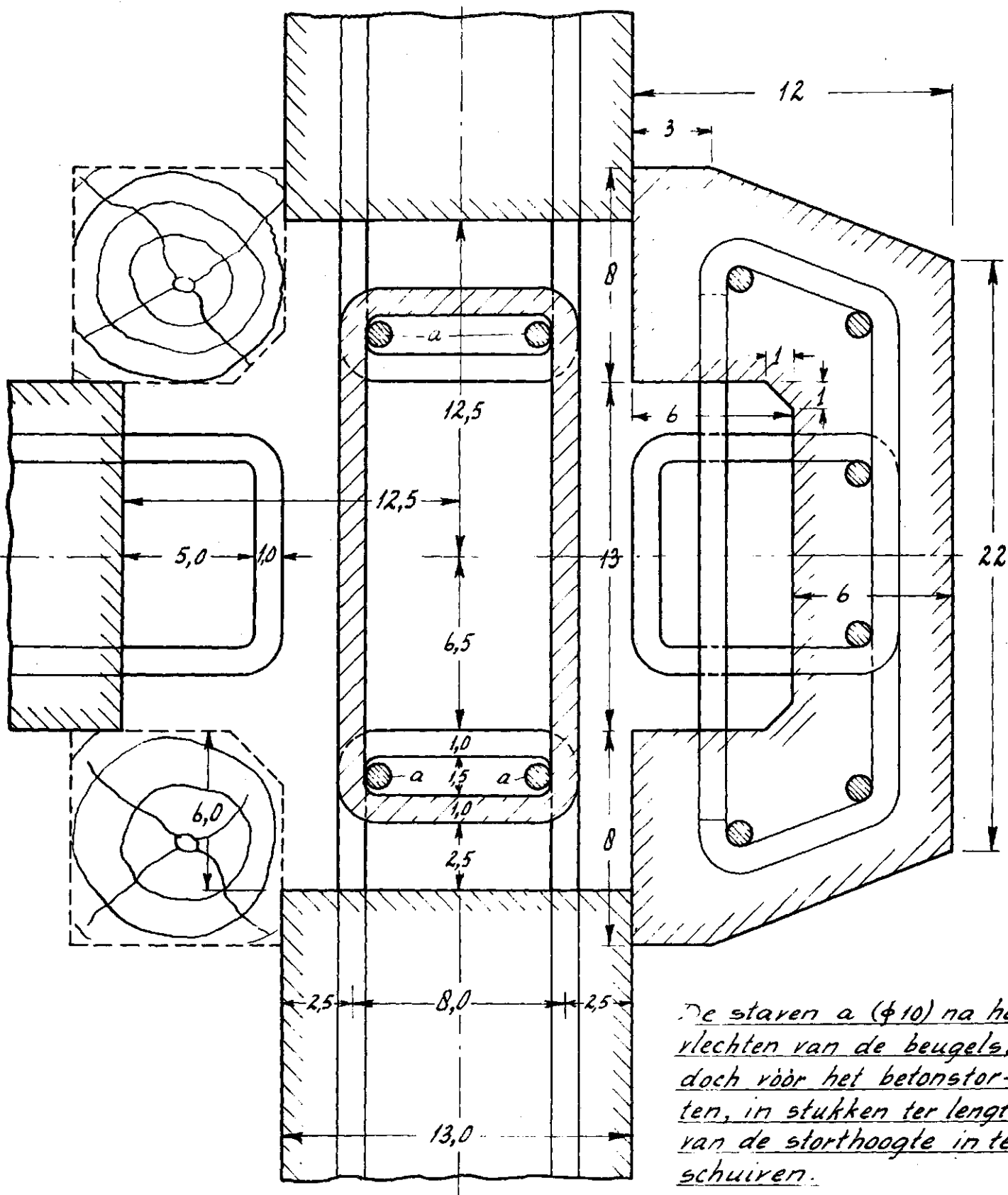
Beugels $\phi 6$
 ± 8 per m'



Detail van een T-verbinding

Bijlage IV

Schaal 1:2

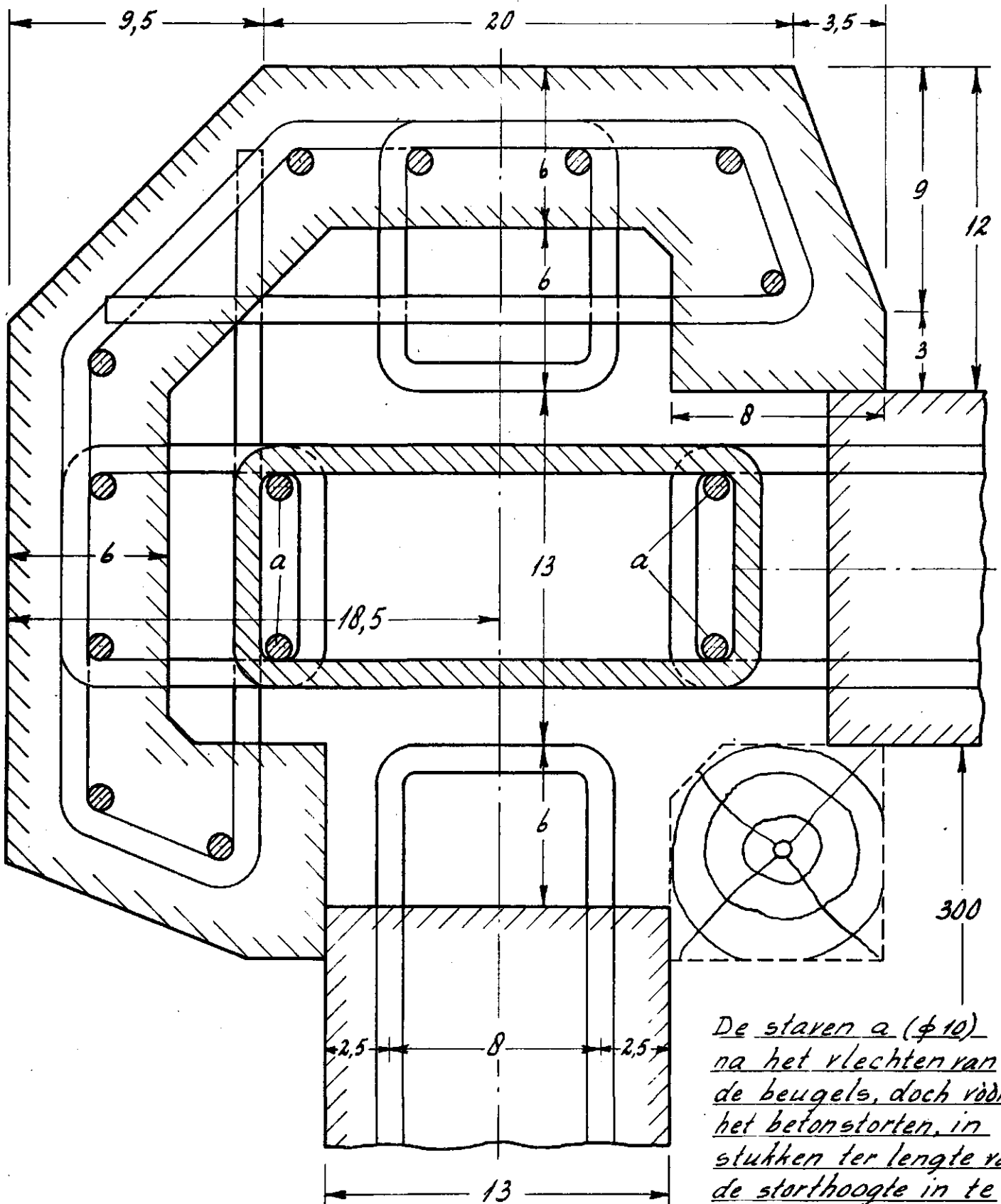


De staven a ($\phi 10$) na he-
rlechten van de beugels,
doch vóór het betonstor-
ten, in stukken ter lengte
van de storthoogte in te
schuiven.

Detail van een L-verbinding

Bijlage V

Schaal 1:2



De staven a ($\phi 10$)
na het vlechtten van
de beugels, doch vóór
het betonstorten, in
stukken ter lengte van
de storthoogte in te
schuiven.