2e JAARGANG
NUMMER 2

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

FEBRUARI
1935

Orgaan der Groep Ned.-Indië van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs,
Maandblad gewijd aan de Techniek en Wetenschap in Ned.-Indië,
waarin opgenomen
De Waterstaats-Ingenieur, opgericht in 1913
en
De Mijningenieur, opgericht in 1919.

Commissie van Toezicht:
Gen. L. C. A. van de Kasteele,
jhr. ir. H. S. van Lennep.

Commissie van Redactie:
Voorzitter: prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh;
Leden: dr. ir. L. J. C. van Es,
ir. E. E. Hens.

Prijs per jaargang: *f* 20,— Afzonderlijke nummers: *f* 2,—
Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Hoogeschoolweg 3, Bandoeng.
Adres voor administratie en abonnementen: Penningmeester Groep Ned.-Indië K. I. v. I., Batavia-Centrum, p/a Hollandsche Beton Maatschappij, N. V., Koningsplein Oost 15.
Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum.

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Berekening van de krimpspanningen in cirkelvormig gelaschte platen, door prof. ir. P. P. Bijlaard. — Invloedslijnen voor liggers op meerdere steunpunten, door ir. L. A. Alting Mees. — *Berichten van allerlei aard:* Jaarregister en omslag. — Opening fabriek Lindeteves-Pieter Schoen & Zn. — Vereeniging van Delftsche Ingenieurs. — Comité voor Groote Reservoirdammen. — *Personalia.* — *Kon. Instituut van Ingenieurs:* Kort verslag Algemeene Vergadering. — Notulen Algemeene Vergadering. — Bestuursmededeelingen.

Berekening van de krimpspanningen in cirkelvormig gelaschte platen

door

prof. ir. P. P. BIJLAARD.

Berekend worden de spanningen en vervormingen, die door de krimpwerking ontstaan. Nadat in het aan de lasch grenzend gedeelte van de plaat de vloeigrens overschreden is, wijzigt zich daar de spanningstoestand, die in het plastisch gebied statisch bepaald is, zoo, dat de vloeispanning tenslotte ongeveer 100% hooger komt te liggen, waardoor het materiaal een zoo groot mogelijken weerstand tegen vervorming ontwikkelt.

Inleiding.

Op dit onderwerp werd mijn aandacht gevestigd door een artikel: „Krimpspanningen in cirkelvormig gelaschte platen" van ir. W. M. den Hollander in het *Polytechnisch Weekblad* van 27 September 1934. Bij het electrisch lasschen van pijpdoorvoeringen door platen constateerde de schrijver bij het afkoelen en krimpen van de lasch (en plaat) in de walshuid regelmatig verloopende scheuren, een teeken dus dat in de plaat als gevolg van het krimpen belangrijke vormveranderingen, dus groote krimpspanningen, ontstonden. Ter bepaling van de orde van grootte van deze krimpspanningen liet ir. den Hollander uit een scheepsplaat van 1 m bij 1,20 m een rond gat branden en vulde de opening weer op met een even dik passtuk, dat door een cirkelvormige lasch met de plaat werd verbonden, waarbij er voor gezorgd werd, dat de diameter van den laschcirkel op hart lasch 20 cm was (*fig. 1*).

Als gevolg van de krimp zullen nu plaat en passtuk ter plaatse van de lasch trekspanningen op elkaar uitoefenen. De plaat wordt beschouwd als een dikwandige buis met een lengte gelijk aan de plaatdikte, zoodat volgens Klopper, Deel II, blz. 290, bij aan den binnenkant van het gat werkende normale trekspanningen p, de hoofdspanningen in een willekeurig punt in radiale en tangentieele richting resp. bedragen:

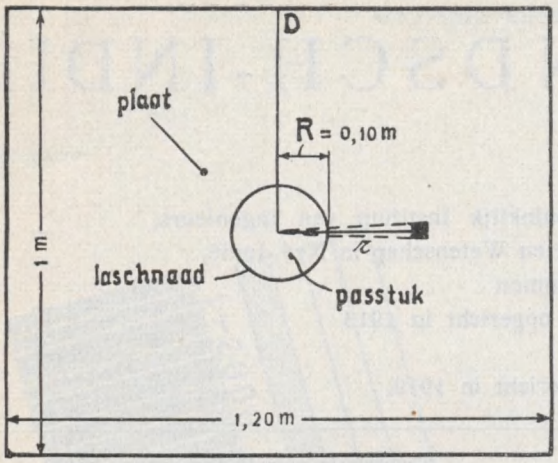


Fig 1

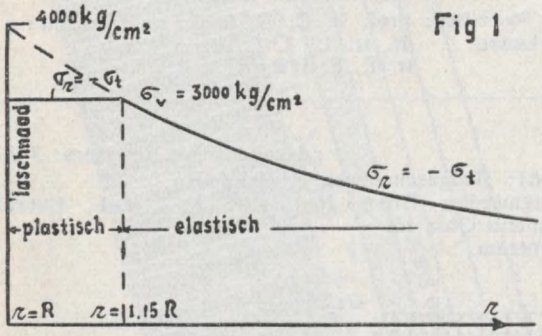


Fig 1a

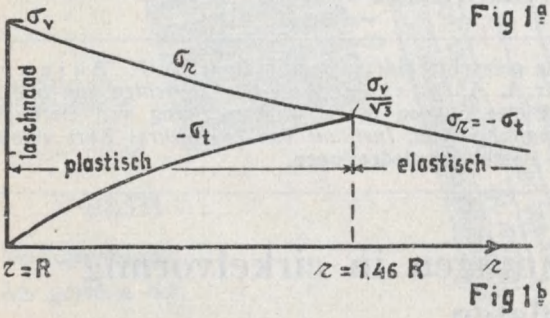


Fig 1b

Fig. 1. Plaat met ingelascht passtuk.

Fig. 1a. Verloop der radiale en tangentieele spanningen σ_r *en* σ_t *in de plaat volgens artikel ir.* den Hollander.

Fig. 1b. Idem volgens vergelijkingen (7), (5) *en* (2).

$$\sigma_r = p \cdot \frac{r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \cdot \frac{r_u^2 - r^2}{r^2} \text{ en}$$

$$\sigma_t = -p \cdot \frac{r_i^2}{r_u^2 - r_i^2} \cdot \frac{r_u^2 + r^2}{r^2}$$

r_i en r_u zijn resp. de inwendige en uitwendige diameter van de buis en r is de straal van den cirkel, waarop het beschouwde punt is gelegen. Ir. den Hollander stelt nu $r_u = \infty$, zoodat:

$$\sigma_r = p \cdot \frac{r_i^2}{r^2} \text{ en } \sigma_t = -p \cdot \frac{r_i^2}{r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

Aan den buitenkant van de plaat, dus b.v. in punt D, waar $r = 5 \cdot r_i$ is, zou dus $\sigma_t = \frac{1}{25} \cdot p$ zijn, terwijl in werkelijkheid σ_r daar nul is. Praktisch maakt dit niet veel verschil, zoodat ik tot zoover met de berekening accoord ga.

Uit rekmetingen wordt nu afgeleid, dat $p = 4\,000$ kg/cm² is. Werd nergens de vloeigrens overschreden, dan zouden σ_r en $-\sigma_t$, bepaald door vergelijking (1), dus volgens de in *fig. 1a* aangegeven kromme verloopen. Daar de vloeigrens van het gebezigde materiaal bij 3 000 kg/cm² ligt, wordt echter in de buurt van de laschnaad, tusschen $r = r = R$ en $r = 1{,}15 \cdot R$, de vloeigrens overschreden, zoodat voor $\sigma_r = -\sigma_t$ daar 3 000 kg/cm² wordt aangenomen en het heele spanningsverloop in de plaat volgens ir. den Hollander dus volgens de dik getrokken lijn in *fig. 1a* wordt aangegeven.

Berekening van de optredende spanningstoestanden.

In de laatste redeneering zitten echter twee misvattingen.

Ten eerste geeft de vloeigrens van 3 000 kg/cm² slechts aan, dat bij een *lijnspanning*, zooals die bij de trekproef optreedt, het materiaal bij 3 000 kg/cm² gaat vloeien. In de plaat (*fig. 1*) heerscht echter een *vlakke* spanningstoestand, waarvan de hoofdspaningen σ_r en σ_t gelijk zijn in absolute waarde, doch tegengesteld van teeken, dus zuivere schuifspanning, voorgesteld door de in *fig. 2* voorgestelde spanningscirkel van Mohr. Volgens de voor bouwstaal geldige vloeivoorwaarde van Huber-v. Mises-Hencky [1]) zal bij een willekeurige vlakke spanningstoestand geen vloeiing optreden, wanneer één der hoofdspanningen de vloeigrens σ_v voor zuivere lijnspanning bereikt, maar wanneer de in het materiaal per eenheid van volume opgehoopte gedaanteveranderingsarbeid even groot is als de gedaanteveranderingsarbeid, die bij een lijnspanning σ_v daarin wordt opgehoopt. Bij een vlakke spanningstoestand $\sigma_r \cdot \sigma_t \cdot$ is dit het geval, wanneer voldaan wordt aan de *vloeivoorwaarde:*

$$\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \cdot \sigma_t = \sigma_v^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

welke grafisch voorgesteld is in *fig. 3.*

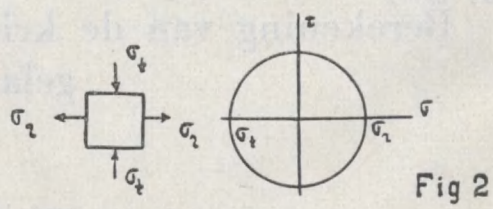


Fig 2

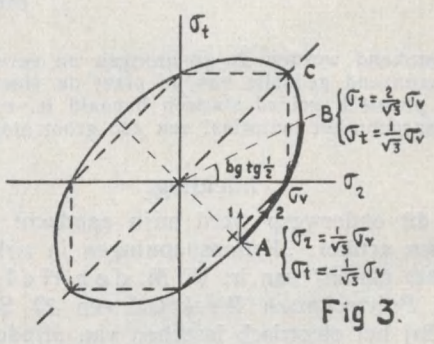


Fig 3.

Fig. 2. Spanningstoestand in het elastisch vervormde gedeelte van de plaat.

Fig. 3. Grenskromme der kritische hoofdspannings-combinaties σ_r, σ_t *volgens de plasticiteitshypothese van* Huber — v. Mises — Hencky.

1) Zie mijn artikel: „De plastische vervorming van vloeiijzer en de berekening van ijzerconstructies" in *De Ingenieur* 1933. No. 23.

Bij den in de plaat aanwezigen spanningstoestand, waarbij $\sigma_t = -\sigma_r$ is en welke voorgesteld wordt door punt A in *fig. 3*, zal dus volgens vergelijking (2) de vloeigrens reeds bereikt worden als $\sigma_r = -\sigma_t = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} = 0{,}577 \cdot \sigma_v = 1\,730$ kg/cm² is, dus, daar volgens vergelijking (1) bij de lasch $\sigma_r = p$ is, als $p = 1\,730$ kg/cm² is.

Een tweede misvatting in het genoemde artikel is dat, wanneer de vloeigrens eenmaal bereikt is, het vloeien zich naar buiten in de plaat zou kunnen voortplanten, wanneer de belasting p niet verder zou stijgen, dat dus in *fig. 1a* tusschen $r = R$ en $r = 1{,}15 \cdot R = S$ de spanningen σ_r en σ_t constant worden aangenomen. Uit *fig. 4*, waarin de belasting van een oneindig klein deeltje van de plaat is voorgesteld, is direct te zien, dat dit dan niet in evenwicht kan zijn, immers de er op werkende spanningen geven een van M af gerichte resultante P. Voor het evenwicht van zoo'n deeltje moet volgens *fig. 5* n.l. voldaan worden aan de *evenwichtsvoorwaarde:*

$$\sigma_t \cdot dr \cdot d\varphi = d(\sigma_r \cdot r \cdot d\varphi) = (\sigma_r \cdot dr + r \cdot d\sigma_r) \cdot d\varphi$$

$$\text{of } \sigma_t - \sigma_r = r \cdot \frac{d\sigma_r}{dr} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

waaraan de in *fig. 4* aangegeven spanningstoestand niet voldoet.

Is $p = 1\,730$ kg/cm² geworden, dan zal het aan den laschcirkel grenzende materiaal gaan vloeien, waarbij tengevolge van den heerschenden spanningstoestand (*fig. 2*) dus, behalve een elastische rek, nog een plastische rek in radiale richting ontstaat, terwijl in tangentieele richting, behalve een elastische verkorting, nog een plastische verkorting optreedt. Door de aansluiting van het plastisch vervormde materiaal in tangentieele richting zal echter de contractie in die richting gedeeltelijk worden tegengegaan, waarbij reeds bij een kleine plastische vervorming de drukspanning σ_t kleiner zal worden, de spanningstoestand zich in *fig. 3* dus in de richting van pijl 1 zou willen bewegen, dus, daar de spanningen kleiner zouden worden dan voor vloeien vereischt, het vloeien direct zal ophouden.

Stijgt echter de spanning p, dus σ_r bij de lasch, boven 1 730 kg/cm², dan zal, hoewel door het vloeien σ_t in absolute grootte kleiner wordt, toch aan de vloeivoorwaarde voldaan blijven, zoolang de spanningstoestand zich in *fig. 3* slechts in de richting van pijl 2 langs de ellips beweegt, σ_r en σ_t dus voldoen aan de vloeivoorwaarde (2). Samen met de evenwichtsvoorwaarde (3) wordt hierdoor dus het verloop van σ_r en σ_t bij verdere vergrooting van p bepaald. Daar in deze vergelijkingen σ_r en σ_t blijkbaar de eenige onbekenden zijn, is de zich instellende spanningstoestand in het plastische gebied dus „statisch bepaald", in tegenstelling met die in het elastische gebied, waarvoor ook de vormveranderingen haar invloed doen gelden.

Uit vergelijking (2) volgt:

$$\sigma_t = \frac{\sigma_r}{2} \pm \sqrt{\sigma_v^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

Daar de spanningstoestand zich bij vergrooting van p in *fig. 3* langs de ellips over het dik geteekende gedeelte daarvan van A naar B zal bewegen, geldt hier voor σ_t het min-teeken, zoodat volgens vergelijking (2a):

$$\sigma_t - \sigma_r = -\sqrt{\sigma_v^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2} - \frac{\sigma_r}{2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2b)$$

Uit de vergelijkingen (2b) en (3) volgt dus:

$$r \cdot \frac{d\sigma_r}{dr} = -\sqrt{\sigma_v^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2} - \frac{\sigma_r}{2}$$

$$\text{of } \frac{dr}{r} = \frac{d\sigma_r}{-\sqrt{\sigma_v^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2} - \frac{\sigma_r}{2}}$$

$$\text{of } \ln r = \int \frac{d\sigma_r}{-\sqrt{\sigma_v^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2} - \frac{\sigma_r}{2}} + C \quad \ldots\ldots \quad (4)$$

Wordt gesteld:

$$\sqrt{\sigma_v^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2} = \sigma_v - \sigma_r \cdot y$$

waaruit volgt:

$$y = \frac{\sigma_v - \sqrt{\sigma_v^2 - \frac{3}{4} \cdot \sigma_r^2}}{\sigma_r} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

en:

$$\sigma_r = \frac{2y}{y^2 + \frac{3}{4}} \sigma_v$$

dan volgt uit vergelijking (4) na invulling:

$$\ln r = 2 \cdot \int \frac{y^2 - \frac{3}{4}}{(y^2 + \frac{3}{4}) \cdot (-y^2 + y + \frac{3}{4})} \cdot dy + C =$$

$$= -\sqrt{3} \cdot \text{bg tg } \frac{2}{\sqrt{3}} y + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{y^2 + \frac{3}{4}}{-y^2 + y + \frac{3}{4}} +$$

$$+ C \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Ter bepaling van de constante nemen we aan, dat het vloeien tot een cirkel met straal S in de plaat is doorgedrongen (*fig. 6*). Op dezen cirkel heerscht dus nog de voor het elastische gebied geldige spanningstoestand en is dus $\sigma_r = -\sigma_t = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}}$, dus volgens vergelijking (5): $y = \sqrt{3} - \frac{3}{2}$, zoodat volgens vergelijking (6):

$$\ln S = -\sqrt{3} \cdot \text{bg tg } (2 - \sqrt{3}) + \tfrac{1}{2} \cdot \ln \frac{6 - 3 \cdot \sqrt{3}}{4 \cdot \sqrt{3} - 6} + C$$

$$\text{dus } C = \ln S + \frac{\pi}{12} \cdot \sqrt{3} - \tfrac{1}{2} \cdot \ln \frac{6 - 3 \cdot \sqrt{3}}{4 \cdot \sqrt{3} - 6}$$

Fig 4

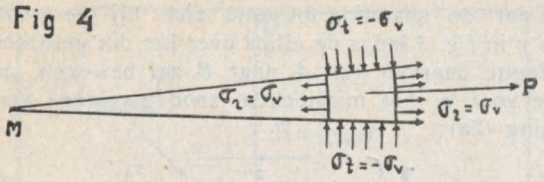
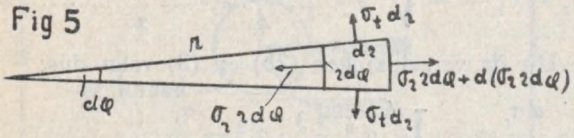


Fig 5



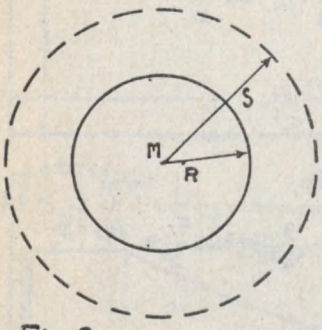


Fig 6

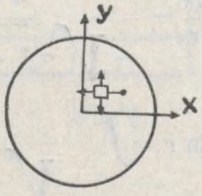


Fig 8

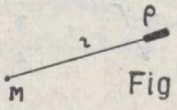


Fig 9

toestand in alle vlakken loodrecht op het spanningloze vlak van de plaat slechts normaalspanningen p zullen werken, dus ook alle oneindig kleine deeltjes (*fig. 8*) in evenwicht zijn en bovendien, daar ze in de richtingen X en Y in dezelfde verhouding worden vergroot, blijven aansluiten. Bij dezen spanningstoestand, aangegeven door punt C in *fig. 3*, zal volgens vergelijking (3) vloeiing optreden als $\sigma_r = \sigma_t = \sigma_v$ wordt, waarbij dus in alle deelen de vloeigrens tegelijk wordt bereikt. Gemakkelijk valt in te zien, dat door het vloeien de spanningstoestand zich niet zal wijzigen.

De op de plaat uitgeoefende trekspanningen p, dus ook de spanningen σ_r in de plaat, kunnen dus — althans als de krimpmaat niet zoo groot is, dat in het passtuk reeds versteviging (Verfestiging) van het materiaal optreedt, welk geval hierna beschouwd wordt — hoogstens σ_v worden. Volgens vergelijking (7) en *fig. 7* wordt $\sigma_r = \sigma_v$ voor $r = 0{,}683\ S$, dus, daar r hier gelijk is aan den straal R van den laschcirkel, zal het vloeien zich hoogstens tot een afstand $S = \frac{1}{0{,}683} \cdot R = 1{,}46 \cdot R$ vanaf M uitbreiden, waarbij dan dus de spanningen σ_r en σ_t zullen verloopen volgens *fig. 1b*, waarbij σ_r dus volgens *fig. 7* verloopt en σ uit vergelijking (2a) (met het min-teeken) is te berekenen.

Uit de metingen van ir. den Hollander aan deelen, die buiten een cirkel met straal $2 \cdot R$ liggen, dus volgens het voorgaande geheel in het elastische gebied, is gebleken, dat p na afkoeling

zoodat volgens vergelijking (6):

$$\ln \frac{r}{S} = \left(\frac{\pi}{12} - \text{bg tg}\, \frac{2 \cdot y}{\sqrt{3}}\right) \cdot \sqrt{3} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{6 - 4 \cdot \sqrt{3}}{6 - 3 \cdot \sqrt{3}} \cdot \frac{y^2 + \frac{3}{4}}{y^2 - y - \frac{3}{4}} \quad (7)$$

Voor verschillende waarden van σ_r, dus volgens vergelijking (5) van y, is nu uit vergelijking (7) de straal r, waarbij σ_r deze waarde bereikt, in S uit te drukken. σ_r is dus als functie van r uit te zetten (*fig. 7*).

Het ingelaschte passtuk (*fig. 1*) wordt aan zijn buitenomtrek in radiale richting met de door de krimp opgewekte trekspanningen p belast. In het elastische gebied zal daarin dus $\sigma_r = \sigma_t = p$ zijn, hetgeen natuurlijk ook uit de formules voor dikwandige buizen is af te leiden, maar eveneens direct is in te zien door op te merken, dat bij dezen spannings-

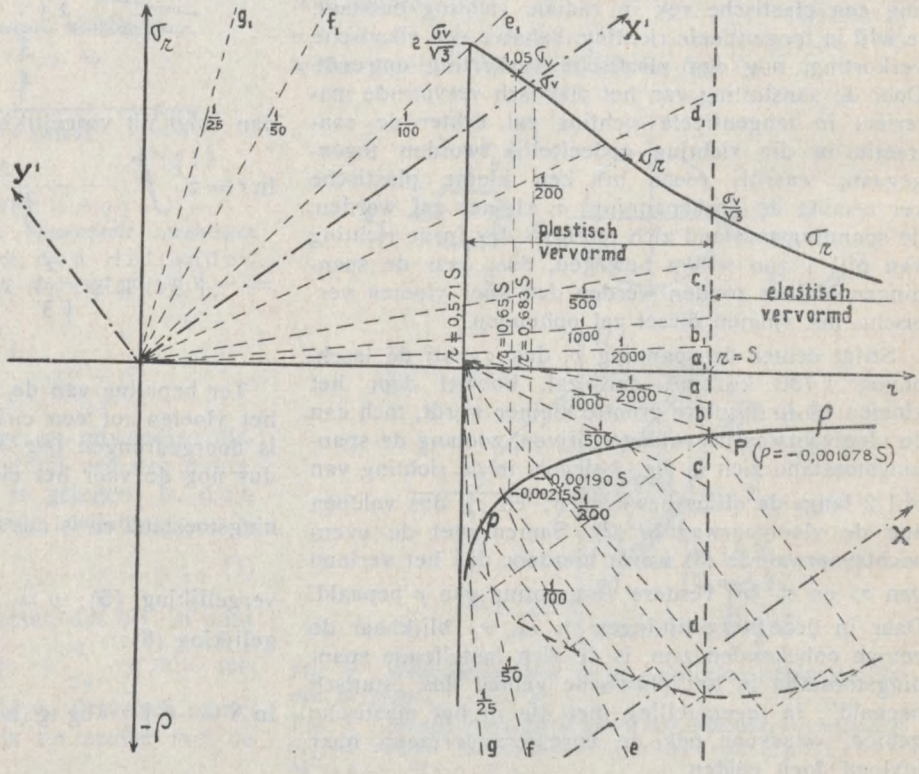


Fig. 7. Verloop van de radiale spanning σ_r en de radiale verplaatsing ρ als functie van r. Hier is r uitgedrukt in den afstand S, tot waar de plastische vervormingen zich uitstrekken (zie fig. 6).

van de lasch 4 000 kg/cm² was geworden, althans aannemende, dat σ_r geheel volgens vergelijking (1), dus in het plastische gebied volgens de stippellijn in *fig. 1a*, zou verloopen. Hieruit volgt dus in ieder geval, dat in het elastische gebied volgens vergelijking (1) $\sigma_r = -\sigma_t = 4\,000 \frac{R^2}{r^2}$ is. Bij $r = S = 1{,}46 \cdot R$, tot welken straal zich volgens de hierboven gegeven berekening de plastische vervormingen uitstrekken, is dus volgens de metingen $\sigma_r = \frac{4\,000}{1{,}46^2} =$ 1 880 kg/cm², terwijl volgens bovenstaande berekening $\sigma_r = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} =$ 1 730 kg/cm² zou zijn, wat dus heel aardig klopt (zie later).

Berekening van de vormveranderingen.

Om te zien, bij welke krimpmaat van de lasch de vloeigrens overschreden wordt, is het noodig ook de vormveranderingen na te gaan. Dit zal meestal ook noodig zijn om te weten hoe hoog de spanning p oploopt als inplaats van het passtuk een buis met flensstuk is ingelascht, die wellicht grooter weerstand dan het passtuk heeft.

Wordt de verplaatsing van een willekeurig punt in radiale richting ρ genoemd (*fig. 9*), waarbij ρ positief wordt gerekend als hierdoor de afstand tot M grooter wordt, dan zal de specifieke rek in radiale richting gelijk zijn aan:

$$\varepsilon_r = \frac{d\rho}{dr} \quad \ldots\ldots (8)$$

De cirkelomtrek, waarop het bedoelde punt gelegen is, wordt $2 \cdot \pi \cdot (r + \rho) - 2 \cdot \pi \cdot r = 2 \cdot \pi \cdot \rho$ grooter, zoodat de specifieke rek in tangentieele richting bedraagt:

$$\varepsilon_t = \frac{2 \cdot \pi \cdot \rho}{2 \cdot \pi \cdot r} = \frac{\rho}{r} \quad \ldots\ldots (9)$$

Is m de contractiecoëfficiënt bij de elastische vervormingen, E de elasticiteitsmodulus en E_{pl} de modulus der plastische vervormingen, dan zal, daar voor de plastische vervormingen, wegens het daarbij constant blijven van het volume, $m = 2$ is, te schrijven zijn:

$$\varepsilon_r = \alpha \cdot (\sigma_r - \frac{1}{m} \cdot \sigma_t) + \beta \cdot (\sigma_r - \frac{1}{2} \cdot \sigma) \quad \ldots\ldots (10)$$

$$\varepsilon_t = \alpha \cdot (\sigma_t - \frac{1}{m} \cdot \sigma_r) + \beta \cdot (\sigma_t - \frac{1}{2} \cdot \sigma_r) \quad \ldots\ldots (11)$$

waarin $\alpha = \frac{1}{E}$ en $\beta = \frac{1}{E_{pl}}$.

Uit de vergelijkingen (8) en (10) volgt:

$$\beta = \frac{\frac{d\rho}{dr} - \alpha \cdot (\sigma_r - \frac{1}{m} \cdot \sigma_t)}{\sigma_r - \frac{1}{2} \cdot \sigma_t} \quad \ldots\ldots (12)$$

Uit de vergelijkingen (9) en (11) volgt dan, na invulling van vergelijking (12):

$$\frac{d\rho}{dr} = \frac{2 \cdot \sigma_r - \sigma_t}{2 \cdot \sigma_t - \sigma_r} \cdot \frac{\rho}{r} - \alpha \cdot \left\{ (\sigma - \frac{1}{m} \cdot \sigma_r) \cdot \frac{2 \cdot \sigma_r - \sigma_t}{2 \cdot \sigma_t - \sigma_r} - (\sigma^r - \frac{1}{m} \cdot \sigma_t) \right\} \quad \ldots\ldots (13)$$

Daar σ_r en σ_t met r op ingewikkelde wijze samenhangen, vide vergelijking (7), is de differentiaalvergelijking (13) het eenvoudigst grafisch op te lossen [2]). In *fig. 7* zijn eerst de stippel-lijnen a t.m. g getrokken, waar $\frac{d\rho}{dr} = \varepsilon_r$ bepaalde waarden $\frac{1}{n}$ zal hebben. Daarvoor is dus volgens vergelijking (13):

$$\rho = \frac{r}{n} \cdot \frac{2 \cdot \sigma_t - \sigma_r}{2 \cdot \sigma_r - \sigma_t} + \alpha \cdot r \cdot \left\{ (\sigma_t - 0{,}3 \cdot \sigma_r) - (\sigma_r - 0{,}3 \cdot \sigma_t) \cdot \frac{2 \cdot \sigma_t - \sigma_r}{2 \cdot \sigma_r - \sigma_t} \right\} \quad \ldots\ldots (14)$$

als $m = \frac{10}{3}$ wordt aangenomen. De helling $\frac{d\rho}{dr} = \frac{1}{n}$, die de lijn $\rho = f(r)$ ter plaatse van de snijding met de lijnen a t.m. g moet hebben, wordt door de lijnen a_1 t.m. g_1 aangegeven. Aangenomen is hierbij, dat $\sigma_v = 3\,000$ kg/cm², en $E = 2\,100\,000$ kg/cm² is. Bij $r = S$ is ρ te berekenen uit de elastische vervormingen. Volgens vergelijking (9) is daar n.l.

$$\rho = r \cdot \varepsilon_t = r \cdot \alpha \cdot \left(\sigma_t - \frac{1}{m} \cdot \sigma_r\right) = -S \cdot \alpha \cdot \frac{13}{10} \cdot \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} = -0{,}00107 \cdot S,$$

aangegeven door punt P in *fig. 7*. Door P is nu de kromme $\rho = f(r)$ zoodanig te trekken, dat deze in de snijpunten met de lijnen a t.m. g dezelfde helling heeft als de bijbehoorende lijnen a_1 t.m. g_1. Op de door R u n g e aangegeven wijze is de nauwkeurigheid nog verhoogd.

De plaat begint te vloeien, als bij de lasch $\sigma_r = -\sigma_t = p = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}}$ wordt, waarbij dus $S = R$ en $\rho = -0{,}00107 \cdot R$ is. Voor het passtuk, waarvoor $\sigma_t = \sigma_r$ is, is dan $\rho = R \cdot \varepsilon_t = R \cdot \varepsilon_r = R \cdot \alpha \cdot \left(\sigma_r - \frac{1}{m} \cdot \sigma_t\right) = 0{,}00058 \cdot R$. Vloeiing zal dus reeds optreden bij een krimpmaat van $(0{,}00107 + 0{,}00058) \cdot R = 0{,}00165 \cdot R$. Als $R = 10$ cm is, dus reeds bij een krimpmaat voor één laschnaad van 0,165 mm, die zeker bereikt wordt. Ir. d e n H o l l a n d e r neemt zelfs een krimpmaat van 2 mm aan.

De krimpmaat, waarbij ook het passtuk gaat vloeien, is eveneens te berekenen. Hiertoe moet $p = \sigma_v$ worden, waarbij, zooals we in het vorige hoofdstuk reeds zagen, $S = 1{,}46 \cdot R$ wordt. Uit *fig. 7* is bovendien te zien, dat dan bij de lasch, waar $\sigma_r = p = \sigma_v$ is, de verplaatsing $\rho = -0{,}00190 \cdot S = -0{,}00277 \cdot R = -0{,}277$ mm is. Voor het passtuk is dan als gevolg van de elastische vervorming:

$$\rho = R \cdot \varepsilon_r = R \cdot \alpha \cdot \left(\sigma_v - \frac{1}{m} \cdot \sigma_v\right) = 0{,}001 \cdot R =$$

0,1 mm, zoodat het passtuk zal vloeien als de krimpmaat meer is dan $(0{,}277 + 0{,}1)$ mm $= 0{,}377$ mm, ook een zeer kleine krimpmaat.

Is de krimpmaat 2 mm, dan zou, daar voor de plaat ρ niet grooter wordt wanneer $p = \sigma_v$ blijft, de overblijvende krimpmaat $(2 - 0{,}377)$ mm $= 1{,}623$ mm geheel door plastische vervorming van het passtuk moeten worden verwerkt, althans aannemende,

---

2) R u n g e. Grafische methoden. Blz. 106.

dat nergens versteviging optreedt. In de plaat is dit niet het geval, omdat volgens *fig.* 7 bij $\sigma_r = \sigma_v$ de totale specifieke rek ε_r zal liggen tusschen de door de lijnen *d* en *e* vertegenwoordigde waarden $\varepsilon_r =$ 0,5% resp. 1%. Voor het passtuk is echter de plastische rek in radiale richting over den afstand R : 1,623 mm, dus $\varepsilon_r = 0{,}01623$. Daar de plastische specifieke rek in radiale richting $\beta \cdot \left(\sigma_r - \frac{1}{2} \cdot \sigma_t\right) =$ $= \frac{1}{2} \cdot \beta \cdot \sigma_v$ bedraagt en in de dikterichting van het passtuk $-\beta \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot \sigma_r + \frac{1}{2} \cdot \sigma_t\right) = -\beta \cdot \sigma_v$, is dus de specifieke rek in dikterichting — 0,03246, dus ongeveer — 3%. Daar de spanningstoestand van het passtuk door superpositie van een alzijdigen druk σ_v overgaat in een lijndrukspanning σ_v in de dikterichting van de plaat en een alzijdige druk de plastische vervormingen niet beinvloedt, omdat er nergens schuifspanningen door ontstaan, zal de specifieke rek in dikterichting hier ongeveer op dezelfde wijze verloopen als bij zuivere drukspanning, zoodat reeds bij een specifieke rek in dikterichting van ongeveer — 1,5% versteviging (Verfestigung) op zal treden. Bij de 2 keer zoo groote specifieke rek van ongeveer — 3% zal de weerstand van het materiaal van het passtuk dus reeds boven de vloeigrens gestegen zijn. Is deze stijging b.v. 5%, dan wordt dus ook de op de plaat uitgeoefende trekspanning p 5% grooter, dus $p = 1{,}05 \cdot \sigma_v$. Volgens *fig.* 7 zal dan voor de laschnaad $r = R = 0{,}65 \cdot S$ zijn, terwijl de specifieke rek ε_v nog geen 1% is, zoodat in de plaat nog geen versteviging zal optreden. De plastische vervorming zal zich nu dus tot $S = \frac{1}{0{,}65} \cdot R = 1{,}54 \cdot R$, waar dus $\sigma_r = \frac{\sigma_v}{\sqrt{3}} =$ 1 730 kg/cm² is, uitstrekken [3]). Volgens de metingen is bij $r = 1{,}54 \cdot R$ de radiale spanning $\sigma_r = \frac{1}{1{,}54^2} \cdot 4\,000$ kg/cm² = 1 700 kg/cm². Een volkomen overeenstemming tusschen berekening en experiment dus. Toch zij er hier op gewezen, dat de plasticiteitstheorie slechts een vereenvoudigd beeld van de werkelijkheid geeft (zie mijn Diës-rede in dit tijdschrift No. 9 — 1934, blz. I. 81, eerste kolom onderaan).

Bij een ingelaschte buis met flensstuk, die b.v. grooteren weerstand heeft dan het passtuk, zoodat bij de in het limietgeval door de plaat op te nemen vloeispanning $\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v$ b.v. nog slechts elastische en zeer kleine vervormingen optreden, zal vrijwel de geheele krimp voor rekening van de plaat komen. Trad geen versteviging op, dan zou blijkens *fig.* 7 dus $p = \sigma_r$ tot $\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v = 1{,}154 \cdot \sigma_v$ naderen, doch deze waarde niet bereiken. Voor $\sigma_r = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v$ is $R = r = 0{,}571 \cdot S$ (zie *fig.* 7), dus $S = 1{,}75 \cdot R =$ 175 mm.

De verplaatsing ρ, die nu — 2 mm moet worden, moet dus gelijk aan $-\frac{2}{175} \cdot S = -0{,}01142 \cdot S$ worden. Zooals uit *fig.* 7 is te zien, treden echter bij deze verplaatsing reeds zeer groote specifieke rekken $\varepsilon_r = \frac{d\rho}{dr}$ op, waardoor in de buurt van de lasch in de plaat versteviging van het materiaal zal optreden, dus p nog grooter zal worden, zoodat het vloeien zich nog verder dan tot $r = 1{,}75 \cdot R$ zal uitbreiden.

Dat, wanneer de spanningstoestand bij de lasch het punt *B* (*fig.* 3) nadert, zeer groote specifieke rekken zullen ontstaan, is ook zonder meer duidelijk door de volgende redeneering. Bij de door punt *B* aangegeven spanningstoestand is $\sigma_r = 2 \cdot \sigma_t = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v$. De elastische specifieke rek in tangentieele richting is daarbij dus $\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E} - \frac{\sigma_r}{m \cdot E} = \frac{m-2}{m} \frac{\sigma_t}{E}$. Voor de plastische vervormingen, waarvoor $m = 2$ is, is dus $\varepsilon_t = 0$. Totaal is dus $\varepsilon_t = \frac{m-2}{m} \cdot \frac{\sigma_t}{E}$. Volgens vergelijking (9) zou dus $\rho = r \cdot \varepsilon_t$ positief zijn, hetgeen in strijd zou zijn met de werkelijkheid, want ε_r is overal negatief, immers σ_r is overal algebraïsch grooter dan $\frac{1}{2} \cdot \sigma_t$, zelfs nergens algebraïsch kleiner dan $2 \cdot \sigma_t$ (zie *fig.* 3), zoodat alle deelen zich naar *M* toe verplaatsen, ρ dus negatief is (zie ook *fig.* 7). Om uit vergelijking (9) een negatieve ρ te kunnen berekenen moet dus ε_t eveneens negatief zijn, wat alleen mogelijk is als σ_r nog iets kleiner is dan $\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v$, waarbij dus σ_t iets kleiner is dan $\frac{1}{2} \cdot \sigma_r$, zoodat bij zeer groote plastische rekken de totale rek in tangentieele richting n.l. $\varepsilon_t = \frac{\sigma_t}{E} - \frac{\sigma_r}{m \cdot E} +$ $+ \frac{\sigma_t}{E_{pl}} - \frac{\sigma_r}{2 \cdot E_{pl}} = \alpha \cdot (\sigma_t - 0{,}3 \cdot \sigma_r) + \beta \cdot (\sigma_t - \frac{1}{2} \cdot \sigma_r)$ toch nog negatief kan worden.

Algemeene opmerkingen.

Terwijl in het beschouwde geval langs den binnenkant van het gat normale trekspanningen werken, zullen b.v. wanneer een iets te groote drift in een boutgat geslagen wordt, daar drukspanningen werken, waarbij dus dezelfde verschijnselen zullen optreden, met dien verstande dat alle spanningen en vormveranderingen het tegengestelde teeken hebben.

3) Doordat $p = 1{,}05\ \sigma_v$ wordt, wordt volgens *fig.* 7 nu voor de plaat $p = -0{,}00215 \cdot S = -0{,}00331 \cdot R$ en voor het passtuk als gevolg van de elastische vervormingen $p = 0{,}00105$ R, samen een toenadereing bij de lasch gevende van $0{,}00436 \cdot R = 0{,}436$ mm. Door de plastische vervorming van het passtuk moet dus feitelijk slechts 1,564 mm verwerkt worden, gevende een specifieke rek in radiale richting van 0,01564 en in dikterichting van — 0,03128, dus nog altijd — 3%, zoodat in de voorafgaande redeneering geen wijziging gebracht behoeft te worden.

Bovenstaande beschouwingen kunnen dus als een aanvulling worden beschouwd van het door N a d a i [4]) behandelde geval van een dikwandige buis, die door inwendigen druk belast wordt, waar zich, in tegenstelling met het hier beschouwde geval van een vlakken spanningstoestand, een vlakke vervormingstoestand voordoet. Daar is niet zooals hier de derde hoofdspanning $\sigma_3 = 0$, maar is de derde hoofdrek $\varepsilon_3 = 0$ gesteld. In het elastische gebied stelt zich hierbij dezelfde spanningstoestand in, doch in het plastische gebied is de spanningstoestand geheel anders dan voor het hier behandelde geval. Ook is p daar, althans wanneer evenals hier, de uitwendige diameter $r_u = \infty$ wordt gesteld, niet aan een bepaalde limiet gebonden, maar kan ad libitum toenemen.

Tenslotte moet nog worden opgemerkt dat, zooals uit de vergelijkingen (**10**) en (**11**) is te zien, werd aangenomen, dat de vervorming alleen afhangt van den uiteindelijk in een bepaald punt heerschenden spanningstoestand. Zooals bleek, zal echter oorspronkelijk, zoolang nog geen plastische vervormingen optreden, overal $\sigma_t = -\sigma_r$ zijn, welke spanningstoestand bij de vloeigrens door punt A in *fig. 3* wordt aangegeven. Bij verder krimpen, nadat plastische vervormingen zijn opgetreden, zal echter voor de dicht langs de lasch gelegen punten van de plaat de spanningstoestand zich langs de ellips van punt A in de richting van punt B bewegen. Het is dan ook de vraag, of, wat de plastische vervormingen betreft, ook de voorafgegane spanningstoestanden in hetzelfde punt, dus de tevoren opgetreden plastische vervormingen, de uiteindelijke vervorming niet zullen beïnvloeden [5]). Zooals uit nieuwere onderzoekingen blijkt, is dit wel eenigszins het geval [6]); praktisch kan echter de invloed der voorafgegane spanningstoestanden wel verwaarloosd worden.

4) N a d a i. Der bildsame Zustand der Werkstoffe. Blz. 134.

5) Ook kunnen door het verwarmen van de plaat reeds tegengestelde plastische vervormingen zijn opgetreden.

6) H o h e n e m s e r en P r a g e r. Beitrag zur Mechanik des bildsamen Verhaltens von Fluszstahl. Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik, 1932, Heft 1 en van dezelfde schrijvers: Über die Ansätze der Mechanik isotroper Kontinua. Idem 1932, Heft 4.

Invloedslijnen voor liggers op meerdere steunpunten

door

ir. L. A. ALTING MEES

ingenieur bij de Provinciale Irrigatieafdeeling „Pekalen-Sampean" te Loemadjang.

In aansluiting met de reeds in No. 6 — 1934 van dit tijdschrift gegeven theorie, worden voor eenvoudige doorgaande liggers eenige eigenschappen genoemd, waardoor de invloedslijnen rechtstreeks graphisch zijn te construeeren.

Inleiding.

In de aflevering No. 6 — 1934 van *De Ingenieur in Nederlandsch-Indië* heeft prof. ir. C. G. J. V r e e d e n b u r g h de constructie van de invloedslijnen met behulp van fictieve verbindingen besproken en in hoofdstuk 7 van dat artikel voor de praktische toepassing hoofdzakelijk naar de litteratuur verwezen. Het kan echter zijn nut hebben om voor doorgaande liggers (hier voorloopig alleen die met constante stijfheid en spanningloos opgelegd) nog even op die praktische toepassing terug te komen.

Berekening van de vormveranderingen.

Vooraf zij echter over de berekening van dergelijke liggers het volgende gememoreerd.

Een doorgaande ligger op 5 steunpunten (zooals in *fig. 1*) heeft drie overtollige steunpuntsreacties, is derhalve 3-voudig statisch onbepaald, zoodat bij belasting van dien ligger voor de berekening van de momenten en dwarskrachten, behalve de 3 normale evenwichtsvergelijkingen, nog 3 vormveranderingsvergelijkingen moeten worden opgesteld. De berekening verloopt het eenvoudigst, indien niet de 3 overtollige steunpuntsreacties, doch de 3 boven de 3 middelste steunpunten voorkomende overgangsmomenten als statisch onbepaalden worden gekozen. De ligger wordt daartoe boven deze steunpunten doorgesneden (c.q. op deze plaatsen een scharnier aangebracht), waardoor een statisch bepaald hoofdsysteem van 4 vrij opgelegde liggers ontstaat.

Op dit systeem laat men (achtereenvolgens apart) de belasting en de 3 (onbekende) overgangsmomenten werken. In elk van deze 4 belastingsgevallen zullen de liggers, welke belast zijn, doorbuigen, zoodat hunne einddoorsneden eene hoekverdraaïing ondergaan en de oorspronkelijk in onbelasten toestand nog aan elkaar passende doorsneden boven de steunpunten gaan „gapen". Brengt men echter op het systeem zoowel de inwendige belasting als de 3 (onbekende) overgangsmomenten tegelijk aan, dan zullen de hoekverdraaïingen elkaar juist opheffen (de doorsneden blijven in werkelijkheid aan elkaar passen). Deze voorwaarde levert de 3 benoodigde extra vergelijkingen, waaruit de onbekende waarde van de overgangsmomenten M_B, M_C en M_D is op te lossen.

De hoekverdraaïingen van linker en rechter uiteinde der liggers zijn gelijk aan den linker en rechter oplegdruk van het als zgn. *2e* belasting opgevat momentenvlak der liggers, dus, *indien* de resultante van die momentenvlakken R en de afstand van de werklijn hiervan tot linker en rechter uiteinde z_l en z_r wordt genoemd, is de rechter hoekverdraaïing van

het *1e* veld, voor eene belasting van dit veld te schrijven:

$$\alpha_{r01} = \frac{1}{E \cdot I} \cdot R_{01} \cdot \frac{z_{l01}}{l_1} \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

en die voor het overgangsmoment in het *1e* veld:

$$\alpha_{rB1} = \frac{1}{E \cdot I} R_{B1} \frac{z_{lB1}}{l_1} \cdot = \frac{1}{E \cdot I} \cdot M_B \cdot \frac{l_1}{2} \cdot \frac{^2/_3\, l_1}{l_1} =$$

$$= \frac{1}{E \cdot I} \cdot M_B \cdot \frac{l_1}{3} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

De 3 vergelijkingen (vereenvoudigde van Clapeyron), waarin de hier constant aangenomen factor $E \cdot I$ mag worden weggelaten, zijn dan voor eene willekeurige belasting in het *1e* veld.

$$M_B \cdot \frac{l_1 + l_2}{3} + M_C \cdot \frac{l_2}{6} = R_{01} \cdot \frac{z_{l01}}{l_1} \ldots \quad (3)$$

$$M_B \cdot \frac{l_2}{6} + M_C \cdot \frac{l_2 + l_3}{3} + M_D \cdot \frac{l_3}{6} = 0 \quad \ldots \quad (4)$$

$$M_C \cdot \frac{l_3}{6} + M_D \cdot \frac{l_3 + l_4}{3} = 0 \quad \ldots \quad (5)$$

waaruit M_B is op te lossen door achtereenvolgens M_D uit vergelijking (5) in 4 en M_C uit 4 in 3 te substitueeren [1]).

Oplossing door determinanten.

Voor een verder overzicht zullen de vergelijkingen thans echter met behulp van determinanten worden opgelost. Als de hoofddeterminant:

$$\triangle = \begin{vmatrix} \frac{l_1 + l_2}{3} & \frac{l_2}{6} & 0 \\ \frac{l_2}{6} & \frac{l_2 + l_3}{3} & \frac{l_3}{6} \\ 0 & \frac{l_3}{6} & \frac{l_3 + l_4}{3} \end{vmatrix} \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

dan zijn de overgangsmomenten:

$$M_B \cdot \triangle = R_{01} \cdot \frac{z_{l01}}{l_1} \cdot \triangle_{11} = R_{01} \cdot y_{01B} \quad (7)$$

$$M_C \cdot \triangle = R_{01} \cdot \frac{z_{l01}}{l_1} \cdot \triangle_{12} = R_{01} \cdot y_{01C} \quad (8)$$

$$M_D \cdot \triangle = R_{01} \cdot \frac{z_{l01}}{l_1} \cdot \triangle_{13} = R_{01} \cdot y_{01D} \quad (9)$$

(of ook zie hierna)

Vaste punten.

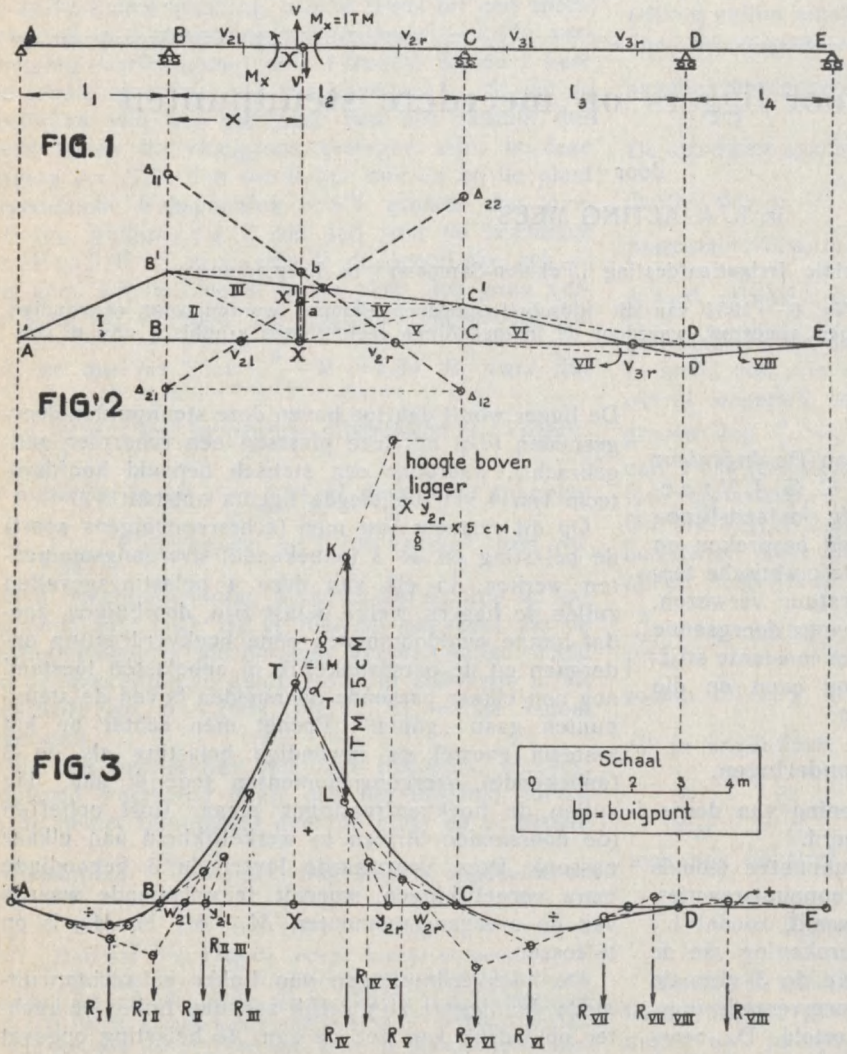
Uit de vergelijkingen (7) — (9) blijkt, dat voor elke willekeurige belasting van het 1e veld

$$M_B : M_C : M_D = \triangle_{11} : \triangle_{12} : \triangle_{13} \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Aangezien de momentenlijn in het 2e, 3e en 4e veld (onbelast) uit rechte stukken bestaat en $\triangle_{11}$ en $\triangle_{13}$ positief zijn, doch $\triangle_{12}$ negatief is, zal de momentenlijn in het 2e en 3e veld voor elke willekeurige belasting van het 1e veld (dus verschillende grootten van M) de liggeras steeds in eenzelfde punt snijden (moment in deze snijpunten = 0).

Zoo'n snijpunt heet daarom een *vast punt*. Bij belasting van andere velden zullen in de onbelaste velden weer andere vaste punten verschijnen. In het geheel heeft elk veld twee vaste punten. De afstand van deze vaste punten tot het naastbijgelegen steunpunt varieert naar gelang van den graad van inklemming der velden van 1/3 veldlengte voor volledige inklemming tot 0 voor vrije oplegging (punten *A* en *E* van den ligger van *fig. 1*) en is door uitwerking van de determinanten in eene algemeene formule uit te drukken, welke formule in de handboeken voorkomt, doch hier verder niet ter zake doet.

In *fig. 13* zijn de determinanten in bepaalde volgorde afgezet en op bepaalde wijze met elkaar verbon-



1) Vergelijk ook J. Klopper, Toegepaste mechanica, deel III, Ie druk, blz. 114.

den door eene dikke, eene dunne en eene gestreepte lijn.

Volgt men de dikke lijn, dan vindt men volgens vergelijking **10** de vaste punten v_{2r} en v_{3r}. Bij belasting van het 4e veld vindt men op gelijke wijze de punten v_{2l} en v_{3l}.

De plaats der vaste punten is ook volgraphisch te bepalen en wel óf door de determinanten te ontwikkelen, óf door den elastischen stangenveelhoek te construeeren, bij welke laatste constructie de kennis van de waarde der determinanten niet noodig is.

Deze laatste constructie is zoo typisch, dat ze in bijna elk handboek te vinden is [2]). Ze volgt o.a. nog uit *fig. 8*, waarin de stangenveelhoek is geconstrueerd voor de in *fig. 7* geteekende momentenlijn, waarbij ook $M_B : Mc : M_D = \triangle_{11} : \triangle_{12} : \triangle_{13}$.

De afstand BB' in *fig. 8* is gelijk aan het statisch moment van het momentenoppervlak $BB'C$ van *fig. 7* ten opzichte van den vertikaal door B, derhalve is:

$$BB' \text{ (fig. 8)} = M_B \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \frac{l_2}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (11)$$

Zoo is ook:

$$CC' \text{ (fig. 8)} = M_C \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \frac{l_2}{3} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (12)$$

Zoodat:

$$BB' : CC' \text{ (fig. 8)} = BB' : CC' \text{ (fig. 7)} = \triangle_{11} : \triangle_{12} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

waardoor het vaste punt v_{2r} in *fig. 8* is bepaald door het trekken van de stangen $v_{3r}\ a\ C\ d$ en (daarna) $v_{3r}\ a\ b\ d$.

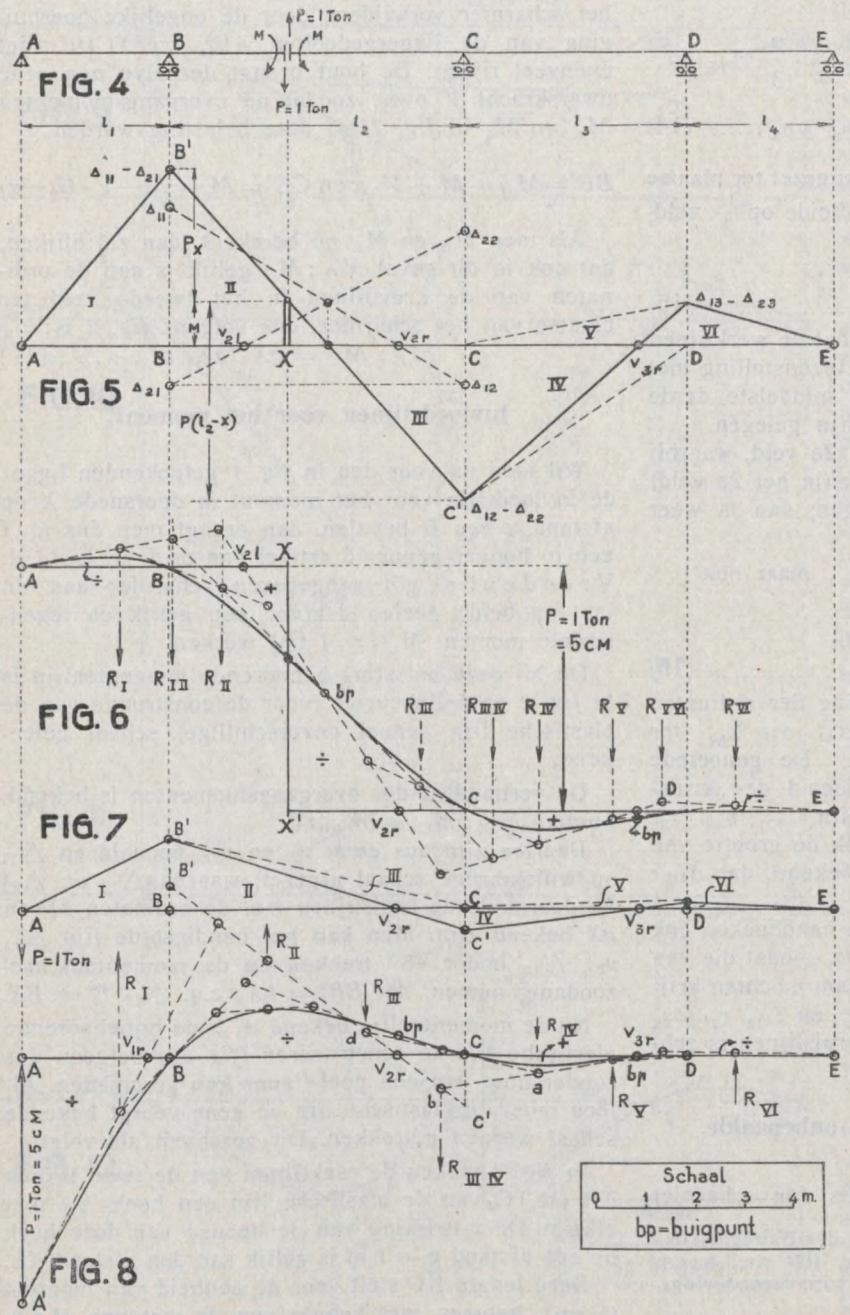
Aangezien het punt v_{3r} dus bekend moet zijn, dient men de rechter vaste punten vanuit het bekende vaste punt E te construeeren.

De schaal is onverschillig, zoodat de scherpe snijding bij v_{3r} is te ontgaan door de schaal over het gedeelte EDv_{3r} eenige keeren te vergrooten.

Verband tusschen de onderdeterminanten.

Uit de juist behandelde constructie volgt tevens, dat men hierbij niet alleen de onderdeterminanten niet noodig heeft, doch dat men zelfs, indien de vaste punten zijn geconstrueerd, slechts één der onderdeterminanten heeft af te zetten, om alle andere graphisch te vinden. De schaal wordt bepaald door de kleinste der onderdeterminanten welke voor een ligger met n velden altijd gelijk is aan $\frac{l_2}{6}\ \frac{l_3}{6} \ldots \frac{l_{n-1}}{6}$ (eindvelden ontbreken).

Uit de vergelijkingen (7) — (9) volgt verder, dat de dik getrokken lijn van *fig. 13* voorstelt de alleen door het moment M_B opgewekte momenten of wel de momentenlijn, welke ontstaat indien men als statisch onbepaald hoofdsysteem de liggergedeelten AB en $BCDE$ kiest en op dit systeem bij B het (onbekende) statisch onbepaalde moment M_B laat werken, hetgeen is te bewijzen door voor dit geval wederom de vergelijkingen van Clapeyron op te stellen. De dun getrokken en de ge-



2) Hütte, Förster, Sammlung Göschen, vergelijk ook *De Waterstaats-Ingenieur*, 1929 No. 3, Plaat VI.

streepte lijn hebben op dezelfde wijze betrekking op de overgangsmomenten M_C en M_D [3]).

Kruislijnen.

In *fig. 13* is de in vergelijking (7) gevonden waarde y_{01B} afgezet ter plaatse van de werklijn van R_{01}.

De index B van y_{01B} duidt op de bij het overgangsmoment M_B behoorende dik getrokken lijn. Was b.v. het *3e* veld belast, dan zou men hebben gekregen $M_B \cdot \triangle = R_{03} \cdot y_{03B}$.

De waarde y_{03B} is in *fig. 13* in het derde veld ter plaatse van de werklijn R_{03} afgezet.

Hoewel het verder niet ter zake doet, kan nog worden opgemerkt, dat ook het eerste lid $M_B \cdot \triangle$ is te schrijven:

$$M_B \cdot \triangle = M_B \cdot \frac{l_1}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \triangle_{11} + M_B \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \frac{2}{3} \cdot \triangle_{11} +$$

$$M_B \cdot \frac{l_2}{2} \cdot \frac{1}{3} \cdot \triangle_{12} = R_{B1} \cdot y_{B1} + R_{B2} \cdot y_{B2} \ldots\ldots \quad (14)$$

welke y waarden ook in *fig. 13* zijn uitgezet ter plaatse van de werklijnen van R_{B1} en R_{B2} (beide op $\frac{1}{3}$ veldlengte van B).

In het algemeen is dus:

$$M_B \cdot \triangle = \Sigma R_B \cdot y_B = \Sigma R_0 \cdot y_{0B} \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Ook kan nog worden opgemerkt, dat de werklijnen van R, wat ook de belasting zij, in tegenstelling met de vaste punten, nooit buiten het middelste derde gedeelte van eenig veld kunnen zijn gelegen.

Staat nu een last (stelsel) in het 2e veld, waarbij de resultante van het momentenvlak (in het 2e veld) op een afstand z_{02} van B is gelegen, dan is weer (*fig. 13*):

$$M_B \cdot \triangle = R_{02} \cdot y_{02B} \text{ , maar ook}$$
$$M_C \cdot \triangle = R_{02} \cdot y_{02C}$$

Zoodat:

$$M_B : M_C = y_{02B} : y_{02C} \ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

en derhalve gelijk aan de verhouding der ordinaten van de lijnen $\triangle_{11}$ v_{2r} $\triangle_{12}$ en $\triangle_{21}$ v_{2l} $\triangle_{22}$ ter plaatse van de werklijn van R_{02}. De genoemde lijnen kunnen daarom worden genoemd de „kruislijnen" van het 2e veld. Ook de lijn $\triangle_{31}$ v_{2l} $\triangle_{32}$ doet feitelijk mee, omdat daaruit ook de grootte van M_D blijkt, doch vooraf was reeds bekend, dat $M_C : M_D = \triangle_{23} : \triangle_{22}$ of $= \triangle_{13} : \triangle_{23}$.

Opgemerkt kan worden, dat in de handboeken ook andere kruislijnen worden gegeven [4]), zoodat die van *fig. 13* wellicht beter een anderen naam mochten krijgen, b.v. voor de lijnen $\triangle_{11}$ v_{2r} $\triangle_{12}$ en $\triangle_{12}$ v_{2l} $\triangle_{22}$ den naam *„BC-lijnen"*. Het woord kruislijnen is echter wel zoo eenvoudig.

Verband tusschen de statisch onbepaalde hoofdsystemen.

Indien men in den ligger slechts één scharnier in B aanbrengt, zal het statisch onbepaalde overgangsmoment M'_B verloopen volgens de dik getrokken lijn van *fig. 13* en $M'_B : M'_C = \triangle_{11} : \triangle_{12} = \triangle_{11} : \triangle_{21}$.

Brengt men het scharnier aan in C, dan zal de momentenlijn door het statisch onbepaald overgangsmoment M''_C verloopen volgens de dun getrokken lijn in *fig. 13*, dus $M''_B : M''_C = \triangle_{21} : \triangle_{22} = \triangle_{12} : \triangle_{22}$ derhalve in beide gevallen gelijk aan de verhouding van de ordinaten van de kruislijnen in het 2e veld ter plaatse van resp. B en C.

Brengt men het scharnier aan tusschen B en C, b.v. in het punt X op afstand x van B (*fig. 1*), en brengt men op beide deelen van het scharnier de gelijk en tegengestelde momenten M aan, dan zullen de deelen van het scharnier, indien men de bout uit het scharnier verwijdert, door de ongelijke doorbuiging van de liggergedeelten ABX en $XCDE$ niet evenveel rijzen. De bout brengt derhalve nog eene dwarskracht V over, zoodat de overgangsmomenten M_B en M_C in *fig. 2* bij deze belasting worden:

$$BB' = M_B = M + V \cdot x \text{ en } CC' = M_C = M - V \cdot (l_2 - x)$$

Als men M_B en M_C nu berekent, dan zal blijken, dat ook in dit geval $M_B : M_C$ gelijk is aan de ordinaten van de kruislijnen in het tweede veld ter plaatse van het scharnier, dus volgens *fig. 2* is:

$$M_B : M_C = bX : aX \ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

Invloedslijnen voor het moment.

Wil men nu voor den in *fig. 1* geteekenden ligger de invloedslijn voor het moment in doorsnede X op afstand x van B bepalen, dan brengt men dus in X een in hooger genoemd artikel van prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh aangegeven scharnier aan en laat op beide deelen daarvan een gelijk en tegengesteld moment M (= 1 tm) werken.

De bij deze belasting behoorende momentenlijn is in *fig. 2* op willekeurige (voor de constructie van de elastische lijn geheel onverschillige) schaal geteekend.

De verhouding der overgangsmomenten is bekend, immers $M_B : M_C = bX : aX$.

Daartoe zijn dus eerst v_{2l} en v_{2r} bepaald en $\triangle_{11}$ op willekeurige schaal afgezet, waarna $\triangle_{12}$ en $\triangle_{22}$ en daarmede de kruislijnen met de ordinaten bX en aX bekend zijn. Men kan het handigst de lijn $\triangle_{11}$ v_{2r} $\triangle_{12}$ onder 45° trekken en de momentenschaal zoodanig nemen, dat $BB' = bX$; c.q. $\triangle_{11}$ $B' = BX$.

Nu de momentenlijn bekend is, is de bijbehoorende elastische lijn te construeeren (*fig. 3*), hetgeen dus zonder hulp van een pool-figuur kan geschieden. Alleen moet de elastische lijn op eene vooraf bekende schaal worden getrokken. Dit geschiedt als volgt:

In *fig. 3* maken de raaklijnen van de twee takken TB en TC van de elastische lijn een hoek α_T met elkaar. De uitwijking van de beenen van deze hoek op een afstand $g = 1$ m is gelijk aan den afstand KL.

Deze lengte KL stelt voor de eenheid van moment (1 tm), hetgeen met behulp van de wet van Maxwell is te bewijzen. Indien men nu vooraf de snijpunten y_{2l} en y_{2r} van evengenoemde raaklijnen met

3) Vergelijk ook J. Pirlet, Statik der Baukonstruktionen, Zweiter Band, Erster Teil, blz. 109 e.v., tevens prachtige methode voor oplossing van vormveranderingsvergelijkingen.

4) Vergelijk ook Strassner, Neuere Methoden zur Statik der Rahmentragwerke, 1921, Erster band, blz. 20 en 37.

de liggeras bepaalt, kan worden zorggedragen, dat de afstand KL bijvoorbeeld 10 cm wordt (dus 1 tm = 10 cm). Wegens ruimtegebrek is in *fig. 3* voor KL 5 cm gekozen.

Uit de in *fig. 2* getrokken kruislijnen blijkt, dat wanneer men het beschouwde punt X kiest tusschen B en v_{2l} of tusschen v_{2r} en C, de overgangsmomenten BB' en CC' ongelijk van teeken worden, waaruit het reeds bekende feit volgt, dat de invloedslijn voor zulke punten in veld l_2 zoowel een positieven als een negatieven tak krijgen.

Invloedslijn voor de dwarskracht.

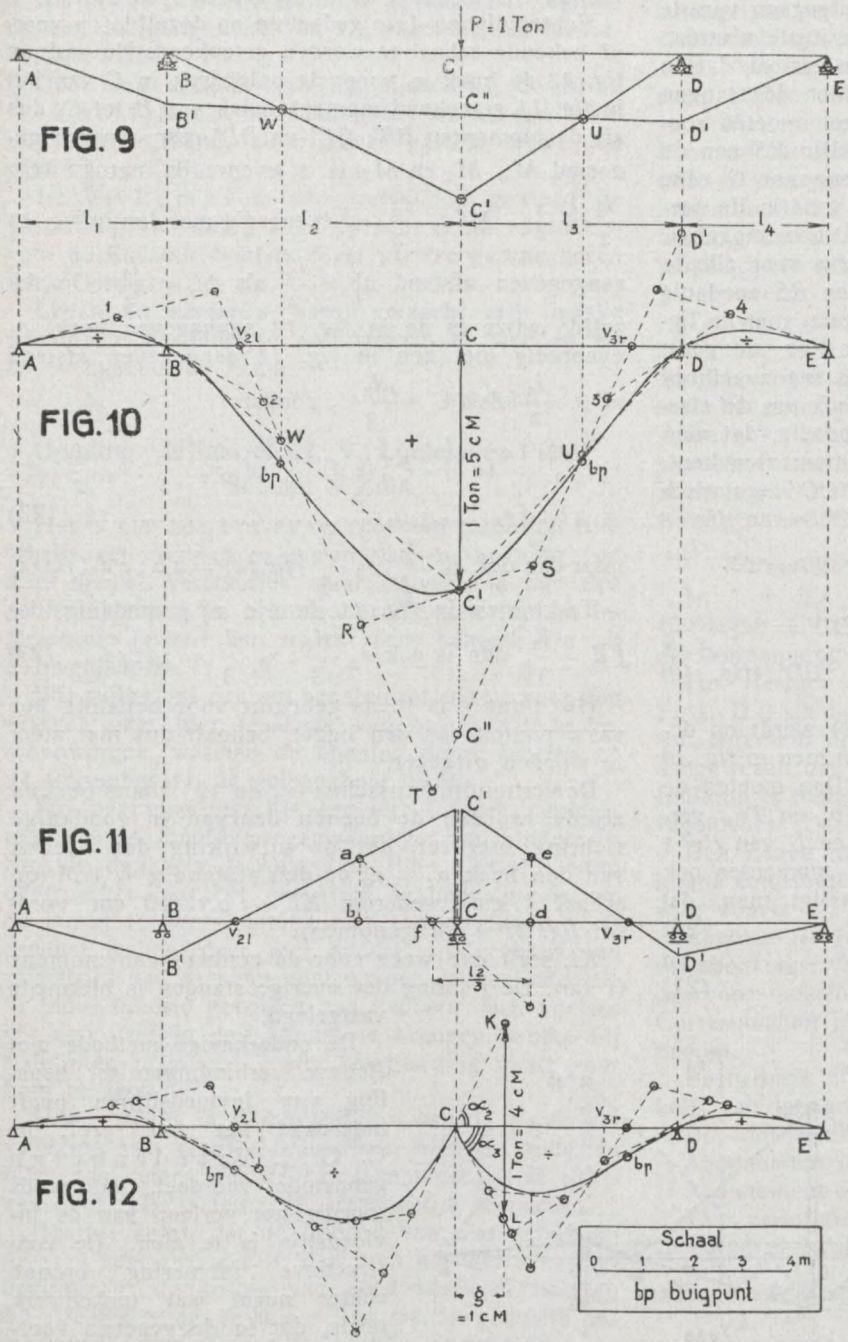
Wordt in doorsnede X de invloedslijn voor de dwarskrachten gevraagd, dan wordt inplaats van een scharnier eene — volgens hooger aangehaald artikel van prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh bedoelde — glijcontructie gedacht en op elk der twee deelen hiervan een gelijke doch tegengestelde kracht $P = 1$ ton aangebracht (*fig. 4*).

De twee deelen van de glijconstructie verschuiven dan ten opzichte van elkaar, doch kunnen ten opzichte van elkaar niet draaien, zoodat zij nog een moment M overbrengen en de momentenlijn van de twee liggerhelften AX en XE verloopt als in *fig. 5* is geteekend. Wederom kan men de overgangsmomenten BB' en CC' berekenen en dan blijkt, dat onverschillig, waar men het punt X in veld l_2 ook heeft gekozen, de verhouding $BB' : CC'$ gelijk is aan de in *fig. 2* aangegeven waarden $(\triangle_{11} - \triangle_{12}) : (\triangle_{12} - \triangle_{22})$ ... (18) waarbij is te bedenken, dat de waarde $\triangle_{12}$ negatief is.

Ook deze verhouding is derhalve analytisch te controleeren. In *fig. 5* zijn de kruislijnen van *fig. 2* nog eens aangebracht en daaruit de momentenlijn (op dezelfde, doch overigens willekeurige schaal) bepaald. De twee gedeelten van de elastische lijn (invloedslijn) zijn dus wederom te construeeren, alleen kan een groote vereenvoudiging worden verkregen door te bedenken, dat de raaklijnen aan elk der gedeelten BX en XC der elastische lijnen ter plaatse van het punt X denzelfden hellingshoek bezitten. Derhalve kan men de twee gedeelten van de elastische lijn in elkaar doen vloeien door, zooals in *fig. 6* is gedaan, het gedeelte AX van de liggeras ten opzichte van het gedeelte XE een bedrag van $P = 1$ ton vertikaal te laten zakken.

Door deze verschuiving b.v. 10 cm te nemen (in de teekening *fig. 6* wegens ruimtebesparing 5 cm) wordt de schaal van teekening 1 ton = 10 cm.

De richting van de twee gedeelten BX en XC der elastische lijn, welke thans ineenvloeien, wordt dan vastgelegd door de gemeenschappelijke stang v_{2l} en v_{2r} waaraan de overige stangen zijn vast te leggen. De zoo verkregen elastische lijn is de invloedslijn voor de dwarskracht in alle punten van het veld l_2; verplaatst men het punt



X, dan behoeft men slechts de scheidingslijn XX' tusschen het positieve en negatieve gedeelte van de invloedslijn met het punt X mede te bewegen.

Invloedslijnen voor de oplegreacties.

a) De constructie van de invloedslijnen voor de oplegreacties en de overgangsmomenten wijkt van de gegeven constructies eenigszins af. Die voor de oplegdruk A volgt uit de momentenlijn van *fig. 7*. De eerste stang (zie *fig. 8*) moet gaan door het vaste punt v_{1r} zoodat, indien de afstand $AA' = 10$ cm wordt genomen, de schaal van teekening wordt: 1 ton $=$ 10 cm. De elastische stangenveelhoek is met $A'v_{1r}$ als eerste stang bekend.

b) Voor de oplegdruk C wordt uitgegaan van de momentenlijn van *fig. 9*. Zonder de juiste waarden der momenten te kennen, kan worden gezegd, dat de stangenveelhoek wordt vastgelegd door de stangen $v_{2l}T$ en $v_{2r}T$ in *fig. 10*. Deze stangen moeten zoodanig worden getrokken, dat de raaklijn RS aan de elastische lijn in punt C' onder steunpunt C eene ordinaat krijgt van b.v. 10 cm $=$ 1 ton (in de teekening wederom 5 cm genomen). Dit is mogelijk, omdat voor alle te kiezen schalen, dus voor alle te kiezen lengten van CC' de raaklijnen RS zoodanig verloopen, dat zij alle hetzelfde snijpunt met de liggeras gemeen hebben (overeenkomstige stangen). Wel kan men nu dus zoodoende den stangenveelhoek $A1B2RC'S3D4E$ (*fig. 10*) trekken, doch om de elastische lijn verder te benaderen, is noodig, dat men in *fig. 9* de juiste waarden van de momenten kent. Nu is echter in *fig. 10* de afstand $C'CC'' =$ statisch moment van het momentenvlak $C'C''D$ van *fig. 9* ten opzichte van de lijn CC'' van *fig. 10* $= M_C \cdot \frac{l_3}{2} \cdot \frac{l_3}{3}$ en zoo is ook in *fig. 10* de afstand $DD' = M_D \cdot \frac{l_3}{3} \cdot \frac{l_3}{3}$ zoodat $C'C'' : DD'$ (*fig. 9*) $= C'C'' : DD'$ (*fig. 10*) (19).

Het overgangsmoment BB' (*fig. 9*) wordt op dezelfde wijze bepaald. Als contrôle kan men in *fig. 10* de lijnen $C'WB$ en $C'UD$ trekken. Dan moeten de snijpunten W en U met de lijnen Tv_{2l} en Tv_{3r} vertikaal liggen onder de nulpunten W en U van *fig. 9* Men kan natuurlijk evengenoemde momenten ook analytisch bepalen. Als uitkomst krijgt men, dat $BB' : CC' : DD' = \beta : (\beta + \gamma + \delta) : \delta$ ..... (20) als $\beta = \triangle_{11} + \triangle_{12} + \triangle_{13}$, $\gamma = \triangle_{12} + \triangle_{22} + \triangle_{23}$ en $\delta = \triangle_{31} + \triangle_{32} + \triangle_{33}$ ..... (21)

Als de ligger tusschen D en E nog steunpunten (meer velden) heeft, dan komen in de waarden β, γ en δ toch alleen maar die onderdeterminanten voor, welke correspondeeren met het beschouwde steunpunt C en de twee daarnaast gelegen steunpunten B en D.

Invloedslijn voor de overgangsmomenten.

Wil men de invloedslijn voor het overgangsmoment M_c bepalen, dan brengt men weer een scharnier aan, dat dezen keer is ondersteund. Men krijgt dan bij het aanbrengen van de twee gelijke en tegengestelde momenten $M = 1$ tm de momentenlijn van *fig. 11*, waarbij de elastische lijn voor de gedeelten AC en CE direkt is te construeeren (*fig. 12*).

Echter dienen deze gedeelten op dezelfde en vooraf bekende schaal te worden geteekend. Nu stelt in *fig. 12* de hoek α_2 voor: de oplegdruk in C van het in *fig. 11* geteekend momentenvlak van B tot C, dus als de momenten BB', CC' en DD' resp. worden genoemd M_B, M_C en M_D is α_2 evenredig met $\frac{2}{3} \cdot M_C \cdot \frac{l_2}{2} + \frac{1}{3} \cdot M^B \cdot \frac{l_2}{2} =$ evenredig met den in *fig. 11* aangegeven afstand $ab \times \frac{l_2}{2}$ als $bC = \frac{l_2}{3}$. Op dezelfde wijze is de in *fig. 12* aangegeven hoek α_3 evenredig met den in *fig. 11* aangegeven afstand $ed \times \frac{l_3}{2}$ als $dC = \frac{l_3}{3}$, zoodat

$$\alpha_2 : \alpha_3 = (a\,b) \cdot \frac{l_2}{2} : (e\,d) \cdot \frac{l_3}{2} \text{ of } \alpha_2 \cdot \frac{l_3}{2} : \alpha_3 \cdot \frac{l_2}{2} = a\,b : d\,e, \quad \text{..... (22)}$$

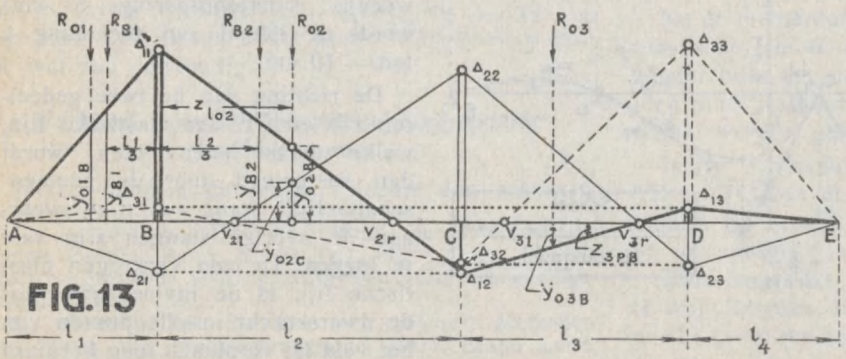
maar dan ook $\alpha_2 \cdot \frac{l_3}{3} : \alpha_3 \cdot \frac{l_2}{3} (fig\,12) = a\,b : e\,d \cdot (fig\,11)$

Trekt men in *fig. 11* de lijn afj zoodanig, dat $fd = \frac{l_2}{3}$, dan is ook $\alpha_2 \cdot \frac{l_2}{3} : \alpha_3 \cdot \frac{l_2}{3} = jd : ed$ ... (23)

Het punt f is reeds gebruikt voor bepaling der vaste punten van den ligger, behoeft dus niet meer te worden uitgezet.

De verhouding tusschen α_2 en α_3 thans bekend zijnde, worden de beenen daarvan in zoodanige richting uitgezet, dat de uitwijking der beenen van den hoek $\alpha_2 + \alpha_3$ op den afstand $g = 1$ M (op schaal 1 cm) wederom $KL =$ b.v. 10 cm wordt (in *fig. 21* 4 cm genomen).

KL stelt dan weer voor de eenheid van moment (1 tm). De richting der overige stangen is hiermede vastgelegd.



De onderhavige methode met fictieve verbindingen ter bepaling van invloedslijnen heeft inderdaad het door prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh genoemde voordeel, dat reeds spoedig het verloop van de invloedslijn is te zien. De constructieve uitvoering brengt echter nogal wat teekenwerk mede, dat in de gegeven voorbeelden is weggelaten om hoofdzaken te laten spreken. Analyti-

sche contrôle blijft daarbij tevens gewenscht. Moet men echter voor eene serie opvolgende punten van den ligger de invloedslijn voor momenten en dwarskrachten bepalen, dan zal men de ordinaten van deze invloedslijnen waarschijnlijk vlugger kunnen vinden door den last P telkens in opvolgende standen op den ligger te plaatsen en de momenten en dwarskrachten te bepalen, zooals in de diverse handboeken staat aangegeven.

BERICHTEN VAN ALLERLEI AARD.

Jaarregister en omslag.

Als inlage is bij dit nummer gevoegd het register op den jaargang 1934 van *De Ingenieur in Nederlandsch-Indië*.

Door den drukker van het tijdschrift, de firma G. Kolff & Co. te Batavia-C., wordt een fraai uitgevoerden band, verkrijgbaar gesteld tegen den prijs van ç 1,75.

Ir. W. Lemei is zoo welwillend geweest de verzorging van dezen band op zich te nemen, waarvoor de Redactie hem te dezer plaatse gaarne haren dank betuigt.

Leden en abonné's wordt verzocht zich inzake eventueele bestellingen rechtstreeks te wenden tot de evengenoemde firma.

De Redactie.

Opening verffabriek N. V. Lindeteves-Pieter Schoen & Zn.

Het is niet zoo eenvoudig voor een technisch tijdschrift een verslag te geven van de opening van deze nieuwe verffabriek, daar in verband met den publicatiedatum, de bezienswaardigheden van dit interessante bedrijf den lezers reeds bekend zijn uit de dagbladpers.

Wij zullen ons daarom bepalen tot enkele voor den verfgebruiker hier te lande van belang zijnde beschouwingen, waartoe de opening dezer fabriek op 21 December j.l. de gelegenheid biedt.

Wij beginnen met het gedeelte uit de openingsrede van den hoofdvertegenwoordiger van Lindeteves Stokvis, den heer J. van der Poel, waarin werd opgemerkt: „dat het geenszins de bedoeling is om de markt te overstroomen met een goedkoop verfproduct en daardoor met andere producenten een prijsstrijd aan te gaan, welke voor de verfindustrie in Indië funeste gevolgen zou hebben, doch veeleer om een verf in den handel te brengen, welke bij redelijken prijs een goede bescherming geeft voor hout en ijzer".

Het is zeker in dezen tijd van ernstig pogen tot vestiging van nieuwe industrieën hier te lande, in niemands belang om de bestaansmogelijkheid daarvan door felle concurrentie onmogelijk te maken.

Daarbij komt, dat de invloed van den prijs van de verf veel geringer is, dan men het wel eens laat voorkomen; de kosten van goed verfwerk bestaan n.l. slechts voor ongeveer een derde gedeelte uit materiaalkosten en voor het overige uit arbeidsloonen en kosten voor toezicht. Gemakkelijk kan dan ook worden ingezien, dat elk jaar eerder oververven — noodzakelijk geworden door de mindere kwaliteit van de verf — als gevolg van de evengenoemde verhoudingen, belangrijk meer kost dan de besparing, welke door het aanschaffen van een goedkoop product zou worden verkregen.

Hiermede zijn wij gekomen tot een tweede punt van belang: de kwaliteit van de verf.

Op dit punt heeft hier te lande langen tijd onzekerheid bestaan. Aangezien „naamverven" niet worden beoordeeld naar hun samenstelling, maar naar hun reputatie, en dit begrip grootendeels beheerscht wordt door subjectieve waardeeringsnormen, die voor een wetenschappelijke beoordeeling slechts betrekkelijke waarde hebben, wordt het bij bestelling voor belangrijke verfwerken veelal noodig geacht de verfsamenstelling voor te schrijven.

Het product van de nieuw geopende fabriek nu staat echter onder contrôle van het Laboratorium voor Materiaalonderzoek van het Departement van Economische Zaken te Bandoeng, waardoor een contrôle is verkregen op het gelijk blijven van de kwaliteit. Van elke verfsoort is daartoe onder geheimhouding de samenstelling aan dat Laboratorium bekend gesteld, terwijl aldaar een standaardmonster is gedeponeerd.

Ten aanzien van deze kwaliteit is nu bekend gesteld, dat deze voor de door de fabriek gevoerde hoogglansverf „Eltosin" voldoet aan de voor eerste soort hoogglansverf door den I. C. A. gestelde eischen.

De bovengenoemde factoren zullen er, naar mag worden verwacht, toe bijdragen, het in de laatste jaren reeds steeds toenemende gebruik van naamverven te bevorderen.

Vereeniging van Delftsche Ingenieurs.

Ir. J. I. de Jongh heeft met ingang van 16 December j.l. bedankt voor het correspondentschap der Vereeniging van Delftsche Ingenieurs.

Het Bestuur in Holland heeft in zijn plaats ir. F. J. Dijxhoorn, Madioenweg No. 14, Bat.-C., wd. Directeur der N. V. Bataviasche Verkeers Mij., aangewezen om als Correspondent in Nederlandsch-Indië op te treden voor de Vereeniging van Delftsche Ingenieurs.

Den Leden in Nederlandsch-Indië wordt verzocht hunne contributie over het Vereenigingsjaar 1935 en voor zoover zij het weekblad *De Ingenieur* en het maandblad *De Ingenieur in Nederlandsch-Indië* door tusschenkomst van de Vereeniging ontvangen ook de daarvoor verschuldigde abonnementsgelden aan den Correspondent in Nederlandsch-Indië te willen overmaken.

Postwissels zijn in verband hiermede in de 2de helft van Januari aan alle Leden verzonden.

De contributie bedraagt	*f* 5,—
Abonnement op *De Ingenieur*	„ 7,50
Abonnement op *De Ingenieur in Ned.-Indië*	„ 5.—

Ter vermijding van extra administratie wordt spoedige toezending zeer op prijs gesteld.

Samenstelling Ned.-Ind. Comité voor Groote Reservoirdammen.

Bij beschikking van den Directeur van Verkeer en Waterstaat van 15 December 1934 is op verzoek eervol ontheven van het lidmaatschap van het Neder-

landsch-Indisch Comité voor Groote Reservoirdammen J. M. Beckman, onder dankbetuiging voor de door hem als lid van dat Comité bewezen diensten, en is in zijn plaats benoemd Ing. J. Zorn, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, te Bandoeng.

PERSONALIA.

Ir. W. A. Harte, ambtenaar van buitenl. verlof terugverwacht, is benoemd tot ingenieur bij de S. S. en geplaatst bij de exploitatie der Westerlijnen te Poerwokerto.

Prof. dr. ir. C. P. Mom, hoofd van het Proefstation voor Drink- en Afvalwaterzuivering Manggarai, is overgeplaatst van Mr.-Cornelis naar Bandoeng.

Dr. J. K. Baars, natuurwetenschappelijk technisch ambtenaar, is overgeplaatst van Mr.-Cornelis naar Bandoeng.

Irs. L. P. Stephan en E. F. van Marle, ambt. van buitenl. verlof teruggekeerd, zijn benoemd tot ingenieur bij de S. S. en geplaatst bij de exploitatie der Westerlijnen resp. te Batavia en te Bandoeng.

Aan dr. ir. J. Westerveld, ingenieur bij den Dienst van den Mijnbouw, is wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ingaande 2 Juni 1935.

U. Bernstorff von Sperling, ambt. op non-act., is benoemd tot ingenieur bij de S. S. en geplaatst te Koetaradja.

De 1e Luitenant der Genie C. Linck is van Bandoeng overgeplaatst naar het detachement der automobielcompagnie te Malang.

Aan ir. P. Ph. Steneker, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, is wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ingaande 5 Maart 1935.

Aan ir. D. H. Arends, idem, idem, ingaande op een nader te bepalen dag in de eerste helft van Juni 1935.

De Majoor der Genie M. T. van Staveren is met ingang van 30 December 1934 bevorderd tot Luitenant-Kolonel.

De Kapitein der Genie W. C. Muller idem tot Majoor.

Ir. P. J. Winkler Prins, ingenieur bij den I. C. A., is tijdelijk ter beschikking gesteld van den Directeur van Economische Zaken.

Ing. O. Werner Sörensen, td. wnd. hoofd van den Provincialen Waterstaat van West-Java, is nevens zijn eigen functiën tijdelijk belast met de functiën van hoofd der Tangerangwerken.

Aan ing. P. K. W. Trapp en ir. J. P. N. Jansen, ingenieurs bij den Provincialen Waterstaat van West-Java, is wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ingaande resp. op 2 November 1935 en op een nader te bepalen dag in den maand Juli 1935.

Ir. M. O. Davis, ambtenaar van buitenl. verlof terugverwacht, is benoemd tot ingenieur bij den Provincialen Waterstaat van Oost-Java te Madioen.

Aan ir. W. L. Begemann, ingenieur bij den Provincialen Waterstaat van Oost-Java te Bondowoso, is wegens zesjarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend.

Ir. W. H. L. Jurgens, ingenieur bij de N. I. S. te Tjepoe, is 28 December 1934 van Europeesch verlof teruggekeerd.

Ir. C. F. M. Duijzings, afdeelings-ingenieur bij de N. I. S., is met ingang van 24 December 1934 gepensionneerd.

Ir. E. W. Vreedenberg, ingenieur bij de B. P. M., is uit Europa teruggekeerd en geplaatst te Pladjoe.

Irs. J. Spoel en H. van Diemen, ingenieurs bij de B. P. M. te Pladjoe, zijn met verlof naar Europa vertrokken.

Ir. J. J. M. Dorbeck, ambtenaar op wachtgeld, is benoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat en geplaatst bij de haven Tandjong-Priok.

KONINKLIJK INSTITUUT VAN INGENIEURS.
Groep Nederlandsch-Indië.

KORT VERSLAG VAN DE ALGEMEENE VERGADERING DER GROEP,
gehouden te Bandoeng op 12 Januari 1935.

Technische Excursie.

Ter gelegenheid van de Algemeene Vergadering van de groep Nederlandsch-Indië, welke werd gehouden te Bandoeng op 12 Januari 1935, bezochten des voormiddags ten 9 u. 30 min. — daartoe welwillend in de gelegenheid gesteld door ir. H. P. Hijmans van Anrooy, hoofdingenieur der S. S., chef der Werkplaatsen te Bandoeng — de leden der Groep de Werkplaatsen der S. S.

Aan deze excursie ging een korte causerie van den heer Hijmans van Anrooy, vooraf.

Zeer verkort kan deze inleiding als volgt samengevat worden.

Iedere poging, om een bepaald werk te doen met minder kosten en moeite, is een daad van rationalisatie. In het algemeen bereikt men dit doel, door, voor men begint te werken, een werkplan te maken.

In de toepassing van deze gedachte op een werkplaatsbedrijf van een spoorwegonderneming komt men er dan toe, om een bepaalde splitsing te maken naar de soort van werk. In de eerste plaats gaat men er dus toe over, om liefst geen wagens, rijtuigen en locomotieven door elkaar in een werkplaats te behandelen. Worden deze soorten van materieel in afzonderlijke, speciaal voor dat materieel ingerichte werkplaatsen gereviseerd en hersteld, dan kan het volledige aan een dergelijke werkplaats verbonden personeel zich specialiseeren en gaat het werk dáárdoor alleen reeds veel gemakkelijker.

Is nu een werkplaats bestemd voor het onderhoud van b.v. locomotieven, dan kan in die werkplaats het werk weer worden verdeeld over onderafdeelingen, die een bepaalde reeks onderdeelen, waarvan de vorm en constructie gelijk zijn, heb-

ben te bewerken. Hiermede wordt dus de specialiseering een stap verder gebracht.

De bewerkingen dezer onderdeelen worden vastgelegd in bepaalde werkplannen, evenals de groote lijn van de geheele revisie vastgelegd is in een werkplan. Zoo mogelijk worden de voor een bepaald werk vereischte werktuigen in een weloverwogen volgorde opgesteld, waardoor bereikt wordt, dat de werkzaamheden plaats hebben, terwijl de werkstukken den kortst mogelijken weg doorloopen van de plaats van demontage naar de plaats van montage.

Volkomen hiermede in overeenstemming is de gedachtengang, om door speciale werktuigen te trachten het werk te vereenvoudigen en te verbeteren.

Gedurende den rondgang door de werkplaats toonde spreker hiervan eenige voorbeelden zooals:

1e) een inrichting om de leibanen te stellen;

2e) een inrichting om de drijfas te tornen voor het stellen van de stoomschuiven.

3e) een bank, waarop een geheel locomotiefframe wordt geplaatst, om de draagmetalen te boren, en wel met het doel, een juiste ligging der assen te bewerkstelligen enz.

Het resultaat dezer verbeteringen is het beperken der uitgaven. Een voorbeeld hiervan is het aantal man-uren, dat een locomotiefrevisie eischt. Terwijl dit in 1929 gemiddeld 15 000 man-uren waren, was dit in 1934 in de werkplaats Bandoeng gedaald tot beneden de 8 000, hetgeen overeenkomt met een daling aan loonuitgaven van ongeveer *f* 900,— per locomotief. Op deze basis zouden de 180 locomotieven, welke in 1935 voor revisie in aanmerking komen, ruim anderhalve ton minder aan loon kunnen kosten dan zij in 1929 gekost zouden hebben, berekend op het huidige uurloon te Madioen.

Een ander resultaat is, dat voor onderhoudswerkzaamheden door de verkorting van den opnametijd een belangrijk kleiner aantal locomotieven gelijktijdig aan de exploitatie wordt onttrokken dan voorheen.

Nadat de heer Hijmans van Anrooy zijn causerie besloten had, dankte generaal v. d. Kasteele spreker voor zijn uiteenzetting.

Het was ongeveer half elf, toen de rondgang door de werkplaatsen aanving. Omstreeks te twaalf uur was de excursie beëindigd, waarna enkele leden zich nog in hotel Homann vereenigden.

Algemeene vergadering.

De in het vorige nummer aangekondigde algemeene vergadering van de groep ving stipt op tijd aan in het gebouw der P. T. T. Voor een verslag hiervan zij verwezen naar de hieronder opgenomen notulen. De vergadering had een vlot verloop. Zij werd om acht uur beëindigd.

Een 33-tal leden vereenigde zich hierna aan een gemeenschappelijken maaltijd in hotel Preanger. De stemming was uitstekend. De gebruikelijke en tevens enkele ongebruikelijke speeches gaven den indruk, dat deze réunie door de deelnemers zeer op prijs werd gesteld.

NOTULEN VAN DE ALGEMEENE VERGADERING.

Aanwezig zijn: ir. W. J. Burck, Vice-Voorzitter, Jhr. ir. H. S. van Lennep, Penningmeester, ir. A. P. Adama van Scheltema, Secretaris, Gen. L. C. A. v. d. Kasteele en P. J. Graaff, Leden, ir. C. Hillen, Voorzitter Kring II en een veertigtal Leden.

Bij afwezigheid van den Voorzitter, ir. C. Menschaar, opent de Vice-Voorzitter, ir. W. J. Burck, om 7 uur de vergadering met een woord van welkom tot de aanwezigen en verzoekt hen op te staan en te gedenken de in 1934 overleden leden der Groep:

dr. ir. L. J. de Ven, ir. E. P. Wellenstein, ir. L. Elfrink en ir. A. J. C. Nugteren.

Vervolgens worden de volgende punten der Agenda behandeld:

I. *Notulen:*

De Notulen van de vorige Algemeene Vergadering worden goedgekeurd.

II. *Bestuursverkiezing:*

Daar geen tegencandidaten gesteld zijn, konden de door het Groepsbestuur geadviseerde candidaten worden benoemd, waarna de Vice-Voorzitter zijn leedwezen betuigt over de minder goede gezondheid van den aftredenden Voorzitter ir. C. Menschaar en de hoop uitspreekt, dat zijn gezondheidstoestand spoedig zal verbeteren. Vervolgens dankt ir. Burck den afgetreden Secretaris ir. A. P. Adama van Scheltema en in het bijzonder het lid, Generaal Majoor L. C. A. van de Kasteele voor hetgeen zij voor de Groep deden. Het nieuwe Bestuur der Groep heeft thans de volgende samenstelling:

ir. C. Hillen	Voorzitter,
ir. W. J. Burck	Vice-Voorzitter,
ir. H. van der Veen	Secretaris,
Jhr. ir. H. S. van Lennep	Penningmeester,
P. J. Graaff	Leden
Kol. G. J. F. Statius Muller	Leden
ir. Ch. F. van Haeften	Leden

Van ir. M. H. C. Vreede werd een schrijven ontvangen en voorgelezen, inhoudende een protest tegen de voorgenomen verplaatsing van het Bestuur naar Bandoeng. De Vice-Voorzitter verwijst naar het rondschrijven, waarin den leden reeds gewezen is op de steeds geringere keuze van geschikte Bestuursleden te Batavia, tegenover Bandoeng, waar de Kring anderhalf maal het aantal leden van Batavia telt.

Door de aanwezige leden wordt geen bezwaar gemaakt tegen de gedeeltelijke overplaatsing van het Bestuur naar Bandoeng. Een definitief besluit omtrent het overbrengen van den zetel kan eerst genomen worden, wanneer de statutenwijziging behandeld wordt.

III. *Begrooting 1935:*

Na eenige discussie wordt de begrooting zooals deze aan de leden werd rondgezonden aangenomen.

Omtrent het honorarium voor de Redactieleden van het maandblad *De Ingenieur in N.-I.* werd een van ir. J. I. de Jongh ontvangen schrijven voorgelezen, waarin aangedrongen wordt op aanstelling van werkelooze ingenieurs voor het redactiewerk.

De Vice-Voorzitter voert hiertegen aan, dat aan de leden der Redactie-Commissie hooge eischen worden gesteld, daar zij o.m. in staat moeten zijn de artikelen te beoordeelen en te corrigeeren. Op de lijst van werkelooze ingenieurs komen momenteel geen personen voor, die hiervoor in aanmerking komen.

Verder acht ir. J. I. de Jongh het bedrag à *f* 75,— per maand als honorarium voor den ass. Penningmeester te hoog.

De Penningmeester, ir. van Lennep, verklaard dat nagegaan zal worden in hoeverre deze post is terug te brengen.

IV. *Benoeming Verificatie-commissie.*

Op voorstel van den Vice-Voorzitter worden ir. M. H. C. Vreede en ir. F. J. Dijxhoorn aangezocht in deze Commissie zitting te nemen. Ir. Dijxhoorn verklaart zich hiertoe bereid. Aan ir. Vreede, die niet aanwezig is, zal terzake schriftelijk een verzoek worden gedaan.

V. *Benoeming 2 leden in den Raad van Bestuur.*

Aan de beurt van aftreden waren ultimo 1934:
ir. J. O. de Kat en ir. J. G. Pouw,
terwijl ir. A. A. Meyers nog tot eind 1935 zitting heeft.

Het Bestuur stelt voor te herkiezen ir. J. O. de Kat voor den tijd van 2 jaar en Gen. Majoor L. G. A. v. d. Kasteele, die in Maart a.s. repatrieert en zoodoende de aangewezen persoon is om de belangen der Groep in Holland te behartigen, te benoemen voor den gebruikelijken termijn van 3 jaar, waardoor de regelmaat in het jaarlijks aftreden wederom zal zijn hersteld.

De aanwezige leden verklaren zich hiermede accoord.

VI. *Hetgeen verder ter tafel wordt gebracht.*

Ir. van Es brengt ter tafel een schrijven van ir. Krythe inzake artikelen, voornamelijk in het mijnbouwkundige gedeelte van *De Ingenieur in Ned.-Indië*, geschreven in een vreemde taal, waartegen ir. Krythe protest aanteekent, indien de schrijver van het artikel de Nederlandsche taal machtig is. Ir. van Es deelt mede, dat deze kwestie met de Commissie van Toezicht is besproken; gemeend wordt, dat tegen de publicatie in een vreemde taal van de door ir. Krythe bedoelde artikelen geen bezwaren bestaan, daar die artikelen anders slechts een zeer beperkten lezerskring zouden vinden en het toch in de bedoeling van de schrijvers ligt een zoo groot mogelijke publiciteit aan het geschrevene te geven.

De Voorzitter van de Commissie van Toezicht, Gen. van de Kasteele ondersteunt zulks gaarne en wijst er verder nog op, dat de Groep slechts een beperkte zeggingschap heeft ten aanzien van de in het mijnbouwkundig gedeelte van het tijdschrift te plaatsen artikelen.

Ir. Krythe verklaart vervolgens accoord te gaan met het inzicht van de Commissie van Toezicht.

Nadat nog eenige minder belangrijke punten ter sprake zijn gebracht brengt ir. Snuyf namens de aanwezige leden hulde aan de promotors van het nieuwe maandblad *De Ingenieur in Ned.-Indië*, welk blad in alle opzichten heeft voldaan aan wat men er van verwachten kon.

Ten slotte verzocht ir. Hillen het woord en zegt de Vergadering dankt voor het in hem gesteld vertrouwen en verzekert, dat hij zelf en ir. van der Veen hun best zullen doen om de Groepsaangelegenheden zoo goed mogelijk te behartigen, waarna ir. Burck om 8 uur de Vergadering sluit met een woord van dank voor de belangstelling.

BESTUURSMEDEDEELINGEN.

Voorgestelde nieuwe leden.

De voorgestelde leden, genoemd in No. 12 — 1934 van dit tijdschrift zijn aangenomen.

Als **gewoon lid** wordt voorgesteld:

Ir. H. J. C. de Ruiter, werktuigkundig ingenieur bij de B. P. M. te Pangkalan Brandan.

Eventueele bezwaren tegen deze candidaatstelling worden voor 10 Maart 1935 ingewacht bij het Secretariaat, Postkantoor, Bandoeng.

2e JAARGANG
NUMMER 2

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

FEBRUARI
1935

II. BOUWKUNDE.

INHOUD: Het Clarissenklooster te Tjitjoeroeg. Arch. J. Th. van Oyen, door ir. A. C. Ingenegeren.

Het Clarissenklooster te Tjitjoeroeg.

Arch. J. Th. VAN OYEN.

Naar een ontwerp van den heer J. Th. van Oyen, Architect B. N. A., is aan de buitenzijde van het pitoreske Preangerdorp Tjitjoeroeg door de Hollandsche Beton Maatschappij N. V. als Aanneemster een klooster gebouwd, waar binnen korten tijd Eerwaarde Zusters Clarissen, de eersten in Ned.-Indië, haar intrek zullen nemen.

Is men in Indië gewend aan een kloosterbouw, die dikwijls op het eerste gezicht niet te onderscheiden is van een school-, of hospitaalbouw, hier is door den Architect in overeenstemming met de strenge levenswijze der aanstaande bewoonsters gezocht naar een oplossing, die de eigenaardige contouren van een klooster, zooals men zich die in de verbeelding denkt, paart aan de tropisch-hygiënische eischen, onmisbaar in dit land, terwijl toch de meest mogelijke eenvoud is betracht om allen schijn van weelde voor deze in armoede levende Zusters te vermijden.

De indeeling en groepeering van de kloostergebouwen blijkt duidelijk uit den in *fig. 1* gegeven plattegrond.

Aan de Zuidzijde ligt het eigenlijke klooster met de Slotkapel, op welke laatste *fig. 2* een blik geeft vanuit een der gangen van den kloosterhof. Met helderen klank zal het met zorg gekozen klokje van het slanke torentje, de vromen van Tjitjoeroeg ter kerke roepen naar de Leekenkapel, die overhoeks gebouwd is op het Presbyterium van de Slotkapel, zoodat de leeken wel den blik op het Altaar hebben, doch niet op de bewoonsters van het slot, die den Heiligen Dienst bij zullen wonen in het Koor.

Fig. 3 geeft een blik op het Altaar door de hier geopende, met punten voorziene zware ijzeren hekwerken, die het Koor van het Presbyterium scheiden.

Stemming brengen de glas-in-loodramen door hun met zorg gekozen kleuren en figuren in gothische hoofdvormen gesteld.

Fig. 4 geeft een overzicht van de Leekenkapel, door de Communiebank van het Presbyterium gescheiden.

Fig. 5 geeft een beeld van de in allen eenvoud gebouwde gangen om den Hof, die juist door het ontbreken van alle versiering met de spitsboogbegrenzingen zoo volledig de idee van rust, armoede en aandacht brengen, die een dergelijk Klooster inderdaad vraagt.

Fig. 6 geeft een algemeen overzicht van de op een heuveltop tusschen theetuinen verrezen gebouwen, gezien vanuit het Noordoosten.

Een blik uit het Zuidwesten op de wasch- en kookgelegenheden, als in *fig. 7* gegeven, toont dat de Kloosterstemming ook dáár, waar voor de onmisbare verzorging van het stoffelijk welzijn moet worden gewerkt, behouden kan blijven.

Aansluitende op het Slot geeft de hooge gevel van *fig. 8* een blik op het huis der Buitenzusters, die de schakel met de buitenwereld moeten vormen.

Op deze foto is tevens de Hoofdingang van het Slot te zien, waar ook bezoekers kunnen worden toegelaten en in de ontvangkamer kunnen spreken door zwaar getraliede van gordijnen voorziene luiken met de onzichtbaar blijvende bewoonsters, of voorwerpen kunnen worden ontvangen of afgegeven door een eigenaardige draaiende kast, „de Rol", die de bewoonsters in staat stelt ook deze handelingen onzichtbaar voor het publiek te verrichten.

Uit de *figuren 1* en *6* blijkt nog, hoe een lange overdekte gewapend-beton gang de verbinding vormt met de Paterswoning, die hier door de eigenaardige terreinsgesteldheid een paar meter hooger is komen te liggen dan de overige gebouwen.

De bezoeker komt door een poort langs de Portierswoning, die aan den grooten weg naar Soekaboemi ligt, op het terrein en gaat langs een zigzagweg den heuvel op en door de boomen komt de eerste verrassende aanblik van den westgevel.

Voorbij de Paterswoning gaande op weg naar de Leekenkapel, krijgt men de blik op dit schilderachtig geheel, zooals *fig. 6* die geeft, maar veel mooier in werkelijkheid door de stemmige kleuren van de paarsbruine sirappen tegen blauwe luchten en groene bergen.

Ir. A. C. INGENEGEREN.

HET CLARISSENKLOOSTER TE TJITJOEROEG.

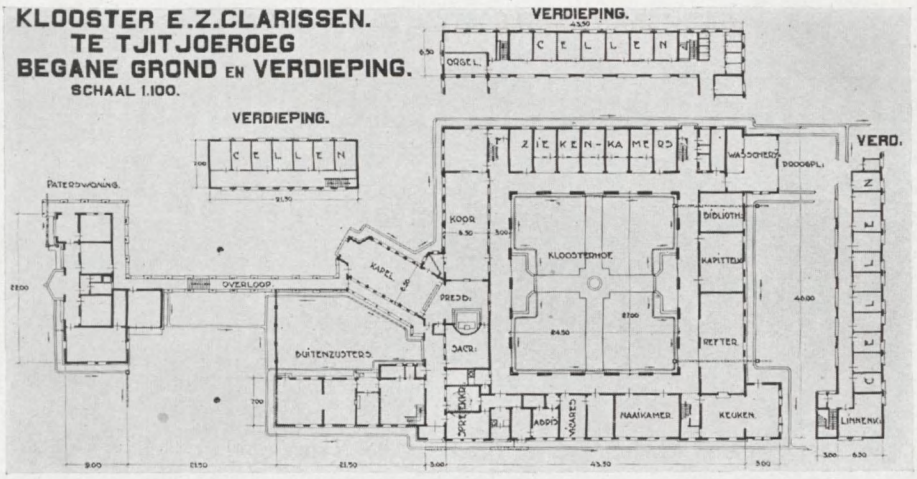


Fig. 1. Plattegrond.

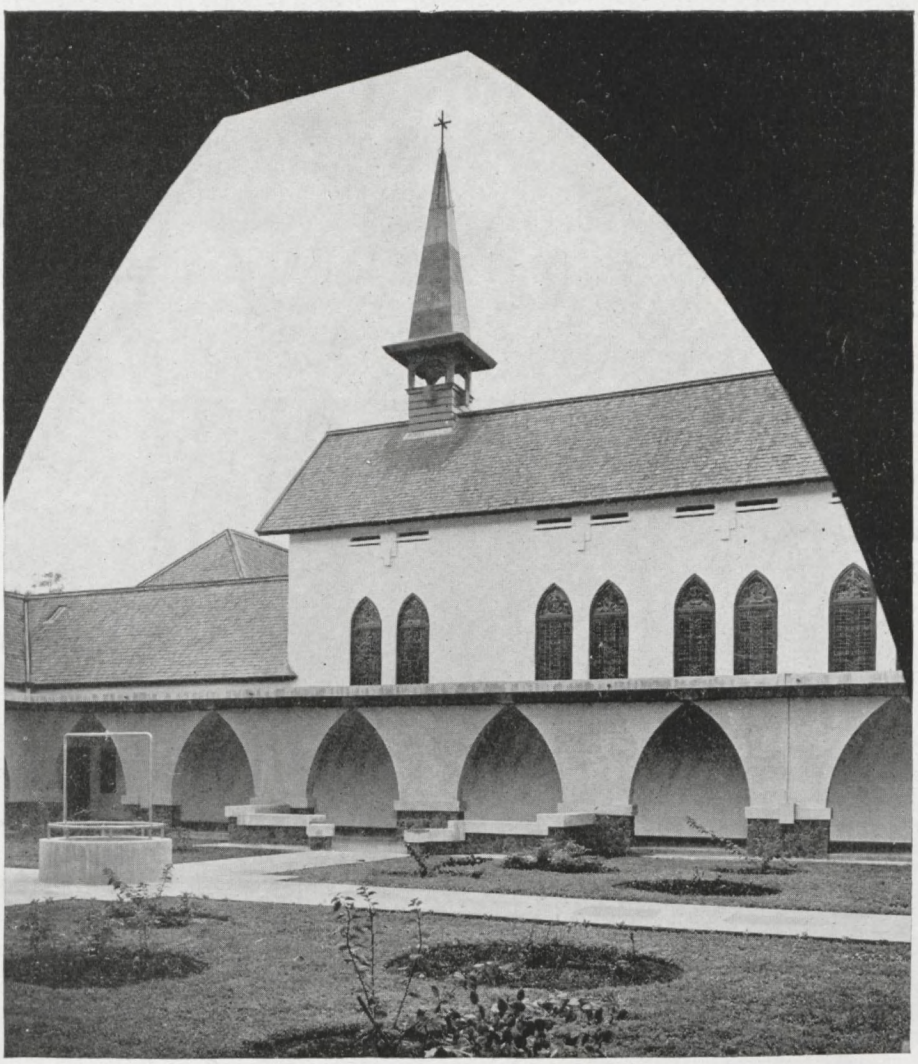


Fig. 2. De Slotkapel gezien vanuit den Kloosterhof.

HET CLARISSENKLOOSTER TE TJITJOEROEG.

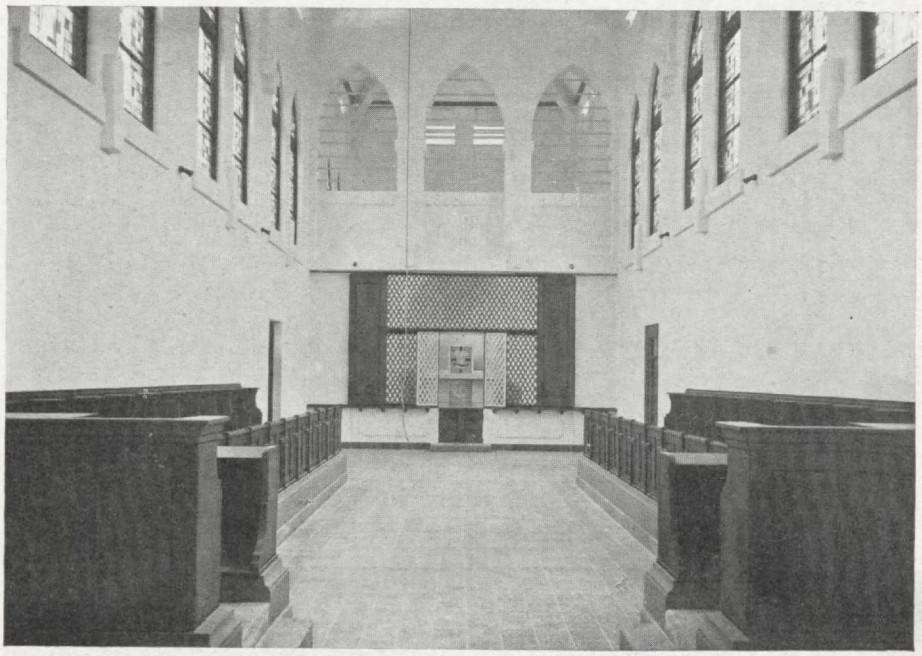


Fig. 3. Blik op het Altaar.

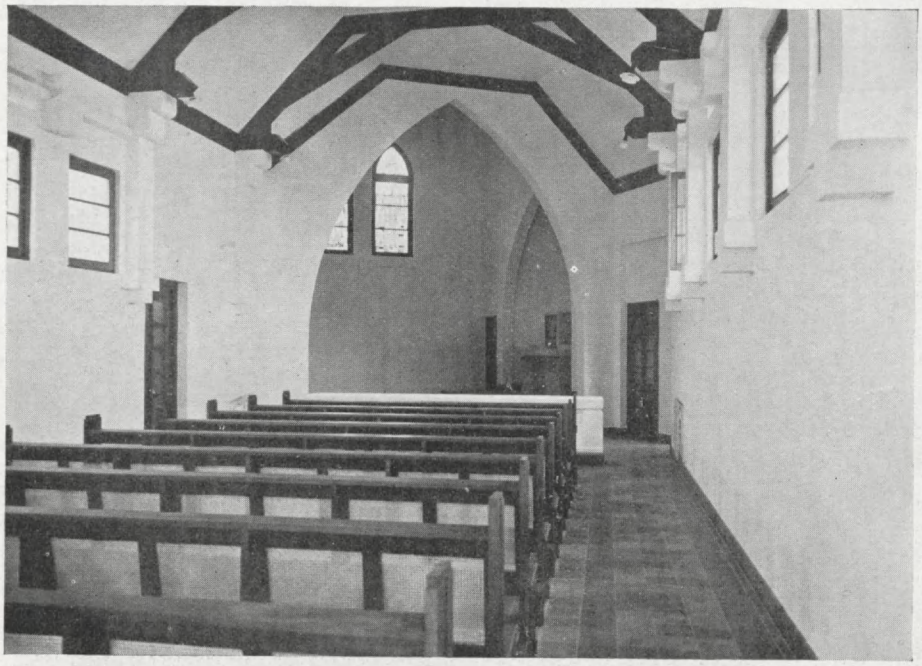


Fig. 4. De Leekenkapel.

HET CLARISSENKLOOSTER TE TJITJOEROEG.

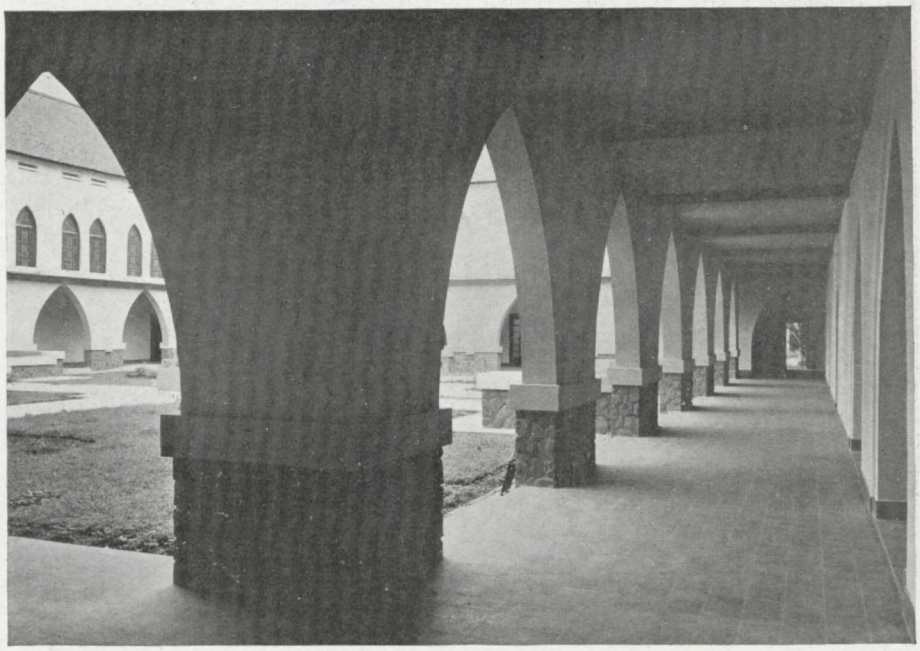


Fig. 5. Gang rondom den Kloosterhof.

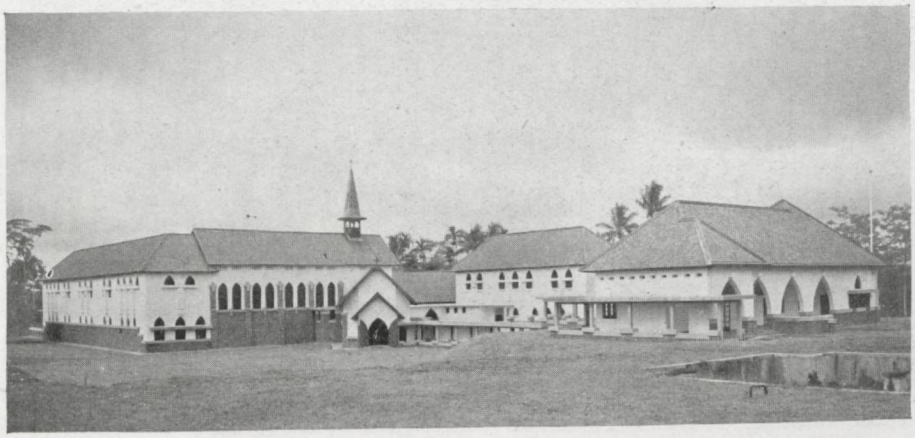


Fig. 6. Het klooster gezien vanuit het Noordoosten

HET CLARISSENKLOOSTER TE TJITJOEROEG.

Fig. 7. Gezicht van uit het Zuidwesten.

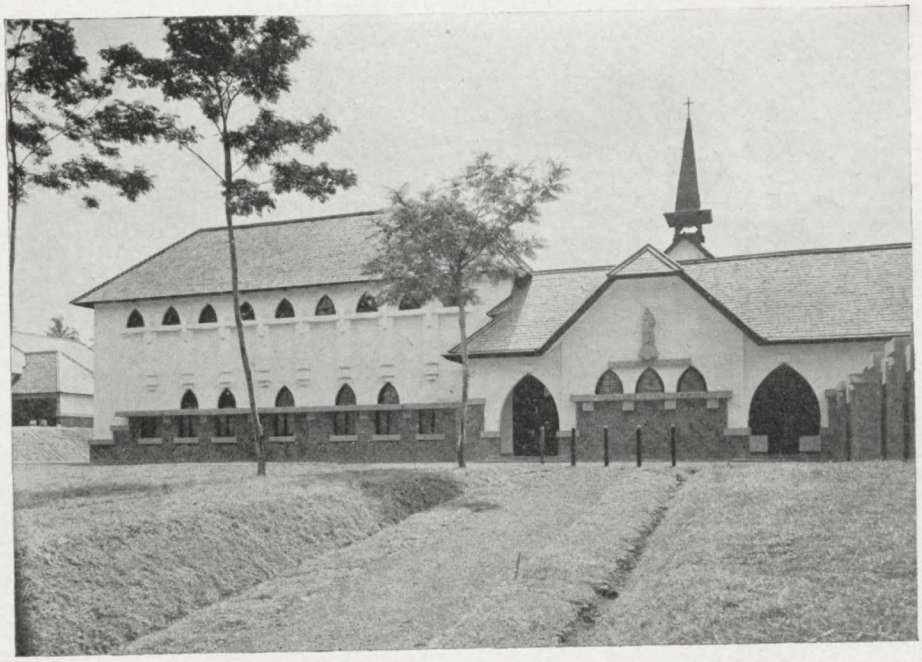


Fig 8. Hoofdingang en Huis der Buitenzusters.

2e JAARGANG
NUMMER 2

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

FEBRUARI
1935

III. ELECTROTECHNIEK EN WERKTUIGBOUW.

INHOUD: Een nieuwe methode voor het berekenen van de stijgsnelheden van vliegtuigen met groot klimvermogen, door dr. ir. G. Otten. — De keuze tusschen lucht- en vloeistofgekoelde motoren in militaire vliegtuigen, door dr. ir. G. Otten.

Een nieuwe methode voor het berekenen van de stijgsnelheden van vliegtuigen met groot klimvermogen

door

dr. ir. G. OTTEN,

Kapitein bij de Militaire Luchtvaartafdeeling, te Bandoeng.

Inleiding.

Bij de berekening van de stijgsnelheden van het vliegtuig worden verschillende methoden toegepast die, zooals bekend, bij het toestel met een groot klimvermogen in het algemeen niet tot geheel juiste uitkomsten voeren en aanleiding geven tot onnauwkeurigheden, welke grooter worden naarmate het stijgvermogen toeneemt.

Was tot nu toe de stijgsnelheid van het vliegtuig ten opzichte van zijn bij dat stijgen gebruikte voorwaartsche snelheid niet groot, zoodat, ter berekening van de stijgsnelheden b.v. de in het buitenland en ook in Nederland vrij algemeen toegepaste methode, welke o.a. beschreven is in het „Handbook of Instructions for Airplane Designers" van de U. S. Army Air Service, zonder bezwaar kon worden gebezigd, de steeds grooter wordende motorvermogens, gepaard gaande met de dalende weerstandscoëfficiënten der toestellen en het gebruik van verstelbare schroeven, hebben de behoefte doen gevoelen aan een betere methode ter bepaling der stijgsnelheden.

Met behulp van de navolgende methode kan de stijgsnelheid van elk vliegtuig, bij beschikking over de juiste normale gegevens met groote nauwkeurigheid worden verkregen, zonder dat het daarbij te verrichten werk noemenswaardig vermeerderd wordt.

Afleiding van de formules.

De volgende notaties zijn toegepast:

G = gewicht van het vliegtuig in kg;
F = vleugeloppervlak in m²;
N = motorvermogen in pk;
n = toeren per sec;
η = nuttig effect van de luchtschroef;
D = diameter van de luchtschroef in m;
v = vliegsnelheid in m/sec;
w = stijgsnelheid in m/sec;
ϑ = hoek, waaronder het toestel stijgt;
L = lift op den vleugel in kg;
W = weerstand op het vliegtuig in kg;
ρ = luchtdichtheid in kg sec²/m⁴;
q = stuwdruk $= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$;
c_a = liftcoëfficiënt bij het stijgen;
c_w = weerstandscoëfficiënt bij het stijgen;
c_{ah} = liftcoëfficiënt bij de horizontale vlucht;
c_{wh} = weerstandscoëfficiënt bij de horizontale vlucht;

c_{ws} = stijgsnelheidscoëfficiënt $= \dfrac{w \cdot G}{q \cdot v \cdot F}$.

Het door de schroef aan het vliegtuig afgegeven vermogen $\eta \cdot N$ kan gesplitst worden in het vermogen $W \cdot v$, benoodigd voor het overwinnen van den luchtweerstand, en het vermogen $w \cdot G$, benoodigd voor het doen stijgen van het toestel, zoodat:

$$75 \cdot \eta \cdot N = W \cdot v + w \cdot G \quad \ldots\ldots (1)$$

en daar $W = v \cdot \sin \vartheta$ is hiervoor ook te schrijven:

$$\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v} = W + G \cdot \sin \vartheta \quad \ldots\ldots (2)$$

Daar (zie *fig. 1*) de krachten loodrecht op de vliegrichting met elkaar in evenwicht moeten zijn, is:

$$L = G \cdot \cos \vartheta \quad \ldots\ldots (3)$$

waaruit volgt:

$$G \cdot \sin \vartheta = \sqrt{G^2 - L^2} \quad \ldots\ldots (4)$$

Met behulp van vergelijking (4) en de bekende aerodynamische formules:

$$W = c_w \cdot q \cdot F \quad \ldots\ldots (5)$$

en

$$L = c_a \cdot q \cdot F \quad \ldots\ldots (6)$$

is vergelijking (2) te schrijven als volgt:

$$\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v} - c_w \cdot q \cdot F = \sqrt{G^2 - c_a^2 \cdot q^2 \cdot F^2} \quad \ldots\ldots (7)$$

Door beide leden van vergelijking (7) in het kwadraat te verheffen vindt men na eenige herleiding:

$$c_a^2 + c_w^2 - 2 \cdot c_w \cdot \frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F} + \frac{75^2 \cdot \eta^2 \cdot N^2}{v^2 \cdot q^2 \cdot F^2} - \frac{G^2}{q^2 \cdot F^2} = 0 \quad \ldots\ldots (8)$$

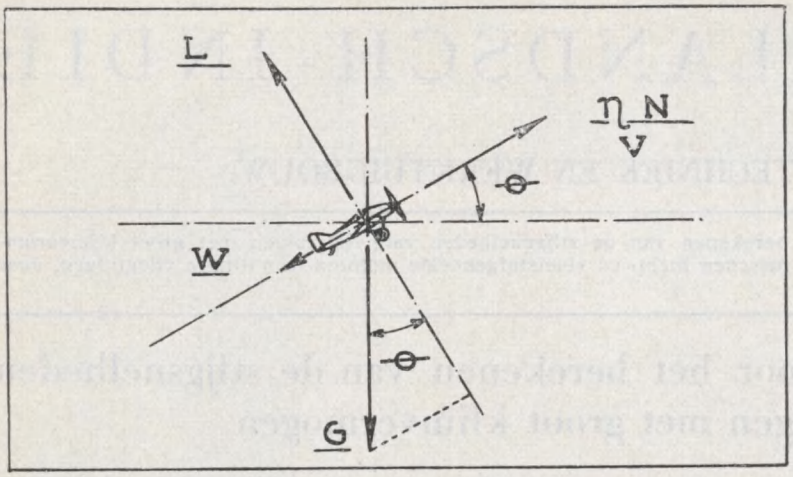


Fig. 1.

Stellen we ons thans voor, dat met volgeopende gasmanette gevlogen wordt onder een nog onbekenden stijghoek ϕ, doch op een bekende hoogte h en met een bekende snelheid v. Dan is het toerental n bij een gegeven motor en een gegeven schroef, zijnde een functie van den stand van de gasmanette, van h en van v, eveneens bekend en daarmede het motorvermogen N, daar deze grootheid weder een functie van n en h is. Ook is het nuttig effect van de schroef η bekend, daar η een functie is van $\frac{v}{n \cdot D}$ waarbij D den diameter van de schroef voorstelt. Tenslotte is de stuwdruk q bekend, terwijl het gewicht G van het toestel en het vleugeloppervlak F constanten zijn.

Nemen we nu aan, dat steeds op een vooraf bepaalde, doch overigens willekeurige hoogte gevlogen wordt met volgeopende gasmanette, een restrictie, die overigens aan de juiste bepaling der stijgtijden geen afbreuk doet, dan komen in vergelijking (8) behalve c_w en c_a nog slechts termen voor, die afhankelijk zijn van v.

Formule (8) stelt in dat geval een cirkelbundel in het c_w-c_a-vlak voor, waarvan de middelpunten gelegen zijn op de c_w-as.

Beschouwen we één van de cirkels van den bundel en verplaatsen we hiervoor de c_a-as zoodanig, dat zij gaat door het punt:

$$c_w = \frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F} \text{ en } c_a = 0$$

door in vergelijking (8) te stellen:

$$c_w = c_{wl} + \frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

dan wordt de vergelijking van dezen cirkel:

$$c_a{}^2 + c_{wl}{}^2 - \frac{G^2}{q^2 \cdot F^2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Stelt men verder:

$$G = c_{ah} \cdot q \cdot F \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

waarin dus c_{ah} den liftcoëfficiënt van den vleugel van het vliegtuig voorstelt als dit horizontaal vliegt met de snelheid v — behoorende bij den stuwdruk q—, dan gaat vergelijking (10) over in:

$$c_a{}^2 + c_{wl}{}^2 = c_{ah}{}^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

waaruit blijkt, dat de straal van dezen cirkel een eenvoudigen vorm heeft.

De cirkel van vergelijking (12), geschreven in den vorm van vergelijking (8), zal de c_w-c_a-kromme van het vliegtuig, de polaire, in 0, 1 of meer punten snijden.

Laten we die snijpunten buiten beschouwing, welke een negatieven liftcoëfficiënt opleveren en eveneens de snijpunten, gelegen in het gebied, waarbij de vleugel overtrokken is, dan zullen er bij de bruikbare vleugelvormen slechts één of géén snijpunten overblijven.

Is geen snijpunt aanwezig, dan beteekent dit, dat er bij de gekozen snelheid geen waarden van c_a en c_w te vinden zijn, welke aan de polaire van het vliegtuig voldoen.

Ligt daarbij het middelpunt van den cirkel op de c_w-as tusschen de polaire en de c_a-as, dan beteekent dit, dat de gekozen snelheid grooter is dan de snelheid, welke het toestel met het beschikbare motorvermogen kan halen, zoodat van stijgen geen sprake meer kan zijn. Ligt het middelpunt echter aan de andere zijde van de polaire, dan is de gekozen snelheid te klein om daarmede — met volgeopende gasmanette — te kunnen vliegen.

In het laatste geval kan de polaire geheel binnen den te construeeren cirkel liggen, hetgeen beteekent, dat blijvend vliegen bij de gekozen snelheid geheel onmogelijk is, dan wel de polaire kan geheel buiten dien cirkel liggen, hetgeen beteekent, dat alleen met *volgeopende* gasmanette op de gekozen snelheid niet gevlogen kan worden, daar dan het vliegtuig, bij dien stand van de gasmanette, bij loodrecht stijgen met de aangenomen snelheid, nog over een overschot van vermogen zal beschikken.

Vindt men een snijpunt van den cirkel van vergelijking (8) met de polaire, dan zijn hierbij drie gevallen te onderscheiden en wel:

a) de waarde van c_w in het snijpunt van cirkel en polaire is grooter dan de waarde van c_w in het middelpunt van den cirkel, zijnde $\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F}$; er is niet voldaan aan vergelijking (7);

b) de c_w-waarde van het genoemde snijpunt is gelijk aan $\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F}$; er is alleen voldaan aan vergelijking (7) door te stellen $G = L = c_a \cdot q \cdot F$;

c) de c_w-waarde van dit snijpunt is kleiner dan $\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F}$; er is tevens aan vergelijking (7) voldaan.

Zooals gemakkelijk valt in te zien is in het geval *a*) de gekozen snelheid weder te groot om er blijvend mede te kunnen vliegen, in het geval *b*) is zij juist gelijk aan de maximum snelheid van het toestel,

terwijl in het geval *c*) de gekozen snelheid kleiner is dan de maximum snelheid, het vliegen mogelijk is en een overschot van vermogen beschikbaar is, om het toestel te doen stijgen.

Daar in het laatstgenoemde geval de coördinaten van het snijpunt van cirkel en polaire voldoen aan vergelijking (7) volgt hieruit, dat in dat geval *de coördinaten van het snijpunt van cirkel en polaire de lift- en weerstandscoëfficiënten van het vliegtuig zijn, indien met volgeopende gasmanette gevlogen wordt op de gekozen snelheid.*

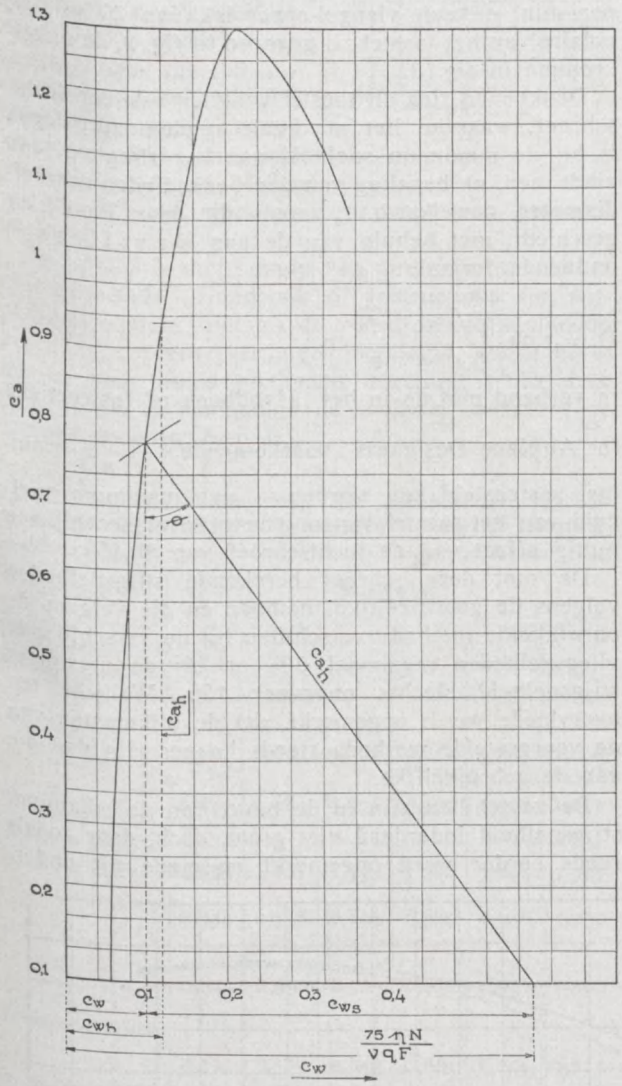


Fig. 2.

Kent men den weerstandscoëfficiënt c_w, dan is verder met behulp van de vergelijkingen (5) en (2) sin ϕ op een eenvoudige wijze te bepalen, waarmede tevens de stijgsnelheid $w = v \cdot \sin \phi$ bekend is.

We kunnen echter w ook op een eenigszins andere wijze vinden en stellen daartoe:

$c_{wI} = -c_{ws}$, waardoor formule (9) overgaat in:

$$\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F} = c_w + c_{ws} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (9a).$$

In deze formule is $\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F}$ te beschouwen als den totaal beschikbaren weerstandscoëfficiënt en daar c_w de weerstandscoëfficiënt van het toestel is behoorende bij de snelheid v en den stijghoek ϕ, is c_{ws} te beschouwen als den voor het stijgen beschikbaren weerstandscoëfficiënt, zoodat voor de stijgsnelheid, welke gelijk is aan het voor het stijgen beschikbare vermogen, gedeeld door het gewicht van het vliegtuig, geschreven kan worden:

$$w = \frac{c_{ws} \cdot q \cdot F \cdot v}{G} \text{ of:}$$

$$w = v \cdot \frac{c_{ws}}{c_{ah}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (13)$$

Daar ook: $w = v \cdot \sin \phi$, volgt uit vergelijking (13) dat:

$$\sin \phi = \frac{c_{ws}}{c_{ah}},$$

welke hoek dus direct uit de figuur is af te lezen.

Uit de formule volgt verder, dat de stijgsnelheid een maximum zal zijn als:

$$w = \left(v \cdot \frac{c_{ws}}{c_{ah}} \right)_{\max.}$$

Met behulp van verschillende waarden van v kan de kromme van vergelijking (13) bepaald worden. De maximum waarde van deze kromme geeft ons de maximum stijgsnelheid.

Dat indien met volgeopende gasmanette gevlogen wordt, bij een bepaalde snelheid v, een bepaalde stijghoek ϕ behoort, wordt niet algemeen ingezien. Zoo schrijft von Mises [1]) bij de bespreking van een diagram, voorstellende het benoodigde vermogen ter overwinning van den luchtweerstand (Linie I) en het beschikbare schroefvermogen als functie van de snelheid:

„Genau genommen gilt also die Linie I nur für wage-
„rechten Flug, und für jede von null verschiedene Bahn-
„neigung b müsste eigentlich eine *besondere Linie* ge-
„zeichnet werden. Aber da wir uns im allgemei-
„nen auf Bahnwinkel von weniger als 10° beschrän-
„ken dürfen und der cos 10° noch 0,985 ist, so sieht man,
„dass der Fehler höchstens 1,5 vH ausmacht, dass also
„das ganze Büschel der Linien I in unserer Zeichnung
„innerhalb einer Strichstärke von wenigen Zehnteln
„einer Millimeter enthalten sein müsste!"

Daar, zooals uit het voorgaande is gebleken, bij een bepaalde snelheid slechts één bepaalde stijghoek behoort, is ook de juiste „Linie I" door één bepaalde kromme vast te leggen.

Vergelijking tusschen de algemeen gebruikelijke en de ontwikkelde methode.

Bij de berekening van de stijgsnelheden worden bij de gebruikelijke methode voor verschillende vliegsnelheden berekend *het voor het horizontaal vliegen* benoodigde vermogen en het totaal beschikbare schroefvermogen. Het verschil van beide wordt beschouwd als het voor het stijgen ter beschikking staande vermogen en hieruit wordt dan de stijgsnelheid berekend.

1) Prof. Dr. R. von Mises, Fluglehre, Berlin 1933, p. 330.

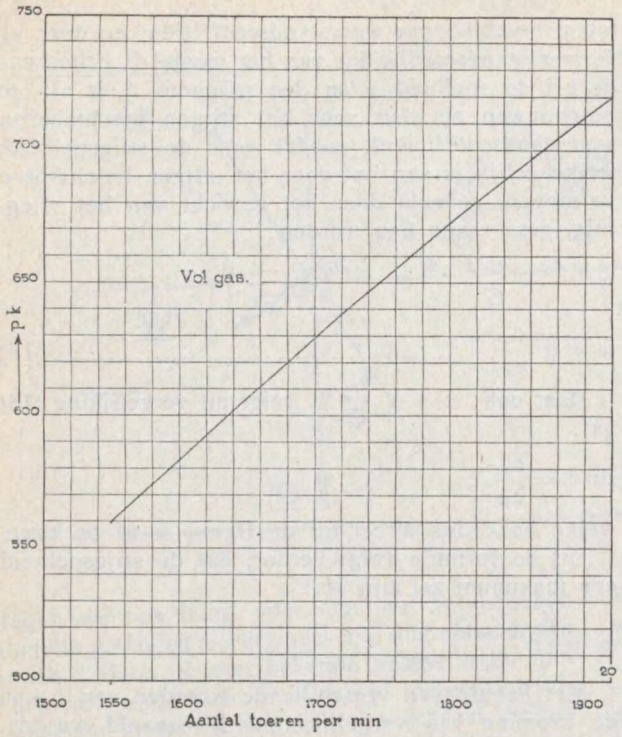


Fig. 3

Gaan we na tot welke fouten deze methode aanleiding geeft, dan kunnen we opmerken, dat met de hier gebruikte notaties en stellende c_{wh} de weerstandscoëfficiënt van het horizontaal vliegende toestel, in dat geval uit vergelijking (1) volgt:

$$w = \frac{75 \cdot \eta \cdot N}{G} - \frac{c_{wh}}{c_{ah}} \cdot v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

terwijl geschreven behoorde te worden:

$$w = \frac{75 \cdot \eta \cdot N}{G} - \frac{c_w}{c_{ah}} \cdot v \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Indien met $\triangle$ de correctie aangegeven wordt, die op formule (14) moet worden toegepast, dan is:

$$\triangle_w = \frac{v}{c_{ah}}\left(c_{wh} - c_w\right) \ldots (16)$$

en ook:

$$\triangle_{sin\,\theta} = \frac{1}{c_{ah}}\left(c_{wh} - c_w\right) \ldots (17)$$

Uit vergelijking (16) volgt dat, behalve op de plafondhoogte, waar $c_w = c_{wh}$, de vergelijkingen (14) en (15) steeds verschillende waarden geven. De verschillen worden grooter naarmate c_w meer van c_{wh} afwijkt, hetgeen in het algemeen het geval zal zijn bij groote stijgsnelheden.

Berekening van de stijgsnelheden van een vliegtuig op zeeniveau volgens de gebruikelijke en volgens de ontwikkelde methode.

Teneinde na te gaan, hoe groot de verschillen zijn in de uitkomsten van de beide stijgsnelheidsberekeningen, werden verschillende calculaties uitgevoerd.

Als eerste voorbeeld werd gekozen een jager met niet meer dan normale performance. Voorgesteld wordt een één-motorig vliegtuig — tweedekker — met een gewicht van 1 500 kg voorzien van een luchtgekoelden motor van 720 pk bij 1 920 omwentelingen per min. en een vleugel-oppervlak van 20 m². De polaire van het toestel zij gegeven in *fig. 2*, de motorkromme in *fig. 3*.

Denkt men zich dit toestel voorzien van een luchtschroef, waarvan het maximale rendement gelegen is bij de maximum snelheid van het vliegtuig, dan vindt men, na bepaling van den benoodigden schroefdiameter, — welke b.v., zooals dit door Fokker geschiedt, met behulp van de aan Devillers [2]) ontleende formule:

$$D = 1{,}04 \cdot \sqrt[4]{\frac{10^8 \cdot N}{n^2 \cdot v}} \text{ en}$$

in verband met de in het „Handbook of Instructions for Airplane Designers" voorkomende $\eta - \frac{v}{nD}$-kromme, vastgesteld kan worden —, een maximum snelheid van het toestel van ongeveer 85 m/sec bij een nuttig effect van de luchtschroef van 80,4%.

De met deze schroef berekende stijgsnelheden volgens de gebruikelijke methode en die volgens de ontwikkelde methode verschillen bij de verschillende vliegsnelheden maximaal 6% en bij de maximum stijgsnelheid slechts ongeveer 1%. Wellicht ten overvloede wordt opgemerkt, dat de uitkomsten van de voorgestelde methode steeds hooger zijn dan die van de gebruikelijke.

De verschillen zijn in de buurt van de maximum stijgsnelheid inderdaad niet groot, doch, daar zooals reeds eerder werd opgemerkt en mede uit onder-

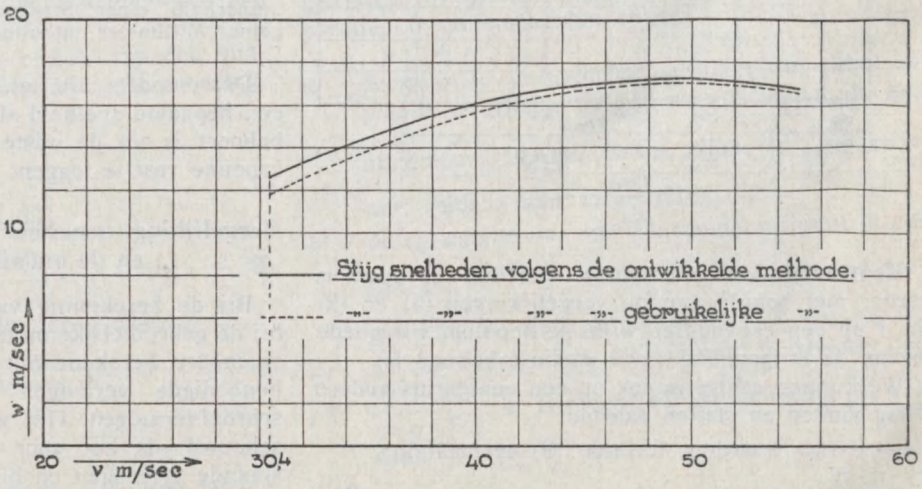


Fig. 4

2) R. Devillers, Le Moteur à explosions, deel II, p. 826.

staand voorbeeld blijkt, beide methoden ongeveer dezelfde hoeveelheid werk vereischen, is de nauwkeurige methode te verkiezen boven de methode, welke slechts benaderde uitkomsten geeft.

In het volgend geval werd aangenomen, dat het toestel voorzien was van een luchtschroef, die haar maximaal nuttig effect, zijnde 71,5% levert bij een vliegsnelheid van 55 m/sec, een schroef, die bij benadering zou kunnen worden verkregen door verstelling van de bladen van de schroef, geconstrueerd voor een grootere snelheid.

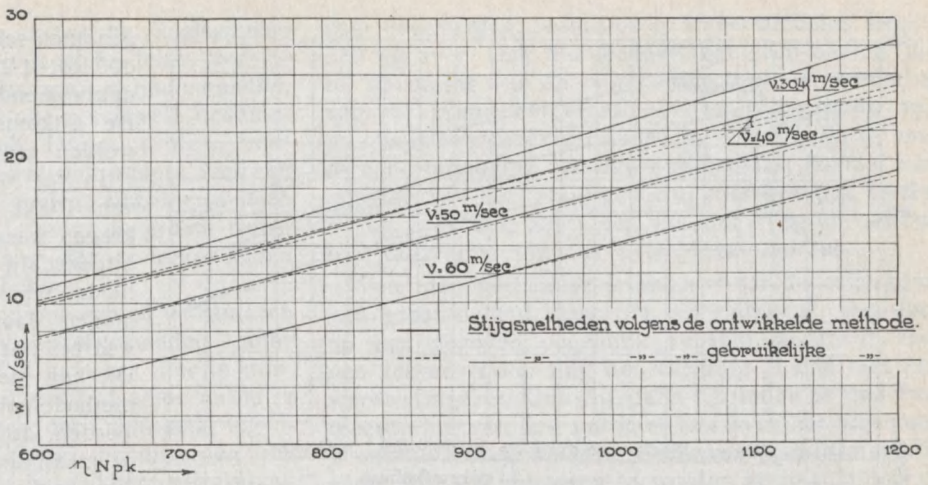


Fig. 5

In *tabel 1* is met behulp van de grafieken uit het meergenoemde „Handbook of Instructions for Airplane Designers" het bij de verschillende snelheden beschikbare schroefvermogen berekend, welke berekening voor beide methoden dezelfde is. In deze tabel is als v_s aangeduid de snelheid, waarvoor de schroef geconstrueerd is.

Zooals uit de tabellen blijkt, varieeren de verschillen in de uitkomsten in de range van vliegsnelheden van 30,4 m/sec — minimum vliegsnelheid bij de horizontale vlucht — tot 55 m/sec van ongeveer 7½% tot ongeveer 1½%.

De verschillen in de uitkomsten voor de maximum stijgsnelheden bedragen ongeveer 1½%; die van de maximum stijgsnelheden per motorpaardekracht ongeveer 2%.

TABEL 1. Berekening van het beschikbare schroefvermogen bij verschillende snelheden van het vliegtuig.

Hoogte	Zeeniveau					
Snelheid in m/sec	30,4	35	40	45	50	55
$\frac{v}{v_s}$	0,553	0,636	0,727	0,818	0,909	1,000
$\frac{n}{n_{max}}$ (volgens grafiek)	0,875	0,886	0,903	0,930	0,961	1,000
n per min	1 680	1 701	1 734	1 786	1 845	1 920
$\frac{\lambda}{\lambda_s}$	0,632	0,718	0,805	0,880	0,946	1,000
$\frac{\eta}{\eta_{max}}$ (volgens grafiek)	0,745	0,830	0,905	0,957	0,991	1,000
η	0,533	0,593	0,647	0,684	0,709	0,715
N in pk (volgens motorkromme)	620	630	644	666	691	720
$\eta \cdot N$ in pk	330	374	417	456	490	515

$\lambda = \frac{v}{n \cdot D}$ $\eta_{max} = 0{,}715$

$\lambda_s = \frac{v_s}{n \cdot D}$ $n_{max} = 32$ omwentelingen per sec

In *tabel 2* zijn verder de stijgsnelheden volgens de gebruikelijke, in *tabel 3* volgens de ontwikkelde methode berekend, terwijl de uitkomsten nog grafisch neergelegd zijn in *fig. 4*.

TABEL 2. Berekening van de stijgsnelheden van het vliegtuig volgens de gebruikelijke methode.

Hoogte	Zeeniveau					
Snelheid in m/sec	30,4	35	40	45	50	55
$\eta \cdot N$ in pk	330	374	417	456	490	515
c_{ah}	1,298	0,980	0,750	0,593	0,480	0,397
c_{wh}	0,204	0,1285	0,0975	0,0804	0,0720	0,0662
N_{hor} in pk	96	92	104	122	150	184
N_{st} in pk	234	282	313	334	340	331
w in m/sec	11,70	14,10	15,65	16,70	17,00	16,55

N_{hor} = vermogen benoodigd voor het horizontaal vliegen.
N_{st} = vermogen beschikbaar voor het stijgen.

TABEL 3. Berekening van de stijgsnelheden van het vliegtuig volgens de ontwikkelde methode.

Hoogte	Zeeniveau					
Snelheid in m/sec	30,4	35	40	45	50	55
$\eta \cdot N$ in pk	330	374	417	456	490	515
$\frac{75 \cdot \eta \cdot N}{v \cdot q \cdot F}$	0,705	0,523	0,391	0,300	0,235	0,186
c_{ah}	1,298	0,980	0,750	0,593	0,480	0,397
c_w (met behulp van cirkel en polaire)	0,166	0,1150	0,0900	0,0765	0,0695	0,0645
c_{ws}	0,539	0,408	0,301	0,2235	0,1655	0,1215
w in m/sec	12,60	14,55	16,05	16,95	17,25	16,85

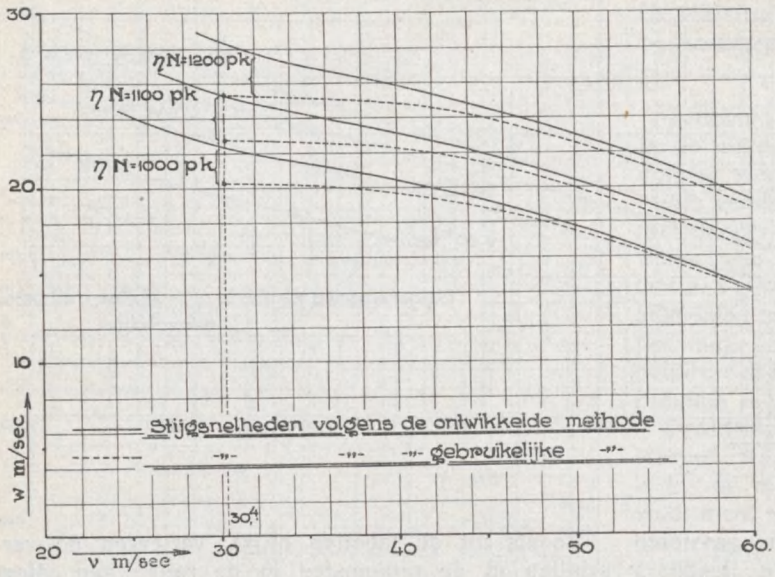


Fig. 6

In het volgende voorbeeld werd de polaire, gegeven in *fig. 2*, beschouwd als te behooren bij een modern meermotorig vliegtuig, waarbij het rompgedeelte tusschen de vleugel als vleugel medegeteld werd. Voor het totale gewicht van het toestel werd 3 000 kg aangenomen, voor het vleugel-oppervlak 40 m².

Berekend werden de stijgsnelheden bij een aangenomen schroefvermogen varieerend van 600 tot 1 200 pk en bij vliegsnelheden opklimmend van 30,4 m/sec tot 60 m/sec. De uitkomsten van deze berekeningen werden grafisch neergelegd in *fig. 5*.

In *fig. 6* werden voor de vermogens van 1 000, 1 100 en 1 200 pk de verkregen waarden op een iets andere wijze uitgezet. In deze figuur zijn de stijgsnelheidslijnen voor een bepaald motorvermogen doorgetrokken tot die snelheid, waarbij het toestel loodrecht zal stijgen. Dit kan met behulp van de ontwikkelde methode zonder eenig bezwaar uitgevoerd worden, daar het er niet op aankomt of de maximum liftcoëfficiënt c_{ah} boven de maximum c_a-waarde van de polaire stijgt. Het gaat er slechts om snijpunten van polaire en cirkel te verkrijgen.

Bij de gebruikelijke methode is een vervolgen van de stijgsnelheidslijnen beneden de minimum horizontale snelheid van het toestel niet mogelijk. Wel kan men als laatste punt de snelheden bepalen waarbij het toestel loodrecht zal stijgen door voor c_{ah} de waarde in te voeren, waarvoor $c_{ah} = 0$, doch men wijkt dan in wezen van het gebruikte systeem af, hetgeen direct in de figuur te zien zal zijn door een onregelmatig verloop der lijnen.

De keuze tusschen lucht- en vloeistofgekoelde motoren in militaire vliegtuigen

door

dr. ir. G. OTTEN,

Kapitein bij de Militaire Luchtvaartafdeeling, te Bandoeng.

Het is op het gebied der vliegtuigmotoren een eigenaardig feit, dat in den strijd tusschen lucht- en vloeistofkoeling, de terreinwinst van den luchtgekoelden motor op militair gebied belangrijk geringer is, dan op het gebied der burgerlijke luchtvaart.

Vraagt men zich af, waarom bij de militaire luchtmachten de vloeistofgekoelde motor zich nog min of meer, hoewel met steeds grooter wordende verliezen, heeft kunnen handhaven, terwijl hij uit de civiele luchtvaart praktisch geheel verdwenen is, dan zou het voor de hand liggende antwoord zijn, dat in het militair gebruik de nadeelen van den vloeistofgekoelden motor minder overwegend zijn, of dat in militaire kringen aan de voordeelen van dezen motor meer waarde wordt toegekend.

Wij zullen nagaan, in hoeverre dit antwoord als juist mag worden beschouwd, en daartoe beginnen met de voordeelen van den luchtgekoelden motor boven den vloeistofgekoelden aan een beschouwing te onderwerpen.

Deze voordeelen zijn:

a) grootere betrouwbaarheid (geen defecten in het koelsysteem, leidingen, radiator, koelmantels, cylinderkoppen enz.);
b) dikwijls geen oliekoeler noodig;
c) lichter gewicht en daardoor voor het vliegtuig grootere nuttige last of grootere klimsnelheid bij gelijkblijvende nuttige last;
d) goedkooper in aanschaffingsprijs;
e) minder en daardoor goedkooper onderhoud;
f) minder kostbare revisies;
g) eenvoudiger motorinbouw;
h) minder kwetsbaar;
i) meerdere wendbaarheid van het toestel tengevolge van de mogelijkheid om het vliegtuig korter te bouwen, dus met een grootere gewichtsconcentratie om het zwaartepunt.

ad a). Van de opgesomde voordeelen is de grootere betrouwbaarheid van den luchtgekoelden motor boven den vloeistofgekoelden verreweg het belang-

rijkste. Het aantal storingen, dat in het koelsysteem kan optreden, is legio. Lekke koelers, lekke verbindingen, lekke tanken, cylinders, cylinderwanden, cylinderkoppen enz., hebben alle reeds vele noodlandingen ingeleid, met dikwijls fatale gevolgen voor motor, toestel en meer. Hoewel ook andere factoren een niet onbelangrijke rol spelen, ligt hierin toch wel de voornaamste reden, waarom de groote transcontinentale lijnen reeds lang den watergekoelden motor den rug toegekeerd hebben.

Het spreekt, dat ook op militair gebied de mindere bedrijfzekerheid van den vloeistofgekoelden motor een even groot nadeel is. Wel gaat het hier in mindere mate om den factor veiligheid, daar de militaire vlieger meer risico mag nemen, doch daar staat tegenover, dat het vooral voor kleine luchtmachten een eisch is, ten allen tijde op de beschikbare vliegtuigen te kunnen rekenen. Ervaringen bij de militaire Luchtvaartafdeeling wijzen uit, dat 50% van de storingen bij de aldaar gebruikte watergekoelde motoren hun oorsprong vonden in de koelwatercirculatie. Het is dan ook wel zeer voor de hand liggend, dat, al was het alleen reeds om deze reden, er bij de Luchtvaartafdeeling, evenals trouwens bij luchtmachten van andere naties, waar de waterkoeling nog niet door luchtkoeling vervangen is, een sterk streven bestaat om ook voor oorlogsvliegtuigen de waterkoeling kwijt te raken en tot luchtgekoelde motoren over te gaan.

ad b). Het voordeel, verbonden aan sommige luchtgekoelde motoren van geen oliekoeler noodig te hebben, is van denzelfden aard, zij het van veel geringere beteekenis, als het voordeel van het missen van de waterkoeling; schenkt dus een grootere veiligheid.

ad c). Tot een belang van de eerste orde moet mede gerekend worden het zooveel mindere gewicht van den luchtgekoelden motor. De vloeistofgekoelde motor van ongeveer 600 tot 700 pk weegt met zijn koelsysteem al spoedig 100 kg meer dan de luchtgekoelde. Oogenschijnlijk lijkt de beteekenis hiervan op het gewicht van het vliegtuig niet veel. Men dient echter hierbij scherp het *doel* van het vliegtuig in het oog te houden.

De bommenlast, dien b.v. de thans voor de Luchtvaartafdeeling in aanbouw zijnde verkenner-bommenwerper CX kan medevoeren, bedraagt normaal 200 kg. Indien noodig zal, om dit betrekkelijk geringe gewicht aan bommen op een bepaalde plaats te brengen, het vliegtuig met zijn vlieger en waarnemer moeten worden ingezet. Het spreekt, dat het van cardinaal belang geacht moet worden als, zonder het totale gewicht van het toestel te verhoogen — dus door gebruik van een lichteren motor — de bommenlast van 200 kg, ook slechts met 50 kg opgevoerd kan worden.

Zoude men een bommenlast van 200 kg echter voldoende vinden, dan kan het toestel met luchtgekoelden motor, in verband met de sterkte-eischen, lichter gebouwd worden, waardoor een ander voordeel wordt verkregen.

De nuttige last van den aan het Koninklijk Nederlandsch-Indische Leger geleverden Fokker-jager D XVII bedraagt 390 kg. Trekt men van dit gewicht de gewichten van vlieger, parachute enz. af, dan blijft voor bewapening, brandstof en smeermiddelen slechts 270 kg over. Ook hier behoeft het geen betoog, dat ter opvoering van de bewapening, ter vermeerdering van de brandstofvoorraad of ter verkrijging van grootere gebruiksmogelijkheden — radio, flares enz. — een verhooging van den nuttigen last (zonder verhooging van het totale gewicht) met b.v. ook slechts 50 kg door den gebruiker van het vliegtuig gaarne met duizenden guldens betaald zal worden.

Voor den verkenner is onder meer de actieradius van groot belang, daar het die radius is, waardoor op een gegeven oogenblik bepaald wordt of voor een zekere verkenning het vliegtuig al dan niet kan worden ingezet. Ook bij deze toestellen is een vermeerdering van den nuttigen last over het algemeen eveneens zeer gewenscht, opdat zoo weinig mogelijk compromissen behoeven te worden gesloten tusschen mede te nemen brandstofvoorraad, smeermiddelen, bewapening, radio, fotografietoestellen enz.

Uit het voorgaande volgt, dat het mindere gewicht van den luchtgekoelden motor voor elk militair toestel van zeer groot belang is. Ja, wij meenen dat dit belang voor het militaire vliegtuig in het algemeen veel grooter is dan voor het civiele, daar dit laatste toestel, waaraan geen militaire eischen worden gesteld, steeds een naar verhouding grooteren nuttigen last kan meevoeren.

ad d, e, f, g). De voordeelen onder deze punten genoemd, als zijnde zuiver financieele voordeelen, lijken ons uit een militair oogpunt eenerzijds van betrekkelijk gering, anderzijds van een groot belang. Wanneer we overwegen, dat van de bemanning van een vliegtuig, zij moge tot het werkelijke of tot het reserve-personeel behooren, in tijd van oorlog het uiterste gevergd zal worden, dan kan worden geëischt, dat het in vredestijd beschikbaar gehouden materieel behoort tot het beste wat te krijgen is en wel zonder dat de prijs van dat materieel een belangrijk gewicht in de schaal legt.

Helaas in dezen tijd met haar steeds meer besnoeide begrootingen, treedt het meest op den voorgrond de vraag: „Wat, voor de weinige gelden ten behoeve van de defense uitgetrokken, het best aangeschaft kan worden".

Uit dit oogpunt bezien biedt de luchtgekoelde motor groote voordeelen. Van de motoren, welke de Luchtvaartafdeeling voor haar oorlogstoestellen noodig heeft, bedraagt de prijs van den vloeistofgekoelden motor ongeveer 30% meer dan die van den luchtgekoelden. De verhouding van de totaal-prijzen voor de onderdeelen, die als reserve moeten worden aangeschaft, kan op dezelfde grootte worden gesteld. Dat het hierbij om groote bedragen gaat moge volgen uit het feit, dat van de tot nu toe bij de Luchtvaartafdeeling afgeschreven motoren de kostprijs van motoren en de daarbij behoorende, al dan niet gebruikte reserve-onderdeelen grooter is geweest dan het bedrag, dat gedurende den bedrijfsduur van deze motoren werd uitgegeven voor brandstof en smeerolie. Opgemerkt dient te worden, dat voor de nieuwere motoren de verhouding tusschen kostprijs en levensduur zich ongetwijfeld ten gunste van de laatste zal wijzigen, doch daar staat tegenover, dat in het voorgaande voor wat betreft de watergekoelde

motoren hierbij nog geen rekening werd gehouden met den aanschaffingsprijs van radiateurs, leidingen enz. en de kosten van de periodieke geheel of gedeeltelijke vernieuwing dezer onderdeelen, welke op het vliegtuig worden verschreven, doch in wezen bij den motor behooren.

Volgens A. H. R. Fedden, een der grootste Engelsche vliegtuig- en motorbouwers, wijzen de gegevens van de meest bekende luchtvaartmaatschappijen in Europa en Amerika uit, dat de onderhoudskosten van den luchtgekoelden motor ongeveer 40% minder zijn dan die van den vloeistofgekoelden!

Er is echter meer! Het, ten opzichte van de luchtgekoelde motoren belangrijk grooter aantal storingen, dat ook bij de nieuwere vloeistofgekoelde motoren ongetwijfeld verwacht mag worden, leidt, mede in verband met den langeren revisieduur en den gecompliceerderen motorinbouw, tot kostbaarder herstellingen en tot een noodzakelijke aanschaffing van meer motoren in reserve. En dan nog zal het percentage van de vliegtuigen, dat wegens herstellingen aan motor of koelsysteem buiten dienst gesteld moet worden, voor den vloeistofgekoelden motor hooger zijn dan voor den luchtgekoelden.

ad h en i). De voordeelen, onder deze punten genoemd, zijn te beschouwen als voordeelen, welke voor de militaire luchtvaart van meer belang zijn dan voor de civiele. De geringere kwetsbaarheid is gelegen in de mindere trefvlakken door gemis van radiateur, condensor, vloeistoftank, koelmantels, leidingen enz. De grootere wendbaarheid van het vliegtuig met den luchtgekoelden motor maakt zijn manoeuvreerbaarheid grooter, waardoor de gevechtswaarde stijgt.

Behalve de hiervoren aangegeven voordeelen, kennen sommige deskundigen den luchtgekoelden motor nog andere toe, die op militair gebied ook van veel belang zijn, zooals mindere moeilijkheden met de koeling op groote hoogte en algeheele mindere hoorbaarheid. Wij zullen hieraan verder geen aandacht schenken. Op grond van het voorgaande concludeeren we echter: *Voor de militaire luchtvaart zijn de voordeelen, welke de luchtgekoelde motor boven den watergekoelden biedt, van minstens even groot belang als voor de burgerlijke luchtvaart.*

Beschouwen we thans de voordeelen, die de vloeistofgekoelde motor boven den luchtgekoelden biedt, dan treedt behalve het voordeel van een, afhankelijk van vliegtuig en motor, iets beter zicht naar voren, slechts één voordeel op, dat van wezenlijk belang is, en wel: bij gelijk motorvermogen een grootere snelheid van het vliegtuig.

Wel werd door N. A. C. A.-cowling en Townendring, in samenwerking met het gebruik van brandstoffen, welke een hooge cylinderwandtemperatuur toelaten, de kopweerstand van den luchtgekoelden motor vooral in den laatsten tijd belangrijk teruggebracht, doch deze weerstand is toch nog steeds hooger gebleven dan die van den vloeistofgekoelden motor.

Oskar Kurtz schrijft hierover in *Luftwissen* van 15 Augustus 1934, p. 216:

> Bei vergleichender Wertung des luftgekühlten Sternmotors mit richtiger Kühlverkleidung und des neuzeitlichen flüssigkeitsgekühlten Reihenmotors ist wohl zu sagen, dasz heute unter gewöhnlichen Verhältnissen die Wiederstände gleichgehalten werden können. Bei Flugzeugen mit schlanken Rümpfen und sehr hohen Fluggeschwindigkeiten ergibt jedoch der Reihenmotor infolge seiner kleineren Sternfläche günstigeren Einbau, bessere Sicht und geringeren Widerstand als der Sternmotor.

Daar noch de snelle verkeerstoestellen, noch de militaire vliegtuigen, de laatste tengevolge van de daaraan te stellen eischen de bewapening betreffende, direct te rangschikken zijn onder de racevliegtuigen, zullen zij hoogstens te plaatsen zijn ongeveer in het midden van de door Kurtz genoemde toestellen.

Het spreekt echter, dat zoowel op het gebied der burgerlijke als op dat der militaire luchtvaart grootere snelheid bij gelijk motorvermogen, om redenen, die wij niet uiteen behoeven te zetten, van zeer groot belang is en het is dan ook dit voordeel, dat den voorstander van den vloeistofgekoelden motor als hoofdargument geldt.

Vragen wij ons af, of dit argument groote kracht heeft, dan kunnen wij allereerst opmerken, dat de zooveel grootere snelheid van het vliegtuig met den vloeistofgekoelden motor ook bereikt kan worden door hierin een luchtgekoelden motor te bouwen, waarvan het vermogen — althans voor motoren van ± 600 tot ± 700 pk, zijnde het normale vermogen van oorlogsmotoren of van motoren voor grootere verkeerstoestellen, slechts weinig, zeg ongeveer 5 à 10% grooter is dan dat van den vloeistofgekoelden.

Om dit aan te toonen geven wij als vergelijkingsobjecten b.v. de prestaties van eenige Amerikaansche toestellen.

The Curtiss „Hawk".

Met:
H. C. Conqueror prestone gekoeld 675 pk

vaste tank	50 gallons benzine
afw. „	50 gallons „
olie max.	8 gallons

2 machinegeweren
1 200 patronen
240 lbs bommen (mogelijk)

Met:
Wright Cycl.: SR 1820 F2 luchtgekoeld 712 pk op 3 500 ft

vaste tank	94 gallons benzine
afw. „	50 gallons „
olie max.	10 gallons

2 machinegeweren
1 200 patronen
400 lbs bommen (mogelijk)

max. snelh. zeeniveau	317 km/h	max. snelh. 3 300 ft	323,2 km/h
„ „ 3 000 m	303 „	„ „ zeeniveau (berekend)	312 „
werkingsfeer	455 km	werkingsfeer	640 km
+ tank	910 „	+ tank	976 „
praktisch plafond	7 865 m	praktisch plafond	8 990 m

The Curtiss „Shrike"

Met:		Met:	
Curtiss „Conqueror" prestone gekoeld	650 pk	Wright Cyclone 700 pk	
6 machinegeweren		5 machinegeweren	
1 groote bom		220 kg bommen	
max. snelh. zeeniveau	316 km/h	max. snelh. zeeniveau	320 km/h

The „Berliner Joyce"

	Prototype	(Flight 1 Mrt. 1934).	
Verwachte prestaties:		Met:	
Met:		Wright Cyclone 700 pk	
Curtiss Conqueror SV. 1570	600 pk		
max. snelh. op 3 657 m	321,9 km/h	max. snelh. op 4 572 m	341 km/h
		berekend geeft dit op 3 657 m een max. snelh. van ± 330 km/h voor dezen motor.	

The Curtiss Falcon.

Curtiss Conqueror prestone gekoeld	650 pk	Wright Cycl.: SR 1820 F2	712 pk op 3.500 ft
vaste tank	106 gallons	vaste tank	103 gallons
afw. „	36 „	afw. „	55 „
2 machinegeweren		4 machinegeweren	
900 patronen		2400 patronen	
244 lbs bommen (mogelijk)		400 lbs bommen (mogelijk)	
radio of camera		radio of camera	
max. snelh. zeeniveau	275,2 km/h	max. snelh. op 1 100 m	291,2 km/h
„ „ 3 000 m	262,4 „	„ „ zeeniveau (berekend)	281 „
werkingsfeer	848 km	werkingsfeer	630 km
+ tank	1 168 „	+ tank	1 120 „
praktisch plafond	6 374 m	praktisch plafond	7 320 m
max. nuttige last	930 kg	max. nuttige last	1 161 kg

Kan met behulp van een iets grooteren luchtgekoelden motor dezelfde snelheid aan het vliegtuig worden gegeven als met een watergekoelden, zoo blijven toch aan het gebruik van den luchtgekoelden motor de nadeelen verbonden, dat met dezen voor het afleggen van een bepaald traject een grootere benzinevoorraad moet worden meegenomen, hetgeen eenerzijds met gewichtsvermeerdering gepaard gaat, terwijl anderzijds het meerdere benzineverbruik zelve de exploitatiekosten van den motor doen stijgen.

Beschouwen we deze nadeelen meer nauwkeurig, dan merken we op dat, over het algemeen, de éénmotorige militaire vliegtuigen slechts voor enkele uren brandstof medenemen. Stelt men den eisch, dat het toestel zonder tusschenlanding b.v. 4 uren op kruissnelheid moet kunnen vliegen en neemt men aan, dat het voor den luchtgekoelden motor méér benoodigde vermogen op die snelheid 40 pk bedraagt bij een brandstofverbruik van rond 250 gram per pkh, dan dient aan gewicht méér te worden meegenomen $4 \times 40 \times 250$ gram $=$ 40 kg, waarbij nog het meerdere gewicht der grootere tanken moet worden opgeteld. Daar de vloeistofgekoelde motor met koelinstallatie rond 100 kg meer weegt dan de luchtgekoelde, blijft laatstgenoemde motor wat het gewicht betreft óók met den grooteren brandstofvoorraad nog ver in het voordeel.

Stelt men den levensduur van den oorlogsmotor op rond 1 000 vlieguren, dan komt men bij een meerder benzineverbruik van 10 kg per uur op 10 000 kg benzine, dat de luchtgekoelde motor in het geheel meer zal gebruiken, gerekend tegen een kostprijs van *f* 0,45 per kg geeft dit een bedrag van *f* 4 500.—. Dit bedrag is veelal *minder* dan hetgeen voor een vloeistofgekoelden motor méér betaald moet worden dan voor een luchtgekoelden.

Met opzet hebben we de hierboven genoemde getallen zoo gekozen, dat ze gunstig zijn voor den vloeistofgekoelden motor. De brandstofvoorraad, die door een jager wordt medegenomen, bedraagt b.v. als regel slechts enkele honderden liters, ja soms zelfs minder dan 200 l. Bij de kostprijsberekening der brandstof is het bedrag, dat als benzine-accijns naar den Lande terugvloeit, niet medegerekend, terwijl tenslotte nog medegedeeld wordt, dat de bij de Luchtvaartafdeeling verbruikte oorlogsmotoren gemiddeld nog geen 750 vlieguren gehaald hebben.

In het verkeerstoestel is het gebruik van den vloeistofgekoelden motor minder ongunstig dan in het oorlogstoestel. De levensduur van den motor in het algemeen is in het verkeerstoestel door het verschil in vliegwijze belangrijk langer — deze loopt al spoedig naar de 2 500 vlieguren — dan in het militaire vliegtuig, zoodat de hoogere aanschaffingskosten van

den vloeistofgekoelden motor over een grooter aantal vlieguren verdeeld kunnen worden en het voordeel van het mindere benzineverbruik meer op den voorgrond treedt.

Op grond van het voorgaande kan in het algemeen gezegd worden:

De voordeelen, die de vloeistofgekoelde motor tegenover den luchtgekoelden biedt, zijn voor het burgerlijke vliegwezen grooter dan voor de militaire luchtvaart. Voor militair gebruik zijn aan den vloeistofgekoelden motor ten opzichte van den luchtgekoelden, geen wezenlijke voordeelen verbonden, doch wel veel nadeelen.

Wij zullen thans andere redenen moeten aanvoeren om de oorzaken te vinden, die er toe geleid hebben, dat de vloeistofgekoelde motor nog vrij veel bij de verschillende luchtmachten in gebruik is, en daartoe eerst eenigszins teruggrijpen in den ontwikkelingsgang van den luchtgekoelden motor.

De groote opkomst van laatstgenoemde is n.l. pas enkele jaren geleden begonnen en wel nadat het eenerzijds gelukt was, den grooten kopweerstand van dezen motor middels N. A. C. A.-cowling en T o w n e n d-ring te drukken, terwijl anderzijds door het gebruik van brandstoffen, die een hooge cylindertemperatuur toelaten, koeling-moeilijkheden, welke genoemde bekappingen met zich mede brachten, bestreden konden worden, waarbij tenslotte nog het voordeel van een grooter vermogen verkregen werd.

Zooals men weet werden de uitkomsten van de experimenten van F r e d. E. W e i c k [1]) en van H. C. H. T o w n e n d [2]) resp: met de N. A. C. A.-cowling en den T o w n e n d-ring bekend in 1930, doch hoewel de uitkomsten van deze eerste experimenten zeer gunstig waren, bleken beide soorten bekappingen, welke in wezen op hetzelfde principe berusten, nog niet dadelijk voor het algemeen gebruik geschikt te zijn.

De grondbeginselen, waarop de weerstandsvermindering berustte, waren nog niet bekend, zij konden praktisch slechts na moeizamen arbeid worden gedefinieerd en, daar zooals theoretisch werd aangetoond [3]) en praktisch werd bevestigd, voor een bepaalden motor een met vrij veel zorg te construeeren ring noodig is, werden met willekeurig aangebrachte bekappingen niet overal gunstige resultaten verkregen. Daar waar de uitkomsten wel vrij gunstig waren, traden soms weder koelingmoeilijkheden op. Hierdoor ontstond de strijdvraag, of de ontdekking van de cowling inderdaad wel praktische waarde had. Teneinde b.v. een indruk te geven van de moeilijkheden, die overwonnen moesten worden, zij meegedeeld, dat het aan den Rijksstudiedienst te Amsterdam pas na meer dan een jaar experimenteeren gelukte, een ring te ontwerpen die aan den bekenden „Jupiter"-motor, tijdens de vlucht, een vrij aanzienlijke weerstandsvermindering gaf. Het behoeft dan ook geen verbazing te wekken, dat pas ongeveer drie jaren geleden het vraagstuk van de cowling praktisch tot een oplossing was gebracht en het nut der ringen algemeen werd ingezien.

Het was ook tot ongeveer dien tijd, dat de bouwers van vloeistofgekoelde motoren zich vrij veilig konden gevoelen. Wel werden in de civiele luchtvaart om aan de nadeelen van de toen nog uitsluitend *water*gekoelde motoren te ontkomen, reeds zeer veel *lucht*gekoelde motoren gebruikt, doch de oningedekte luchtgekoelde motor had een dusdanigen weerstand, dat voor militaire vliegtuigen, waarbij aan de snelheid een zeer hooge waarde wordt toegekend, de vloeistofgekoelde motor steeds verkozen werd. De invoering van de cowling bracht hierin een grooten ommekeer en genoemde bouwers moesten omzien naar middelen om hun productie te kunnen handhaven. Het ligt voor de hand, dat zij hierbij, instede van de vloeistofkoeling te verlaten en ook luchtgekoelde motoren te gaan bouwen, hetgeen hunnerzijds met groote moeilijkheden en enorme kosten gepaard zoude gaan, zich allereerst toelegden op verbetering van den vloeistofgekoelden motor. Dit geschiedde gedeeltelijk door het opvoeren van het vermogen per kg motorgewicht door een grootere toepassing van lichte materialen en het opvoeren van het aantal toeren, gedeeltelijk door het verminderen van den weerstand van den koeler door verbeterde vormen, door invoering van prestone (= aethyleenglycol) als koelmiddel of door het gebruik van de zoogenaamde gemengde koeling of stoomkoeling, waarbij het koelwater gedeeltelijk in stoom wordt omgezet. Afgezien van de feiten, dat het aantal toeren soms tot het bedenkelijke werd opgevoerd, de berichten omtrent prestonekoeling niet onverdeeld gunstig luiden en omtrent stoomkoeling nog praktisch geen ervaring werd verkregen, kan worden opgemerkt, dat de ingevoerde middelen ter verbetering van den vloeistofgekoelden motor tot nu toe niet konden verhoeden, dat de voorsprong, welke door den luchtgekoelden motor werd verkregen, mede door een steeds fijnere perfectioneering van laatstgenoemde, steeds grooter werd.

Gaan we thans na, welke motoren bij de luchtmachten over het algemeen gebruikt worden, dan zien we, dat dit in Amerika praktisch uitsluitend Amerikaansche, in Engeland alleen Engelsche, in Frankrijk en Italië nagenoeg alle Fransche resp. Italiaansche zijn. Nemen we nu b.v. Italië in beschouwing, het land, waarbij de militaire luchtvaart nog veel vloeistofgekoelde motoren in gebruik zijn, dan stellen we vast, dat wat de grootere vermogens betreft, met uitzondering van eenigen licentiebouw, in dat land geen luchtgekoelde motoren gebouwd worden, zoodat, indien de Italiaansche weermacht voor haar motoren zich moet wenden tot de ook al weder bijna geheel op die weermacht aangewezen nationale industrie, zij óók genoegen moet nemen met de motoren, die deze industrie biedt, dus hoofdzakelijk met vloeistofgekoelde motoren.

In Amerika daarentegen, waar naast de ook in Engeland als zéér goed erkende [4]) vloeistofgekoelde

1) National Advisory Committee for Aeronautics, Reports No. 313 and 314, Washington 1930.

2) Aeronautical Research Committee, Reports and Memoranda No. 1267, London 1930.

3) G. O t t e n. Onderzoekingen betreffende de theorie van den T o w n e n d-ring, Delft 1932.

4) The Journal of the Royal Aeronautical Society, Maart 1934.

Conqueror-motor, uitstekende luchtgekoelde motoren gebouwd worden, hebben laatstgenoemde motoren den strijd praktisch geheel gewonnen. De successen van de luchtgekoelde motoren in dit land zijn dan ook frappant en geven een beeld van hetgeen daarmede bereikt kan worden. We noemen slechts: de solovlucht van Wiley Post rond de wereld in Juli 1933 in 187 vlieguren met een eenmotorige Lockheed „Vega", de tochten van Colonel en Mrs. C. A. Lindbergh in Europa, Afrika en Zuid-Amerika eveneens in een eenmotorig toestel, de tochten van Admiraal R. E. Byrd met een eenmotorig vliegtuig aan de Zuidpool, de non-stopvlucht van de zes vliegbooten van de Amerikaansche marine van San Francisco naar Honoloeloe over een afstand van meer dan 2 400 mijlen en tenslotte de vestiging van het wereldsnelheidsrecord voor landvliegtuigen (490,8 km per uur) te Chicago op 4 September 1933 door de Weddell — Williams monoplane voorzien van een „Wasp" van 800 pk [5]). Het behoeft dan ook geen verbazing te wekken dat Major Clinton W. Howard A. C., Chief of the material division, Wright Field, Dayton, Ohio, sprekende over de ontwikkeling van de motoren van het Army Air Corps in het jaar 1933, op de jaarvergadering van de Society of Mechanical Engineers, te New York City o.m. reeds kon verklaren: [6])

> Development of fuel injection, exhaust-driven supercharger for air-cooled types, the aerodynamic development of the ring cowl, and improved fuel with lower specific consumption have all favored the replacement of the liquid-cooled engine by the air-cooled for military types.

Dat deze verklaring door de Amerikaansche luchtmacht als juist erkend wordt, blijkt uit het feit dat in 1934 de grootste bestelling van vliegtuigmotoren, die door de U. S. A. na den oorlog geschiedde, geplaatst werd op luchtgekoelde „Wright Cyclone's". Bovendien werden in dat jaar 111 Boeing-jagers, uitgerust met luchtgekoelde „Wasp"-motoren van 600 pk, in één serie besteld.

In Engeland en ook in Frankrijk heeft de ontwikkeling van den vloeistofgekoelden motor een hoogen trap bereikt, terwijl althans in eerstgenoemd land erkend moest worden, dat de Britsche industrie, wat den bouw van luchtgekoelde motoren betreft, eenigszins ten achter staat [7]) bij de Amerikaansche. Doch niettegenstaande dezen achterstand en het feit, dat in die landen bijna uitsluitend in eigen gebied gebouwde motoren gebruikt worden, neemt ook bij de respectievelijke weermachten het gebruik van de luchtgekoelde motoren voortdurend toe.

Het gebruik van den vloeistofgekoelden motor in het Britsche rijk is trouwens minder groot dan dikwijls gemeend wordt. Meer dan twee derde der squadrons, welke in Egypte, Palestina, Transjordanië, Arabië, Iraq en Britsch-Indië gestationeerd zijn, was eind 1933 reeds uitgerust met luchtgekoelde motoren. Nemen we hierbij in aanmerking, dat de groote opkomst van den luchtgekoelden motor slechts enkele jaren geleden een aanvang genomen heeft en er ook in het Britsche rijk een streven zal bestaan de reeds in de vliegtuigen aanwezige motoren op te gebruiken, dan volgt hieruit, dat óók de Britten in *moeilijke terreinen met weinig service* een sterke voorkeur voor den luchtgekoelden motor aan den dag leggen. Doch ook in het Vereenigde Koninkrijk zelve neemt het gebruik van luchtgekoelde motoren sterk toe. Eind 1933 behoorden tot de „Fighting Area" bestaande uit dertien squadrons jagers, negen squadrons, welke uitgerust waren met de luchtgekoelde Bristol Jupiter VII, terwijl er nog slechts vier squadrons uitgerust waren met de vloeistofgekoelde motoren. Een nieuwe jager, de Gloster „Gauntlet", voorzien van een luchtgekoelden Bristol Mercury VI werd kort geleden door het Britsche Air Ministry geadopteerd, terwijl „The Aeroplane" van 2 Juli van de nog nieuwere Armstrong Whitworth „Scimitar" schrijft:

> The acrobatic display in the new Armstrong Whitworth Scimitar (640 pk Siddeley Panther VII) was certainly unbeaten among the demonstrations of the morning. The amazing climb and extraordinary manoeuvrability made a deep impression. The Scimitar has a maximum speed at 14 000 ft of 225 m.p.h. and climbs to 16 400 ft in 9 minutes.

In meerdere prototypes in Engeland gebouwd zien we den luchtgekoelden motor ingebouwd. [8])

Zonder twijfel zijn er aanwijzingen, dat deze ontwikkelingsgang, althans voorloopig, nog sneller zal gaan. Vooral in het Britsche rijk moet het een grooten indruk gemaakt hebben, dat aan de Londen-Melbourne-race naast achttien vliegtuigen met luchtgekoelde motoren slechts drie toestellen met vloeistofgekoelde motoren deelnamen, nog afgezien van de uiterst geringe prestaties, welke laatstgenoemde vliegtuigen verrichtten. Bij de beroemde Mount Everest-expeditie werd gebruik gemaakt van luchtgekoelde motoren.

Ook in Frankrijk worden thans o.m. zeer snelle jagers met luchtgekoelde motoren gebouwd. Dit land zag zich, wat prestaties betreft, het wereldhoogterecord (13 661 m, verkregen met een Potez 50 voorzien van een luchtgekoelden Gnome-Rhône-motor) ontnomen door Italië, in welk land met een Caproni, voorzien van luchtgekoelden „Pegasus" van 600 pk, een hoogte bereikt werd van 14 433 m.

In Japan worden zoowel vloeistof- als luchtgekoelde motoren gebouwd, doch ook hier neemt het gebruik van luchtgekoelde motoren voortdurend toe.

In de overige landen, speciaal in die landen, waar geen motoren gebouwd worden, ziet men op enkele uitzonderingen na den luchtgekoelden motor het meest in het gebruik [9]). Een der uitzonderingen is België, waar thans een gedeelte der watergekoelde Rolls-Royce-motoren in de in 1932 aangekochte Britsche Fairey-vliegtuigen uitgebouwd worden, om

5) Het wereldsnelheidsrecord voor land- en watervliegtuigen (709 km per uur) staat op naam v. d. Macchi-Castoldi 72 met een Fiat watergekoelden motor van 3 100 pk.

6) Army and Navy Register, 23 Dec. 1933.

7) The Journal of the Royal Aeronautical Society, Maart 1934.

8) Men zie b.v. Luftwehr, 1 Sept. 1934, p. 381.

9) Zie Jane's All the Worlds Aircraft 1933.

deze te vervangen door Hispano Suiza's, welke ook watergekoeld zijn [10]). Het merkwaardige hierbij is, dat de Engelsche Royal Air Force zelf een gedeelte der Fairey III F-vliegtuigen vervangt door Fairey „Gordon". Deze beide toestellen zijn in wezen hetzelfde, de Fairey F III is echter uitgerust met een watergekoelden Napier-motor, de Gordon met een luchtgekoelden Armstrong Siddeley „Panther".

Wij kunnen thans antwoord geven op de in den aanvang gestelde vraag, want vatten we het voorgaande in het kort samen, dan hebben we vastgesteld, dat er in algemeenen zin genomen, over de geheele wereld bij de luchtmachten een streven bestaat om den vloeistofgekoelden motor te vervangen door den luchtgekoelden, dus om een toestand te bereiken, zooals die bij de burgerlijke luchtvaart reeds ontstaan is. Dat de luchtmachten ten opzichte der burgerlijke luchtvaart in de vervanging van hun motoren achtergebleven zijn, moet hoofdzakelijk geweten worden aan den steun, die de afzonderlijke staten aan de anders in moeilijkheden komende industrie van vloeistofgekoelde motoren wenschen te verleenen.

Dat deze toestand zoo niet kan blijven, is zeker en dat de fabrikanten van vloeistofgekoelde motoren dit zelve inzien, is duidelijk waar te nemen uit de maatregelen, die zij treffen. Eenerzijds werken zij, zooals reeds werd opgemerkt, met groote haast aan de verbetering van hun product, anderzijds gaan zij zelve over tot den bouw van den luchtgekoelden motor. Zoo experimenteeren de bekende Engelsche Rolls-Royce-fabrieken thans met het aantal toeren hunner motoren, met prestonekoeling en met stoomkoeling. De Armstrong Siddeley-fabriek heeft den bouw van den vloeistofgekoelden motor reeds geruimen tijd gestaakt, de Napier-fabrieken bouwen thans naast vloeistofgekoelde ook luchtgekoelde motoren. De groote Italiaansche motorenfabriek „Fiat" heeft de licentie van de Fransche „Gnome-Rhône" gekocht, de niet minder bekende Fransche fabriek van Hispano Suiza's kocht de licentie van de Amerikaansche luchtgekoelde „Wright Cyclone's", terwijl tenslotte als laatste voorbeeld genoemd wordt de Duitsche B. M. W., welke thans ook luchtgekoelde Pratt & Whitney „Hornet's" bouwt.

Wij gelooven hiermede op voldoende wijze te hebben aangetoond, dat op dit oogenblik de vloeistofgekoelde motor over de geheele lijn geslagen wordt door den luchtgekoelden.

Men zij evenwel voorzichtig en denke niet, dat daarmede al dadelijk de doodsklok over de vloeistofkoeling geluid wordt. Afgezien van het feit, dat sommige staten een voorliefde voor den vloeistofgekoelden motor aan den dag blijven leggen, zouden mogelijke verbeteringen, zooals bijvoorbeeld aangegeven door Capt. A. G. Forsyth (Fairey Aviation) in een voordracht voor de Royal Aeronautical Society [11]), zij het wellicht alleen voor de zeer groote vermogens, den vloeistofgekoelden motor, althans gedurende een zekere periode, weder kunnen opheffen tot een waardig concurrent van den luchtgekoelden motor.

Wij meenen echter tenslotte te moeten opmerken, dat voor vliegtuigen aan een systeem van vloeistofkoeling, hoe goed dit in de toekomst ook moge worden uitgevoerd, ten opzichte van luchtkoeling vrij groote nadeelen blijven kleven, zoodat bij elke belangrijke verbetering van den luchtgekoelden, het bestaan van den vloeistofgekoelde motor, ook na zijn mogelijke perfectioneering, opnieuw bedreigd zal worden.

10) Luftwehr, 1 Sept. 1934, p. 383.

11) Flight, 6 Dec. 1934.

2e JAARGANG
NUMMER 2.

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

FEBRUARI
1935

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.

„DE MIJNINGENIEUR"

INHOUD: Zwei neue mikrosphäre Lepidocyclinen von Java, von dr. ir. Tan Sin Hok. — Personalia.

Zwei neue mikrosphäre Lepidocylinen von Java

von

dr. ir. TAN SIN HOK,

Paläontologe beim Opsporingsdienst, Dienst van den Mijnbouw, Bandoeng.

Mit Tafel IV-VII [I-IV] *).

Zusammenfassung. Die zwei miteinander verwandten neuen Arten *Lep. (B) stratifera* und *Lep. (B) omphalus* werden beschrieben. Sie gehören zu den stratiferen Lepidocyclinen. Bisher kennt man solche nur aus der Nach-*Eulepidina*-Zeit, und zwar kommen die behandelten Formen zusammen mit *Miogypsina* s. str., Trybliolepidinen und Katacycloclypeen vor. Nebenbei wurde noch eine dritte neue Art, *Lep. (Trybliolepidina) elegans*, aufgeführt.

Lepidocyclina (B) stratifera nov. sp.

Taf. I, Fig. 1 — 3; Taf. II, Fig. 11; Taf. III, Fig. 9; Taf. IV, Fig. 1.

Material. Im ganzen 6 Stücke [1]). Typenlokalität: unweit südlich der Niederlassung Pasean, Mitteljava. Blatt 82 (Klaten) der topographischen Karte des Maszstabs 1 : 50.000. Gesammelt von ir. A. Chr. D. Bothé.

Schalenäuszeres. Diskusförmige Schalen mit einem Durchmesser von 6 bis 7½ mm und einer Dicke von 1,3 bis 1,5 mm. Ein Umbo ist kaum zu erkennen. Es sind etwa 5 undeutliche Radien vorhanden, die nicht aus dem Schalenumrisz heraustreten. Pfeilerköpfe fehlen auf unversehrten Schalen (Taf. I, Fig. 3), obgleich Pfeiler im Schalenkern ausgebildet sind (Taf. I, Fig. 2; Taf. III, Fig. 9). Ausschlieszlich an angewitterten Stücken beobachtet man eine sehr merkwürdige Wechsellagerung dichter Schichten und solcher mit arcuaten bzw. rhombischen Lateralkammern (Taf. I, Fig. 2). Auf dieses Merkmal bezieht sich der Artname. Bei unversehrten Schalen ist diese Schichtung so gut wie vollständig oder vollständig durch einen Mantel gerundeter Lateralkammern verdeckt (Taf. I, Fig. 3).

Medianschnitt (Taf. I, Fig. 1; Taf. IV, Fig. 1). Der mikrosphäre Embryonalapparat besteht aus einer im Innendurchmesser 0,015 mm groszen Initialkammer, um die sich 6, eine einzige Spirale bildende Embryonalkammern legen. An Mediankammertypen sind offen und geschlossen arcuate, ogivale, hexagonale und spatuliforme vorhanden. Unmittelbar auf die Embryonalspirale folgen offen arcuate Kammern. In den ersten Reihen sind diese spiral-konzentrisch (vgl. Tan 1934, S. 207), in den späteren nicht polygonal angeordnet. Ihre Zahl wechselt in den zu unterscheidenden Sektoren zwischen 4 und 7. Die Anordnung der offen arcuaten Kammern weicht von der aller jüngeren sehr deutlich ab. Diese sind nämlich in deutlich polygonalen Ringen gruppiert. In den Interradien folgen auf die genannten offen arcuaten erst geschlossen arcuate Kammern (bis zu etwa 12 Ringe), dann spatelförmige. Letztere halten bis zum Schalenrand an. Die geschlossen arcuaten Kammern gehen zum Teil in rhombische über. Dann und wann findet man zwischen Ringen mit spatuliformen Kammern solche mit ogivalen Kammern. Auch hexagonale kommen vor, diese stellen aber nichts anderes dar als nicht median geschnittene spatuliforme Kammern. Die Radien enthalten im Beginn unregelmäszigere Mediankammern, zunächst solche die z.T. zur arcuaten Form hinneigen, worauf dann mehr spatuliforme Kammern folgen. Die Mediankammern der Radien besitzen ein gröszeres Lumen als die Nachbarkammern in den Interradien. Sie bilden eine nur sehr schmale Zone, wodurch die Polygonalität des Zentralteils stark betont wird.

Die polygonale Anordnung ist der Peripherie zu weniger ausgeprägt (Taf. I, Fig. 1). Da aber im spatuliformen Stadium neue Radien gebildet werden, so zeigt das Polygon am Rande mehr Seiten als im Zentrum, wo ihre Zahl fünf beträgt. Die Polygon-

*) Die eingeklammerten Nummern sind die im Text gebrauchten.

1) In Anbetracht der geringen Anzahl verfügbarer Stücke konnte zum Studium der inneren Merkmale nur ein Horizontalschnitt, der zugleich als Lateralschnitt dienen kann, sowie ein zentrierter und ein exzentrischer Vertikalschnitt angefertigt werden.

seiten sind im Kern gerade oder wenig konkav, der Peripherie zu in der Regel schwach eingedellt. Das Schalenzentrum kommt mit dem von *Lep. omphalus* überein (Taf. I, Fig. 5).

Die Lumina der arcuaten Mediankammern sind (1½ mal) breiter als lang, diejenigen der späteren spatuliformen Mediankammern (1½ bis 2 mal) länger als breit.

Masze in mm:

Lumen der arcuaten Kammern:		
	radial	: ± 0,020.
	tangential	: ± 0,030.
Wanddicke der arcuaten Kammern:		: ± 0,005.
Lumen der späteren spatuliformen Kammern:		
	radial	: ± 0,080.
	tangential	: ± 0,040.
Wanddicke der späteren spatuliformen Kammern:		: ± 0,040.

Vertikalschnitt (Taf. III, Fig. 9). Sehr augenfällig sind die starken durchlaufenden Horizontalböden [2]), zu denen die Dächer der einzelnen Lateralkammern der inneren Stockwerke verwachsen sind. Es sind 6 bis 8 untereinander parallele Horizontalböden vorhanden; sie verleihen dem Schnitt ein besonderes Gepräge. Zwischen je zwei Böden findet man eine einzige Lage nicht-alternierender Lateralkammern. Der Schalenoberfläche zu werden die Böden undeutlich und verschwinden schlieszlich. Die Decklagen der innersten Lateralkammerstockwerke im Schalenkern sind konvex, sie werden von den Horizontalböden geschnitten, noch mehr der Schalenoberfläche zu gehen sie in diese über. Beiderseits des Embryonalapparates zählt man 16 Lateralkammerstockwerke. Die Decklagen der elf innersten Stockwerke sind stark verdickt.

Die Lateralkammern der Oberfläche sind völlig normal, auch hinsichtlich ihrer untereinander alternierenden Stellung. Sie bilden einen Mantel rings um die Schale mit Ausnahme der Medianschicht und verdecken bei nicht angewitterten Stücken die stratifere Struktur [3]). In zentrierten oder fast zentrierten Schnitten stehen die „vertikalen" Wände der zwischen den Böden eingeklemmten Lateralkammern schräg auf den Böden und sind zur Schalenachse hingeneigt. Im Schalenkern können sie sogar horizontal verlaufen. In exzentrischen Vertikalschnitten stehen sie senkrecht. Die „vertikalen" Wände der Lateralkammern der Oberfläche sind dagegen normal. Infolge der Schrägstellung der „Vertikalwände" ist im Schalenkern von einer vertikalen Zeilenbildung der Lateralkammern keine Rede. Wo Böden ausgebildet sind, zeigen die Lateralkammern eine grosze Gleichförmigkeit in Breite und Gestalt, die gerundet oder mehr linsenförmig sein kann. Die Lateralkammern nahe der Oberfläche sind viel gröszer und quadratisch.

Pfeiler sind vorhanden, sie fangen nicht auf der Mediankammerschicht an (vgl. den Schnitt Taf. I, Fig. 1 und S. 13). Die Höhe der Medianschicht ist interradiär geringer als radiär; diese Tatsache ergibt sich aus dem exzentrischen Vertikalschnitt (Taf. II, Fig. 11).

Masze in mm:

Lumen der Lateralkammern zwischen den Horizontalböden:		
horizontal	:	0,010 — 0,040.
vertikal	:	0,025.
Dicke der Horizontalböden	:	0,025 — 0,065.
Lumen der Lateralkammern der Oberfläche:		
horizontal	:	bis 0,120.
vertikal	:	bis 0,040.
Dicke des Daches	:	0,025.
Höhe des Lumens der Mediankammern:		
im Kern	:	0,015.
an der Peripherie, radiär	:	bis 0,250.
„ „ „ , interradiär	:	0,120.
Dicke der Deckplatte der Mediankammerschicht:		
im Zentrum	:	0,025.
am Rand	:	0,050.

Lateralschnitt (Taf. I, Fig. 1). Schleift man ein Exemplar horizontal an, so erscheinen nacheinander Lateralkammerschichten und dichte Horizontalböden. Die Lateralkammern zwischen den Horizontalböden sind von sehr regelmäsziger Gestalt, und zwar (geschlossen oder offen) arcuat, bisweilen rhombisch. Im Schliff der Taf. I, Fig. 1, erscheinen die Felder mit arcuaten Lateralkammern nach innen zu von den angeschnittenen Böden umsäumt. Die Lumina der Lateralkammern der Oberfläche zeigen eine unregelmäszig polygonale oder gerundete Gestalt (Taf. I, Fig. 3).

Bemerkungen. Es gibt meines Wissens keine schon bekannte Lepidocyclinenart, die mit vorliegender verwechselt werden könnte. Die angewitterten Stücke weichen so sehr von denen der gewohnten Lepidocyclinen ab, dasz ich ihre Zugehörigkeit zu dieser Gattung erst nicht vermutet habe.

Eine nahe Verwandtschaft mit *Lep. omphalus* nov. sp. ist nicht zu verkennen. Übereinstimmung herrscht in der Ausbildung und Anordnung der zentralen Mediankammern, sowie im Besitze deutlicher Horizontalböden und arcuater Lateralkammern, Unterschiede bestehen in der Schalengestalt, in der Ausbildung der Pfeiler, der Zahl der Polygonseiten am Schalenrand und in der Zahl der Horizontalböden. Nähere Untersuchungen werden zeigen, ob zwischen der Zahl der Polygonseiten und der Zahl der Horizontalböden ein Zusammenhang besteht.

---

2) Es sind eigentliche Böden und Decklagen zu unterscheiden. Erstere sind aus der Verwachsung der horizontal orientierten Wände entstanden, d.h. im allgemeinen aus den Dächern der Lateralkammern, die zu aufeinanderfolgenden Stockwerken gehören. Sie schneiden den allgemeinen Verlauf der einzelnen Lateralkammerstockwerke. Decklagen sind die Dächer der zu ein und demselben Stockwerk gehörenden Lateralkammern als Ganzes betrachtet. Eigentliche Böden und Decklagen sind nicht streng voneinander zu trennen (vgl. Taf. IV, Fig. 9).

3) Möglicherweise stellt das Vorhandensein eines pfeilerlosen Mantels kein Artmerkmal dar und ist es nur eine Alterserscheinung (Tan, 1935, S. 5), oder hängt es mit der Verheilung einer randlichen Schalenverletzung zusammen (siehe Taf. III, Fig. 9). Wegen der geringen Zahl verfügbaren Stücke kann diese Frage zur Zeit nicht gelöst werden.

Lepidocyclina (B) omphalus nov. sp.

Taf. I, Fig. 4 — 8; Taf. II, Fig. 1 — 10; Taf. III, Fig. 1 — 9; Taf. IV, Fig. 2 — 9.

Syn. 1932. *Lep. mantelli* Scheffen non Morton. Ostindische Lep., S. 50, Taf. I, Fig. 1; Zur Morphol. u. Morphogen. d. „Lepid." Taf. 10, Fig. 1.

Material: Zahlreiche Stücke von Tjipitjoeng, Nebenflusz des Tjileungsir (Tjimandiri), Westjava (Bl. 26A, Sagaranten) und von Tjibantjeret, Westjava (Blatt 30, Poerwakarta). Leg. Dr. O. Ludwig. Letztere Fundstelle stellt die Typenlokalität dar.

a. Normale Individuen.

Schalenäuszeres. 5 bis 9 mm grosze, flache Formen mit oder ohne polare Einsenkung (Nabel) von 2 bis 4 mm Breite. Im Nabel findet man einen oft nur wenig deutlichen Knopf (Taf. I, Fig. 7; Taf. II, Fig. 5, 6). Die äuszere Lateralkammerschicht zeigt nahe am Schalenrand eine mehr (Taf. I, Fig. 6; Taf. III, Fig. 5) oder weniger (Taf. I, Fig. 8) plötzliche Verminderung der Dicke. Dieser Rand erweckt den Eindruck einer Regeneration, braucht es jedoch nicht in jedem Falle zu sein, wie sich aus Vertikalschnitten ergibt. Der Rand kann auszerdem terrassenartig abgestuft sein (Taf. I, Fig. 7, 8, Taf. II, Fig. 6). Umrisz unregelmäszig kreisförmig, undeutlich polygonal oder, bei gut erhaltenen Stücken, mit herausragenden Radien (Taf. II, Fig. 5).

Die Schale ist, vom äuszersten Schalenrande abgesehen, mit etwa 0,01 bis 0,35 mm groszen Pfeilerköpfen besetzt. Die gröszten liegen auf den Schalenpolen. An den Stücken von Tjipitjoeng ist bisweilen eine kreisförmige Anordnung der Pfeilerköpfe sichtbar (Taf. II, Fig. 6). Sie sind von etwa 7 bis 12 Lateralkammerwänden rosettenförmig umgeben. Zwischen den Köpfen kann man bei günstiger Erhaltung (Taf. II, Fig. 6) eine oder zwei (selten mehr) Lateralkammerreihen beobachten. Der Abstand zwischen den Pfeilerköpfen ist nur selten gröszer als ihre Dicke. Die Lumina der Lateralkammern der ungepfeilerten Peripherie sind gerundet oder regelmäszig arcuat. Die Radien sind nur am Schalenrande wahrzunehmen, meist fehlen sie jedoch auch hier (z.B. Taf. III, Fig. 5).

Nach dem äuszeren Habitus lassen sich folgende Typen unterscheiden:

a. mit Nabel, ohne zentralen Knopf (Taf. I, Fig. 6; Taf. III, Fig. 5),

b. mit Nabel, mit zentralem Knopf (Taf. I, Fig. 7; Taf. II, Fig. 5, 6),

c. ohne Nabel, d.h. mit flachen oder mit wenig gewölbten bzw. eingesenkten Polen (Taf. I, Fig. 8).

Diese drei Typen sind keineswegs scharf voneinander zu trennen, da Übergänge bestehen. Auf Grund der Radien, der Grösze und Anordnung der Pfeilerköpfe, sowie der Zahl der zwischen ihnen eingeklemmten Lateralkammerreihen und der Ausbildung der Pole läszt sich eine Trennung nicht durchführen.

Masze in mm:	Tjibantjeret		Tjipitjoeng	
	Durchm.[4])	Dicke	Durchm.	Dicke
Typus a	5	1,35	4	0,75
	5	1,1	6	0,9
	6	0,8	6	0,9
	7,5	1,35		
	8	1,1		
Typus b	5	0,95	5	1,0
	6	1,2	7	0,7
	6	0,95		
	7	1,4		
	8	1,5		
Typus c	5	0,9	5	1,2
	6	1,2	6	1

Die Fundstelle Tjibantjeret lieferte [5]): 10 Stücke vom Typus a, 15 von b und 5 von c.
„ „ Tjipitjoeng [5]) „ : 4 Stücke vom Typus a, 4 von b und 5 von c.

Medianschnitt (Taf. I, Fig. 5; Taf. II, Fig. 1). Die nach dem Schalenäuszeren unterschiedenen Typen kann man im Medianschnitt nicht mehr auseinanderhalten. Der mikrosphäre Embryonalapparat zeigt eine, im Innendurchmesser 0,010 bis 0,017 mm grosze, Initialkammer, um die sich, eine einzige spirale Windung bildend, 6 bis 7 Initialkammern legen (Taf. I, Fig. 5).

Die Mediankammergestalten sind ganz wie bei *Lep. stratifera* nov. sp., ebenso auch ihre Verteilung über die Medianebene (vgl. Taf. I, Fig. 5 mit Taf. IV, Fig. 1). Zu den spatuliformen Mediankammern gesellen sich ebenfalls dann und wann solche von hexagonaler Gestalt (Taf. I, Fig. 4, links). Diese Kammern gehören zwar noch zur Medianschicht, sind aber mehr abseits von der medianen Symmetrieebene geschnitten.

Im Horizontalschnitt findet man sehr oft Kammern von rhombischer oder geschlossen arcuater Gestalt (Taf. II, Fig. 1, obere Hälfte, dicht beim Risz). Solche können in den verschiedensten Entfernungen von der Schalenmitte auftreten. Diese Kammern erwecken durch ihre regelmäszige Form und Anordnung den Eindruck von Mediankammern, sind es aber nicht und müssen zu den Lateralkammern gerechnet werden (siehe unten, bei der Besprechung des Lateral- und Vertikalschnittes).

Die arcuaten Mediankammern sind (bis 1½ mal) breiter als lang, die späteren spatuliformen (bis 1½ mal) [6]) länger als breit. Diese langen Kammern finden sich nur in der äuszersten Peripherie, mit anderen Worten die spatuliformigen Kammern sind meist fast isometrisch. Zwischen den längeren spatuliformen Mediankammerringen schieben sich oft Ringe mit kürzeren Kammern ein. Die Vertikalwände der Mediankammern sind ungünstig erhalten, man sieht nur die dunkle Mittelschicht deutlich.

Es sind 4 bis 6 Polygonseiten vorhanden, am Ma-

4) Die herausstehenden Radien sind bei der Ermittlung des Durchmessers unberücksichtigt gelassen.

5) Die hier gegebenen Zahlen sind infolge des Vorhandenseins von Übergängen nur annähernd richtig.

6) D. h. das Verhältnis der Breite zur Länge der späteren Mediankammern ist kleiner als bei *Lep. gigantea*, wo es sich als 1 : 3 ergab (Tan, 1935, S. 4).

terial von Tjibantjeret am häufigsten fünf [7]). Die Polygonseiten sind konkav oder gerade. Die polygonale Anordnung ist nahe beim Zentrum immer sehr deutlich, da die Radien ausnahmslos sehr gut zu unterscheiden sind. Letztere sind im Anfang nur 4 Mediankammern breit. Am Rande kann die Polygonalität undeutlicher werden.

Die ersten Reihen (bis vier Reihen) der offen arcuaten Mediankammern sind nicht polygonal angeordnet, sondern gemischt spiral-konzentrisch (Taf. I, Fig. 5).

Masze in mm:

Arcuate Kammern:		
Lumen	tangential	± 0,025.
	radial	± 0,016.
Wanddicke		± 0,005.
Spätere spatuliforme Kammern:		
Lumen	tangential	bis 0,060.
	radial	bis 0,090.
Wanddicke		± 0,017.

Vertikalschnitt (Taf. II, Fig. 2—4; Taf. III, Fig. 1, 2; Taf. IV, Fig. 9). Die drei nach ihrem Äuszeren unterschiedenen Typen sind in Vertikalschnitte kaum zu trennen. Es sind sehr typische Merkmale vorhanden. Auffällig sind drei (seltener mehr) starke Horizontalböden (siehe S. 10, Fusznote 2) beiderseits der Mediankammerschicht. Es sind die miteinander verwachsenen und verdickten Dächer der einzelnen Lateralkammern des Schaleninneren. Die Horizontalböden fangen in einigem Abstand vom Schalenmittelpunkt an und verlaufen in den meisten Fällen bis zum Schalenrand. Wenn sie am Schalenrand undeutlicher sind, so hängt dies mit einer Schalenverletzung zusammen. Sie werden dann wohl regeneriert, aber erlangen nicht immer die ursprüngliche Stärke (Taf. II, Fig. 4, rechts). Die Horizontalböden erklären das Vorhandensein einer äuszerlichen terrassenförmigen Abstufung am Rande angewitterter Stücke (Taf. I, Fig. 7, 8; Taf. II, Fig. 6). Der innerste Horizontalboden ist meist dicker als die Decklagen der Medianschicht, während der äuszerste wieder dünner ist als die inneren, aber dicker als die Dächer der Lateralkammern nahe der Oberfläche. Zwischen den Böden befindet sich nur eine einzige Schicht nicht miteinander alternierender Lateralkammern.

Die Decklagen der Lateralkammern des Kerns sind als Ganzes betrachtet konvex nach den Polen. Sie sind ebenfalls verdickt. Die Dächer der Lateralkammern der Oberfläche zeigen eine mehr oder weniger deutliche Neigung zur Bildung von Horizontalböden; die alternierende Stellung der Lateralkammern benachbarter Vertikalreihen ist hier jedoch nicht zu verkennen (Taf. II, Fig. 2).

Die „Vertikal"-wände der zwischen den Böden eingeklemmten Lateralkammern konvergieren in zentrierten oder fast zentrierten Vertikalschnitten der Schalenachse zu. Im Zentrum können sie sogar fast horizontal liegen! Im exzentrischen Vertikalschnitt können sie aber senkrecht sein.

7) Diese Feststellung gründet sich auf 5 gute Schnitte dieser Fundstelle, nur einer zeigte 4 Polygonseiten.

Die Vertikalwände der Lateralkammern, die sich unmittelbar über der Deckschicht der Mediankammern befinden, können in der Verlängerung der Vertikalwände der Mediankammern liegen, aber tun dies in der Regel nicht, wie schon aus der Gestalt der innersten Lateralkammern zu schlieszen ist, die von derjenigen der Mediankammern abweicht.

Die äuszerlich flache, bisweilen sogar ein wenig gewölbte Gestalt gewisser Individuen (Typus c) steht meist in Zusammenhang mit Schalenverletzungen in dem Sinne, dasz die Ausheilung randlicher Verletzungen Hand in Hand geht mit der Neubildung von Lateralkammern, die sich über die Pole fortsetzen und den Nabel ausfüllen (Taf. II, Fig. 4). Hierauf wird noch eingegangen werden (S. 14).

Eine zweite Eigentümlichkeit der Art ist, dasz die Pfeiler in der Regel nicht an der Mediankammerschicht, sondern erst da einsetzen, wo die Horizontalböden undeutlich werden [8]). Wo die proximalen Pfeilerenden der Medianebene stark genähert sind bzw. diese erreichen, sind die Böden nicht gut entwickelt. Dies ist im Schalenkern die Regel (Taf. II, Fig. 4). Im exzentrischen Vertikalschnitte können die Pfeiler stark zurücktreten (Taf. IV, Fig. 9).

Die Mediankammerschicht wird dem Rande zu höher. Der Betrag dieser Erhöhung wechselt gemäsz der Orientierung des Schnittes; er ist viel beträchtlicher in der Richtung der Radien als der Interradien. Dieser Umstand erhellt aus exzentrischen Vertikalschnitten (Taf. III, Fig. 1; Taf. IV, Fig. 9). In solchen findet man stets eine oder mehrere Erweiterungen in der Medianschicht. Die Anzahl wechselt je nach der Schnittlage. Die Erweiterungen sind nichts anderes als die Querschnitte der Mediankammern der Radien. Es wird jetzt auch deutlich, warum an ein und demselben Stück mitunter die Mediankammerschicht in der einen Hälfte viel höher ist als in der anderen (Taf. III, Fig. 2). Erstere entspricht nämlich einer radialen, letztere einer interradialen Orientierung des Schnittes.

Die Vertikalwände der Mediankammern sind meist fast gerade; in den erhöhten radiären Teilen sind die mehr seitlichen konvex zur vertikalen Symmetrieebene des Radius gebogen oder können unregelmäszig sein und Eindellungen ausbilden, sodasz die Mediankammern in Sekundärkammern unterverteilt sind. (Taf. II, Fig. 2, 3). Die geringe Zunahme der radialen Abmessungen der Mediankammern ist aus dem Vertikalschnitt gut zu ersehen.

8) Bei der Beschreibung der *Lep. papulifera* wurde bemerkt, dasz man Pfeiler, die nicht unmittelbar an der Medianebene anfangen bzw. sich nicht bis zur Schalenoberfläche fortsetzen, der Schnittlage in bezug auf die Achse der Pfeiler zuschreiben kann (Tan, 1934, S. 207). Eine solche Erklärung ist im vorliegenden Falle abzuweisen: sie kommt ja nur für Formen in Frage, deren Pfeiler sehr schräg auf der Medianebene stehen. Des weiteren ist schon aus dem Umstand, dasz bei allen vorhandenen Schnitten (mehr als zehn) die Pfeiler nur ausnahmsweise an der Medianschicht beginnen, zu schlieszen, dasz es sich nicht um eine durch die zufällige Schnittlage bedingte Erscheinung handeln kann. Dasz man hier mit echten „fundamentlosen" Pfeilern zu tun hat, folgt unzweideutig aus Lateralschnitten (siehe S. 13.).

Masze in mm:

Decklage der Mediankammerschicht		: 0,010 — 0,066.
Innerster Horizontalboden		: 0,010 — 0,066.
Dach der Lateralkammern der Oberfläche		: 0,010 — 0,025.
Lumen der Lateralkammern:		
im Kern	Höhe	: 0,010 — 0,015.
	Breite	: 0,010 — 0,015.
am Rand	Höhe	: 0,025.
	Breite	: 0,040.
an der Oberfläche	Höhe	: 0,025 — 0,040
	Breite	: 0,040 — 0,080.
Höhe der Mediankammerschicht:		
im Zentrum		: 0,015 — 0,025.
am Rand	radiär	: bis 0,200.
	interradiär	: ± 0,066.
Zahl der Lateralkammerschichten:		
genabelte Stücke	in den Polen	: 12 — 13.
	in der ringförmigen Erhebung	: 8 — 9.
flache Stücke in den Polen		: 17 — 20.

Lateralschnitt. Je nach dem Abstand des Schnittes von der Medianscheibe ändert sich das Bild (Taf. I, Fig. 4, 5; Taf. II, Fig. 1; Taf. III, Fig. 3). Es zeigt sich, dasz die Lateralkammern, die sich unmittelbar über den Decklagen der Medianschicht befinden, von sehr regelmäsziger und gleichmäszig groszer arcuater (meist geschlossen arcuater, bisweilen zu einem Spitzbogen hinneigender) Gestalt sind; über dem ersten Horizontalboden kommen neben arcuaten schon unregelmäszig polygonale Lateralkammern mehr (Taf. III, Fig. 3) oder weniger (Taf. II, Fig. 1) zahlreich vor. In der dritten Schicht überwiegen letztere bereits. Die einzelnen Stockwerke lassen sich im Lateralschnitt sehr gut unterscheiden und abgrenzen, zumal sich die Horizontalböden in einem solchen Schnitt als hellere, unscharf begrenzte Zonen hervortun, welche die scharf umrissenen Lateralkammern umrahmen. In diesen Schichten fehlen Pfeiler, d.h. letztere fangen nicht bei der Medianebene an. Auf Taf. III, Fig. 3 sind Pfeiler erstmals im vierten Stockwerk ausgebildet.

Die Lateralkammern des Kerns sind unregelmäszig gerundet, d.h. sie zeigen keine Besonderheiten (Taf. I, Fig. 5; Taf. III, Fig. 3). Dies hängt zusammen mit dem Fehlen von Böden.

Oberflächennahe Lateralschnitte besitzen das normale Bild stark gepfeilerter Formen, d.h. die Lateralkammern sind rosettenförmig um die Pfeiler gruppiert und unregelmäszig polygonal (Taf. III, Fig. 4, vgl. auch *Lep. marginata* Mich. bei R. Douvillé, 1909, Taf. V, Fig. 14).

Masze in mm:

Arcuate Lateralkammern:

im Zentrum	± 0,040 breit; ± 0,050 lang.
am Rande	± 0,050 breit; ± 0,060 lang.

Verbindungen zwischen den Kammern.

Obgleich das Material nicht so gut erhalten ist, gibt es genug Anhaltpunkte dafür, dasz Stolonen vorkommen, die wie bei *Lep. papulifera* (Tan, 1934) und *Lep. gigantea* (Tan, 1935) ausgebildet sind.

Die arcuaten Lateralkammern lassen dieselben Stolonen wie arcuate Mediankammern erkennen, d.h. sie kommen in jeder Kammerhälfte in der Einzahl vor und durchbohren die proximalen Enden der bogenförmigen Wand unmittelbar über der Distalwand der vorhergehenden, mehr achsial gelegenen Lateralkammer (Taf. I, Fig. 4). Die Horizontalböden haben die normale Perforation (Taf. I, Fig. 4).

b. Regenerierte bzw. abnormale Individuen.

Regenerationen sind häufig. Es sind zwei Gruppen von regenerierten Individuen zu unterscheiden, nämlich äuszerlich mehr oder weniger normal gestaltete (Taf. II, Fig. 2 — 4) und abnormale, die stabförmig, nicht selten verzweigt (Taf. I, Fig. 9; Taf. II, Fig. 7, 8, 9, 10; Taf. III, Fig. 7 — 9; Taf. IV, Fig. 2 — 8) oder rosettenförmig (Taf. IV, Fig. 5) sein können. Solche Formen würde man kaum als *Lep. omphalus* bestimmen, eher als *Lep. (Trybliolepidina) elegans* nov. sp. der gleichen Fundstelle (Taf. IV, Fig. 10 — 12, vgl. Fig. 11 mit Fig. 8 der Taf. IV, und auch die einzelnen Radien der *Lep. elegans* mit Taf. II, Fig. 7; sie entsprechen sich in der achsialen Gruppierung der Pfeiler). Ihre Zugehörigkeit zu *Lep. omphalus* liesz sich aber unzweideutig aus den Schliffen erweisen. Es wurden im ganzen nicht weniger als 20 Quer-, Längsvertikal- und Medianschnitte angefertigt. Ohne Ausnahme handelte es sich um Bruchstücke mit sehr gut ausgebildeten Horizontalböden, die bei mehreren Stücken schon äuszerlich erkennbar sind (Taf. II, Fig. 8), und arcuaten Lateralkammern (Taf. IV, Fig. 6). Des weiteren fehlt den neun Medianschnitten, die von den verschiedensten Gestalten angefertigt wurden, durchweg ein Embryonalapparat. Es handelt sich somit um regenerierte mikrosphäre Individuen, sodasz die megasphäre *Lep. elegans* gar nicht in Frage kommt. Da sie von allen, am gleichen Fundort befindlichen B-Formen am meisten der *Lep. omphalus* entsprechen, sind sie zu dieser Art zu bringen. Die Ähnlichkeit erstreckt sich nicht nur auf die Ausbildung von Horizontalböden, sondern auch auf die Anordnung der Pfeilerköpfe. Diese abnormal regenerierten Stücke werden jedoch viel gröszer als die äuszerlich normalen (vgl. Taf. II, Fig. 8 mit Taf. II, Fig. 5).

Aus den Schliffen ergibt sich, dasz alle abnormal regenerierten Stücke ausnahmslos einen dem radiären Teil der ursprünglichen Form entsprechenden Kern enthalten. Die Vertikalschnitte zeigen nämlich alle die Erweiterung der Mediankammerschicht und die Medianschnitte Bilder wie Taf. III, Fig. 6; Taf. IV, Fig. 2, 4, 6. Regenerationen, die von einem interradiären Schalenteil ausgehen, wurden nicht gefunden. Hieraus darf man schlieszen, dasz nur diejenigen embryonalapparatlosen Stücke regenerationsfähig, d.h. überhaupt lebensfähig waren, welche die radiären Mediankammern enthalten. Die Kerne des Protoplasmas der Art dürfen somit in diesem Falle in diesen radiären Mediankammern lokalisiert sein.

Auf eine weitere Eigentümlichkeit des Vertikalschnittes sei noch hingewiesen. Die verheilte Stelle

wird erst erkennbar, wenn der Schnitt durch eine Verzweigungstelle geht (Taf. I, Fig. 9). Quergeschnittene stabförmige Stücke zeigen die verheilte Wunde nicht (Taf. III, Fig. 7; Taf. IV, Fig. 7, 8). Letztere Erscheinung schien meine anfängliche Annahme, dasz die Stäbchen nur Radien von *Lep. elegans* darstellten, zu bestätigen, aber das Gleiche findet man auch bei quergeschnittenen Ästen der verzweigten abnormen Formen, sodasz sie der endgültigen Auffassung als regenerierte Individuen von *Lep. omphalus* nicht widersprechen.

Das Stück der Tafel IV, Fig. 7, zeigt auszer Wachstumstreifen Lateralkammern, die nicht genau in ein und derselben Schicht liegen; letztere kommen nämlich, obwohl vereinzelt, auch in den Horizontalböden vor. Solche Unregelmäszigkeiten sind von keiner weiteren Bedeutung, da an ein und demselben stabförmigen Stück, das an zwei verschiedenen Stellen quer geschnitten wurde, sowohl die regelmäszige als auch die unregelmäszige Anordnung der Lateralkammern gefunden wurde.

Sehr merkwürdig ist es, dasz die Fundstelle Tjibantjeret bisher keine abnormal regenerierten Stücke geliefert hat.

Die regenerierten Stücke, die einen Embryonalapparat enthalten, können eine, in Zusammenhang mit der Verletzung stehende Verdickung der Schale in den Polregionen bzw. eine Ausfüllung des Nabels haben (Taf. II, Fig. 4). Zu diesem Schlusz musz man gelangen, wenn man bedenkt, dasz nicht weniger als fünf von den sechs vertikal geschnittenen genabelten Stücken keine randliche Verheilung zeigen, während von den vier flachen, vertikal geschnittenen Individuen schon drei in solcher Weise verheilt sind. Des weiteren besitzen die flachen Formen mehr Lateralkammerlagen als die genabelten Formen (S. 13). Diese Erscheinung wurde schon von *Lep. gigantea* beschrieben (T a n, 1935, S. 6); wie dort hängt sie mit einer Regeneration nach Verletzungen zusammen. In diesem Falle handelt es sich aber nur um solche Verletzungen, die in einem späteren Stadium des individuellen Wachstums stattgefunden haben. Jedoch kommen auch Individuen vor, welche die Nabelausfüllung vermissen lassen, obgleich sie eine offenbar dafür günstige Verletzung aufweisen, sowie flache Formen ohne randliche Verheilung. Solche Stücke sind jedoch selten. Verletzungen, die in einem früheren Stadium des Wachstums stattfinden, scheinen wie bei *Lep. gigantea* keine Schalenverdickung zur Folge zu haben (Taf. II, Fig. 3).

Es sei hier bemerkt, dasz das Material von Tjipitjoeng eine verhältnismäszig gröszere Anzahl flacher Stücke (Typus c) lieferte, als das von Tjibantjeret. Dies läszt darauf schlieszen, dasz erstere Fundstelle den unruhigeren Wohnraum darstellte, was ja auch aus dem Vorhandensein der abnormal regenerierten Stücke abzuleiten war.

Bemerkungen. Die erwähnten, nach ihrem Äuszeren unterschiedenen Typen lassen sich systematisch nicht weiter trennen. Sie gehören m. E. einer einzigen Art an, die als *Lepidocyclina (B) omphalus* nov. sp. zu bezeichnen ist. Es besteht eine gewisse äuszerliche Ähnlichkeit mit *Lep. pseudomarginata* C u s h m a n (1920, Taf. XXIV, Fig. 2, 3). Über deren inneren Merkmale konnte C u s h m a n wegen der geringen Zahl der zur Verfügung stehenden Stücke nur wenig mitteilen, vgl. V a u g h a n, 1924, S. 800. 1928, S. 156, wurde sie von V a u g h a n als Varietät der *Lep. ocalana* C u s h m. untergeordnet. Dies weist darauf hin, dasz *Lep. pseudomarginata* im Schnitt *Lep. ocalana* entspricht, somit sehr gut von *Lep. omphalus* zu unterscheiden ist (vgl. C u s h m a n 1920, Taf. XXIX). Die äuszerliche Ähnlichkeit ist als Konvergenz zu deuten. Wie noch zu erörtern sein wird, ist diese Erscheinung bei den Lepidocyclinen nicht selten [9]).

Im Vertikalschnitt entspricht die Art der *Lep. mantelli* S c h e f f e n non M o r t o n (1932a, Taf. I, Fig. 1, = 1932b, Taf. 10, Fig. 1). Leider ist von S c h e f f e n s Form nicht mehr als der von ihm veröffentlichte exzentrische vertikale Schnitt bekannt. Hiernach wären die Böden bzw. die Decklagen der Lateralkammern unregelmäsziger als bei den vorliegenden Formen und die Pfeiler kleiner. Unregelmäszige Böden treten bei *Lep. omphalus* hin und wieder auf, während die Pfeilergröszе von der Schnittstelle abhängig ist (Taf. IV, Fig. 9). Diese Unterschiede scheinen mir somit nicht von Bedeutung zu sein. S c h e f f e n s Form zeigt auszerdem, wie sich aus den Erweiterungen der Medianscheibe ergibt, eine polygonale Anordnung der Mediankammern. Soweit S c h e f f e n s Art bekannt ist [10]), kann man demnach eine Identifizierung mit *Lep. omphalus* völlig verantworten, musz man aber die Bestimmung als *Lep. mantelli* M o r t o n abweisen (vgl. S. 15).

In welcher Beziehung die vorliegende Art zu S c h e f f e n s *Lep. stillafera* (1932, S. 17, Taf. I, Fig. 2) steht, läszt sich nicht feststellen. Diese Art ist nur in einem exzentrischen Vertikalschnitt bekannt, so dasz nicht einmal feststeht, ob echte Horizontalböden vorhanden sind, und Andeutungen einer polygonalen Anordnung der Mediankammern sind nicht erkennbar.

E r g e b n i s s e u n d B e t r a c h t u n g e n.

1. Es gibt eine Gruppe mikrosphärer Lepidocyclinen, die in erster Linie durch Horizontalböden gekennzeichnet sind. Sie werden als stratifere Lepidocyclinen angedeutet. Zur Definition von „Horizontalboden" vgl. S. 10, Fusznote 2. Für die vorliegenden Arten gelten noch die folgenden auffälligen Merkmale: Mediankammern, die radial nur wenig an Länge zunehmen und die in polygonalen Ringen angeordnet sind; Lateralkammern, die in den innersten Stockwerken von regelmäszig arcuater Gestalt sind, deren Lumina dem Rande zu nur wenig an Grösze zunehmen und deren „Vertikal"-wände kaum

9) Mit gewissen Varianten von *Discocyclina seunesi* H. D o u v i l l é besteht eine auffällige Konvergenz im Schalenäuszeren (Bull. Soc. Géol. France 1922, S. 64, Taf. IV, Fig. 1, 2).

10) Die genaue Fundstelle dieser Art ist: Tjibingbin, Nebenflusz des Tjisentek, Tegalwaroe-Lande, Westjava. Von der Art stehen, ebensowenig als von der im folgenden erwähnten *Lep. stillafera* S c h e f f e n, Topotypen zur Verfügung.

verdickt sind; Pfeiler, die nur selten auf der Decklage der Medianschicht anfangen. In einer folgenden Arbeit wird noch erörtert werden, dasz die Gruppe keineswegs scharf zu begrenzen ist.

Zu der Gruppe sind noch folgende, schon bekannte Arten zu bringen: *Lep. gallieni* Lem. & Douv. (1904, Taf. I, Fig. 8), *Lep. volucris* Scheff. (1932, Taf. I, Fig. 3) und *Lep. delicata* Scheff. (Ibidem, Taf. I, Fig. 4). Diese drei Arten sind nur unvollständig bekannt. Inwieweit Scheffens *Lep. stillafera* ebenfalls hierher zu zählen ist, läszt sich nicht feststellen, da aus dem einzig bekannten exzentrischen Vertikalschnitt das Vorhandensein von Böden nicht nachzuweisen ist. Des weiteren dürfte zu dieser Gruppe das Stück gehören, das Hanzawa in einem exzentrischen Vertikalschnitt bekannt gegeben und als megasphäre *Lep. (Multilepidina) irregularis* Hanz. bestimmt hat (1932, S. 449, Fig. 1). Hierzu sei jedoch bemerkt, dasz das Stück mikrosphär sein dürfte, vgl. die Masze der Fig. 1 mit denen der Fig. 5 der gleichen Tafel Hanzawas.

Diese Formen gehören zu jener Gruppe Scheffens, die er mit zwei (!) Namen belegt hat, nämlich „*Delicatae*" (1932a, S. 45; 1932b, S. 252) und „*Mantelliformis*" (Ibidem, S. 242), und die seines Erachtens den Wert eines Subgenus hat. Ich bezweifle, dasz Scheffens Untergattung zurecht besteht oder gar notwendig ist. Scheffens Auffassung hinsichtlich der hervorragenden Bedeutung der Lateralkammern, wie sie im Vertikalschnitt erscheinen, und der Zwischenelemente für eine natürliche Klassifikation ist nicht mehr als eine Spekulation, deren Wert erst noch erwiesen werden müszte [11]). Bei der Aufstellung dieser glücklicherweise noch unbenannt gebliebenen Untergattung hat Scheffen nicht einmal die verschiedene Gestalt der Lateralkammern im Horizontalschnitt (vgl. *Lep. omphalus* und *Lep. mantelli* Morton non Scheff. bei Lemoine & Douv. 1904, Taf. III, Fig. 12), ebensowenig die Merkmale im Medianschnitt, in Betracht gezogen.

Wie sich jetzt schon beurteilen läszt, gehören zu den behandelten neuen Arten megasphäre Formen mit Anfangskammern vom *Trybliolepidina*-Typus. Zu welcher megasphären Art die beschriebenen mikrosphären gehören, wird sich voraussichtlich nicht zuverlässig ermitteln lassen.

Die Bildung von Horizontalböden ist anscheinend im Bauplan dieser Formen begründet und hängt jedenfalls nicht mit einer Reaktion auf einen kalkreichen Wohnraum zusammen. In letzterem Falle müszte man Böden und arcuate Lateralkammern in allen Lepidocyclinen finden, die in Kalkgesteinen überliefert sind.

Der Umstand, dasz das Vorhandensein von Böden eine gleichzeitige Entwicklung von Pfeilern so gut wie ausschlieszt, läszt darauf schlieszen, dasz Bödenbildung eine besondere Weise von Schalenverstärkung darstellt. Hier wird das horizontale Element verstärkt, im Gegensatz zu den beiden anderen Möglichkeiten einer Schalenverstärkung, wo das vertikale Element bevorzugt wird, nämlich die Vertikalwände der Lateralkammern bei Formen wie *Eulepidina formosa* Schlumb. und die Ecken der Lateralkammern bei gepfeilerten Formen.

2. Scheffen ist der Auffassung, dasz es eine Korrelation gibt zwischen Vertikal- oder Diagonalschnitt und dem Horizontalschnitt: „Von einem Vertikal- oder Diagonalschnitt aus ist beispielsweise eine ziemlich vollständige Rekonstruktion des Horizontalschnittes möglich, wie sie hier bei *L. arcuata, L. robusta* u. a. durchgeführt wurde" (1932a, S. 6). Zu welch fehlerhaftem Schlusse er bei dieser Durchführung gekommen ist, erhellt aus seiner *Lep. mantelli* (= *Lep. omphalus*). Diese Art hat im Medianschnitt kein einziges wichtiges Merkmal mit *Lep. mantelli* Morton non Scheff. gemein!

Wie weit Scheffen mit seinen Spekulationen hinsichtlich der Formen seiner „*Mantelliformis*"-Gruppe gegangen ist, dürfte sich aus dem folgenden ergeben (1932b, S. 246): „Ein solches diagonales System von Kanälen innerhalb des Lateralskelettes erscheint als notwendige Verbindung der Kammerräume, wenn diese durch allzu dicke Wände geschieden sind, mit anderen Worten: korrelativ innerhalb einer exzessiven Entwicklung. Wir werden sie weniger dort erwarten, wo keine vertikalen Bauelemente ausgebildet sind und wo die seitliche Kommunikation keine Schwierigkeiten bereitet (*Lep. mantelli*)". Scheffen hatte hier seine *Lep. mantelli* vor Augen, nicht die Mortons. Wie meiner Beschreibung jener Form zu entnehmen ist, findet man nicht nur vertikale Bauelemente, sondern auch Stolonen in normaler Ausbildung.

Scheffens weitere Aussage, dasz *Lep. mantelli* Scheff. non Morton eine persistente primitive Form darstelle, ist zur Zeit nicht zu ergründen. Sie beruht überdies auf einer falschen Identifikation. Es sei nur bemerkt, dasz die stratiferen Lepidocyclinen bisher nur in der Nach-*Eulepidina*-Zeit auftreten und zusammen mit *Miogypsina* s. str., Katacyclolypeen und Trybliolepidinen.

3. Die Aufstellung obiger neuer Arten, bevor noch die am gleichen Fundort zahlreich vorkommenden megasphären Formen bekannt gegeben sind, bedarf einer Erklärung. Soviel ist mir nämlich von diesen A-Formen schon bekannt, dasz ich das Problem ihrer artlichen Zugehörigkeit zu den mit ihnen zusammen auftretenden B-Formen ungelöst lassen musz. Eine artliche Zusammengehörigkeit ist nur dann in unzweideutiger Weise festzustellen, wenn eine ganze Gesteinsschicht bzw. ein Gesteinskomplex ausschlieszlich eine einzige B-Form bzw. eine einzige A-Form enthält. Die zusammenauftretenden A- bzw. B-Form(en) gehören in diesem Falle artlich zweifelsohne zusammen. Ein Beispiel werden die Lepido-

11) Van der Vlerks Kritik der Scheffenschen „Phylogenie" (1933, S. 16) geht von der falschen Annahme aus, dasz die in Scheffens Arbeit (1932b, S. 252-253) gegebene Aufeinanderfolge der „Untergattungen" der fortlaufenden Spezialisation des Lateralskelettes entspräche. Nichtsdestoweniger ist van der Vlerks Schlusz richtig, dasz Scheffens Ergebnisse nur ungenügend durch die tatsächliche Aufeinanderfolge der Lepidocyclinen bestätigt werden. Scheffen hat sich überhaupt nicht hierum bekümmert.

cyclinen der Bentang-Serie liefern, woraus zur Zeit nur die *Lep.* (*B*) *gigantea* K. Martin bekannt ist (Tan, 1935). Auf diese Frage wird somit noch zurückzukommen sein bei der Behandlung der A-Formen.

4. Soweit mir bekannt ist, stellen erweiterte Mediankammerschichten ein Merkmal dar, das bei allen polygonalen Lepidocyclinen auftritt (vgl. *Lep. cf. wetherellensis* Vaughan & Cole (Vaughan 1933, Taf. 23, Fig. 10), *Lep.* (*Multilepidina*) *irregularis* Hanzawa (1932, S. 449, Fig. 1, 5), des weiteren bei noch anderen, später zu veröffentlichende Arten der hiesigen Sammlung). Vaughans Fig. 3 der Taf. 25, 1933, der *Lep. spec. indet. d* stellt m. E. einen exzentrischen Schnitt einer polygonalen Form dar. In gewissen regenerierten Formen können die erweiterten Mediankammern dem Schnitt ein abnormes Zentrum verleihen (Taf. I, Fig. 9).

Die gleichen erweiterten Mediankammern trifft man bei polygonalen Discocyclinen an (z.B. *Asterocyclina stella* Gümb. bei Deprat 1905, Taf. XIX, Fig. 28; *Asteroc. lanceolata* Schlumb. bei Gümbel 1868, Taf. IV, Fig. 7, *Asteroc. vaughani* Cushman bei Gorter & v. d. Vlerk 1932, Taf. 17, Fig. 6).

Obgleich diese Erscheinung schon 1868 beschrieben wurde (Gümbel, S. 136), ist ihr bei der Angabe der Höhe der Medianscheibe im Beschreibungen von polygonalen Orbitoiden nur ausnahmsweise Rechnung getragen worden. Diese in den Radien erhöhte Mediankammern können den Vertikalschnitten eine in bezug auf die Windungsachse asymmetrische Medianscheibe verleihen (Taf. III, Fig. 2).

5. Es gibt regenerierte Individuen, die sich völlig von den unversehrten Stücken unterscheiden in dem Sinne, dasz erstere unter Umständen gröszer werden und stabförmig bzw. stellat oder rosettenförmig sind, während letztere kreisförmigen Umrisz bzw. Polygonalität besitzen, bei der die Radien zuweilen herausstehen.

Von *Lep. omphalus* sind nur diejenigen Bruchstücke regenerationsfähig, d. h. lebensfähig, die Mediankammern eines radiären Sektors enthalten. Anscheinend sind die Kerne des Plasmas dieser Art in den Radien lokalisiert.

6. Im Horizontalschnitt unter cheidet sich das Zentrum der behandelten stratiferen Lepidocyclinen von dem der *Lep. gigantea* K. Martin nur im Fehlen deutlich ogivaler Mediankammern der Radien. Inwieweit dieser Unterschied von weiterem Belang ist, müssen spätere Untersuchungen erweisen.

Herrn Dr. K. A. F. R. Musper sei an dieser Stelle für die sprachliche Durchsicht dieser Arbeit mein Dank ausgesprochen.

ANGEFÜHRTE SCHRIFTEN.

1920. Cushman, J. A. American species of *Orthophragmina* and *Lepidocyclina*. U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 125, S. 39-135.

1905. Deprat, J. Les dépôts éocènes néo-calédoniens; leur analogie avec ceux de la région de la Sonde. Deux nouvelles Orbitoides. Bull. Soc. Géol. France (4), Bd. 5, S. 485-516.

1909. Douvillé, R. Lépidocyclines et *Cyclocypeus* malgache. Ann. Soc. Zool. Malac. Belg., Bd. XLIV, S. 125-139.

1932. Gorter, N. & van der Vlerk, I. M. Larger *Foraminifera* from Central Falcón (Venezuela). Leidsche Geol. Meded., Bd. 4, Nr. 2, S. 94-122.

1868. Gümbel, C. W. Beiträge zur Foraminiferenfauna der Nordalpinen Eocängebilde. Abh. K. Bayer. Ak. Wiss. 2. Cl., Bd. 10.

1932. Hanzawa, S. A new type of *Lepidocyclina* with a multilocular nucleoconch from the Taitô Mountains, Taiwan (Formosa). Proc. Imp. Ac. Tokyo, 1932, Vol. 8, Nr. 9, S. 446-449.

1904. Lemoine, P. & Douvillé, R. Sur le genre *Lepidocyclina*. Mém. Soc. Géol. France, Paléont. (2), Bd. 12.

1932a. Scheffen, W. Ostindische Lepidocyclinen I. Teil. Dienst v. d. Mijnbouw. Wetensch. Meded. No. 21.

1932b. ..... Zur Morphologie und Morphogenese der „Lepidocyclinen". Palaeont. Z., Bd. 14, S. 233-256.

1934. Tan Sin Hok. Über mikrosphäre Lepidocyclinen von Ngampel (Rembang, Mitteljava). De Ingenieur in Ned.-Indië. IV. Mijnbouw en Geologie. „De Mijningenieur". Bd. I, S. 203-211.

1935. ..... Über *Lepidocyclina gigantea* K. Martin von Süd-Priangan (Westjava), Tegal (Mitteljava) und Benkoelen (Südsumatra). Ibidem. Bd. II, S. 1-8.

1924. Vaughan, T. W. American and European Tertiary larger *Foraminifera*. Bull. Geol. Soc. Amer., Bd. 35, S. 785-822.

1928. ..... New species of *Operculina* and *Discocyclina* from the Ocala Limestone. 19th Ann. Rep. Florida State Geol. Surv., S. 155-165.

1933. ..... Studies of American species of Foraminifera of the genus *Lepidocyclina*. Smithsonian Misc. Coll., Bd. 89, Nr. 10, Pub. 3222.

1932. Van der Vlerk, I. M. The task of the oil palaeontologist. Geol. & Mijnb., Jg. 11. Nr. 2, S. 15-19.

ERKLÄRUNG ZU DEN TAFELN [12]):

Tafel [I] IV.

Fig. 1. *Lepidocyclina stratifera* nov. sp. 20 ×. Horizontal- zugleich Lateralschnitt. Die Anzahl Polygonseiten ist im Zentrum geringer als der Peripherie zu. Im Kern zählt man 5 Seiten; eine derselben ist undeutlich, sie liegt im südöstlichen Quadranten. Sehr deutlich sind die angeschnit-

12) Die Urstücke (Cotypen) befinden sich im Museum des Opsporingsdienst, Dienst van den Mijnbouw, Bandoeng, Java. Sie sind folgender Herkunft: Bl. 26A, Sagaranten, Nr. 658: Tjipitjoeng, Nebenflusz des Tjileungsir (Tjimandiri), Westjava. Leg. Dr. O. Ludwig.
Bl. 30, Poerwakarta, Nr. 1504: Tjibantjeret, Westjava. Leg. Dr. O. Ludwig.
Bl. 82A, Klaten, Nr. 1299: Südlich Kp. Pasean. Mitteljava. Leg. ir. A. Chr. D. Bothé.

tenen Horizontalböden, die sich durch hellere Streifen und Flecken kundtun. In der linken Bildhälfte erkennt man zwei aufeinanderfolgende Horizontalböden. Sie umsäumen die Proximalseite der Felder mit regelmäszig arcuaten Lateralkammern. Rechts oben ein tangierter Horizontalboden. In diesem Schnitt sind keine Pfeiler zu beobachten. Fundort: Blatt 82A, Nr. 1299. Cat. P. J. Nr. 4042.

Fig. 2. Eadem. 10 ×. Ein angewittertes Stück, das die stratifere Anordnung der Lateralkammern sehr deutlich zeigt. Im Zentrum sind Pfeiler sichtbar. Die Radien auf der Schalenoberfläche sind rechts unten angedeutet. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4043.

Fig. 3. Eadem. 10 ×. Ein fast unversehrtes Stück. Die stratifere Anordnung der Lateralkammern läszt sich nur am leicht angewitterten Rande (oben) feststellen. Die Radien der Schalenoberfläche sind undeutlich (links). Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4044.

Fig. 4. *Lepidocyclina omphalus* nov. sp. 100 ×. Stolonen der innersten Lateralkammern, die arcuat sind. Die Striche, welche die Lumina der Lateralkammern rings umgeben, sind nichts anderes als Poren des Horizontalbodens. Diese Poren sind in der oberen Bildhälfte undeutlich, in der unteren gilt dies für die Lateralkammern infolge des Umstandes, dasz hier der Horizontalboden tangiert ist. Links die spatuliformen Mediankammern, die schon hexagonal werden, da sie nicht median getroffen sind. Rechts davon, undeutlich, eine Stelle, die einem angeschnittenen Horizontalboden entspricht. Äuszerlich: genabelt und mit zentralem Knopf. Fundstelle: 26A, Nr. 658. Cat. P. J. 4069.

Fig. 5. Eadem. 150 ×. Embryonalapparat mit den umgebenden offen und geschlossen arcuaten bzw. rhombischen Mediankammern. Die Embryonalspirale besteht aus 6 Kammern. Links die unregelmäszigen Lateralkammern des Kerns. Äuszerlich: genabelt und mit zentralem Knopf. Gleiches Stück wie Taf. II, Fig. 1. Fundstelle: Blatt 30, Nr. 1504. Cat. P. J. Nr. 4052.

Fig. 6. Eadem. 5 ×. Kaum genabeltes Stück mit schroffem Randabfall. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4049.

Fig. 7. Eadem. 10 ×. Stück mit Nabel, zentralem Knopf und Radien am Rande. Rechts sind Terrassen (= Horizontalböden) sichtbar. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4050.

Fig. 8. Eadem. 10 ×. Flaches Stück mit Radien am Rande. Terrassen (= Horizontalböden) erkennbar. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4051.

Fig. 9. Eadem. 20 ×. Vertikalschnitt durch die Verzweigungstelle eines regenerierten Stückes mit zwei Ästen. Äuszerlich: wie Taf. III, Fig. 8. Im Zentrum die erweiterten radiären Mediankammern. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4060.

Tafel [II] V.

Fig. 1. *Lepidocyclina omphalus* nov. sp. 20 ×. Es sind fünf Radien vorhanden, deren Zahl bis zur Peripherie unverändert bleibt. Sie sind bis zum Rande zu verfolgen. Die hellen Streifen stellen die Horizontalböden dar. Sie umranden die Proximalseite der Lateralkammerfelder. Oben sind drei solcher Böden erkennbar. Die Lateralkammern des innersten Feldes sind regelmäszig arcuat, die des mittelsten vorwiegend arcuat und die des äuszersten Feldes unregelmäszig polygonal oder gerundet. Äuszerlich: mit Nabel, mit zentralem Knopf und Radien. Gleiches Stück wie Taf. I, Fig. 5. Cat. P. J. Nr. 4052.

Fig. 2. Eadem. 50 ×. Vertikaler Längsschnitt durch einen Radius. Die Medianebene nimmt nach der Peripherie sehr beträchtlich an Höhe zu. Die schräge Stellung der „Vertikal"-elemente der Lateralkammern ist gut erkennbar. Die Pfeiler erreichen die Medianscheibe nicht. Letztere ist rechts durch Zwischenwände in mehrere Stockwerke unterverteilt. Es handelt sich hier um ein sehr genau vertikal geschnittenes Stück, sodasz diese Unterverteilung nicht einer schiefen Schnittrichtung zuzuschreiben ist. Gleiches Stück wie Fig. 3 dieser Tafel. Fundstelle: Bl. 30, Nr. 1504. Cat. P. J. Nr. 4053.

Fig. 3. Eadem. 20 ×. Beide Hälften dieses Vertikalschnittes sind radiär orientiert. Im Kerne eine Schalenverletzung. Die Pfeiler erreichen die Medianscheibe nicht. Das gleiche Stück wie Fig. 2 dieser Tafel. Äuszerlich: genabelt und mit zentralem Knopf. Cat. P. J. Nr. 4053.

Fig. 4. Eadem. 20 ×. Zentrierter Schnitt durch ein flaches, ungenabeltes Stück. Es zeigt eine Schalenverheilung halbwegs des Zentrums und Randes, die offensichtlich die Bildung eines Mantels mit neuen Lateralkammern über den Polen veranlaszt hat. Der Beginn dieses Mantels ist durch das plötzliche Aufhören (oben) bzw. Erscheinen von Pfeilern (unten) angedeutet. Die Pfeiler des Kerns erreichen hier, wie am Urstück deutlich erkennbar ist, die Medianscheibe. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4054.

Fig. 5. Eadem. 5 ×. Äuszeres: genabelt, mit zentralem Knopf und mit herausstehenden Radien. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4055.

Fig. 6. Eadem. 10 ×. Äuszeres: genabelt und mit zentralem Knopf. Pfeilerköpfe in deutlich kreisförmiger Anordnung. Die des zentralen Knopfes sind die gröszten. Rechts oben und links Terrassen (= Horizontalböden). Fundstelle: Bl. 26A, Nr. 658. Cat. P. J. Nr. 4061.

Fig. 7. Eadem. 10 ×. Einfach stabförmig regeneriertes Stück., vgl. Taf. IV, Fig. 7, 8. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4063.

Fig. 8. Eadem. 10 ×. Regeneriertes Stück mit Ästen an beiden Enden. Oben: Horizontalböden. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4064.

Fig. 9. Eadem. 10 ×. Regeneriertes Stück mit drei Ästen. Links oben undeutlich: Horizontalböden. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4065.

Fig. 10. Eadem. 10 ×. Regeneriertes Stück, das ringsum von Radien umgeben ist. Vgl. Taf. IV, Fig. 6. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4066.

Fig. 11. *Lepidocyclina stratifera* nov. sp. 20 ×. Exzentrischer Vertikalschnitt. Die geraden Begrenzungen der Schale links und rechts sind Anschliffflächen. Oben ein schräg zu seiner Richtung vertikal geschnittener Radius. Etwa in der Mitte ein Radius im quer vertikalen Schnitt. Äuszerlich ohne Pfeiler, ohne stratifere Verzierung. Fundstelle: Bl. 82A, Nr. 1299. Cat. P. J. Nr. 4071.

Tafel [III] VI.

Fig. 1. *Lepidocyclina omphalus* nov. sp. 20 ×. Exzentrischer Vertikalschnitt. Drei Radien sind angeschnitten (zwei am Rande und der dritte etwa in der Mitte des Bildes. Die „Vertikal"-wände der Lateralkammern stehen meist senkrecht. Die Pfeiler erreichen die Horizontalböden nicht. An diesem Schnitt würde man nicht auf das Vorhandensein von Horizontalböden, sondern von verdickten Decklagen schlieszen. Äuszerlich: genabelt und ohne zentralen Knopf. Fundstelle: Bl. 30, Nr. 1504. Cat. P. J. Nr. 4056.

Fig. 2. Eadem. 20 ×. Zentrierter Vertikalschnitt. Links ist der Schnitt radiär, rechts interradiär orientiert. Äuszerlich: genabelt und mit zentralem

Knopf. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4057.

Fig. 3. Eadem. 50 ×. Exzentrischer Horizontalschnitt. Links unten die Pfeiler des Kerns. Vier Horizontalböden (weisze Säume) sind rechts sichtbar. Die innersten Lateralkammern sind arcuat, diejenigen des folgenden Stockwerkes arcuat und polygonal. Die näher bei der Oberfläche befindlichen Lateralkammern sind polygonal bzw. gerundet. Das randliche Feld (rechts in der Mitte) zeigt bereits Pfeiler. Äuszerlich: genabelt und mit zentralem Knopf. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4058.

Fig. 4. Eadem. 15 ×. Schnitt durch die Lateralkammern der Oberfläche. Die rosettenförmige Gruppierung der Vertikalwände der Lateralkammern ist vollkommen normal. Äuszerlich: flach, nicht genabelt. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4059.

Fig. 5. Eadem. 10 ×. Genabelt und ohne zentralen Knopf. Fundstelle: Bl. 26A, Nr. 658. Cat. P. J. Nr. 4067.

Fig. 6. Eadem. 10 ×. Regeneriertes Stück mit herausstehenden Ästen, ohne Embryonalapparat. Äuszerlich: wie Taf. IV, Fig. 5. Die undeutlichen Stellen, z. B. unten, stellen tangierte Horizontalböden dar. An diesen Stellen sind die arcuaten Lateralkammern undeutlich zu erkennen. Die Regeneration hat unverkennbar um einen Radius herum stattgefunden. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4068.

Fig. 7. Eadem. 20 ×. Vertikaler Querschnitt durch einen Ast eines regenerierten Stückes. Die Mediankammerschicht ist erweitert. Die innersten Lateralkammern in regelmäszigen Lagen, im Gegensatz zu Taf. IV, Fig. 7. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4072.

Fig. 8. Eadem. 10 ×. Ein regeneriertes Stück mit zwei Ästen. Vgl. Taf. I, Fig. 9. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4078.

Fig. 9. *Lepidocyclina stratifera* nov. sp. 20 ×. Stück, dessen Mantel mit normalen Lateralkammern erhalten ist. Rechts: Pfeiler, welche die Medianebene nicht erreichen. Das fast völlige Fehlen der Pfeiler in der linken Hälfte ist der schiefen Schnittrichtung zuzuschreiben. Der Schnitt ist interradiär orientiert. Die normalen Lateralkammern sind nur hier und da erkennbar. Fundstelle: Bl. 82A, Nr. 1299. Cat. P. J. Nr. 4057.

Tafel [IV] VII.

Fig. 1. *Lepidocyclina stratifera* nov. sp. 100 ×. Das Zentrum des Stückes der Taf. I, Fig. 1. Vier Radien sind deutlich entwickelt; der fünfte ist undeutlich und liegt im nordöstlichen Sektor. Die schmalen Reihen groszer, zur arcuaten Gestalt hinneigender, radiärer Mediankammern sind gut erkennbar. Cat. P. J. Nr. 4042.

Fig. 2. *Lepidocyclina omphalus* nov. sp. 20 ×. Medianschnitt eines regenerierten Stückes, das äuszerlich dem in Fig. 3 dieser Tafel abgebildeten entspricht. Der Radius des Kerns (undeutlich) ist ungefähr NS orientiert. Fundort: Blatt 26A, Nr. 658. Cat. P. J. Nr. 4073.

Fig. 3. Eadem. 10 ×. Ein vierarmiges regeneriertes Stück. Gleiche Fundstelle. Zwei Arme sind grösztenteils abgebrochen. Vgl. Fig. 2 dieser Tafel. Cat. P. J. Nr. 4074.

Fig. 4. Eadem. 20 ×. Medianschnitt eines rosettenförmig regenerierten Stückes, das äuszerlich dem in Fig. 5 dieser Tafel abgebildeten entspricht. Die arcuaten Lateralkammern und die Horizontalböden sind gut zu sehen. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4075.

Fig. 5. Eadem. 10 ×. Ein rosettenförmig regeneriertes Stück, das oberflächlich *Lep. elegans* (Fig. 11 dieser Tafel) entspricht. Es unterscheidet sich von letzterer Art durch das Fehlen eines verdickten Zentrums, unregelmäszige Radien und zahlreichere Septen um die Pfeilerköpfe. Vgl. Fig. 4 dieser Tafel. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4076.

Fig. 6. Eadem. 20 ×. Medianschnitt eines regenerierten Stückes, das äuszerlich dem auf Fig. 10 der Taf. II abgebildeten entspricht. Die arcuaten Lateralkammern sind oben erkennbar. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4077.

Fig. 7. Eadem. 40 ×. Vertikaler Querschnitt durch ein stabförmiges Stück, wie Taf. II, Fig. 7. Oben erreichen die Pfeiler die Decklage der erhöhten Mediankammerschicht. Die Vertikalwände der Mediankammern sind seitwärts der vertikalen Symmetrieebene konkav. Die Lateralkammern befinden sich zum Teil in den Horizontalböden. Die durchlaufenden Streifen in den Horizontalböden stellen Wachstumlinien dar. Am Rande ist keine verheilte Wunde erkennbar. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4062.

Fig. 8. Eadem. 20 ×. Vertikaler Längsschnitt durch ein stabförmiges Stück, wie Taf. II, Fig. 7. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4079.

Fig. 9. Eadem. 20 ×. Exzentrischer Vertikalschnitt durch den Ringwall eines vollständigen Stückes mit Nabel und mit zentralem Knopf. Pfeiler sind nur hier und da vorhanden. Die erhöhten radiären Mediankammern sind sehr deutlich. Fundstelle: Blatt 26A, Nr. 658. Cat. P. J. Nr. 4080.

Fig. 10, 11. *Lepidocyclina (Trybliolepidina) elegans* nov. sp. 20 ×. Fundstelle: Blatt 26A, Nr. 658. Cat. P. J. Nr. 4082, 4083.

Fig. 12. Eadem. Vertikalschnitt. 20 ×. Orientierung: oben interradiär, unten radiär. Gleiche Fundstelle. Cat. P. J. Nr. 4084.

Bemerkungen zu *Lep. elegans* nov. sp. Äuszerlich stellat mit 4 bis 9 herausstehenden Radien. Durchmesser (mit Berücksichtigung des herausstehenden Teils der Radien) 2 bis 7 mm. Mit Pfeilerköpfen. Anfangskammern trybliolepidin. Mediankammern im allgemeinen spatuliform. Diese Art ist hier nur zum Vergleich mit der rosettenförmig regenerierten *Lep. omphalus* (Fig. 5, 6 dieser Tafel) aufgeführt. Eine ausführlichere Beschreibung wird noch gegeben werden.

Nachtrag zu T a n S i n H o k. Über *Lepidocyclina gigantea* K. M a r t i n usw. Diese Zeitschrift, IV. Mijnb. & Geol., Bd. II, S. 1-8.

1. Die Fundstelle A. Mantai gehört zum sogenannten „intermediären Neogen" der Sumatra-Kartierung.

2. Überall, wo im Zusammenhang mit dem Schalenäuszeren von Pfeilern gesprochen wird, sind die Pfeilerköpfe gemeint (S. 3 und 6, linke Spalte).

3. S. 6. Z. 35 v.o. nach „Radien" füge ein „an der Schalenoberfläche".

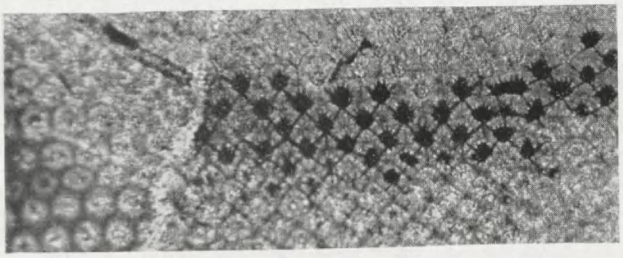
PERSONALIA.

Dr. G. H. R. v o n K o e n i g s w a l d wegens overcompleet, m.i.v. 31 December 1934, eervol uit 's Lands dienst ontslagen.

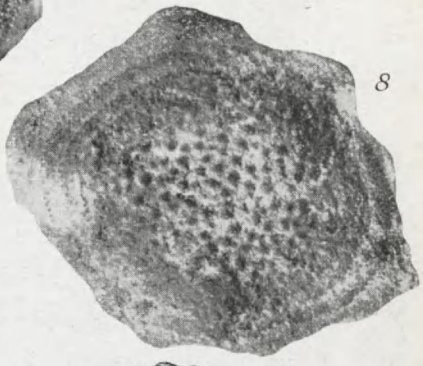
1

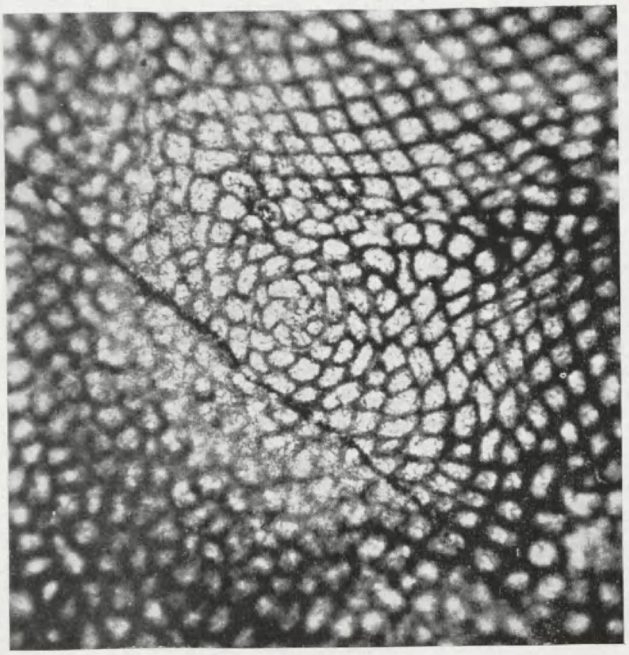
2

7


4

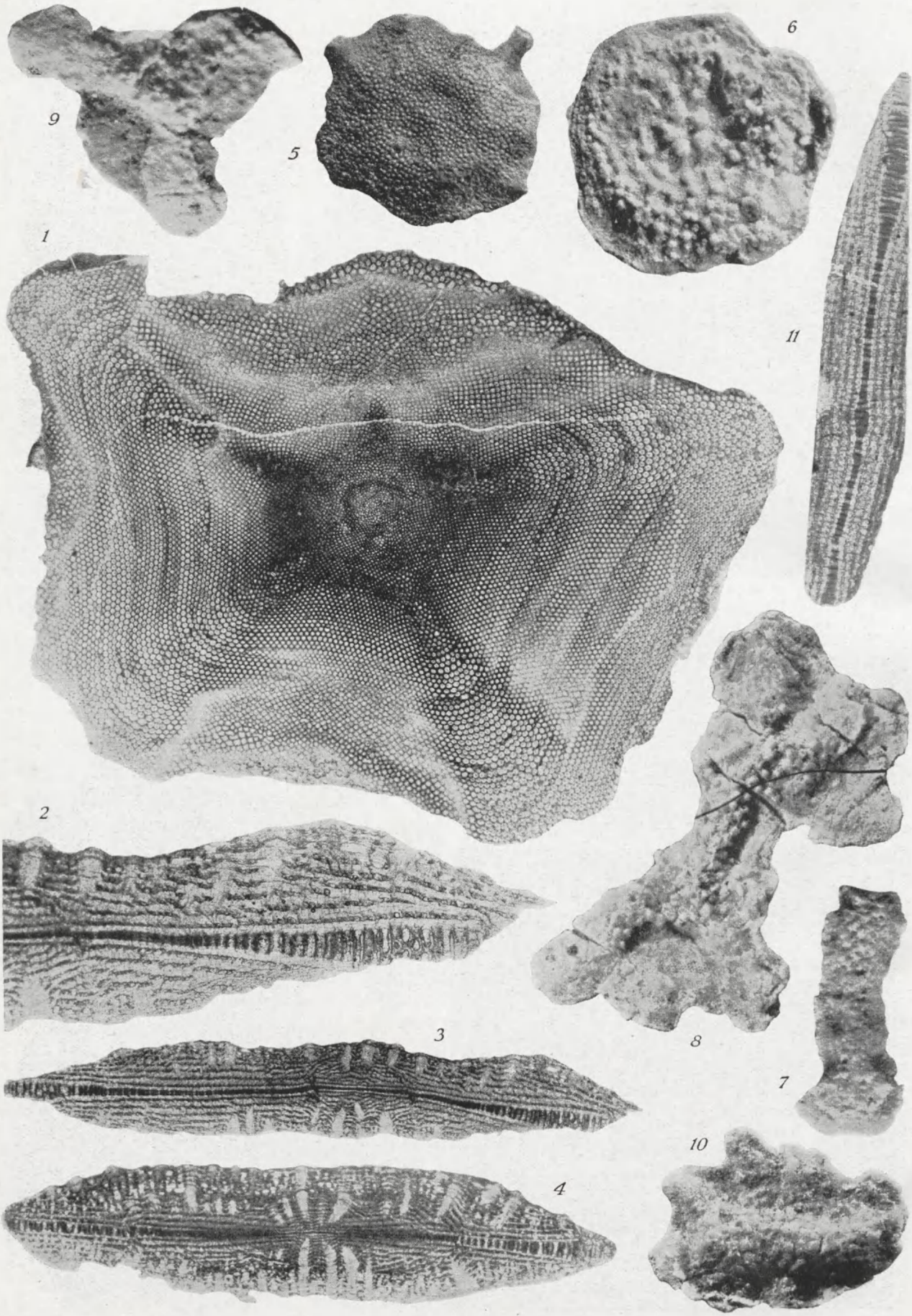
6

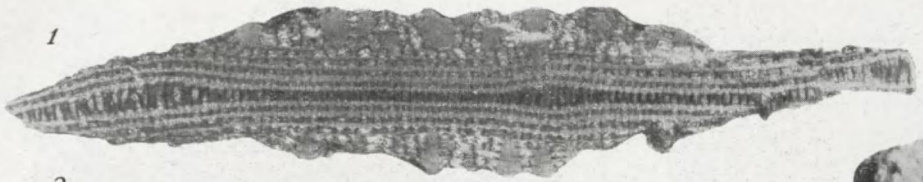

8

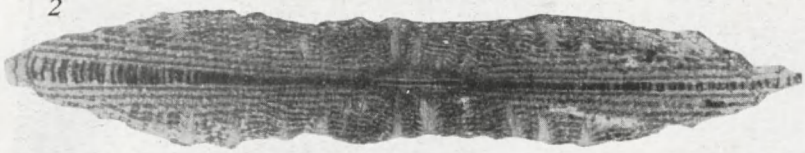

5

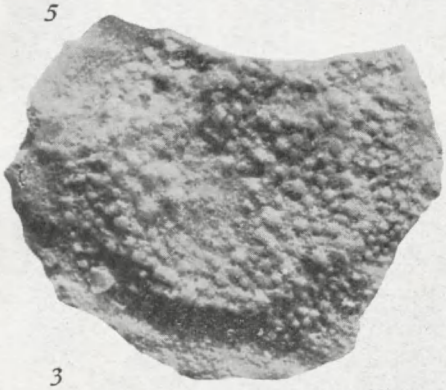
9

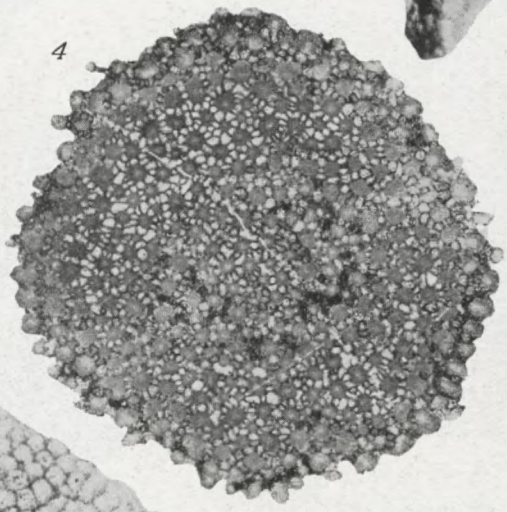
3

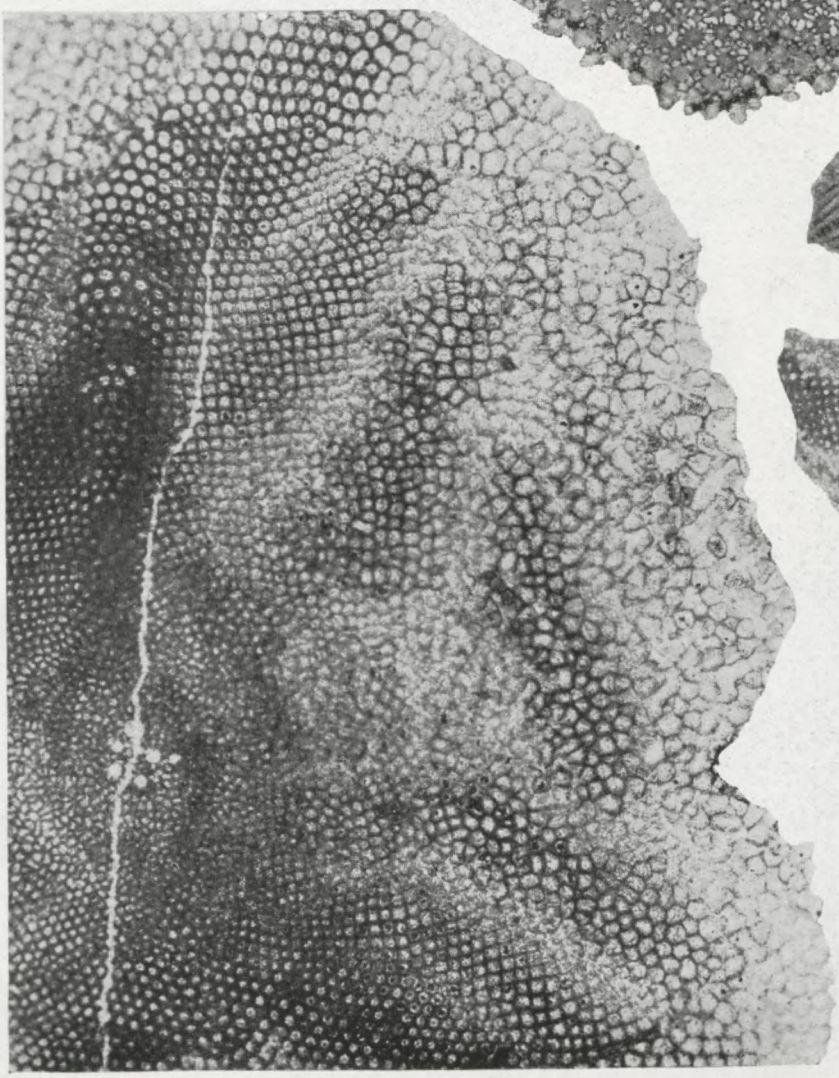

9
5
6
1
11
2
8
3
7
10
4


1


2


5

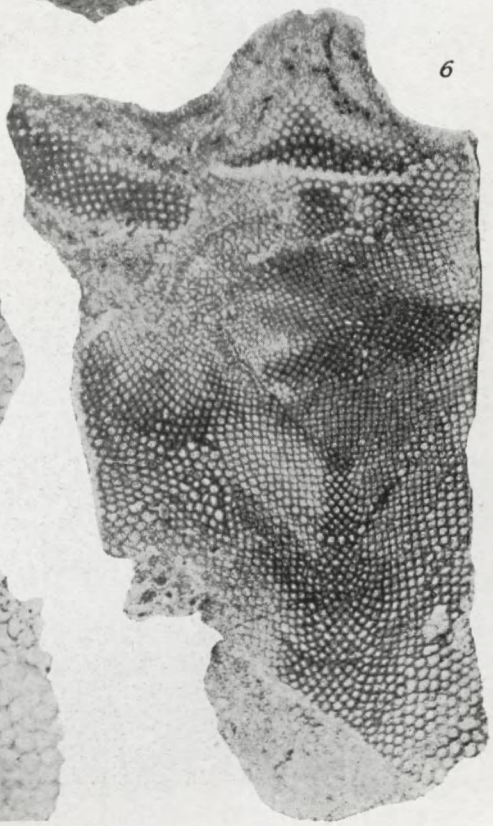

4

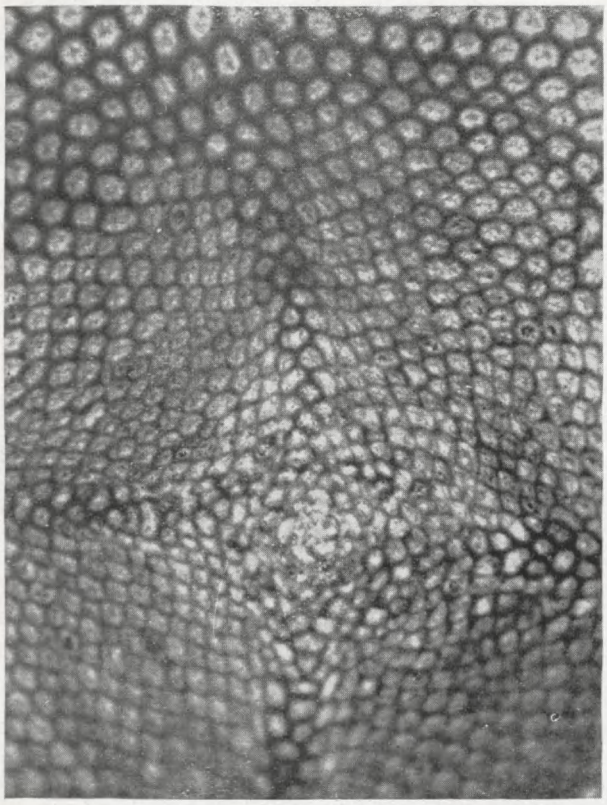

3

8

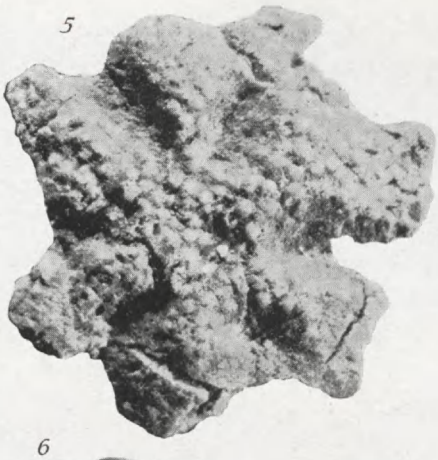
9

7


6

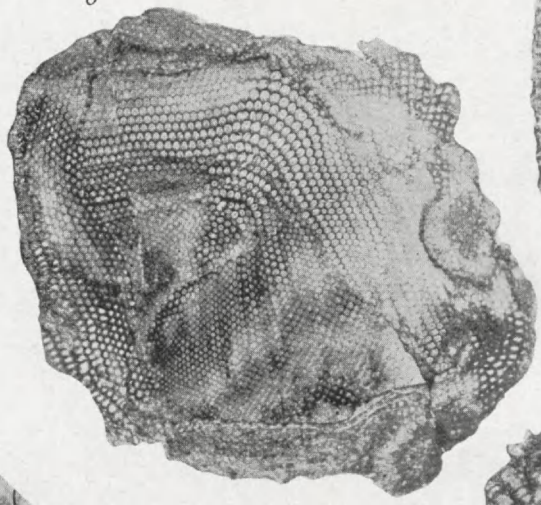


1

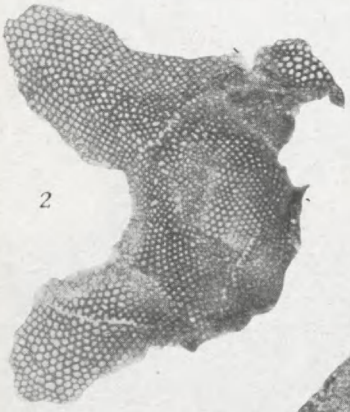


5

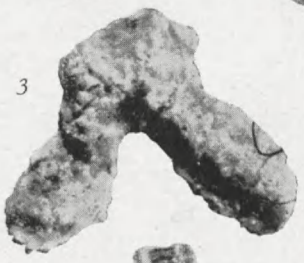
9



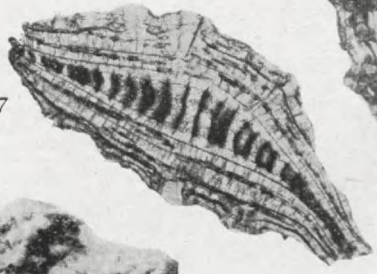
6



2



3

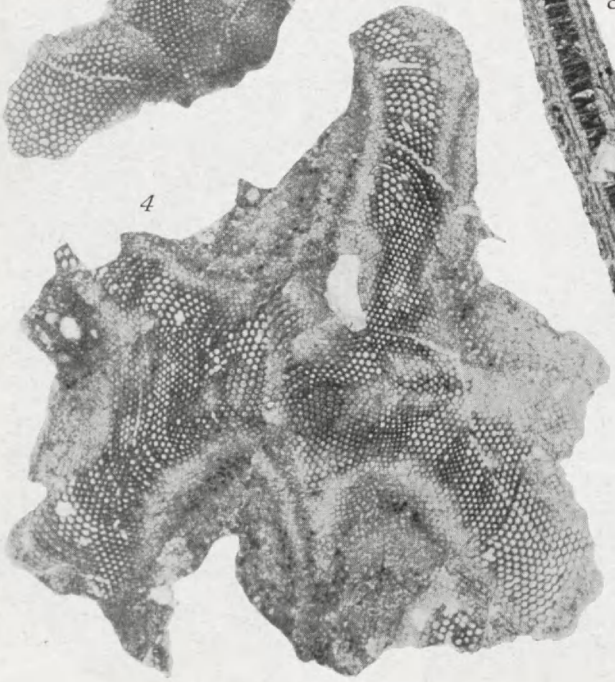


7

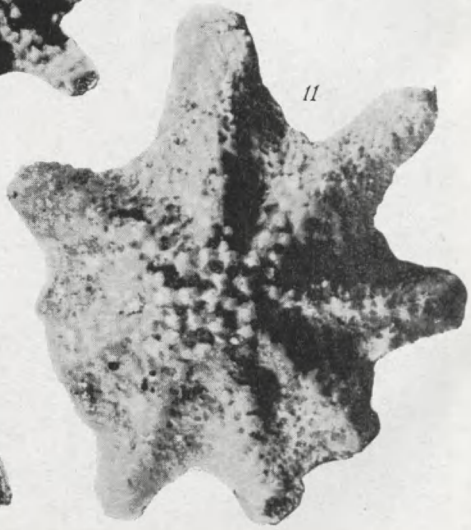
12

8

10



4



11

NUMMER 2
2e JAARGANG

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

FEBRUARI
1935

V. VERKEERSWEZEN.

INHOUD: De wegverharding, door ir. P. L. E. Happé.

De wegverharding

door

ir. P. L. E. HAPPE,

hoofdingenieur bij den Provincialen Waterstaat van Midden-Java te Semarang.

De drukoverbrenging van de wegverharding op den ondergrond wordt theoretisch onderzocht, waarbij het wegdek als een elastische plaat wordt beschouwd. De golfvorming in wegdekken wordt hiermede verklaard. Het blijkt, dat het draagvermogen van den grond in het algemeen geen maatgevende factor is voor de bepaling van de vereischte dikte van verhardingslagen, omdat bij het bereiken van dat draagvermogen te groote blijvende vervormingen in het wegdek zouden ontstaan. Uit de ontwikkelde theorie worden conclusies getrokken ten aanzien van de bij den aanleg van een verhardingslaag te volgen werkwijze.

Omtrent de vereischte dikte van een steenslagverhardingslaag bestaan uiteenloopende inzichten. Neemt men om theoretisch houvast te hebben aan, dat de wieldruk zich onder een bepaalden hoek door de verhardingslaag op den ondergrond voortplant, zooals o.m. door dr. ir. Peteri in zijn artikel in *De Waterstaats-Ingenieur* No. 10 — 1922 wordt voorgesteld, dan komt men tot véél dikkere lagen dan die, welke in de praktijk blijken te voldoen.

Het is dus duidelijk, dat bovenbedoelde drukoverbrengingstheorie, welke opgesteld werd voor losse lagen, voor een geconsolideerde laag niet opgaat. Deze theorie, hier voortaan „oude theorie" genaamd, geldt blijkbaar slechts — in zekere mate — voor losse zand- en grindlagen. Voor de vaststelling van de dikte van verhardingslagen maakt men tegenwoordig dan ook gebruik van grafieken, welke gebaseerd zijn op gegevens van in de praktijk voldoende sterk gebleken verhardingen bij een zekere aangenomen draagkracht van den ondergrond.

Afgezien van het onzekere element, dat in het begrip en in de waardeering van die draagkracht is gelegen (deze draagkracht is voor kleine oppervlakken per cm^2 veel grooter dan voor groote oppervlakken) vindt men echter niet opgegeven, welk deel van die verharding als losse stapeling is te beschouwen en welk gedeelte als geconsolideerde laag. Immers het is juist dit geconsolideerde gedeelte van de verharding, dat als elastische plaat werkende, maakt dat de verhardingsdikte veel minder kan bedragen dan die, berekend volgens de bovenbedoelde oude theorie.

Zoo is op den zeer zwaar bereden weg Semarang — Salatiga gebleken, dat de vrij goed gewalste verhardingslaag, welke over heele afstanden in totaal slechts nauwelijks een 20 cm dik is en zonder tusschen- of onderlaag op den ondergrond is aangebracht, zij het onder sterke golfvorming, bestand is tegen asdrukken van 5 ton.

Over een kleine lengte werd op dezen weg als proef een bestrating van 6 cm dikke zeshoekige natuursteentegels aangebracht, waarvoor de bestaande verharding nog geen volle 6 cm uitgekapt werd. Niettegenstaande de totale verhardingsdikte daardoor niet verminderde, bleek uit het feit, dat op deze plaats vrij diepe inzakkingen in het wegdek ontstonden, dat door deze bestrating het wegdek verzwakt was. Dit nu is alléén maar te verklaren door de steenslaglaag als een elastische plaat te beschouwen.

Het bovenstaande vormde voor steller dezes aanleiding, die plaatwerking in nadere beschouwing te nemen.

Wanneer men, zooals bij het bekende vraagstuk van den belasten balk op elastischen ondergrond, aanneemt, dat die ondergrond een tegendruk uitoefent, evenredig aan de inzakking van de plaat op die plek, stuit men op een differentiaalvergelijking, waarvan de oplossing, voor zoover bekend, nog niet gevonden is.

Rechtstreeks is het vraagstuk dus onoplosbaar. Een zeer zuivere benaderende oplossing is echter mogelijk, door eerst een zekeren tegendruk van den

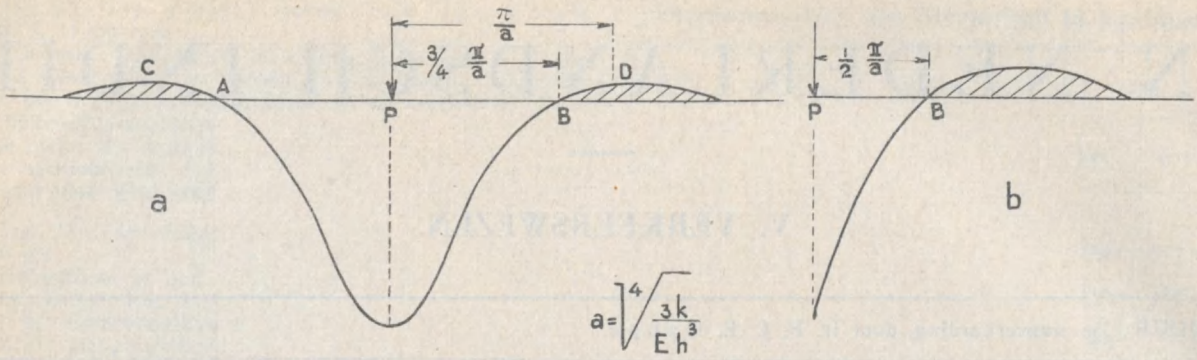


Fig. 1.

ondergrond aan te nemen, daaruit den vorm van de elastische inzinking te bepalen en dezen gevonden vorm weer als tegendruk van den grond in de berekening in te voeren. Zoo voortgaande zou men — vooropstellende dat de differentiaalvergelijkingen, waarop men stuit, oplosbaar zijn — een nagenoeg absolute benadering kunnen verkrijgen.

Alvorens deze berekening uit te voeren, moge echter eerst de balk op elastischen ondergrond in herinnering worden gebracht.

Voor zoo'n langen balk, breed 1 cm en van rechthoekige doorsnede, in het midden belast met een kracht P, is de vergelijking van de elastische lijn:

$$y = C \cdot e^{-ax}\{sin\ ax + cos\ ax\}$$

waarin $a = \sqrt[4]{\frac{k}{4 \cdot E \cdot I}} = \sqrt[4]{\frac{3 \cdot k}{E \cdot h^3}}$

en k, de ballastcoëfficiënt, het aantal kg voorstelt, noodig om een oppervlak van 1 cm², 1 cm diep in den grond te drukken.

In *fig. 1a* is het verloop van die elastische lijn in de omgeving van het lastpunt in teekening gebracht. Deze lijn zet zich tot in het oneindige voort als een golflijn, welke zich steeds meer vervlakt. De afstand tusschen 2 opeenvolgende golftoppen bedraagt steeds $\frac{2 \cdot \pi}{a}$. In de punten A en B, op een afstand $\frac{3 \cdot \pi}{4 \cdot a}$ uit het midden, is de gronddruk 0, zoodat de geharceerde oppervlakken negatieve gronddrukken voorstellen. Door integratie kan men zich er verder van overtuigen, dat de positieve gronddruk onder P, tusschen A en B, juist even groot is als de last P. De buiten dit gedeelte voorkomende positieve en negatieve gronddrukken heffen elkander dus op. Overigens zij de aandacht erop gevestigd, dat de afstand tusschen 2 golftoppen, dus ook de lengte CD van de gevormde inzinking, onafhankelijk is van de grootte van P. Bij vergrooting van P blijven dus de afstanden AB en CD constant.

Snijdt men den balk in het midden door, dus verdwijnt aldaar het moment, dan verandert de elastische lijn en wel zóódanig, dat — zie *fig. 1b* — de afstand PB van $\frac{3 \cdot \pi}{4 \cdot a}$ op $\frac{1}{2} \cdot \frac{\pi}{a}$ terugvalt; de afstand tusschen 2 golftoppen blijft echter $\frac{2 \cdot \pi}{a}$ bedragen.

Wordt een groote op den bodem rustende plaat ergens met een last P belast, dan zal een loodrechte doorsnede over het aangrijpingspunt van P een kromme vertoonen, die veel overeenkomst heeft met *fig. 1a. Aangenomen zal nu worden, in analogie tot den balk van fig. 1a, dat de positieve gronddruk, onder de door P veroorzaakte inzinking, gelijk zal zijn aan P.*

Berekent men nu, een zekeren gronddruk aannemende, den vorm van deze inzinking, dan blijkt deze steeds bijna zuiver trechtervormig te zijn. Als 1e benadering is daarom in de ondervolgende berekening een grondtegendruk aangenomen als aangegeven in de doorsnede *fig. 2.*

De plaat is dus gedacht te bestaan uit 2 gedeelten, n.l. een cirkelvormig gedeelte, met straal r, in het midden belast met een last P, en waarop een grondtegendruk wordt uitgeoefend in den vorm van een omwentelingskegel en uit een ringvormig gedeelte met buitenstraal r_1, reikende tot het hoogste punt van den eersten golftop. Voor dit gedeelte is een negatieve gronddruk aangenomen, welke parabolisch verloopt. Aangezien bij de aansluiting der 2 platen — in de doorsnede *fig. 2* de punten A en B — geen dwarskracht kan voorkomen (immers de eerste plaat

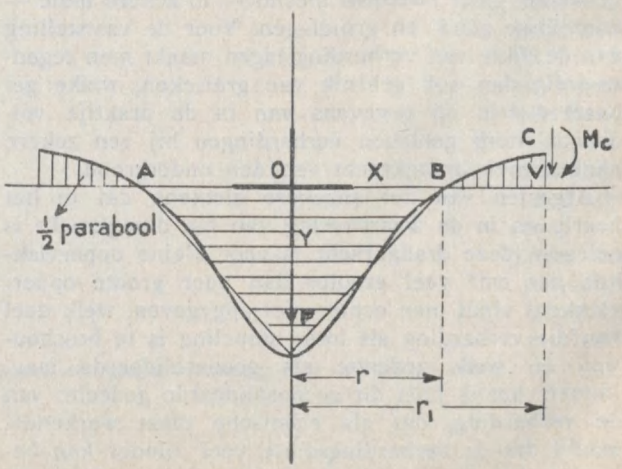


Fig. 2.

is in evenwicht door P en den daaronder uitgeoefenden gronddruk) moet voor het evenwicht van de ringvormige plaat, bij C nog een dwarskracht V voorkomen en een moment M_c, hetwelk de dwarskracht bij $B = 0$ maakt.

Neemt men den oorsprong van het assenstelsel door het aangrijpingspunt van P aan, dan is voor een punt, gelegen op afstand x van O en op een afstand z van het neutrale vlak, dat door het midden van de plaat loopt: [1])

de spanning in radiale richting:

$$\sigma_r = \frac{m \cdot E}{m^2 - 1} \cdot z \cdot \left\{ m \cdot \frac{d\varphi}{dx} + \frac{\varphi}{x} \right\} \quad \ldots\ldots (1)$$

de spanning in tangentieele richting:

$$\sigma_t = \frac{m \cdot E}{m^2 - 1} \cdot z \cdot \left\{ m \cdot \frac{\varphi}{x} + \frac{d\varphi}{dx} \right\} \quad \ldots\ldots (2)$$

waarin φ den hoek voorstelt van de normaal in dat punt met de y-as.

Voor het evenwicht van een stuk van de plaat lang dx, op een afstand x van O, gesneden uit een plaatdeel, ingesloten door 2 loodrechte doorsneden over O, welke een hoek $d\alpha$ met elkander maken, heeft men:

$$\frac{m^2 \cdot E \cdot h^3}{12 \cdot (m^2 - 1)} \left\{ x \cdot \frac{d^2\varphi}{dx^2} + \frac{d\varphi}{dx} - \frac{\varphi}{x} \right\} \cdot d\alpha \cdot dx + \\ + \tau \cdot h \cdot x \cdot d\alpha \cdot dx = 0$$

waarin τ de schuifspanning is in de radiale doorsneden, in de richting van den normaal.

Stelt men $\frac{12 \cdot (m^2 - 1)}{m^2 \cdot E \cdot h^3} = N$

dan is dus:

$$x^2 \cdot \frac{d^2\varphi}{dx^2} + x \cdot \frac{d\varphi}{dx} - \varphi + N \cdot x^2 \cdot \tau \cdot h = 0 \quad \ldots\ldots (3)$$

Voor onze 2 platen moet dus τ nog bepaald worden.

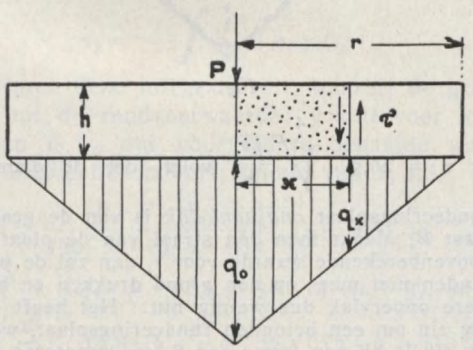


Fig. 3.

Voor de 1e plaat, belast als in *fig. 3* is aangegeven, heeft men voor een radiale doorsnede op een afstand x uit het plaatmidden:

$$2 \cdot \pi \cdot x \cdot \tau \cdot h = P - \int_0^x 2 \cdot \pi \cdot x \cdot q_x \cdot dx$$

De inhoud van den omwentelingskegel, welke den gronddruk voorstelt, is gelijk $\frac{1}{3} \cdot \pi \cdot r^2 \cdot q_0$ en moet, volgens de aanname, gelijk zijn aan P.

alzoo: $q_0 = \frac{3 \cdot P}{\pi \cdot r^2}$.

1) Zie Klopper, Toegepaste mechanica 2e deel, hoofdstuk XI, Platen.
Föppl, Festigkeitslehre.

verder is $q_x = q_0 \cdot \frac{r - x}{r} = \frac{3 \cdot P}{\pi \cdot r^3} \cdot (r - x)$, dus:

$$2 \cdot \pi \cdot x \cdot \tau \cdot h = P - \frac{3 \cdot P}{\pi \cdot r^3} \cdot \int_0^x 2 \cdot \pi \cdot x \cdot (r - x) \cdot dx$$

$$= \frac{P}{r^3} \cdot \left\{ r^3 - 3 \cdot r \cdot x^2 + 2 \cdot x^3 \right\}.$$

Ingevoerd in vergelijking (3) geeft dit:

$$x^2 \cdot \frac{d^2\varphi}{dx^2} + x \cdot \frac{d\varphi}{dx} - \varphi + \frac{N \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot r^3} \times \\ \left\{ r^3 \cdot x - 3 \cdot r \cdot x^3 + 2 \cdot x^4 \right\} = 0$$

De oplossing van deze differentiaalvergelijking is:

$$\varphi = \frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \left\{ -16 \cdot \frac{x^4}{r^3} + 45 \cdot \frac{x^3}{r^2} - 60 \cdot x \cdot \ln x \right\} + \\ + C_1 \cdot x + \frac{C_2}{x} = 0 \quad \ldots\ldots (4)$$

Voor $x = 0$, is $\varphi = 0$, zoodat dus $C_2 = 0$

Verder is $\operatorname{tg} \varphi = -\frac{dy}{dx}$ zoodat, waar φ zeer klein is, gesteld kan worden:

$$y = -\int \varphi \cdot dx + C_3$$

alzoo:

$$y_1 = -\frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \left\{ -3{,}2 \cdot \frac{x^5}{r^3} + 11{,}25 \cdot \frac{x^4}{r^2} - \right. \\ \left. - 30 \cdot x^2 \cdot \ln x + 15 \cdot x^2 \right\} - \tfrac{1}{2} C_1 \cdot x^2 + C_3 \ldots (5)$$ [2])

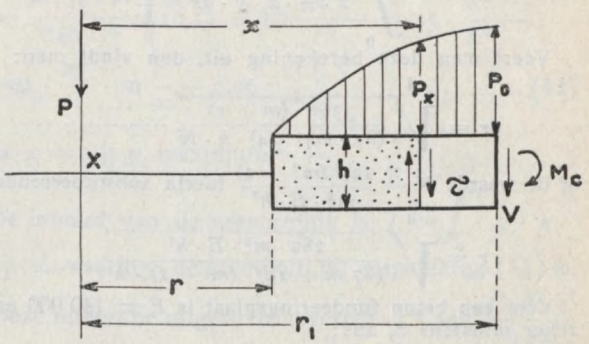


Fig. 4.

2) Terloops zij hier opgemerkt, dat met bovenstaande vergelijkingen ook het vraagstuk van de centrisch belaste ronde fundeeringsplaat is bepaald.

Stellen we n.l. als randvoorwaarde in vergelijking (4), dat de radiale spanning σ_r (zie vergelijking (1)) voor $x = r$ nul moet zijn, dus dat:

$$m \cdot \frac{d\varphi}{dx} + \frac{\varphi}{x} = 0$$

dan vindt men:

$$C_1 = \frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot \left\{ 60 \cdot \ln r - \frac{11 \cdot m + 29}{m + 1} \right\} \text{ en:}$$

$$y = \frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot \left\{ 3{,}2 \cdot \frac{x^5}{r^3} - 11{,}25 \cdot \frac{x^4}{r^2} - \frac{19 \cdot m + 1}{2 \cdot (m + 1)} x^2 - \right. \\ \left. - 30 \cdot x^2 \cdot \ln \frac{r}{x} \right\} + C_3$$

Voor de ringvormige plaat, belast als aangegeven is in *fig. 4*, heeft men:

$$p_x = p_0 \cdot \left\{1 - \frac{(r_1 - x)^2}{(r_1 - r)^2}\right\}$$

alzoo:

$$2 \cdot \pi \cdot x \cdot \tau \cdot h = \frac{2 \cdot \pi \cdot p_0}{(r_1 - r)^2} \cdot \int_r^x [(r^2 - 2r_1 \cdot r) \cdot x + 2 \cdot r_1 \cdot x^2 - x^3]\, dx,$$ of $\frac{r_1}{r} = \mu$ stellende:

$$2 \cdot \pi \cdot x \cdot \tau \cdot h = \frac{2 \cdot \pi \cdot p_0 \cdot r^2}{(\mu - 1)^2} \cdot \left\{x^2 \cdot \frac{1 - 2 \cdot \mu}{2 \cdot r^2} + \frac{2 \cdot \mu}{3 \cdot r^3} \cdot x^3 - \frac{1}{4} \cdot \frac{x^4}{r^4} + \frac{4 \cdot \mu - 3}{12}\right\}.$$

Dit ingevoerd in vergelijking (3) geeft:

$$x^2 \cdot \frac{d^2 \psi}{d x^2} + x \cdot \frac{d \psi}{d x} - \psi + \frac{p_0 \cdot r^2 \cdot N}{(\mu - 1)^2} \cdot \left\{x^3 \cdot \frac{1 - 2 \cdot \mu}{2 \cdot r^2} + \frac{2 \cdot \mu}{3 \cdot r^3} \cdot x^4 - \frac{1}{4} \cdot \frac{x^5}{r^4} + \frac{4 \cdot \mu - 3}{12} \cdot x\right\} = 0$$

De oplossing van deze differentiaalvergelijking is:

$$\psi = \frac{p_0 \cdot r^2 \cdot N}{1440 \cdot (\mu - 1)^2}\left\{15 \cdot \frac{x^5}{r^4} - 64 \cdot \mu \cdot \frac{x^4}{r^3} - 90 \times \times (1 - 2\mu) \cdot \frac{x^3}{r^2} - 60 \cdot (4 \cdot \mu - 3) \cdot x \cdot \ln x\right\} + C_4 \cdot x + \frac{C_5}{x}.$$

Ook hier moet, uit symmetrieoverweging, voor $x = 0$, $\psi = 0$ zijn en dus: $C_5 = 0$ zijn. Verder is voor $x = r_1$, $\psi = 0$, uit welke voorwaarde C_4 opgelost kan worden en men na eenige vereenvoudiging vindt:

$$\psi = \frac{p_0 \cdot r^2 \cdot N}{1440 \cdot (\mu - 1)^2} \cdot \left\{49 \cdot \mu^4 \cdot x - 180 \cdot \mu^3 \cdot x + 90 \cdot \mu^2 \cdot x + 60 \cdot (4 \cdot \mu - 3) \cdot x \ln \frac{\mu \cdot r}{x} + 15 \cdot \frac{x^5}{r^4} - 64 \cdot \mu \cdot \frac{x^4}{r^3} + 90 \cdot (2 \cdot \mu - 1) \cdot \frac{x^3}{r^2}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

(Vervolg noot van pag. 3).

Voor $x = r$, is $y = 0$, dus: $C_3 = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} \times \frac{351 \cdot m + 171}{20 \cdot (m + 1)}$, zoodat:

$$y = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} \cdot \left\{\frac{351 \cdot m + 171}{20 \cdot (m + 1)} + 3{,}2 \cdot \frac{x^5}{r^5} - 11{,}25 \cdot \frac{x^4}{r^4} - \frac{19 \cdot m + 1}{2 \cdot (m + 1)} \cdot \frac{x^2}{r^2} - 30 \cdot \frac{x^2}{r^2} \cdot \ln \frac{r}{x}\right\}$$

Nu moet de inhoud van het gedeformeerde vlak gelijk zijn aan $\frac{P}{k}$, alzoo:

$$\int_0^r 2 \cdot \pi \cdot x \cdot y \cdot dx = \frac{P}{k}$$

Voert men deze berekening uit, dan vindt men:

$$r = \sqrt[4]{\frac{3360 \cdot (m + 1)}{(87 \cdot m + 24) \cdot k \cdot N}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (I)$$

of de waarde $N = \frac{12 \cdot (m^2 - 1)}{m^2 \cdot E \cdot h^3}$ hierin substitueerende:

$$r = \sqrt[4]{\frac{280 \cdot m^2 \cdot E \cdot h^3}{(87\, m + 24) \cdot (m - 1) \cdot k}}$$

Voor een beton fundeeringsplaat is $E = 140\,000$ en m zeker minstens 5, dus:

$$r = 26{,}5 \cdot \sqrt[4]{\frac{h^3}{k}}$$

De diepste inzinking y_0 voor $x = o$ bedraagt:

$$y_0 = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} \cdot \frac{351 \cdot m + 171}{20 \cdot (m + 1)} = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{14{,}95 \cdot \pi}$$

(voor $m = 5$)..... (II)

dus de gronddruk ter plaatse:

$$q_0 = k \cdot y_0 = \frac{k \cdot P \cdot N \cdot r^2}{14{,}95 \cdot \pi} = \frac{k \cdot P \cdot N \cdot r^4}{14{,}95 \cdot \pi \cdot r^2}$$ het geen voor r^4 de waarde van (I) invoerende, geeft:

$$q_0 = \frac{2{,}94 \cdot P}{\pi \cdot r^2}$$

De aangenomen gronddruk ter plaatse was $q_0 = \frac{3 \cdot P}{\pi \cdot r^2}$ en verschilt dus maar weinig met de gevonden waarde voor $k \cdot y_0$.

Waar verder ook uit *fig. 5* blijkt, dat in den vorm van den aangenomen gronddruk en in dien van de werkelijke deformatie, maar een zéér klein verschil bestaat, blijkt dus, dat voor *deze* berekening met de 1e benadering voor den aangenomen gronddruk volstaan kan worden.

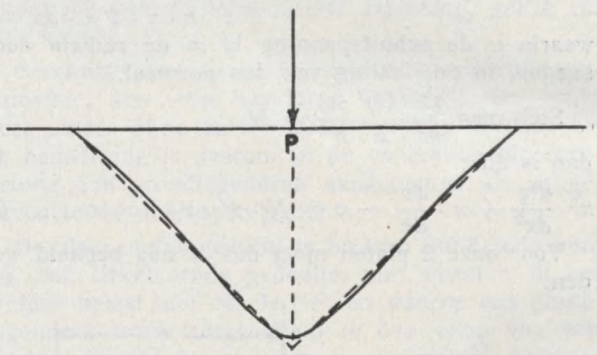


Fig. 5.

Uit $r = 26{,}5 \cdot \sqrt[4]{\frac{h^3}{k}}$ volgt, dat de diameter van de fundeeringsplaat *onafhankelijk* is van de grootte van den last P. Maakt men den straal van de plaat grooter dan bovenberekende waarde voor r, dan zal de plaat aan de randen niet meer op den grond drukken en heeft dat grootere oppervlak dus weinig nut. Het heeft derhalve weinig zin om een betonnen fundeeringsplaat, welke b.v. 15 cm dik is bij een k van zeg 8, een grooteren straal te geven dan

$$26{,}5 \cdot \sqrt[4]{\frac{15^3}{8}}\ \text{cm} = 1{,}2\ \text{m}.$$

Wordt de gronddruk $k \cdot y_0$ te groot, dan moet h (dikte plaat) vergroot worden, waardoor r vergroot zal kunnen worden.

Uit de vergelijkingen (1) en (2) kunnen verder de spanningen berekend worden; zijn deze te groot, dan moet om die reden h grooter genomen worden. Opgemerkt moge worden, dat wanneer P als een puntlast aangenomen wordt, die spanningen in het midden van de plaat oneindig groot zouden worden. P is echter nimmer een puntlast; denkt men zich P verdeeld over een cirkelvormig oppervlak met straal a, dan kan men met vrij groote benadering als maximum spanning die spanning aannemen, welke bij een puntlast voorkomt op den afstand a uit het plaatmidden.

Voor $x = r$, dus bij de aansluiting der 2 platen, moet $\varphi = \psi$ zijn. Aangezien verder de spanningen in beide platen op die plek aan elkander gelijk zijn, moeten de vergelijkingen (1) en (2), in φ en ψ uitgedrukt, aan elkander gelijk zijn, hetgeen nog de voorwaarde levert:

$$d\varphi = d\psi \text{ (voor } x = r)$$

Alzoo, omdat $\frac{\varphi}{r} = \frac{\psi}{r}$, hebben wij:

$$\frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot (29 - 60 \cdot \ln r) + C_1 = \frac{p_0 \cdot r^2 \cdot N}{1440 \cdot (\mu - 1)^2} \cdot \Big\{ 49 \cdot \mu^4 - 180 \cdot \mu^3 + 90 \cdot \mu^2 + 116 \cdot \mu - 75 + 60 \cdot (4 \cdot \mu - 3) \cdot \ln \mu \Big\} \quad \ldots\ldots (7)$$

en omdat $d\varphi = d\psi$:

$$\frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot (11 - 60 \cdot \ln r) + C_1 = \frac{p_0 \cdot r^2 \cdot N}{1440 \cdot (\mu - 1)^2} \times \Big\{ 49 \cdot \mu^4 - 180 \cdot \mu^3 + 90 \cdot \mu^2 + 44 \cdot \mu - 15 + 60 \cdot (4 \cdot \mu - 3) \cdot \ln \mu \Big\} \quad \ldots\ldots (8)$$

Uit deze 2 vergelijkingen vindt men:

$$\frac{p_0 \cdot r^2 \cdot N}{1440 \cdot (\mu - 1)^2} = \frac{P \cdot N}{160 \cdot \pi \cdot (6 \cdot \mu - 5)} \quad \ldots\ldots (9)$$

terwijl voor iedere bepaalde waarde van μ ook C_1 en daarmede vergelijking (4) bepaald is.

Uit vergelijking (6) waaruit, door invoering van de voorwaarde (9), p_0 geëlimineerd wordt, vindt men door integratie:

$$y_2 = -\int \psi \cdot dx + C_6$$

Voert men deze integratie uit, waarbij de grootte van C_6 uit de randvoorwaarde: $y = 0$ voor $x = r$ volgt, dan is y_2 dus voor iedere bepaalde waarde van μ volledig bekend als functie van x, n.l.:

$$y_2 \text{ (neg!)} = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{160 \cdot \pi \cdot (6 \cdot \mu - 5)} \Big\{ 24{,}5 \cdot \mu^4 - 90 \cdot \mu^3 + 45 \cdot \mu^2 + 92{,}2 \cdot \mu - 65 + 30 \cdot (4 \cdot \mu - 3) \cdot \ln \mu - 2{,}5 \cdot \frac{x^6}{r^6} + 12{,}8 \cdot \mu \cdot \frac{x^5}{r^5} - 22{,}5 \cdot (2 \cdot \mu - 1) \cdot \frac{x^4}{r^4} - 30\,(4 \cdot \mu - 3)\,\frac{x^2}{r^2} \cdot \ln \frac{\mu \cdot r}{x} - (24{,}5 \cdot \mu^4 - 90 \cdot \mu^3 + 45 \cdot \mu^2 + 60 \cdot \mu - 45)\,\frac{x^2}{r^2} \Big\} \quad \ldots\ldots (10)$$

Ook in vergelijking (5) is voor iedere bepaalde waarde van μ, C_1 (uit vergelijking (7) of (8)) bekend, terwijl uit de randvoorwaarde: $y_1 = 0$ voor $x = r$, ook C_3 berekend kan worden.

De eenige onbekenden blijven dus r en r_1 (of μ), welke men uit de voorwaarden berekenen kan, dat voor de eerste plaat de inhoud van de vervorming, d.i. $2 \cdot \pi \cdot \int_0 x \cdot y_1 \cdot dx$, gelijk moet zijn aan $\frac{P}{k}$ en dat voor de 2e plaat eveneens

$2 \cdot \pi \cdot \int_r^{r_1} x \cdot y_2 \cdot dx$, ($y_2$ uit vergelijking...(10))

gelijk moet zijn aan de aldaar aangenomen belasting, n.l.:

$$= \frac{2 \cdot \pi \cdot p_0 \cdot r^2}{(\mu - 1)^2 \cdot k} \cdot \int_r^{r_1} \Big\{ (r^2 - 2 \cdot r_1 \cdot r) \cdot x + 2 \cdot r_1 \cdot x^2 - x^3 \Big\} dx$$

in welke laatsten vorm men, door invoering van voorwaarde (9), eveneens p_0 kan elimineeren.

Neemt men nu een zekere waarde voor μ aan, dan vindt men voor beide platen tenslotte de grootheid $N \cdot k \cdot r^4$ in een getallenwaarde uitgedrukt.

Alzoo is voor beide platen de grootheid $N \cdot k \cdot r^4$ als een functie van μ grafisch voor te stellen. Blijkbaar is slechts die waarde van μ juist, welke voor beide platen geldt; dus voor het snijpunt der bovenbedoelde krommen.

Een aldus uitgevoerde berekening wees uit, dat $\mu = 1{,}16$ moet zijn.

Deze waarde voor μ gesubstitueerd in vergelijking (7) geeft in combinatie met vergelijking (9):

$$C_1 = \frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot \Big\{ 60 \cdot \ln r - 25{,}88 \Big\}$$

zoodat vergelijking (5) wordt:

$$y_1 = -\frac{P \cdot N}{240\,\pi} \cdot \Big\{ -3{,}2\,\frac{x^5}{r^3} + 11{,}25\,\frac{x^4}{r^2} + 30 \cdot x^2 \cdot \ln \frac{r}{x} + 2{,}06 \cdot x^2 \Big\} + C_3 \cdot$$

C_3 is te bepalen uit de voorwaarde:
$y = 0$ voor $x = r$.

Men verkrijgt aldus:

$$y_1 = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} \cdot \Big\{ 10{,}11 + 3{,}2 \cdot \frac{x^5}{r^5} - 11{,}25 \cdot \frac{x^4}{r^4} - 30 \cdot \frac{x^2}{r^2} \cdot \ln \frac{r}{x} - 2{,}06 \cdot \frac{x^2}{r^2} \Big\} \quad \ldots\ldots (11)$$

Voor $x = 0$ is y_1 maximum $= \frac{P \cdot N \cdot r^2}{23{,}8 \cdot \pi}$.

De inhoud van de vervorming is: $I = \int_0^r 2 \cdot \pi \cdot x \cdot y_1 \cdot dx$ waarin y_1 de grootheid uit vergelijking (11) is.

Deze integratie uitgevoerd levert: $I = 1{,}247 \cdot \frac{P \cdot N \cdot r^4}{120}$

Nu moet I ook gelijk zijn aan $\frac{P}{k}$ (gestelde aanname), zoodat men verder vindt:

$$r = \sqrt[4]{\frac{96}{k \cdot N}} = \sqrt[4]{\frac{96 \cdot m^2 \cdot E \cdot h^3}{12 \cdot (m^2 - 1) \cdot k}}.$$

Voor de meeste stoffen ligt m tusschen 3 en 4; voor steenen stijgt m zelfs tot meer dan 5. Er is dus reden om voor de steenslaglaag m minstens gelijk aan 5 te nemen. Stellen we dus $m = 5$, daarbij opmerkende dat een andere (grootere) aanname voor m, een zeer weinig verschillende uitkomst zou geven, dan wordt:

$$r = 1{,}7 \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}}.$$

Wanneer men vergelijking (5) grafisch uitzet, verkrijgt men *fig. 6* (punt — streeplijn),

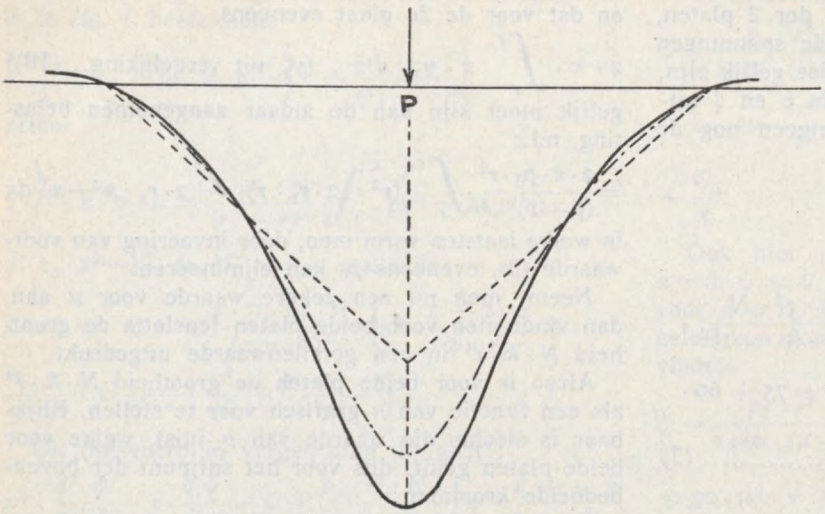


Fig. 6.

welke een groote overeenkomst vertoont met *fig. 1a*. Gestippeld vindt men in *fig. 6* ook de aangenomen gronddruk aangegeven. Terwijl deze onder P aangenomen was op:

$$q_0 = \frac{3 \cdot P}{\pi \cdot r^2}$$

bedraagt de inzakking onder P : $y_0 = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{23{,}8 \cdot \pi}$ dus de werkelijke gronddruk aldaar:

$$k \cdot y_0 = \frac{k \cdot P \cdot N \cdot r^4}{23{,}8 \cdot \pi \cdot r^2}$$, of in den teller de gevonden waarde : $r = \sqrt[4]{\frac{96}{k \cdot N}}$ substitueerende:

$$k \cdot y_0 = \frac{96 \cdot k \cdot P \cdot N}{23{,}8 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot k \cdot N} = \frac{4{,}04 \cdot P}{\pi \cdot r^2}$$

De waarde van $k \cdot y_0$ is dus 30% grooter dan de aangenomen q_0. Om die reden is een 2e benaderingsberekening noodig. Voor deze 2e benadering zal, zooals reeds werd uiteengezet, als grondtegendruk voor de 1e plaat de waarde $q = k \cdot y_1$ (y_1 van vergelijking (11)) ingevoerd moeten worden. Men kan dan verder, geheel op de bovenbeschreven wijze, μ opnieuw en tenslotte de vergelijking van de vervorming bepalen.

Voert men deze berekening uit, dan vindt men: $\mu = 1{,}175$

$$\varphi = \frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot \left\{ 60 \cdot x \cdot \ln \frac{r}{x} + 60{,}6 \cdot \frac{x^3}{r^2} - 33{,}56 \cdot x - \right.$$

$$\left. - 0{,}696 \cdot \frac{x^8}{r^7} - 3{,}75 \cdot \frac{x^7}{r^6} - 22.05 \cdot \frac{x^5}{r^4} - 30 \cdot \frac{x^5}{r^4} \cdot \ln \frac{r}{x} \right\} \quad (12)$$

$$y = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} \left\{ 8{,}325 + 1{,}78 \cdot \frac{x^2}{r^2} - 15{,}15 \cdot \frac{x^4}{r^4} + \right.$$

$$+ 4{,}5 \cdot \frac{x^6}{r^6} + 0{,}47 \cdot \frac{x^8}{r^8} + 0{,}077 \cdot \frac{x^9}{r^9} - 30 \cdot \frac{x^2}{r^2} \cdot \ln \frac{r}{x} +$$

$$\left. + 5 \cdot \frac{x^6}{r^6} \cdot \ln \frac{r}{x} \right\} \quad \ldots\ldots (13)$$

en $r = \sqrt[4]{\frac{132}{k \cdot N}} = 1{,}84 \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}}$ ..... (14)

Voor het diepste punt der inzinking vindt men als gronddruk:

$$k \cdot y_0 = 8{,}325 \cdot \frac{k \cdot P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} =$$

$$= \frac{k \cdot P \cdot N \cdot r^4}{28{,}8 \cdot \pi \cdot r^2} = \frac{4{,}58 \cdot P}{\pi \cdot r^2} \quad \ldots (15)$$

terwijl de aangenomen gronddruk aldaar (zie boven) bedroeg

$$k \cdot y_0 = \frac{4{,}04 \cdot P}{\pi \cdot r^2}$$

Tusschen den aangenomen en den werkelijk optredenden maximum gronddruk bestaat thans een verschil van 13%.

Uit *fig. 6*, waarin de uiteindelijke vervorming van de plaat met een volle lijn is aangegeven, is te zien, hoezeer ze, behalve in het diepste punt, samenvalt met den aangenomen gronddruk (punt — streeplijn).

Een berekening wees dan ook uit, dat met een 3e benadering een slechts zéér weinig verschillende uitkomst wordt verkregen (namelijk $\mu = 1{,}185$, $r = 1{,}86 \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}}$ en $k \cdot y_0 = \frac{4{,}6 \cdot P}{\pi \cdot r^2}$), zoodat de vergelijkingen (12) t.m. (15) als alleszins voldoende benaderd, aangehouden kunnen worden.

Tengevolge van een last P op een plaat, rustende op den grond, ontstaat dus een trechtervormig gat, waarvan de vorm met groote benadering door vergelijking (13) is gegeven. De diameter van het gat, gemeten tusschen de hoogste punten van den opgebogen rand (golftop), bedraagt:

$$2 \cdot r_1 = 2 \cdot \mu \cdot r = 2{,}35 \times 1{,}84 \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}} =$$

$$= 4{,}33 \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}} .$$

Bij den balk uit *fig. 1* (zie aldaar) bedraagt die afstand $\frac{2 \cdot \pi}{a} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{3\,k}} = 4{,}77 \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}}$ en is dus ongeveer even groot.

Bedenken we nu, dat in de vergelijking van de elastische lijn van dien balk, niet is verdisconteerd de buiging, als gevolg der dwarskrachten, zoodat, ware deze wel in rekening gebracht kunnen worden, voor de afstand tusschen 2 golftoppen een iets kleiner bedrag gevonden zou zijn dan $\frac{2 \cdot \pi}{a}$, dan kunnen we concludeeren, dat de golven, welke door een last op een plaat ontstaan, even lang zijn als die, in een balk van dezelfde dikte (hoogte).

Voor de beide gevonden waarden (14) en (15), n.l.:

$$r = 1{,}84 \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}}$$

en $q_0 = k \cdot y_0 = \frac{4{,}58 \cdot P}{\pi \cdot r^2} = 0{,}43 \cdot P \sqrt[2]{\frac{k}{E \cdot h^3}}$

moeten nu nog k en E bepaald worden.

Bepaling van k.

Evenals bij een plaat, zal de bodem — indien deze niet volkomen rul of zeer week is — bij belasting een trechtervormig gat vertoonen.

De inhoud van deze deformatie maal k is gelijk aan de belasting. Hieruit volgt, dat men voor het verkrijgen van eenzelfde diepe inzinking in den bodem, een kleine plaat per cm² veel zwaarder moet belasten dan een groote (zie *fig. 7*).

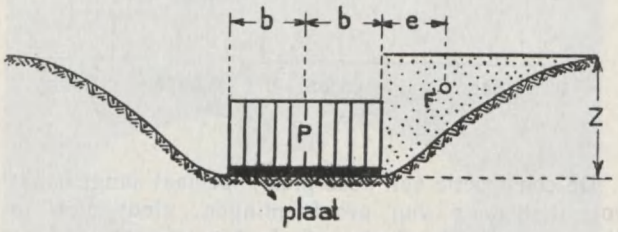


Fig. 7.

Bij een belastingproef met een kleine plaat zal men dus een veel grootere schijnbare k en schijnbare draagkracht vinden dan met een groote plaat.

De hier in de vorengaande berekeningen bedoelde (werkelijke) k is echter die voor een zéér groote (oneindig groote) plaat. Deze k zou blijkbaar aldus bepaald kunnen worden:

Uit *fig. 7* volgt, dat de inhoud van de deformatie — bij belasting met een ronde plaat — bedraagt:

$$2 \cdot \pi \cdot b^2 + 2 \cdot \pi \cdot (b + e) \cdot F$$

indien F voorstelt het oppervlak van het gestipte deel van de figuur en $(b + e)$ den afstand van het zwaartepunt ervan, tot het midden van de plaat.

Dus: $P = k \cdot \pi \cdot \{ z \cdot b^2 + 2 \cdot (b + e) \cdot F \}$

waarin k, e en F onbekend zijn.

Door derhalve 3 platen van verschillende diameters zoodanig te belasten, dat ze allen even diep, n.l. z cm in den bodem ingedrukt worden, vindt men 3 vergelijkingen, waaruit k opgelost kan worden.

Door verder één dezer platen te belasten tot het draagvermogen van den bodem wordt bereikt en waarbij de plaat z_d cm in den grond wordt gedrukt, zou dan het draagvermogen $k \cdot z_d$ van den grond, voor een zeer groot fundeeringsoppervlak, bepaald zijn.

Bij een aldus uitgevoerde proef met verstijfde platen van 30, 50 en 80 cm diameter bleek echter, dat de grond slechts voor lichte belastingen evenredige inzinkingen vertoont en dat bij overschrijding dier belastingen, tijdnazakkingen optreden.

Zoolang deze tijdnazakkingen, welke met toenemende belasting progressief toenemen, nog tot staan komen, is het draagvermogen van den grond niet overschreden.

k, welke tot de evenredigheidsgrens voor verschillende grondsoorten weinig uiteenloopt [3]), zal dus tengevolge van die tijdnazakkingen een steeds kleinere waarde aannemen.

In verband hiermede en ook omdat e en F zeer gevoelig zijn voor veranderingen in de waarden van P en z, zoodat de proeven uiterst nauwkeurig zouden moeten geschieden, blijkt bovenbeschreven methode voor de bepaling van k veel bezwaren te hebben.

Voor onze wegverharding moest daarom naar een andere wijze worden omgezien, om de gemiddelde k eener trechtervormige deformatie te bepalen.

Uit vergelijking (II) (zie noot, voorkomende bij vergelijking (5)) volgt, dat bij bekende waarden van P, N en y_0, de straal r van een ronde fundeeringsplaat bepaald is. Voeren we die waarde van r verder in vergelijking (I) in, dan is ook k te berekenen.

Indien we dus een fundeeringsplaat hadden, waarvan de diameter juist even groot was, als die van de in den bodem gevormde inzinking, dan zou k op bovenbedoelde wijze te bepalen zijn.

Zoo'n plaat, welke juist even groot is als de — onbekende — diameter van de inzinking, is echter natuurlijk niet beschikbaar. Voor bovenbedoelde belastingproef zal uiteraard een plaat gebruikt moeten worden met een straal die zeker grooter is dan r, zoodat de rand van de plaat, bij belasting, boven den bodem zal opwippen.

Voor zoo'n plaat met straal r_2, dienen dus nog vergelijkingen opgesteld te worden van dezelfde soort als de vergelijkingen (I) en (II).

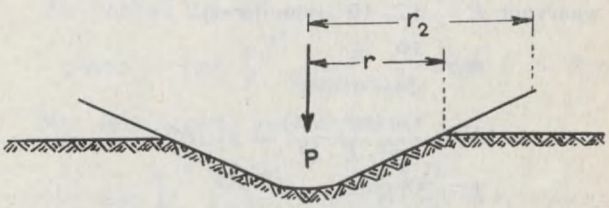


Fig. 8.

Zoo'n plaat — zie *fig. 8* — moeten we beschouwen als te bestaan uit 2 deelen, n.l. uit een door den gronddruk belast deel met straal r en een onbelast ringvormig deel met buitenstraal r_2.

Voor deze ringvormige plaat, waarin geen schuifkrachten voorkomen, is de differentiaalvergelijking van het elastische vlak:

$$x^2 \cdot \frac{d^2\psi}{dx^2} + x \cdot \frac{d\psi}{dx} - \psi = 0$$

waaruit we vinden: $\psi = D_1 \cdot x + \frac{D_2}{x}$

en $$\frac{d\psi}{dx} = D_1 - \frac{D_2}{x^2}$$

3) Bij proeven in de Semarangsche benedenstad en bij den Gombel bleek, dat k in beide gevallen 7 bedroeg.

Bij de aansluiting der 2 platen (voor $x = r$) moet φ (uit vergelijking (4)) $= \psi$ zijn, en $d\varphi = d\psi$ (wegens gelijke spanningen), terwijl aan den rand der 2e plaat (dus voor $x = r_2$):

$m \cdot \frac{d\psi}{dx} + \frac{\psi}{x} = 0$ moet zijn (omdat $\sigma_r = o$).

Uit deze 3 voorwaarden zijn D_1, D_2 en C_1 (van vergelijking (4)) op te lossen en vindt men ten slotte, voor een vloeiijzeren plaat $m = \frac{10}{3}$ stellende, als vergelijking van het elastische vlak van de 1e plaat:

$$y = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} \cdot \left\{ 13{,}05 + 3{,}2 \cdot \frac{x^5}{r^5} - 11{,}25 \cdot \frac{x^4}{r^4} - \right.$$

$$\left. - 5 \cdot \frac{x^2}{r^2} - 30 \cdot \frac{x^2}{r^2} \cdot \ln \frac{r}{x} + 2{,}425 \cdot \frac{r^2}{r_2^2} \cdot \left(1 - \frac{x^2}{r^2}\right) \right\}$$

Uit $I = \int_0^r 2 \cdot \pi \cdot x \cdot y \cdot dx = \frac{P}{k}$

vindt men dan verder:

$$r = \sqrt[4]{\frac{120}{(1{,}982 + 0{,}606 \frac{r^2}{r_2^2}) k \cdot N}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{(III)}$$

en $y_{x=0} = \frac{P \cdot N \cdot r^2}{240 \cdot \pi} \cdot \left\{ 13{,}05 + 2{,}425 \cdot \frac{r^2}{r_2^2} \right\} \ldots\ldots \textbf{(IV)}$

Nu moet, opdat de plaat grooter is, dan de in den bodem gevormde inzinking, r_2 grooter zijn dan de straal, welke men uit vergelijking (I) zou berekenen. Veronderstellen we, dat de kleinste waarde welke k kan aannemen, 0,2 is, dan geeft vergelijking (I) voor een plaat dik $\frac{1}{4}$ '',

waarvoor $E = 2{,}2 \cdot 10^6$ (vloeiijzer)

$$m = \frac{10}{3}$$

$$N = \frac{12 \cdot (m^2 - 1)}{m^2 \cdot E \cdot h^3} = 2 \cdot 10^{-5}$$

$$r = 58 \text{ cm}$$

Wij maken r_2 derhalve iets grooter, dus $= 60$ cm

Voor vergelijking (III) vinden we dan met $r_2 = 60$

$$r = 435 \cdot \sqrt[4]{\frac{1}{k \cdot (11772 + r^2)}}$$

$$\text{of } k = \frac{435^4}{11772 \cdot r^4 + r^6} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \textbf{(V)}$$

en voor vergelijking (IV):

$$y = 17{,}9 \cdot P \cdot 10^{-12} \cdot \left\{ 19372 \cdot r^2 + r^4 \right\}$$

welke laatste vergelijking ook geschreven kan worden

$$r^2 = -9686 + \sqrt{9686^2 + \frac{y \cdot 10^{12}}{17{,}9 \cdot P}} =$$

$$= 9686 \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{596 \cdot y}{P}} - 1 \right)$$

Bij bekende P en gemeten y is dus r^2 dadelijk te bepalen. Substitueert men deze r^2 in vergelijking (V), dan is ook k bekend.

Voor een bepaalde plaat kan men eenvoudigheidshalve het verband tusschen $\frac{y}{P}$ en k grafisch vastleggen. In *fig. 9* is zulks voor bovenbeschreven plaat gedaan.

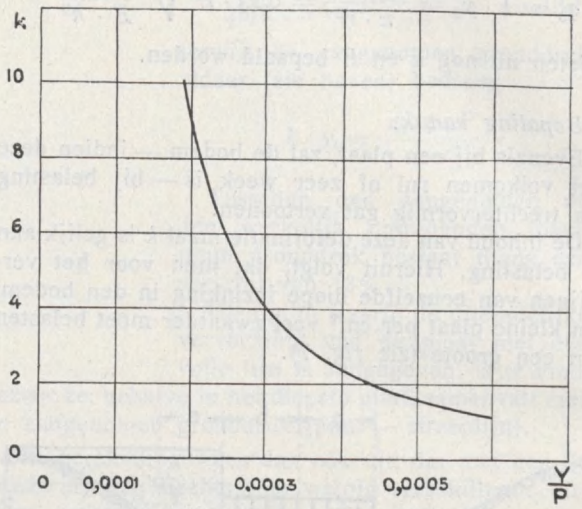


Fig. 9.

De constructie van deze plaat, speciaal aangemaakt voor het doen van proefnemingen, vindt men in *fig. 10* aangegeven (zie ook de foto *fig. 10a*).

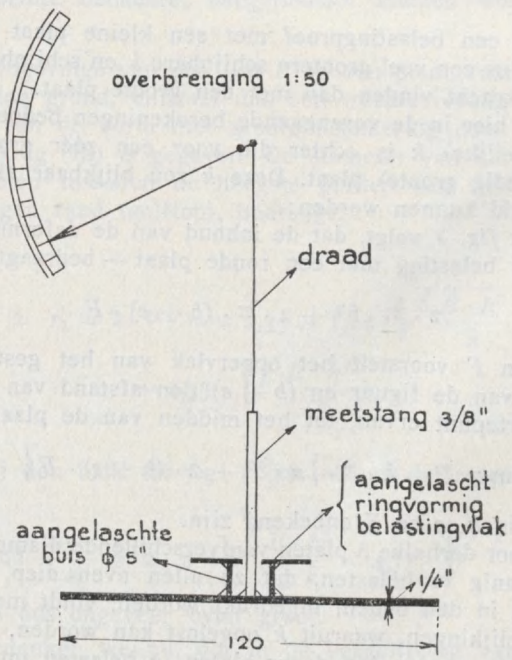


Fig. 10.

Uit met deze plaat verrichte bepalingen, die zeer *snel* en *vlot* verliepen, bleek dat k constant $= 7$ bleef, totdat een inzinking van $\pm$ 0,04 cm was bereikt. Daarna daalde k, om bij de maximum hier toegelaten inzinking van 0,2 cm, de waarde 4 aan te nemen.

Deze beide waarden werden gevonden, zoowel op zeer slappen grond als op goeden bouwgrond.

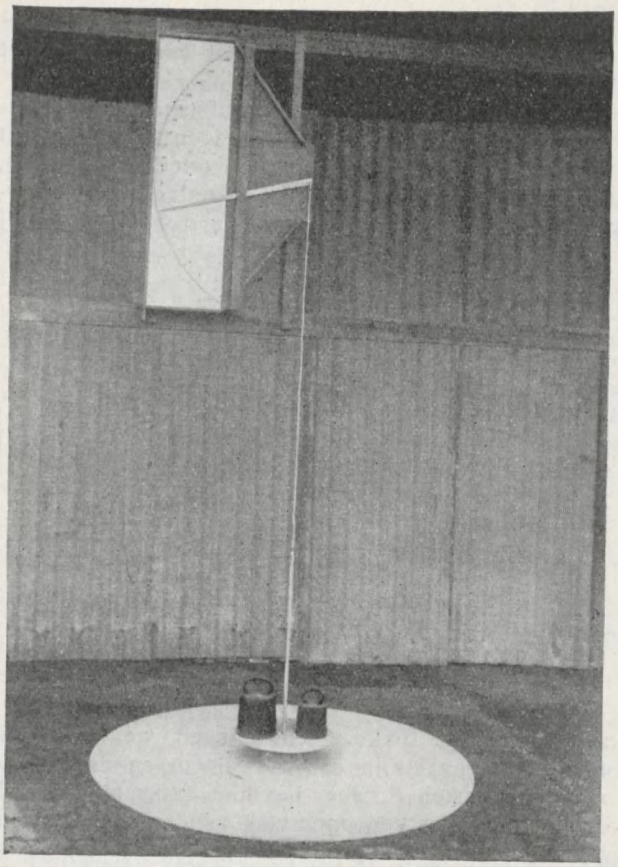


Fig. 10a. Beproevingsplaat met meetinrichting.

Verder bleek, dat een plotseling aangebrachte zware last, die weer snel verwijderd wordt (dus een schok) bijna geen doorzakking van de plaat teweegbrengt. Deze doorzakking is in ieder geval zóó gering, dat de bij die inzinking behoorende k, niet beneden 7 valt. Voor een rustende belasting evenwel, die een diepe inzinking teweegbrengt, moet k kleiner dan 7 gesteld worden.

Bepaling van E.

Voor een steenslaglaag bestaan voor E geen gegevens. Voor P. C.-beton is $E = 200\,000$ à $300\,000$. Verder vindt men in „Hütte" opgegeven, dat voor metselwerk in kalkmortel $E = 24\,000$ à $36\,000$ bedraagt. Met de kwaliteit van het bindmiddel neemt E dus zeer sterk af, zoodat E voor een steenslaglaag zeker véél kleiner dan 20 000 moet zijn.

Waar rechtstreeksche bepaling van deze E uiteraard zeer moeilijk is, werd door steller dezes getracht die grootheid af te leiden uit de snelheid, waarmede het geluid door een steenslaglaag wordt voortgeplant.

Waar hij eerst meende — indachtig de verhalen over Indianen, die hun oor op den grond te luisteren leggen! — dat zulks zeer eenvoudig zou zijn, bleek hem, dat het geluid zich door den bodem juist zeer slecht voortplant.

Op een nieuw goed ingewalst weggedeelte n.l. kon het geluid op verder dan 15 meter van het punt, waar met een zwaar voorwerp op den weg werd gestampt, niet waargenomen worden. Gelukkig bleek dit een gevolg daarvan te zijn, dat het poedervormige vulmiddel tusschen de steenen nog niet verhard was, althans dezelfde proef op een ouden steenslagweg (n.l. tusschen km 41,4 en km 41,6 op den weg Semarang — Salatiga) bleek betere resultaten op te leveren.

Hier kon de slag nog duidelijk waargenomen worden op 200 meter afstand van den geluidsoorsprong. Dit moment werd door een waarnemer, met zijn oor op den weg, op een stophorloge afgedrukt, terwijl een andere waarnemer eveneens op een stophorloge, het oogenblik aangaf, waarop het geluid door de lucht tot hem kwam. Als gemiddelde van eenige waarnemingen werd bevonden, dat hier het geluid door den weg 2/5 sec *later* werd gehoord dan door de lucht.

Alzoo bedroeg hier de voortplantingssnelheid van het geluid door den weg

$$\frac{200}{\frac{200}{330}+\frac{2}{5}}\ \text{m/sec} = 199\ \text{m/sec}$$

Nu bedraagt de voortplantingssnelheid van longitudinale trillingen door een elastisch lichaam:

$$V = \sqrt{\frac{G}{\rho}\cdot\frac{2\cdot(m-1)}{m-2}} = \sqrt{\frac{E}{\rho}\cdot\frac{m\cdot(m-1)}{(m+1)\cdot(m-2)}}$$

$$= 1{,}05\cdot\sqrt{\frac{E}{\rho}} \text{ voor } m = 5$$

Hierin is ρ de soortelijke dichtheid, welke uitgedrukt in kg en cm voor steenslag met een s.g. 2,4 bedraagt:

$$\rho = \frac{0{,}0024}{981} = 0{,}00000244$$

We hebben dus (in cm):

$$19900 = 1{,}05\cdot\sqrt{\frac{E}{0{,}00000244}}, \text{ dus } E \sim 870$$

Met deze waarde voor E wordt:

$$r = 1{,}84\cdot\sqrt[4]{\frac{870\cdot h^3}{k}} = 10\cdot\sqrt[4]{\frac{h^3}{k}} \text{ en } r_1 = \mu\cdot r =$$

$$11{,}75\cdot\sqrt[4]{\frac{h^3}{k}}.$$

Golven in den weg.

Bevindt zich op den weg een oneffenheid, dan zal, zooals uit het voorgaande blijkt, een voertuig b.v. een zware vrachtauto, over deze oneffenheid heengaande, op een afstand r_1 een golftop veroorzaken.

Is de steenslaglaag te dun, hetgeen juist zoo vaak op goeden ondergrond voorkomt, of is het bindmiddel slecht, dan kan ter plaatse van dien golftop een blijvende vormverandering intreden.

Dezelfde auto — en alle andere volgende — over de ontstane richel (golftop) rijdende, veroorzaakt op een afstand r_1 weer een richel.

Alzoo zullen in zeer korten tijd op een weg blijvende golven kunnen ontstaan, waarvan de toppen op een afstand r_1 van elkander staan. Deze golven,

voorspeld uit de elastische plaattheorie, komen in werkelijkheid voor en zijn dus een bewijs ervan, dat de steenslaglaag inderdaad als een elastische plaat werkt.

Zooals wij zagen, blijft bij schokbelasting $k = \pm 7$, zoodat die golfafstand voor een goeden steenslagweg ($E = 870$) bedraagt:

$$r_1 = 11{,}75 \cdot \sqrt[4]{\frac{h^3}{k}} = 7{,}2 \cdot \sqrt[4]{h^3}$$

Voor h b.v. $= 20$ cm is dan:

$r_1 = 68$ cm

en voor $h = 25$ cm, $r_1 = 80$ cm.

Dit zijn golfafstanden, zooals ze in werkelijkheid voorkomen [4]). Aangezien, zooals hieronder nader zal blijken, de kanten van de verharding het zwakst zijn, zullen die golven vooral aan de wegkanten voorkomen. Die golfrichels moeten theoretisch cirkelvormig verloopen en zullen aan de wegkanten daardoor vaak schuin op de wegas kunnen staan. *Ze zijn het bewijs ervan, niet dat de draagkracht van den ondergrond overschreden is, maar dat de steenslaglaag te zwak is,* dus óf te dun is, óf te snel aan blijvende vormverandering onderhevig is.

Dikte van de steenslaglaag.

Uit $q = 0{,}43 \cdot P \cdot \sqrt{\frac{k}{E \cdot h^3}}$ volgt dat q evenredig aan P is.

Mag het draagvermogen q_d van den grond niet overschreden worden, dan is:

$$h = \sqrt[3]{\frac{0{,}43^2 \cdot P^2 \cdot k}{E \cdot {q_d}^2}} = 0{,}06 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot k}{{q_d}^2}} \quad \ldots\ldots\ldots (16)$$

In deze formule stelt P het wielgewicht *zonder* schokcoëfficiënt voor. Immers, we zagen reeds, dat een plaat, zelfs die tot het draagvermogen belast is, een groote schok verdraagt, zonder merkbaar en blijvend dieper te zakken. Voor het draagvermogen van den grond zijn derhalve *rustende* belastingen (b.v. een vrachtauto, die stilstaat) maatgevend.

Intusschen rijst de vraag, of bij de bepaling van de dikte van een steenslaglaag het draagvermogen q_d wel de maatgevende factor kan zijn. Rekening toch zal gehouden moeten worden met de *spanningen,* die in een verhardingslaag optreden, omdat bij het bereiken van het draagvermogen zooals we zagen, k zeer klein wordt en de inzinking dus zeer groot is.

Deze spanningen zijn te berekenen uit de vergelijkingen (1) en (2). Neemt men P regelmatig verdeeld aan, over een cirkelvormig oppervlak met straal a, dan is de maximum spanning, welke onder P optreedt — zooals een bewerkelijke theoretische afleiding heeft uitgewezen — ten naaste bij juist zoo groot als de spanning, welke bij een puntlast P optreedt, op een afstand a van het aangrijpingspunt van P.

Berekenen we nu voor den afstand a de spanningen σ_r en σ_t (vergelijkingen 1 en 2) voor φ uit vergelijking (12) en voor $m = 5$ (steenslag, beton), dan vindt men als maximum spanning aan het oppervlak der platen, dus voor $z = \frac{1}{2} \cdot h$, daarbij $\frac{a}{r} = \beta$ stellende:

$$\sigma_r = \frac{m \cdot E}{m^2 - 1} \cdot \frac{1}{2} \cdot h \cdot \frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot \Big\{ -360 \cdot \ln \beta + 969{,}6 \cdot \beta^2 - 498{,}96 - 28{,}5 \cdot \beta^7 - 135 \cdot \beta^6 - 423{,}3 \cdot \beta^4 + 780 \cdot \beta^4 \cdot \ln \beta \Big\}$$

$$\sigma_t = \frac{m \cdot E}{m^2 - 1} \cdot \frac{1}{2} \cdot h \cdot \frac{P \cdot N}{240 \cdot \pi} \cdot \Big\{ -360 \cdot \ln \beta + 484{,}8 \cdot \beta^2 - 258{,}96 - 9 \cdot \beta^7 - 45 \cdot \beta^6 - 190{,}5 \cdot \beta^4 + 300 \cdot \beta^4 \ln \beta \Big\}$$

Wanneer we bedenken, dat $r = 1{,}84 \cdot \sqrt[4]{\frac{E \cdot h^3}{k}}$ zelfs voor zeer dikke steenslaglagen, welhaast nimmer grooter zal zijn dan ~ 80 cm en dat bij de *maximum* lasten P, waar het hier om gaat, de wieldruk zeker over een oppervlak van minstens 20 cm diameter wordt verspreid, terwijl, vooral bij dikke platen, zeker nog op eenige drukverspreiding in de plaat zelve mag worden gerekend, dan kan $\beta = \frac{a}{r}$ op minstens $\frac{1}{5}$ worden gesteld.

Voor $\beta = 0{,}2$ en $N = \frac{12 \cdot (m^2 - 1)}{m^2 \cdot E \cdot h^3}$ veranderen bovenstaande vergelijkingen voor σ_r en σ_t in:

$$\sigma_r = \frac{m \cdot E}{m^2 - 1} \cdot \frac{1}{2} \cdot h \cdot \frac{12 \cdot (m^2 - 1) \cdot P}{m^2 \cdot E \cdot h^3 \cdot 240 \cdot \pi} \cdot 116{,}5 = 0{,}185 \cdot \frac{P}{h^2}$$

$$\sigma_t = \frac{m \cdot E}{m^2 - 1} \cdot \frac{1}{2} \cdot h \cdot \frac{12 \cdot (m^2 - 1) \cdot P}{m^2 \cdot E \cdot h^3 \cdot 240 \cdot \pi} \cdot 338{,}8 = 0{,}54 \cdot \frac{P}{h^2}$$

σ_r en σ_t zijn beiden óf druk- óf trekspanningen. Volgens de breuktheorie van Poncelet is derhalve maatgevend de spanning:

$$\sigma_b = \sigma_t - \frac{1}{m} \sigma_r = \frac{P}{h^2} \Big\{ 0{,}54 - \frac{0{,}185}{5} \Big\} = 0{,}5 \cdot \frac{P}{h^2}$$

In deze formule moet vanzelfsprekend *wel* een schokcoëfficiënt toegepast worden.

Stellen we deze op 1,5, dan is dus:

$$\sigma_b = 0{,}75 \frac{P}{h^2} \text{ of } h = 0{,}87 \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_b}} \quad \ldots\ldots (17)\ ^5)$$

4) Bij nameting zal men mogelijk vinden, dat de voorkomende golfafstand iets kleiner is dan die, welke uit bovenstaande formule afgeleid kan worden. Echter is dit dan een gevolg dáárvan, dat de wegverharding slechts voor het bovenste deel als elastische plaat werkt. Veelal toch is het onderste deel van een verharding — b.v. bij paklagen — zoo slecht geconsolideerd, dat ze enkel als een bodem-verbetering is te beschouwen. Ook wanneer het bindmiddel slecht is, dus E klein wordt, worden de golfafstanden kleiner.

5) Voor een grobak waarvoor in verband met de smalle velgen, β op hoogstens $\frac{1}{10}$ is te stellen, wordt de spanning σ_b ruim 60% grooter dan uit deze formule zou volgen. Ook in dit opzicht is de overbelaste grobak dus een ruïne voor de wegen.

Het is derhalve van primair belang, dat door de overheid zoo spoedig mogelijk belastinglimieten voor grobaks worden gesteld.

Nemen we als voorbeeld een wieldruk van $2\frac{1}{2}$ ton, dus $P = 2\,500$.

Volgens formule (16) zou dan de dikte van een steenslaglaag b.v. bij $q_d = 1$ en $k = 4$ moeten bedragen:

$$h = 17{,}5 \text{ cm}$$

Voor een P. C.-betonlaag, waarvoor het gebruikelijk is $E = 140\,000$ te stellen, zou onder dezelfde omstandigheden gevonden zijn:

$$h = 17{,}5 \cdot \sqrt[3]{\frac{E \text{ steenslag}}{E \text{ beton}}} = 17{,}5 \cdot \sqrt[3]{\frac{870}{140\,000}} = 3{,}2 \text{ cm}$$

Bij deze dikte zou dus het draagvermogen van den ondergrond niet overschreden worden; echter zouden dan in het beton spanningen opgewekt worden ter grootte van:

$$0{,}75 \cdot \frac{2500}{3{,}2^2} = 183 \text{ kg/cm}^2$$

dus zóó groot, dat de betonlaag zou scheuren [6]).

Stelt men σ_b op 6 kg/cm², dan vindt men, formule (17) toepassende op bovenstaand geval:

$$h = 0{,}87 \cdot \sqrt{\frac{2\,500}{6}} = 17{,}7 \text{ cm}$$

terwijl voor een gewapend beton plaat met $\sigma_b = 60$ (druk) gevonden zou zijn:

$$h = 5{,}6 \text{ cm}$$

Aangezien het, bij een gering draagvermogen van den grond, echter niet onmogelijk is, dat toepassing van formule (16) tot een grootere waarde voor h zou leiden, dient men dus voor een gewapend beton plaat nog te onderzoeken of wellicht formule (16) niet maatgevend is.

Voor een ongewapende betonplaat is echter formule (17) steeds maatgevend, welke formule aangeeft dat de dikte van zoo'n plaat *volkomen onafhankelijk* is van het draagvermogen van den grond.

Het is duidelijk, dat dezelfde conclusie ook geldt voor de steenslaglaag. De benoodigde dikte ervan is dus feitelijk *onafhankelijk* van de draagkracht van den grond. Om vervormingen en golfvormingen, zooals deze vooral bij dunne lagen op goeden ondergrond zooveel voorkomen, tegen te gaan, zou de steenslaglaag eigenlijk een minimum dikte moeten hebben, welke door de toelaatbare trekspanning in het materiaal bepaald is [7]).

Aangezien men door dezen eisch te stellen, voor goeden ondergrond tot veel dikkere — dus duurdere — lagen komt, dan gebruikelijk zijn [8]) en een steenslagweg per slot van rekening niet zoo effen behoeft te blijven als een vloer, kan men lichte vervormingen toelaatbaar achten.

Aangezien deze vervormingen — zie onder golfvorming — de blijvende vormveranderingen zijn, veroorzaakt door belasting, dus theoretisch even groot zijn, als de door het verkeer veroorzaakte elastische inzinkingen, is het dan logisch, om voor de steenslaglaag als eisch te stellen, dat de door een maximum last veroorzaakte inzinking een bepaalde waarde niet overschrijdt.

Stelt deze waarde is a cm, dus:

$$y_{max.} = \frac{q}{k} = a$$

Uit $q = 0{,}43 \cdot P \cdot \sqrt{\frac{k}{E \cdot h^3}}$ volgt dan:

$$h = 0{,}06 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{a^2 \cdot k}}$$

Hoe kleiner men a stelt, hoe kleiner de blijvende vervormingen zullen zijn. Neemt men, om in niet al te groote laagdikten te vervallen, a gelijk aan 0,1 cm, dan wordt:

$$h = 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{k}}$$

Bij 0,1 cm inzinking is k, onafhankelijk van de vastheid van den grond, nog op minstens 5 te stellen. Ook op deze wijze vindt men dus een dikte, die onafhankelijk is van de draagkracht van den bodem.

Slechts voor zeer slappen bodem (n.l. $q_d < 0{,}6$) dient nog nagegaan te worden, of formule (16) mogelijk tot een grootere waarde voor h zou leiden.

Recapitulatie.

De dikte van een verhardingslaag bepaalt men dus:

voor een steenslaglaag uit $h = 0{,}28 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{k}}$

„ „ betonlaag of gewapend betonlaag „ $\Big\}$ $h = 0{,}87 \cdot \sqrt{\frac{P}{\sigma_b}}$

Hierin is P = wieldruk
q_d = draagvermogen van den grond
k = ballastcoëfficiënt
σ_b = max. toe te laten spanning.

Voor slappen bodem dient dan echter nog nagegaan te worden, of formule (16), n.l.

$$h = 0{,}06 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot k}{q_d^2}} \text{ voor steenslag}$$

en $h = 0{,}011 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot k}{q_d^2}}$ voor beton,

niet tot grootere uitkomsten leidt.

Bevindt zich een last op den rand van het wegdek, dan zal de inzinking in het wegdek een half trechter-

6) Door zulke scheurtjes kan kleiwater capillair omhoog gevoerd worden, met als gevolg vernieling van de erboven gelegen asfalthuid.

7) Uit het bovenstaande volgt, dat het dus van groot voordeel zou zijn, om de steenslaglaag tegen trek te wapenen. Wellicht zal dus het aanbrengen van een gevlochten mat van bamboe — gedek, ploepoeh —, welk materiaal een groote trekkracht heeft, onder de verhardingslaag, goede resultaten geven. De mat zal dan echter, met het oog op het rottingsgevaar, zoo diep moeten worden aangebracht, dat ze voortdurend of althans den langsten tijd van het jaar, vochtig ligt.

8) Zelfs al stelt men σ_b hoog, b.v. 1 kg/cm², dan nog komt men voor $P = 2{,}5$ ton op een benoodigde dikte van 43 cm.

vormige gedaante aannemen. (zie *fig. 11*).

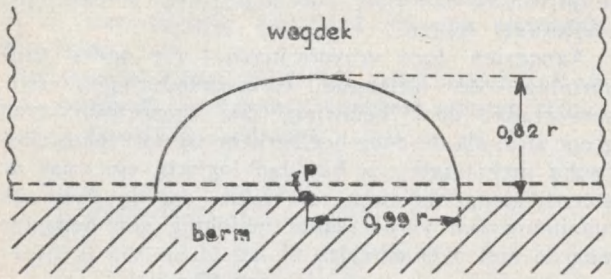


Fig. 11.

Denkt men zich || aan dien wegrand een doorsnede over het wegdek, dan zou een balk ontstaan, waarbij (zie *fig. 1a*) de druk op den ondergrond zou worden uitgeoefend tot een afstand uit het lastpunt van:

$$\frac{3}{4}\cdot\frac{\pi}{a} = 1{,}79\cdot\sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$$

Bij volledige werking als balk, zou de trechterdiameter langs den wegrand van $r = 1{,}84\cdot\sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$ dus terugvallen op $1{,}79\cdot\sqrt[4]{\frac{E.h^3}{k}}$. Aangezien die balkwerking echter onvolledig is, zal derhalve het gemiddelde dier 2 waarden, n.l.: $1{,}82\cdot\sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$ ongeveer juist zijn.

In de richting ⊥ op den wegrand, verdwijnt het moment onder het lastpunt.

Bij een balk zou dit (zie *fig. 1b*) tot gevolg hebben, dat de druk op den ondergrond slechts tot $\frac{1}{2}\cdot\frac{\pi}{a} = 1{,}19\cdot\sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$ uit het lastpunt zou worden uitgeoefend.

$r = 1{,}84\cdot\sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$ zou dan dus terugvallen tot $1{,}19\cdot\sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$. Nemen we ook hier het gemiddelde dezer waarden, dus $1{,}52\cdot\sqrt[4]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$ als waarschijnlijk aan, dan blijkt dus, dat tengevolge van een last op een wegdekrand, een ongeveer half ellipsvormige trechter zal ontstaan, waarvan de assen het $\frac{1{,}82}{1{,}84}$ resp. het $\frac{1{,}52}{1{,}84}$ deel bedragen van den diameter van de trechtervormige inzinking midden op den weg.

Waar het oppervlak van dien ongeveer halfelliptischen vorm $\frac{1}{2}\cdot\pi\cdot r^2\cdot\frac{1{,}82\times 1{,}52}{1{,}84^2} = 0{,}41\cdot\pi\cdot r^2$ bedraagt, volgt hieruit, dat de door een last op den wegrand veroorzaakte maximum druk op den ondergrond $\frac{1}{0{,}41} = 2{,}5$ maal zoo groot is, als die, door denzelfden last meer op het midden van den weg veroorzaakt.

Alzoo is op den wegrand $q = 2{,}5\cdot 0{,}43\cdot P\cdot\sqrt{\frac{k}{E\cdot h^3}}$

Mag q hier niet grooter zijn dan op den weg, dan dient h, aan den rand van het wegdek, dus $\sqrt[3]{2{,}5^2} = 1{,}84$ maal zoo dik te zijn, als in het midden van den weg. Deze verzwaring kan blijkens het bovenstaande tot 0 uitloopen op een afstand $1{,}52\cdot\sqrt[3]{\frac{E\cdot h^3}{k}}$ ($\backsim$ 0,50 m) uit den rand van het wegdek (zie *fig. 12*).

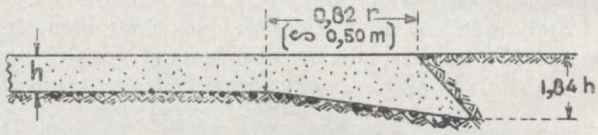


Fig 12.

Opgemerkt kan worden, dat als regel met een geringere verzwaring van den rand volstaan zal kunnen worden, omdat, wanneer de aansluitende bermen niet volkomen rul zijn, de last P ook een deformatie teweeg zal brengen van den berm, zoodat dus een gedeelte van den last P opgevangen zal worden door dien berm.

Rust de steenslaglaag echter op een laag rul zand, dan zal het n.h.v. wel noodzakelijk zijn de wegranden, al zijn deze onder talud aangelegd, te verzwaren.

Overigens moge uit het voorgaande blijken, dat het verharden van de bermen in wezen ertoe zal bijdragen, om het wegdek aan de randen te versterken.

Uit de voorgaande theoretische beschouwingen kunnen thans nog eenige belangrijke conclusies getrokken worden, ten aanzien van eenige praktijkvraagstukken, waarover de meeningen zoo uiteenloopen.

In de eerste plaats de steenslaglaag zelf. Waar haar goede hoedanigheden op het feit berusten, dat ze als een elastische plaat werkt, dient bij de constructie ervan in de allereerste plaats te worden gestreefd naar het verkrijgen van een groote elasticiteit. Hierdoor zullen blijvende vervormingen en golfvormingen tot een minimum worden teruggebracht.

Er moet dus voor gezorgd worden, dat de steenen zoo stevig mogelijk in elkander grijpen, hetgeen bij een overmaat van bindmiddel niet mogelijk is. Men zorge er dus bij het walsen van een steenslaglaag voor, dat dit bindmiddel slechts spaarzaam wordt aangebracht.

Hoe meer verhardende eigenschappen dit bindmiddel heeft, hoe beter.

Vette grond en klei, welke in den natten tijd verweeken, mogen dus *nimmer* meer als bindmiddel worden toegepast, *vooral niet onder asfalteeringen* [9]).

Als bindmiddel zal dus minstens steengruis en steenstof moeten worden aangewend. Opgemerkt moge worden, dat daarvoor ook kalksteengruis genomen kan worden, welk materiaal in vele gevallen een zeer groot verhardend vermogen heeft en bovendien het voordeel heeft, dat een asfalthuid er veel beter op pakt dan op gewoon steenpulver.

Om de steenslaglaag over de volle aangebrachte hoogte tot een stevig geheel te consolideeren, moet die laag op een harden vloer rusten; is deze rul of week, dan zou immers tijdens het walsen de ondergrond naar boven persen, de steenen in het onderste gedeelte van de laag van elkander dringen en maken dat de laag slechts over een deel van haar hoogte als een plaat beschouwd kan worden.

In verband met het bovenstaande mag dus tijdens het walsen, tenzij de ondergrond *absoluut* niet verweekbaar is, beslist geen water gebruikt worden. Slechts wanneer de laag nagenoeg geheel vastgewalst is en men het bindmiddel in de holten tusschen de steenslag veegt, mag een weinig water aangewend worden om het vulpoeder te doen zakken. Aangezien het vulmiddel langdurig vochtig moet blijven om te kunnen verharden, dient men na gereedkoming van den weg, *maar eerst dán pas*, dezen iederen dag flink te besproeien.

Om een vast in elkander geperst geheel te verkrijgen, zal een steenslaglaag van meer dan 10 — 12 cm dikte in 2 lagen aangebracht moeten worden. In verband met het groote aanrakingsoppervlak, hetwelk een glijden der lagen over elkander slecht mogelijk maakt, behoeft echter geen al te groot gewicht te worden gehecht aan de goede verbinding tusschen die 2 lagen.

Men moge bedenken, dat waar 2 los op elkander gelegde even zware balken samen slechts de halve draagkracht hebben van een enkele balk die de gezamenlijke hoogte heeft, 2 steenslaglagen, indien ze wrijvingloos over elkander konden glijden, een draagkracht hebben, welke — zie vergelijking (**16**) — het $\frac{2}{\sqrt{8}} = \frac{7}{10}$ deel bedraagt van die eener enkele steenslaglaag van de gezamenlijke dikte.

Het goed ruw borstelen van het oppervlak, in het bijzonder echter aan de wegkanten, zal derhalve voldoende zijn om de noodige verbinding tusschen 2 lagen te bewerkstelligen.

Hoe grooter deel van de verharding uit geconsolideerde steenslag bestaat en hoe kleiner het deel is, dat niet geconsolideerd zijnde, den druk volgens de oude theorie overbrengt, hoe sterker die verharding is.

Past men een paklaag toe, welke dus alleen maar beteekenis mag hebben als vloer voor de steenslaglaag, dan make men haar zoo dun mogelijk, teneinde meer kosten te kunnen besteden aan een dikkere steenslaglaag. Hoe beter de paklaag geconsolideerd wordt, dus hoe meer ze ook als elastische plaat werkt, hoe sterker de verharding zal zijn.

De paklaag — van kleine breuksteenen — walse men dus niet even, maar zoo goed mogelijk in. Daarbij dient een verhardend materiaal — en geen zand — als vulmiddel gebezigd te worden.

Zoo'n *dichte* paklaag biedt bovendien nog het voordeel, dat ze het naar boven persen van den kleiondergrond belet, dus een euvel opheft, waardoor zoovele asfalteeringen worden vernield.

Is de ondergrond slap, dan wordt wel eens grondverbetering toegepast. Hiermede verbetert men echter het draagvermogen van den bodem niet; zoo'n grondverbetering moet men dus enkel beschouwen als een goedkoope verhardingslaag, welke den druk van den steenslaglaag meer verspreid overbrengt.

Instede van een rulle zandlaag, waardoor de druk zich volgens de in aanvang dezes bedoelde oude theorie voortplant, doet men dus beter voor de grondverbetering een eenigszins geconsolideerde laag te nemen, welke als elastische plaat werkt. Dit kan men verkrijgen, door het zand met een *weinig* grond te mengen, waardoor een schrale puddel ontstaat, mogelijk zelfs hard genoeg wordende, om daarop de steenslaglaag direct, dus zonder tusschenkomst van een paklaagvloer, aan te brengen.

Mogelijk zal men hiertegen aanvoeren, dat een losse zandlaag beter draineerend werkt, dan een schrale puddel.

De vraag mag dan echter gesteld worden, wat precies het nut is van een draineerende laag onder een goed uitgevoerde *dichte* steenslaglaag?

Voor zoover steller dezes heeft kunnen nagaan, zijn alle door hem waargenomen defecten aan steenslagwegen en asfalteeringen, welke toegeschreven werden aan slechte draineering, enkel en alleen een gevolg van het gebruik van klei — vooral wanneer ze in overmaat werd aangebracht — in de verhardingslaag.

Ongetwijfeld zouden deze verhardingslagen in veel beteren toestand verkeeren, indien ze aangebracht waren geweest op een zandbed in ophooging; zóó hoog, dat de verharding boven de capillaire zône had gelegen.

Wanneer het echter blijkt, dat een goed aangelegde slijtlaag, waarin geen klei voorkomt, op deze zelfde plaatsen volkomen voldoet zonder zandophooging, dan kan zoo'n ophooging n.h.v. ontbeerd worden.

In dit verband moge erop worden gewezen, dat de groote postweg langs Java's Noordkust, over groote afstanden een uitstekenden ondergrond heeft, bestaande uit padasbrokken, grond, schelpen, zand en grind, zijnde de verharding dateerende uit den goeden ouden tijd.

Over deze laag treft men thans een 8 tot 15 cm dikke steenslaglaag aan, welke bijna overal met een groote overmaat van vette klei is ingewalst. Graaft men na een regenperiode in dezen weg een gat, dan blijkt de diep gelegen oude weg slechts weinig vochtig te zijn, terwijl de daarop rustende slijtlaag volkomen doorweekt is. Tengevolge van deze door-

9) In bergstreken komen vaak grondsoorten voor, die geen of weinig asfaltemulgeerende bestanddeelen bevatten en waarvan het gebruik als bindmiddel in de slijtlaag dus aan minder bedenking onderhevig is.

weeking vermindert niet alleen het weerstandsvermogen van de laag tegen vervormingen, maar heeft ook emulsie en vernieling plaats van de daarop aangebrachte asfalthuid.

Verbetering, welke eerst werd gezocht door het aanbrengen van een dikke penetratielaag, heeft op vele plaatsen het resultaat gehad, dat het onderliggende kleivulmiddel langzamerhand in de penetratielaag drong, alle asfalt ervan emulgeerde en de verbetering na enkele jaren te niet deed.

Deze ervaring heeft ertoe geleid, dat thans bij verbeteringen de kleibevattende verhardingslaag *geheel* wordt opgebroken, waarna de steenen, na *gewasschen* te zijn, onder toevoeging van wat schoone versche steenslag, weer tot een dichte laag worden ingewalst, zoo mogelijk met kalksteenmeel als vulmiddel.

Deze zeer goedkoope werkwijze, waarbij dus geen draineerende ophooging is toegepast, heeft voorzoover thans reeds daarover geoordeeld kan worden, tot een uitstekend resultaat geleid.

2e JAARGANG
NUMMER 2

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

FEBRUARI
1935

VI. WATERBOUWKUNDE.

INHOUD: De reservoirdam Gembong, door ir. F. M. van Veen.

De reservoirdam Gembong

door

ir. F. M. VAN VEEN,

ingenieur bij 's Lands Waterstaat.

Beschreven wordt het opspoelen van een aarden reservoirdam van 38 m hoogte.

I. Algemeen overzicht.

Inleiding.

De wadoek Gembong, geopend op 17 Juli 1933, is uitsluitend gebouwd voor irrigatiedoeleinden. Dit wordt hier speciaal door mij gememoreerd, omdat meermalen de vraag werd gesteld of het niet mogelijk zou zijn de beschikbare energie voor waterkrachtwerken te benutten. Evenwel gaan de belangen voor bevloeiing en electriciteitvoorziening zelden tezamen, meestentijds zijn zij zelfs met elkander in strijd. De bedoeling van dezen wadoek is, om gedurende den westmoesson het overtollige water op te zamelen, teneinde hiermede in den oostmoesson de bevloeiing van de lager gelegen gronden te verbeteren. Een reguleerende werking t.o.v. bandjirs kan uitsluitend worden verwacht, zoolang de wadoek nog niet tot volpeil is gevuld, doch dit is hier slechts van zeer ondergeschikt belang in verband met de groote oppervlakte van het bevloeiingsgebied ten opzichte van het stroomgebied van de wadoek.

Het bevloeiingsgebied rondom den voet van het Moeriagebergte kenmerkt zich door de aanwezigheid van zeer vele kleine riviertjes, welke in den westmoesson korte hevige bandjirs kunnen vertoonen, doch in den oostmoesson wegens hun gering stroomgebied uiteraard waterarm zijn of zelfs nagenoeg droog vallen. Als gevolg hiervan moest in den oostmoesson een groot gedeelte van de vlakte ten Noorden van Pati onbeplant blijven, terwijl de betrekkelijk geringe aanplant bijna uitsluitend was aangewezen op bevloeiing uit kleine bronnetjes; oogstmislukking wegens watergebrek kwam herhaaldelijk voor.

Het valt dan ook niet te verwonderen, dat de suikerfabrieken Trankil en Langsee op verbetering van de bevloeiingstoestand aandrongen en reeds in 1916 werd uitgezien naar de mogelijkheid van den bouw van een verzamelreservoir. In samenwerking met Bestuur, Landbouw en Irrigatie is het plan gerijpt tot aanleg van een wadoek nabij de dessa Goenoengrowo op een hoogte van ruim 300 m op de Zuidoostelijke helling van de Moeria. Deze wadoek werd in 1918-1925 gebouwd, voor een deel op kosten van de genoemde fabrieken en voldeed aan de gestelde verwachtingen. De inhoud van dezen wadoek bedraagt 5 millioen m³, waarmede een oppervlakte van rond 4 000 bouws kan worden bevloeid. Hiermede was de eerste stap gedaan tot de oplossing van het vraagstuk om de gronden op de Zuidoostelijke helling in den oostmoesson van bevloeiingswater te voorzien. De resultaten met dezen wadoek bereikt, bleken dermate gunstig, dat zeer spoedig werd uitgezien naar de mogelijkheid om meerdere van dergelijke wadoeks te bouwen, waardoor een grootere oppervlakte een geregelde bevloeiing zou kunnen krijgen.

Van een viertal der gunstigst gelegen rivierdalen, welke door afdamming tot het vormen van een wadoek geschikt waren, werd globaal de inhoud opgemeten, de vullingsmogelijkheid aan de hand van regencijfers en stroomgebied onderzocht, benevens een vergelijkende raming der bouwkosten opgemaakt. De keuze viel tenslotte op een dal van de kali Sani nabij de dessa Gembong op ± 13 km ten Noord-Oosten van Pati en op een hoogte van ruim 200 m boven zee. Voldoende inhoud (10 millioen m³) kon worden verkregen door den aanleg van een 380 m langen dam vanaf + 172 (kalibodem) tot + 210 (kruin). Een grootere inhoud zou door verhooging van den dam eventueel mogelijk zijn.

Tezamen met de reeds bestaande wadoek Goenoengrowo zou dus beschikt worden over rond 15 millioen m³ nuttigen inhoud. Het met dit water te *bevloeien oppervlak bedraagt 14 450 bouws*. Een voorloopig plan voor deze gecombineerde bevloeiing werd opgemaakt, waarbij het bevloeiingsgebied van den wadoek Goenoengrowo naar het Oosten werd verlegd.

Het benoodigde water zal uit de beide wadoeks in de oorspronkelijke riviertjes worden afgelaten en benedenstrooms door middel van stuwen (hoofdver-

deelwerken) weer daaruit worden afgetapt, om door hoofdleidingen, welke ongeveer de tranches rondom het Moeriagebergte volgen, naar de plaats van bestemming te worden gevoerd. Deze hoofdleidingen kruisen de reeds bestaande leidingen en kali's, zoodat deze voor zoover noodig met water uit de wadoeks kunnen worden gesuppleerd. Zoodoende is dus ieder oorspronkelijk bevloeiingsgebied, behoudens noodzakelijke wijzigingen en verbeteringen, als secundair vak in het nieuwe complex te beschouwen. Bij het opmaken van het cultuurschema is rekening gehouden met de bestaande westmoessonbevloeiing en met het reeds in de verschillende kali's aanwezige oostmoessondebiet. Men kan dus spreken van een oostmoesson-suppletiebevloeiing. De te verstrekken waterhoeveelheden, welke als grondslag voor het cultuurschema bij een 75% droog jaar zijn aangenomen, bedragen:

polowidjo	0,2	l/b/sec	gedurende 12 uur;
suikerriet	0,4	„ „	„ ;
padigadoe	0,8	„ „	„ .

In verband met de betrekkelijk ruime rivierdebieten in de maanden Juni en Juli kan voor het openmaken en beplanten van de velden zelfs meer water worden gegeven. Voor de verliezen zijn onderstaande cijfers aangenomen:

a) in het reservoir 6 mm per etmaal;
b) vanaf het reservoir tot de tertiaire leidingen 20%;
c) in de tertiaire leidingen 20 tot 40%.

Zoowel de aangenomen verstrekkingscijfers als de cijfers voor de verliezen zijn hooger dan bij de Goenoengrowobevloeiing benoodigd waren of zijn waargenomen, zoodat zeer zeker gunstige resultaten zijn te verwachten.

Behalve het opmaken van een cultuurschema aan de hand van de beschikbare gegevens betreffende regenval en aanwezige rivierdebieten, moest eveneens de vullingsmogelijkheid van den wadoek bij een stroomgebied van ruim 15 km^2 worden onderzocht. Speciaal moest hierbij worden nagegaan of tijdens het vullen de westmoessonbevloeiing in het Sanigebied hiervan geen nadeeligen invloed zou ondervinden. De uitslag van deze onderzoekingen door ir. S. H. A. Begemann, volgens zijn methoden verricht, beschreven in *De Waterstaat-Ingenieur* Nos. 1, 2 en 3 — 1931, waren alleszins gunstig.

Vooronderzoekingen.

De keuze van het damtype was gevallen op een aarden dam met kleikern in het midden en een draineerende steenstapeling aan de droge zijde.

Dit type dam stelt geen hooge eischen aan de draagkracht van den ondergrond, terwijl aansluiting aan de dalwanden en dalbodem zeer eenvoudig met inkassingen is te verkrijgen. De kosten aan een groote inhoud van het damlichaam verbonden, wegen op tegen de in Ned.-Indië geldende lage arbeidsloonen voor grondverzet. De plastische kern, gesteund door meer doorlaatbare bermen, waarborgt een goede waterdichtheid en stabiliteit, ook ingeval zettingen zouden voorkomen.

Alvorens tot een beslissing kon worden overgegaan, moesten de volgende onderzoekingen, gedeeltelijk geleid door den Geologischen Dienst, worden verricht:

1e) onderzoek naar de doorlaatbaarheid van den bodem van het toekomstige reservoir;
2e) onderzoek naar de draagkracht van den fundeeringsbodem en van de dalwanden ter plaatse van den te bouwen dam, alsmede naar de aanwezigheid van schuiflagen of waterdoorlaatbare lagen.
Hierbij bleek, dat nabij de geprojecteerde damas een kleine bron aanwezig was. Een verschuiving van de damas in de richting van de wadoek, waardoor het bronnetje na capteering in de steenstapeling zou uitmonden, werd voldoende geacht;
3e) onderzoek naar de gunstigste ligging van den aftapkoker c.q. tunnel;
4e) onderzoek naar de aanwezigheid van voldoende materialen voor de kleikern, de bermen en de steenstapeling.

Aanvankelijk werden slechts grondmonsters van de bovenlagen ten onderzoek aan het Laboratorium van de B.O.W. opgezonden. Deze bleken zeer fijn te zijn ($\pm$ 95% $<$ 10 μ) en alleen geschikt als kernmateriaal. Hierop zijn in de omgeving van de bouwplaats op regelmatige afstanden putten gegraven, waaruit bleek, dat de dikte van de fijnkorrelige bovenlaag tusschen 1,50 m en 10 m varieerde. In vele gevallen werden steenlagen aangetroffen boven de hardere padasbanken. Het damlichaam op te bouwen van de fijnkorrelige bovenlagen werd algemeen zeer riskant gevonden, tenzij een veel zwaardere dam met flauwere taluds werd gekozen. De grovere lagen kwamen slechts zeer sporadisch en zeer verspreid aan de oppervlakte voor, zoodat het zich liet aanzien, dat bij droge ontgraving veel nutteloos grondverzet zou moeten worden verricht alvorens de bruikbare lagen konden worden bereikt. Bovendien zou men bij de steenbanken voor zeer groote moeilijkheden komen te staan.

Tenslotte werd besloten den grond door middel van water los te spoelen en naar den dam te transporteeren. Deze natte bouwwijze, de zgn. „full hydraulic fill" methode, was in Ned.-Indië nog nimmer volledig en in het groot toegepast, zoodat besloten werd eenige proeven aan te zetten en een kleinen proefdam van 3 000 m^3 inhoud op te spuiten. Met een geïmproviseerden monitor (capaciteit 10 l/sec bij 2½ at) werd de losgewerkte grond, in de gewenschte verhouding tusschen fijn en grof, met water vermengd en langs open goten naar den op te spuiten proefdam geleid. Hierbij is gebleken, dat bij het beschikbare materiaal een goede verhouding tusschen fijn en grof materiaal was te verkrijgen met betrekkelijk geringe verliezen aan grond. De segregatie op het damlichaam voor de vorming van de bermen en de kern verliep naar wensch, terwijl de consolidatie van de oorspronkelijk zeer slappe kern in alle opzichten aan de gestelde eischen voldeed.

Nadat de beslissing betreffende de toepassing van de „full hydraulic fill" methode was genomen, werden de plannen en werkschema's verder uitgewerkt. Voorgesteld werd om zooveel mogelijk de diepere

lagen (dus de grovere) te exploiteeren, waarbij de verkregen modderbrij door middel van grondpompen, overgenomen van de Bankatinwinning, naar de bouwplaats zou worden opgevoerd.

Voorbereidende werkzaamheden.

Alvorens tot uitvoering van het eigenlijke bouwwerk kon worden overgegaan moesten voorbereidende werkzaamheden worden verricht.

Vooreerst moest de beschikking worden verkregen over de gronden, welke na het totstandkomen van den wadoek zouden worden geïnundeerd, benevens over de gronden voor het emplacement, de toegangswegen, de grond- en steenwinningsplaatsen en de bouwplaats zelve. In totaal werden 214 bouws onteigend, waaronder 94 bouws sawahgronden. De binnen de wadoek gelegen kampongs moesten worden ontruimd. Voor boomen, gewassen en voor het verplaatsen der woningen werd afzonderlijk schadeloosstelling betaald. De bevolking vond in de onmiddellijke omgeving voldoende gelegenheid voor het vormen van nieuwe kampongs met aanliggende bouwgronden, zoodat de onteigening en de ontruiming een zeer vlot verloop hadden.

Een gedeelte van den regentschapsweg van Pati naar Gembong zou het toekomstige wadoekgebied snijden, zoodat deze weg over een lengte van 1 700 m moest worden omgelegd. Voor het transport van materialen en machines werd een toegangsweg met een lengte van plus minus 1 km vanaf de bouwplaats tot den regentschapsweg naar Pati aangelegd. Voor de wegen is een strook van 7 m breedte onteigend; de kruinsbreedte bedraagt 5 m, met een verharding van 3 m. Langs de wegen zijn bermslooten aangebracht, terwijl voorts de noodige duikers werden gebouwd.

Voor den ingenieur-uitvoerder is een tijdelijke woning opgericht, waarin tevens het kantoor voor het administratief personeel werd ondergebracht. Verder werden eenige loodsen voor den opslag van materialen en voor koelielogies gebouwd. Eenige eenvoudige woningen voor tijdelijk Europeesch personeel en een veldlaboratorium bleken later ook noodzakelijk te zijn.

Werkvolk.

Betreffende de *aanwerving, huisvesting en verpleging* van het werkvolk kan het volgende worden medegedeeld.

Gemiddeld werd met 700 koelies gewerkt. Enkele maanden bedroeg het aantal zelfs 1 000 man, doch dit aantal is later in verband met de werkzaamheden weder teruggebracht tot 300. De vaklieden, zooals timmerlieden, metselaars en smeden werden veelal op de omliggende fabrieken aangeworven. Dit leverde, mede tengevolge van het intreden van de malaise, geen moeilijkheden op. Voor het verzamelen en verwerken van steen bleken de koelies uit de omgeving totaal ongeschikt, zoodat hiervoor geschoold volk uit het Rembangsche (Pamotan), en vooral uit het Tegalsche werd aangeworven. Geregeld waren 100 à 200 steenwerkers op het werk, welke ploegsgewijze om de 10 of 20 dagen naar huis vertrokken. Met het aanwerven van grondverzetkoelies, en dit was de groote massa, zijn meer moeilijkheden ondervonden. Over het algemeen was de bevolking in de omgeving van het werk niet genegen grondverzet te verrichten. Het feit, dat niet lang tevoren betrekkelijk groote sommen aan de bevolking waren uitbetaald voor de onteigende gronden, zal ook wel hebben medegewerkt om de werklust niet te verhoogen. Evenwel konden ook de aangeworven koelies uit andere streken dikwijls met moeite aan het werk gezet worden. Dezerzijds wordt dit daaraan toegeschreven, dat een groot gedeelte van het grondverzet in dagloon en niet in taakloon geschiedde. Zooals bij de verdere bespreking zal blijken, was voor het regelmatig werken van de grondpompen geen andere oplossing mogelijk. Op andere gedeelten, waar taakloon wel mogelijk was en dit werd berekend naar de prestaties van de koelies in dagloon, bleek meerendeels dat een koelie in taakloon minder dan een daglooner verdiende. En toch liepen vele koelies van het dagloon naar het taakloon over, omdat het werk tegen dagloon hen te zwaar was. Het geven van regelmatige rusttijden teneinde het voortdurend jachten t.b.v. de pompen minder zwaar te maken, heeft geen verbetering gebracht. De Inlander bleek het rusten naar eigen goeddunken, zooals dit bij boronganwerk (taakloon) mogelijk was, verre te verkiezen boven werk in dagloon onder strenge contrôle. De normale dagprestatie in taakwerk was lager dan in dagloon, omdat een koelie in taakloon zich een lange rustperiode gunde en vroegtijdig huiswaarts keerde. De beste koelies werden uit het Koedoesche en uit Japara aangeworven, doch de voortdurende wisseling heeft meermalen tot een ernstig tekort aan werkvolk geleid. De huisvesting gaf geen bijzondere aanleiding tot moeilijkheden. Liefst zochten de koelies gezamenlijk onderdak in de omliggende kampongwoningen of warongs, meest in ploegen van 10 tot 40 man. De speciaal voor het onderdak van koelies gebouwde loodsen konden circa 300 à 400 man herbergen, doch werden als doorgangshuizen beschouwd voor de nieuw aangekomenen, totdat zij dessagewijze onderdak hadden gevonden.

Hoewel aanvankelijk gemeend werd, dat het misschien noodig zou zijn van Gouvernementswege een regeling te treffen voor den aanvoer en verdeeling van voedingsmiddelen (rijst), bleek al spoedig dat een groot aantal warongs (eethuizen) als paddestoelen uit den grond verrezen, aangevuld door vele rondwandelende verkoopers. De concurrentie hield de prijzen laag, terwijl warongs, waarin herhaaldelijk moeilijkheden voorkwamen, eenvoudig buiten het terrein der werkzaamheden werden gezet.

De ziekenverpleging en ziekenbehandeling leverde meer zorgen op. Tengevolge van het werken met de scherpkantige steenen kwamen zeer vele voet- en handwonden voor. De Inlander is geneigd om hiermede door te werken na een zelfbehandeling met klei, rotte bladeren of nog erger. Nadat een behoorlijke infectie is ingetreden, zijn zij pas te bewegen, zich onder deskundige, geneeskundige behandeling te stellen, doch in vele gevallen is het dan reeds te laat of kunnen zij gedurende langen tijd geen werk verrichten. Een en ander heeft aanleiding ge-

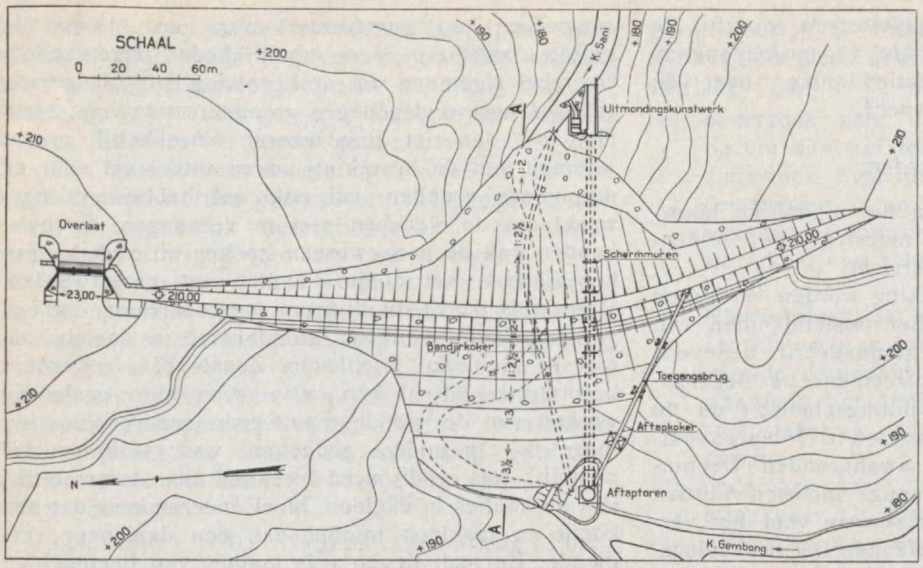


Fig. 1. Situatie dam Gembong.

geven tot het instellen van verplichte geneeskundige behandeling op straffe van ontslag. Hieruit vloeit natuurlijk voort, dat tijdens de ziekte het loon moet worden doorbetaald. Eenvoudige gevallen werden op het werk door een gediplomeerd mantri-verpleger (tevens laborant op het laboratorium) behandeld, terwijl de ernstige zieken voor behandeling door den Gouvernementsarts naar de kliniek te Pati werden vervoerd. Aan koelies met verwondingen werd lichte dienst opgedragen, zooals contrôleposten bij de pompstations enz. Simulatie kwam niet of sporadisch voor. Toen de koelies begrepen, dat bij tijdige behandeling van wonden niet chirurgisch behoefde te worden ingegrepen, kwamen de patiënten al meer en meer uit eigen beweging op het ziekenrapport vóór den aanvang van den dienst.

Algemeene opzet.

Voor het vormen van den wadoek is het dal van de kali Sani tot het peil van + 210 met een aarden dam afgesloten (zie *fig. 1*). Het eigenlijke damlichaam bestaat uit een nagenoeg waterdichte kleikern tusschen meer doorlaatbare bermen, aan de droge zijde gesteund door een draineerende steenstapeling (zie *fig. 2*). Ter plaatse van de afsluiting ligt de kalibodem op + 172, zoodat de dam een hoogte van 38 m bereikt. De taludhelling aan de waterzijde bedraagt aan den teen 1 op 3½ overgaande tot 1 op 2 nabij de kruin. De droge zijde heeft daarentegen een taludhelling van 1 op 2½. De wadoek heeft bij volpeil tot + 207 een inhoud van rond 10 millioen m³, zoodat de waking van den dam 3 m bedraagt. De kruinsbreedte bedraagt 6 m, de voetbreedte 185 m, de lengte over de kruin gemeten 380 m.

Het aftappen van het bevloeiingswater geschiedt door middel van afsluiters aan de waterzijde van den dam. De *afsluitmiddelen* zijn gebouwd in een *toren*, welke toegang geeft tot den *aftapkoker*. Deze aftapkoker loopt onder den dam door en mondt aan de droge zijde bij het zgn. *uitmondingskunstwerk* uit.

De bediening van de afsluitmiddelen geschiedt op het bovenste bordes in den toren ter hoogte van de kruin van den dam. De toegang van de damkruin naar den toren wordt verkregen door een 123 m lange *bedieningsbrug*. Teneinde te voorkomen, dat na het bereiken van het volpeil overslag over het damlichaam zou plaats hebben, is op den linkeroever een *overlaat* gebouwd.

Verwerkte hoeveelheden.

Inhoud van het damlichaam.....	245 000 m³ grond 65 000 m³ steen	
	310 000 m³	
Beton	Aftapkoker en bandjirkoker.	1 800 m³
	Aftaptoren	900 m³
	tezamen...	2 700 m³
Metselwerk	Uitmondingskunstwerk	850 m³
	Overlaat	800 m³
	Brugfundatie en kleine werken	350 m³
	tezamen...	2 000 m³
IJzerwerken	Wapeningsijzer tunnels en toren...	190 ton
	Afsluitmiddelen	130 ton
	Trappen, bordessen enz.	20 ton
	Bedieningsbrug met pijlers	110 ton
	tezamen...	450 ton

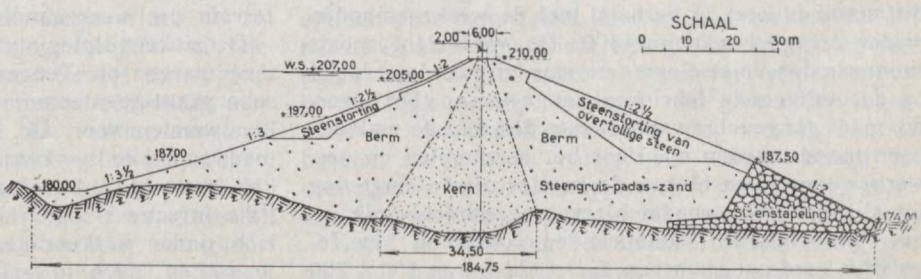


Fig. 2. Doorsnede over den dam (volgens de lijn AA van fig. 1.)

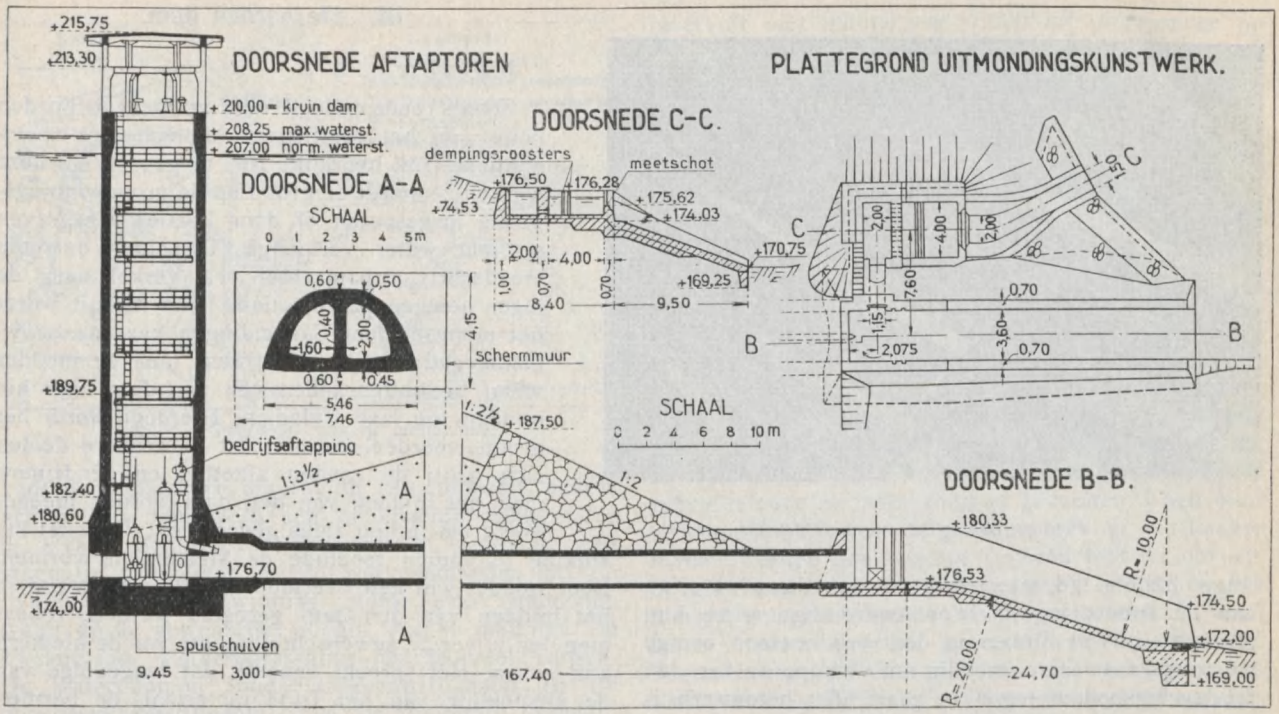


Fig. 3. Doorsnede over aftaptoren, aftapkoker en uitmondingskunstwerk.

II. Aftapkoker, Bandjirkoker en Uitmondingskunstwerk.

Ontwerp.

Tijdens den bouw van het damlichaam moest de kali worden omgelegd. Het ligt voor de hand, dat hiervoor de aftapkoker werd gekozen. Echter zou voor het volledig afvoeren van een bandjir een abnormaal groote afmeting vereischt zijn. Besloten werd daarom aan den *aftapkoker* slechts een zoodanige afmeting te geven als voor spuien en inspectie noodig werd geacht, terwijl bovendien een zgn. *bandjirkoker* zou worden gebouwd. Indien deze beide kokers in den westmoesson 1930-1931 werden gebouwd, zouden zij in den oostmoesson 1931 in gebruik kunnen worden genomen en een aanvang kunnen worden gemaakt met den bouw van het aarden damlichaam. De benoodigde capaciteit voor beide kokers is berekend volgens de methode I m m i n k, waarbij is gerekend op een voorwaterstand van + 190,50 (dit is 15 m boven den kalibodem aan de waterzijde van den dam). Hierbij is uitgegaan van de veronderstelling, dat in November 1931 een damhoogte van + 192 met een inhoud van 140 000 m^3 grond en steen zou moeten worden bereikt, hetgeen als een vrij zware eisch voor grondverzet is te beschouwen. Uit de berekeningen volgde, dat behalve een aftapkoker van 5 m^2 doorstroomingsprofiel nog een extra bandjirkoker met 3,14 m^2 doorstroomingsprofiel benoodigd zou zijn. Boven het peil van + 195 zou uitsluitend met een aftapkoker kunnen worden volstaan en is de bandjirkoker overbodig, zoodat de laatste aanmerkelijk lichter kon worden gebouwd. Aangezien de afsluitmiddelen zich aan de waterzijde van den dam bevinden, staan de kokers niet onder inwendigen druk, doch zijn zij berekend op uitwendigen grond- en waterdruk. De aftapkoker is met het oog op de dubbele aftapinstallatie, door middel van een vertikaal tusschenschot, in twee gedeelten verdeeld. Hierdoor is steeds inspectie en reparatie mogelijk zonder de bevloeiing te staken. Voor den bandjirkoker is de cirkelvorm gekozen met een diameter van 2 m. Deze koker werd later zorgvuldig met beton en steenen opgevuld.

Doorsneden over den aftaptoren, den aftapkoker en het uitmondingskunstwerk zijn gegeven in *fig. 3.*

Het *uitmondingskunstwerk* bestaat uit een schotbalksluis met storthelling naar de oude rivier. Voor het meten van het bevloeiingswater moeten de schotbalken worden ingezet en wordt het water zijdelings, na openen van een inlaatschuif, naar een woelbak en meetbak met meetschot gevoerd. Terloops zij opgemerkt, dat deze meetinrichting alleen in gebruik genomen behoeft te worden, wanneer de meetinrichting in den toren moet worden schoongemaakt of gecontroleerd. Tijdens het spuien moeten de schotbalken natuurlijk verwijderd zijn en stroomt het water vrijuit over de storthelling naar de kali. De ligging van de uitmonding is zoodanig gekozen, dat geen aantasting van den hiel van den dam kan plaats hebben.

Uitvoering.

Voor den bouw van den aftapkoker werd op den rechteroever een sleuf uitgegraven met een breedte van 5,60 m en taluds van 1 op ½. De diepte van de ontgraving bedroeg op enkele gedeelten 12 m. Het grondverzet geschiedde op de hier te lande algemeen gebruikelijke wijze met mandjes en kiplorries. De aftapkoker was onder een zeer ge-

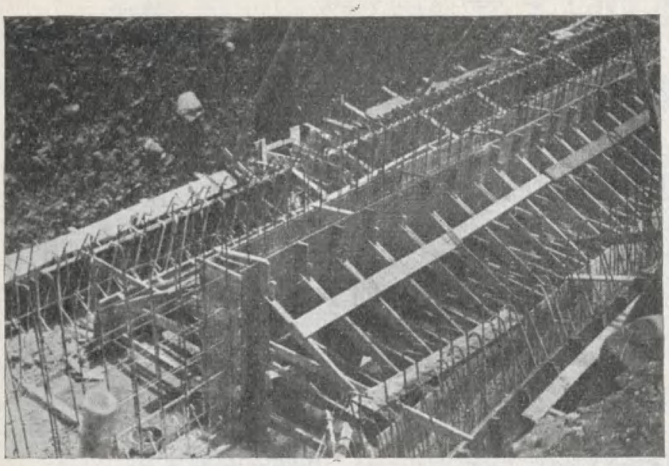


Fig. 4. Bekisting voor aftapkoker.

ringe helling geprojecteerd, zoodat de afwatering van de fundeeringssleuf op eenvoudige wijze kon geschieden. Wel bleken in den westmoesson eenige voorzorgsmaatregelen noodig om verpapping van den fundeeringsbodem tegen te gaan. Het betonwerk is uitgevoerd door de Hollandsche Beton Maatschappij. *Fig. 4* toont de bekisting voor den aftapkoker. De mengverhouding van het beton bedroeg 1 P. C. op 2 steenslag op 3 zand. De betonmolen werd hoog op den oever opgesteld, ongeveer in het midden van den 184 m langen koker en in de onmiddellijke omgeving van de opslagplaatsen voor zand en steenslag. Het beton werd door middel van open goten uit den molen naar het werk gevoerd. De ontgraving t.b.v. den bandjirkoker was van veel geringeren omvang dan die van den aftapkoker, aangezien men niet gebonden was aan een recht tracé. Daar evenwel een gedeelte in de oude kalibedding zou komen te liggen, kon met den bouw van den laatstgenoemden koker pas begonnen worden, nadat de aftapkoker voor het omleggen van de kali in gebruik genomen was. Beide kokers zijn voorzien van een viertal betonschermen, welke in de zijwanden van de ontgravingssleuf zijn ingekast om te voorkomen, dat later de gladde vlakken langs de kokers aanleiding tot onder- en achterloopschheid van het kunstwerk zouden geven.

Bovendien zijn in den aftapkoker op afstanden van 5 m aan beide wanden buizen ingebetonneerd om eventueel cement rondom den buitenwand te kunnen inpersen ter opvulling van door klink of uitspoeling ontstane holten. Deze buizen zijn aan de binnenzijde van den koker voorzien van doppen met schroefdraad. Tot heden zijn zij nog niet noodig gebleken. Het uitmondingskunstwerk bestaat uit metselwerk in trasspecie, met een bekleeding in cementspecie ter dikte van 0,25 m. Het gebruik van kalkspecie bleek in den westmoesson voor buitenwerk niet aanbevelenswaardig, daar wegens de veelé regens gevaar voor uitspoeling bestond. Voor de overige kunstwerken is dan ook overgegaan tot het gebruik van slappe cementspecie, hetgeen zonder verhooging van kosten de deugdelijkheid van het werk aanmerkelijk verbeterde.

III. De aarden dam.

Werkwijze.

Zooals reeds onder I werd vermeld, is bij den bouw van het damlichaam de volledige spoelmethode (full hydraulic fill) toegepast. Bij deze werkwijze wordt de grond op de grondwinningsplaats losgespoten of door koelies afgegraven en met water vermengd. De aldus ontstane modderbrij stroomt met vrij verval naar de lager gelegen pompstations. Van hieruit wordt het mengsel door buisleidingen naar de bouwplaats getransporteerd, alwaar men de modder vanaf de buitenranden van den dam naar het midden toe laat afvloeien. Hierdoor wordt het groote voordeel bereikt, dat de grovere deelen zich nabij de randen afzetten en de fijnere naar het midden van den dam worden meegevoerd om in den aldus gevormden vijver tot bezinking te komen teneinde de kleikern te vormen. Door middel van een overloop kan de waterstand in het midden van den dam geregeld worden, zoodat men den vijver de gewenschte breedte van de kleikern kan geven. Het spreekt vanzelf, dat tengevolge van de uitspoeling van het fijne materiaal, de bermen aanmerkelijk grover zullen zijn en dus minder neiging tot afschuiving zullen vertoonen dan bij een gewalsten dam, bij welke het beschikbaar materiaal zonder segregatie in het damlichaam wordt verwerkt. Het zwakke punt bij de natte bouwwijze is de vorming van den kleikern.

Een uitgebreid dagelijksch laboratoriumonderzoek naar het verloop van de consolidatie van de kern werd noodig geacht, daar anders de stabiliteit van het bouwwerk ongemerkt ernstig in gevaar zou kunnen worden gebracht. De redenen, waarom tot spoelend grondverzet werd besloten, zijn in hoofdzaak de volgende:

1e. De fijnkorrelige bovenlagen, welke voor de bermen waren afgekeurd, konden slechts dan in den dam worden verwerkt, indien menging met onderliggende grovere lagen werd verkregen.

2e. De direct bruikbare grovere lagen waren op zoodanig laag peil gelegen, dat opvoer door middel van railbaantransport bezwaarlijk werd geacht.

3e. De veelvuldig voorkomende steenbanken tusschen de fijne oppervlaktelaag en de dieper gelegen padasbanken zouden bij droog grondverzet onoverkomelijke moeilijkheden kunnen veroorzaken, terwijl bij gebruikmaking van monitors (waterkanonnen) vermoedelijk minder bezwaren zouden worden ondervonden.

4e. De verkregen resultaten bij den opgespoelden proefdam wezen op een goede segregatie van het beschikbare materiaal en goede consolidatie van de kern, zoodat de kwaliteit van den gespoelden dam beter beloofde te worden, dan van een gewalsten dam.

De keuze van de plaatsen voor grondwinning viel op twee terreinen op de beide oevers aan de droge zijde van den dam gelegen (zie *fig. 5*). Als grens

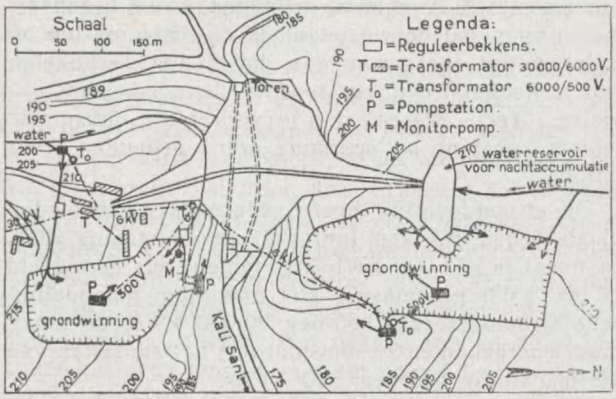


Fig. 5. Overzicht van de bouwplaats.

voor de toelaatbare ontgraving van de beide oevers achter den dam werd een denkbeeldig vlak onder 5 : 1 vanaf den damvoet aangenomen. Teneinde geen stagnatie te krijgen in de werkzaamheden bij de hydraulische grondwinning moest over voldoende water op de gewenschte hoogte worden beschikt. De kwestie der *watervoorziening* baarde veel zorgen. De waterpompen (middeldrukcentrifugaals) en de hoogedrukcentrifugaals voor de monitors werden, evenals de grondpompen voor het opvoeren van de bagger, door electromotoren gedreven, zoodat een volledige *electriciteitvoorziening* van het geheele bouwterrein noodig was. De *pompstations*, de *grond- en steenwinning* en de *werkzaamheden op het damlichaam* zullen in het ondervolgende afzonderlijk worden behandeld. De steenwinning en het steentransport en het verwerken in den dam vormden een bedrijf op zichzelf. Ook de uitgebreide *laboratoriumonderzoekingen* zullen afzonderlijk worden besproken.

Watervoorziening.

In verband met de vereischte hoogte van den dam bij het intreden van den westmoesson moest gerekend worden op een grondverzet van 140 000 m³ in de maanden Juni t.m. November, overeenkomende met 30 000 m³ per maand of 1 000 m³ per dag. Met inbegrip van de verliezen aan water en aan grond, is voor elken m³ nuttige grondopbrengst ruim 10 maal zooveel water noodig, zegge 10 000 m³ per dag. Het verbruik van een grondpomp is bij 3 m snelheid in 8″ buizen te stellen op rond 100 l per seconde of 3 600 m³ per dag van 10 uur. Gemiddeld zouden dus 3 pompen een vollen werkdag in bedrijf gesteld moeten worden. Aangezien op beide oevers een grondwinningsplaats was gekozen, moest het dus mogelijk zijn op één oever gedurende den vollen werkdag twee pompen in werking te stellen, waarvoor een waterhoeveelheid van rond 7 000 m³ benoodigd zou zijn. De hoeveelheid beschikbaar water was gering, zoodat besloten werd op iederen oever een reservoir met inhoud van minstens 7 000 m³ aan te leggen, en afwisselend op den linker- en den rechteroever met een of twee pompen te werken. Hiervoor moest dus een constante toevoer aanwezig zijn van $\frac{30 \text{ pompuren} \times 360 \text{ m}^3}{2 \times 24 \text{ uur}} = 225 \text{ m}^3$ per uur $= 63$ l per seconde. Op den linkeroever is te dien einde een reservoir met inhoud van 7 000 m³ uitgegraven op de plaats, waar later de overlaat zou worden gebouwd. Dit reservoir was zeer gunstig gelegen ten opzichte van de grondwinningsplaats. De vulling geschiedde uit een nevenriviertje door middel van een open leiding. Op den rechteroever kon evenwel geen water worden gebracht op zoodanig peil, dat hiermede ook de hoogere gedeelten der grondwinningsplaats konden worden bestreken. Het reservoir werd hier gevormd door afdamming van een bovenstrooms gelegen ravijntje van de kali Sani; dit reservoir werd door een plus minus 2 km lange leiding met de grondwinningsplaats verbonden. Een gedeelte van dit water (60 l/sec) werd opgepompt naar een 15 m hooger gelegen pompreservoir van 300 m³ inhoud teneinde de hooger gelegen gedeelten te kunnen bestrijken, terwijl het overige water werd gebruikt voor de lager gelegen gedeelten. Toen later de pompstations voor de grondpompen op een hooger niveau werden geplaatst in verband met de opvoerhoogte naar den dam, moest al het water op het hooger gelegen gedeelte worden gebracht en werd hierbij tevens gebruik gemaakt van een monitor. Tezamen met de 60 l/sec van de waterpomp was 120 l/sec beschikbaar, dus voldoende voor één grondpomp, doch niet voor twee. In den oostmoesson liepen de debieten van de toevoerleidingen zoowel op den linker- als op den rechteroever tot ver beneden 60 l/sec terug, zoodat het onmogelijk was om hiermede een gemiddelde van 30 pompuren per dag te bereiken. Gedurende de allerdroogste periode is een waterpomp aan den voet van den dam opgesteld teneinde een gedeelte van het reeds gebruikte water weder naar de grondwinningsplaatsen terug te pompen. Evenwel was de hiervoor beschikbare waterpomp met motor niet krachtig genoeg, terwijl met het oog op de capaciteit van den hoofdtransformator geen zwaardere installatie kon worden gebouwd. Bovendien bleek het ook om vele redenen van technischen aard, welke later zullen worden beschreven, niet mogelijk om op de grondwinningsplaats regelmatig den éénen dag met één en den anderen dag met twee pompen te werken. Herhaaldelijk moesten in den oostmoesson om 3 uur n.m. de pompwerkzaamheden worden gestopt wegens watertekort. De stagnatie om andere redenen dan watergebrek hadden geen of weinig invloed op het totaal aantal pompuren, daar men geen water onbenut liet wegloopen. Het aantal bereikte pompuren bedroeg 500 à 700 per maand.

Electrische installatie.

Voor het aandrijven van de pompen werd de voorkeur gegeven aan electromotoren boven ruwoliemotoren of Diesels om ondervolgende redenen:

1e. Betrekkelijk gemakkelijke verplaatsbaarheid.
2e. Eenvoudige bediening bij de pompstations, zoodat geschoold technisch personeel uitsluitend bij de centrale noodig was.
3e. Mindere gevoeligheid voor beschadiging en dus minder kans op stagnatie.
4e. Electromotoren en transformatoren konden

van de Bankatinwinning tegelijk met het pomp- en spuitmateriaal overgenomen worden.

Een tweede vraag was, of voor de opwekking van de electrische energie een eigen centrale moest worden gebouwd, dan wel de energie zou kunnen worden betrokken uit de calorische centrale van de A.N.I.E.M. te Koedoes. Daar het hier slechts de levering van minder dan 1 000 000 kWh betrof werd de bouw van een eigen centrale met de daaraan verbonden aanleg- en exploitatiekosten niet rendabel geacht. Met de A.N.I.E.M. werd een contract afgesloten voor de levering van electrische energie onder de volgende voorwaarden:

a) het *verbruiksrecht* werd berekend naar de afgenomen energie en wel 4 ct. per kWh bij een afname kleiner dan 700 000 kWh en vervolgens bij grootere afname successievelijk verminderd tot 3 ct. per kWh bij een afname boven 1 000 000 kWh;

b) het *belastingrecht* (vast recht) werd berekend naar de maximum kVA binnen een maand opgetreden (stroomstoot) en wel *f* 35,— per maand en per 10 kVA.

De energie werd opgewekt in de calorische centrale te Koedoes en aldaar in een speciaal t.b.v. de Gembongwerken gebouwd transformatorstation omgezet in draaistroom met een spanning van 30 000 volt. Het overbrengen van de energie geschiedde via een 18 km lange leiding op houten masten. Op Gembong werd door den hoofdtransformator de spanning van 30 000 volt weder tot 6 000 volt gereduceerd. Uit laatstgenoemd station geschiedde de distributie van de energie over de bouwplaats en naar de verschillende pompstations door kabels dan wel leidingen onder 6 000 volt. In de nabijheid der pompstations werd door veldtransformatoren de spanning tot 500 volt (c.q. 220 volt) teruggebracht. De motoren van de pompen (bedrijfsspanning 500 volt) hadden ieder een afzonderlijken veldtransformator van 150 kVA, welke evenwel niet werd verplaatst bij kleine verplaatsingen van het pompstation. Het laboratorium voor grondonderzoek was aangesloten op den 220 volt-transformator in het transformatorstation. De beide hoofdstations te Koedoes en te Gembong en de vrije leidingen op het bouwterrein waren tegen blikseminslag gezekerd. Bovendien waren automatische olieschakelaars aangebracht. De distributieleidingen van 6 000 volt konden in het station elk afzonderlijk ingeschakeld worden, waarbij iedere leiding tevens van de benoodigde zekeringen was voorzien. Voor de 500 volt-leidingen waren zekeringen aangebracht in de schakelkasten van de pompstations en in de aanlooptransformatoren (c.q. weerstanden). De hoogspanningslijn op houten masten gaf in den regentijd herhaaldelijk aanleiding tot storingen, welke evenwel veelal in den namiddag of 's nachts voorkwamen en door het personeel van de Aniem zeer spoedig in orde werden gebracht, zoodat het bedrijf hiervan weinig stagnatie heeft ondervonden. In den westmoesson werd de hoogspanningslijn Koedoes — Gembong ook 's nachts onder spanning gehouden. Indien hieraan niet de hand werd gehouden, kwam het meermalen voor, dat de weerstand in de natte masten en isolatiepotten zoo gering was, dat bij het inschakelen een te hooge stroom ontstond en de schakelaars uitvielen. Toch waren de lekverliezen, indien de leiding constant op spanning werd gehouden, zeer miniem.

De stroomlevering heeft gedurende 15 maanden plaats gehad, n.l. van Juni 1931 t.m. Augustus 1932. In totaal is 841 000 kWh afgenomen, dus gemiddeld 56 000 kWh per maand. Het maximum maandelijksche stroomverbruik bedroeg 80 000 kWh, de maximum voorgekomen stroomstoot (bij het aanzetten van de machines) bedroeg 500 kVA.

Pompinstallatie.

Het pomp- en spuitmaterieel met electromotoren en bijbehoorende aanlooptransformatoren, transformatoren, schakelkasten enz. is, zooals vermeld, overgenomen van de Bankatinwinning. In totaal stonden ter beschikking:

4	grondpompen met motor	150 pk.....	600	pk
2	monitors „ „	150 „.....	300	„
1	waterpomp „ „	60 „.....	60	„
1	waterpomp „ „	40 „.....	40	„
		Totaal beschikbaar...	1 000	pk

De *grondpompen* werden aangedreven door middel van 150 pk-motoren met kooianker. Aangezien het toerental van de motoren (circa 1 450) 2 à 3 maal zoo groot was als dat van de grondpompen, moest een tusschendrijfwerk worden ingeschakeld. Aanvankelijk werd hiermede eenige misère ondervonden, aangezien de voor dit drijfwerk geleverde riemen en riemverbinders niet voldeden. Voor de overbrenging van de kracht van den motor op het tusschendrijfwerk (riemsnelheid ± 30 m/sec) bleken de 12″/6-ply rubberriemen met „Alligatorverbinders" No. 45 het beste te voldoen. Bij de overbrenging van de kracht van het tusschendrijfwerk op de pompen was de riemsnelheid geringer (circa 20 m/sec) en de riemspanning grooter en bleken 12″ kameelharenriemen met „Jacksonverbinders" het meest geschikt. Eindlooze riemen hebben niet voldaan, omdat dit moeilijkheden veroorzaakte bij het uitwisselen van onderdeelen. De motorpulley was afzonderlijk op kogellagers gelagerd en met flexibele koppeling aan den motor aangesloten, zoodat bij dezen geen lagerdruk tengevolge van de riemspanning ontstond. Het tusschendrijfwerk was op drie kogellagers gelagerd, welke op spansleden waren opgelegd. De fundatieplaat van den motor met pulley was in zijn geheel verstelbaar op een profielijzeren spanslede. Voor het opvoeren van de bagger zijn grondpompen type 1920, 8″ buizen, waaierdiameter 0,65 m, gebezigd. Dit type centrifugaalpompen is bij het Bankatinbedrijf als het ware gegroeid uit de elders bekende zand- of slikpompen, doch wijkt in zooverre van de laatsten af, dat alle onderdeelen in korten tijd door nieuwe zijn te vervangen, zonder dat men tot algeheele demontage behoeft over te gaan. Het was namelijk

gebleken, dat bij grond vermengd met steenen tot 15 cm grootte, de slijtage van den waaier en het pomphuis aanmerkelijk sneller verliep dan van de andere onderdeelen. Het veelvuldig vervangen van deze onderdeelen, bestaande uit gewoon gietijzer (en dus betrekkelijk goedkoop), bleek doelmatiger dan een uitvoering in duurder, doch eveneens aan slijtage onderhevig materiaal, zooals speciaal hard gietijzeren binnenhuis en verwisselbare waaierschoepen. Een pomphuis van gewoon gietijzer (dikte 30 mm) doet op Banka minstens 175 werkuren, gemiddeld echter 600 werkuren, dienst. Het deksel aan de zuigzijde houdt het even lang uit als het pomphuis, de waaier echter twee maal zoo lang. Daarom zijn ook voor Gembong een groote hoeveelheid reserve-onderdeelen bijgeleverd. Evenwel behoefde nimmer een waaier, pomphuis of deksel uitgewisseld te worden, niettegenstaande het aantal pompuren minstens 1 500, in één geval zelfs meer dan 3 000 heeft bedragen. Hieruit blijkt wel het groote verschil in grondsoort. Ook het buizenmateriaal was te Gembong veel minder aan slijtage onderhevig. De gietijzeren lagers, de rubberafdichtingen en de asbussen moesten meerdere malen worden vernieuwd. Boven een toerental van 600 vertoonden de lagers meermalen neiging tot warmloopen, zoodat gedeeltelijk de gietijzeren lagers door Babbitlagers zijn vervangen. Te Gembong was het niet noodig boven een toerental van 650 te gaan, daar het voordeeliger was en mogelijk bleek om de pompstations op een hooger niveau te plaatsen, toen de dam tot + 192 was gevorderd. De geometrische opvoerhoogte, welke bij een bepaalde manometrische opvoerhoogte kan worden bereikt, is afhankelijk van de buislengte en de wrijvingsverliezen in de buizen. De op Banka geldende verhouding: $\frac{\text{manometrische opvoerhoogte}}{\text{geometrische opvoerhoogte}} = 1{,}7$ bij 100 m buislengte, kon hier niet worden toegepast, daar de buislengte varieerde tusschen 160 en 300 m. Teneinde de benoodigde manometrische opvoerhoogte (ter bepaling van het benoodigde toerental en den riemschijfdiameter) op elk tijdstip en voor iedere pomp te kunnen bepalen, werd aanvankelijk uitgegaan van het op Banka empirisch gevonden wrijvingsgetal van 5,15 m per 100 m buislengte en bij 3 m snelheid. Deze waarde voor den wrijvingsweerstand bleek voor den grond te Gembong te laag te zijn, zoodat in den aanvang meermalen pijpverstoppingen voorkwamen wegens een te geringe snelheid in de buizen. Teneinde den juisten weerstand te kunnen vaststellen werd bij verscheidene pompen de manometrische opvoerhoogte d.m.v. manometer en vacuummeter gemeten. Verder werd de geometrische opvoerhoogte bepaald naar het hoogteverschil tusschen zuigleiding en uitmonding op het stort. Neemt men een s.g. van de bagger van 1,1 aan en is tevens de lengte van de leiding bekend, dan kan uit deze gegevens naar onderstaande betrekking de wrijvingsweerstand a per 100 m globaal worden berekend: manometrische opvoerhoogte = geometrische opvoerhoogte $\times$ 1,1 + $a \times \frac{\text{de lengte v/d buis}}{100}$.

Van onderstaande pompen bedroeg de opbrengst 100 l/sec = 3 m snelheid in 8″ buizen.

manometrische opvoerhoogte	geometrische opvoerhoogte	lengte v/d pijpleiding	berekende wrijvingsweerstand *a*
26,5 m.	7,75 m.	272 m.	6,61 m/100 m.
26,– ,,	8,65 ,,	237 ,,	6,96 ,, ,,
30,5 ,,	17,75 ,,	191 ,,	5,7 ,, ,,
29,– ,,	16,90 ,,	157 ,,	6,6 ,, ,,

Voor de berekening van den benoodigden riemschijfdiameter werd te Gembong uitgegaan van een aanname voor den wrijvingsweerstand van 6,5 m per 100 m, waarna tenslotte bleek, dat ongeveer een opbrengst van 100 l/sec werd verkregen. Het maximum benoodigde toerental bleek 650 te zijn, overeenkomende met een manometrische opvoerhoogte van 35,5 m. De opbrengst van de pompen bij 3 m snelheid in de buizen was zeer verschillend en afhankelijk van den aard van het te transporteeren materiaal. Bij het verwerken van uitsluitend grof materiaal bestaande uit padasbrokken en steenschilfers tot 15 cm grootte, kon niet meer worden verwerkt dan maximum 200 m³ per dag, overeenkomende met 20 m³ per uur of een mengverhouding grond op water van 1 op 18. Daarentegen kon bij uitsluitend fijn materiaal, bestaande uit rood lateriet, gedeeltelijk in gemakkelijk uiteenvallende brokken en vermengd met fijn grind, een opbrengst van 800 m³ per dag, overeenkomende met 80 m³ per uur of een mengverhouding van 1 : 4½, worden bereikt. De gemiddelde capaciteit wordt op Banka gesteld op 50 m³ per uur. Aangezien evenwel voor de bermen van den dam te Gembong veel grof materiaal noodig was, terwijl een overmatige hoeveelheid fijn materiaal door den overloopkoker boven de kern afvloeide, kon de nuttige opbrengst op het damlichaam slechts op 25 à 30 m³ per uur worden gesteld. Een vergrooting van de snelheid in de buizen bij dezelfde mengverhouding gaf aanleiding tot pijpverstoppingen. Vermoedelijk werd hierbij de onderlinge wrijving van de brokstukken onevenredig verhoogd. Wel kon de opbrengst worden vermeerderd, indien bij grootere snelheid genoegen werd genomen met een kleinere mengverhouding, doch het krachtverbruik per m³ werd op deze wijze verhoogd. Alvorens de bagger in den zuigput van de pomp werd toegelaten moest deze zoodanig worden afgezeefd, dat de maximum afmeting van 15 cm niet overschreden werd. Een horizontaal dubbel roosterwerk van 1½″ ronde staven en maaswijdte varieerende tusschen 7 en 12 cm heeft niet voldaan. Herhaaldelijk traden hierbij zeefverstoppingen op, zoodat de pomp geen toevoer meer kreeg en pijpverstoppingen volgden. Bij de grootste maaswijdte traden ook pijpverstoppingen op zonder voorafgaande roosterverstoppingen en zelfs bij kleinere dan de maximum toelaatbare mengverhouding; een bewijs, dat de maaswijdte van 12 cm te groote stukken kan doorlaten. Algemeen kan men aannemen, dat de benoodigde maaswijdte niet grooter mag zijn dan 2/3 van de maximum toelaatbare afmeting, in dit geval dus niet grooter dan 10 cm. Tenslotte is te Gembong overgegaan tot een ander

type zeef, dat zeer goed heeft voldaan. Deze zeef bestond uit een enkelvoudig roosterwerk van 7 kg rails opgesteld in de goot onder een hoek van plus minus 30° met een tusschenruimte van 7½ cm (d.w.z. 12½ cm hart op hart). De platte kant (voet van de rail) was naar boven, dus tegen den stroom in, gericht. De brokstukken lieten zich hierop gemakkelijk stukslaan zonder te klemmen; groote steenen werden met den patjol omhooggetrokken en uitgevischt. Bovendien had men hier het voordeel van een grondberging in de toevoersloot vóór het rooster, zoodat bij dreigende pijpverstopping de grond voor het rooster kon worden vastgehouden zonder den toevoer van water te stremmen. Voor het toezicht op de zeef en het openhouden van de zuigleiding in de zuigput is een zeer vlotte en handige mandoer noodig. Deze moet steeds door teekens aan den werkbaas op de grondwinningsplaats te kennen geven of de toegevoerde hoeveelheid water en grond overeenkomen met de capaciteit van de pomp. Een kleine onregelmatigheid in den toevoer bij volbelaste pomp geeft onmiddellijk aanleiding tot pijpverstoppingen.

Op elken oever was een pompstation met twee grondpompen opgesteld. Toen in 1931 een geforceerd grondverzet werd geëischt van 1 000 m³ per dag bleek het niet mogelijk om met deze installatie ruim 30 pompuren per dag te bereiken, afgezien van het feit, dat hiervoor onvoldoende water beschikbaar was. Voor elke pomp is namelijk een zeker aantal koelies voor grondverzet noodig, werkend op een voldoende lang werkfront. Wanneer nu drie pompen gedurende 10 uur per dag moeten doordraaien, moeten op één der beide oevers beide pompen in werking zijn. Stagnatie in de pompstations veroorzaakte onmiddellijk een overtollig aantal koelies, die niet ineens naar het werkfront op den anderen oever waren over te brengen. Immers werd aldaar veelal van het buiten bedrijf staan der tweede pomp gebruik gemaakt om de installatie schoon te maken, voorgaande storingen op te heffen of buisleidingen te verleggen. Teneinde de verloren pompuren weder in te halen werd op andere tijdstippen weer met 4 pompen gewerkt. De koeliebezetting moest dus voor 4 pompen zijn berekend. Aanvankelijk werd de koeliereserve gevonden bij de steenwerkers, doch hierdoor kreeg men natuurlijk het bezwaar, dat juist gedurende den tijd van groote pompcapaciteit de arbeid voor steenwinning achterbleef en daardoor weder de mogelijkheid tot grooter grondverzet belemmerde. Daarna werd gewerkt met volle koeliebezetting voor vier pompen. Hierbij wordt aangeteekend, dat met het oog op de capaciteit van den hoofdtransformator geen monitor naast de vier grondpompen kon worden aangezet, zoodat het niet mogelijk was deze als koeliereserve te laten dienst doen. Veel eenvoudiger was de oplossing, toen na het bereiken van de vereischte hoogte van den dam in 1932 kon worden overgegaan tot het werken met twee pompen, terwijl op iederen oever de tweede pomp als reserve stond opgesteld en de monitor zeer veel nuttig werk kon verrichten. Afgezien van het tekort aan water, zou het beter geweest zijn om op den eenen oever constant met twee pompen te werken en één pomp in reserve op te stellen; en op den anderen oever twee pompen op te stellen, waarvan één constant in gebruik en de tweede in reserve.

	1931	1932	Totaal
Stroomverbruik in kWh	234 560	506 310	840 870
Aantal pompuren v/d grondpompen	4 231	3 876	8 107
Netto opbrengst per pompuur in m³	28,4	25,8	27
Stroomverbruik per pompuur in in kWh	79	131	103
Stroomverbruik per m³ opbrengst in kWh	2,8	5,1	3,8

In bovenstaande *tabel* worden eenige cijfers betreffende de opbrengst en het krachtverbruik gegeven. In het jaar 1932 werd bijna voortdurend van een monitor gebruik gemaakt, terwijl tevens twee grondpompen en een waterpomp waren ingeschakeld. Het in de *tabel* opgegeven stroomverbruik geeft dus geen juist beeld van het krachtverbruik van de grondpompen. Voor de grondpompen afzonderlijk is het gemiddelde krachtverbruik voor een manometrische opvoerhoogte tusschen 18 en 35,5 m te stellen op rond 75 kWh per pompuur met inbegrip van de transformatorverliezen en de verliezen in de leidingen. Dit krachtverbruik laat zich als volgt verdeelen. De gemiddelde aflezing op den ampèremeter in het pompstation bedroeg 100 ampère bij 500 volt. Aannemende een cos φ van den motor van 0,80 (voor den nieuwen motor bij vollast 0,85) dan bedroeg de toegevoerde energie: $E \cdot I \cdot \cos\varphi \cdot \sqrt{3} = 500 \times 100 \times 0{,}80 \times 1{,}73 = 69{,}2$ kWh, zoodat de verliezen per pomp over drie transformatoren en in de leiding tezamen rond 5,8 kWh of minder dan tien procent bedroegen. De gemiddelde manometrische opvoerhoogte van een grondpomp bedroeg 27 m bij een opbrengst van 100 l/sec. Het nuttig effect van een grondpomp bij 500 à 600 toeren bedraagt 0,45, zoodat aan de pompas gemiddeld benoodigd was: $\frac{75}{100 \times 27} \times \frac{1}{0{,}45} = 80$ pk (eff.). Stelt men verder, dat het nuttig effect van den motor 0,90 bedroeg (oude motor en iets meer dan halve belasting) terwijl aan den motor 69,2 kWh werd toegevoerd, dan werd door den motor een kracht ontwikkeld van:

$$\frac{0{,}90 \times 69{,}2}{0{,}736} = 84{,}6 \text{ pk (eff.)}.$$

Vermoedelijk werd in de dubbele riemoverbrenging met tusschendrijfwerk dus rond 4 à 5 pk of ruim 5% verloren.

Grond- en steenwinning.

De grondwinning geschiedde deels door koelies, deels door monitors (waterkanonnen), zie *fig. 6*. Het afgraven geschiedde onder een helling van 60°. Onderaan de helling viel de afgegraven grond in een sloot, welke de modder naar de pompen vervoerde. Een steile helling gaf aanleiding tot afschuivingen, terwijl op een flauwe helling de afgegraven grond bleef hangen, zoodat meer arbeid moest worden ver-

Fig. 6. Monitor in bedrijf.

richt. Het afgraven (zgn. „kotten") geschiedde van bovenaf, telkens in lagen van 0,75 à 1 m breedte. De koelies werden hiertoe in een rij opgesteld en moesten het zich aldus vormende banket gelijk afgraven tot onderaan de helling. Zoodra de onderkant van de helling was bereikt, werd de sloot weder tegen den voet van de helling verlegd en de ontgraving weder van bovenaf begonnen. De vele steenbanken gaven zeer veel moeilijkheden, zoodat veelal geen regelmatig „kotfront" gehandhaafd kon worden. Het steenruimen tijdens het kotten gaf veelal aanleiding tot gootverstoppingen en storingen bij de pompstations. Daarom werd op iedere grondwinningsplaats met minstens twee kotfronten gewerkt. Afwisselend had op een kotfront grondontgraving en steenwinning plaats. Tengevolge van de vele steennesten was het veelal zeer moeilijk om voldoenden grond voor het vullen van de pompen te verkrijgen. Vaak bleek hierbij, dat de capaciteit aan grondverzet geheel afhankelijk was van die van de steenruiming, vooral toen in 1931 meermalen met vier pompen tegelijkertijd werd gewerkt. Bij een ontgraving van meer dan 10 m diepte werden meestal twee kotfronten boven elkaar aangelegd met een breed banket van gemiddeld 5 à 10 m breedte op halve hoogte. Op dit banket liep een railbaan voor het transporteeren van de steenen naar den dam. Deze railbaan moest natuurlijk steeds worden verlegd om zoo dicht mogelijk langs het kotfront te blijven. Voor het vullen van een pomp waren plus minus 60 tot 150 koelies noodig, afhankelijk van de hoeveelheid steenen; voor rood lateriet : 60 koelies 800 m^3/dag = rond 13 m^3/koelie/dag; voor grond met steenen: 150 koelies 200 m^3/dag = rond 1,3 m^3/koelie/dag. Bovendien waren voor het steenen ruimen en transporteeren afzonderlijke ploegen noodig. De helling van de goten werd zelden kleiner dan 10% genomen. Het gebruik van ijzeren goten, zgn. kotplaten bleek slechts dan doelmatig, indien deze weinig verplaatst behoefden te worden, b.v. voor het laatste gedeelte vanaf het kotfront naar het pompstation. Lichte ijzeren goten kunnen niet gebruikt worden, omdat zij door vallende stukken onmiddellijk beschadigd worden. Het kotten geschiedde geheel in dagloon, evenals het steenen ruimen. Pogingen om het grondverzet in taakloon te doen geschieden zijn alle mislukt; niet alleen omdat de grond soms meer dan 40% steen bevatte, doch ook omdat een regelmatige toevoer van grond naar de pompen met koelies in borongan niet kon worden bereikt. Op gedeelten, waar zeer veel steennesten werden aangetroffen, bleek grondverzet met koelies zeer duur (soms ¼ m^3 per koelie per dag) en werd het uitspoelen van de steenen veel goedkooper door den monitor verricht. Men kon evenwel met één monitor meestal niet langer dan 1 à 2 uren op dezelfde plaats doorwerken, omdat de steenen zich dan te veel opeenhoopten. Zeer gunstig werkte de oplossing om twee monitors op één leiding van den hoogdruk-centrifugaal aan te sluiten door middel van een wisselklep. Zoodra nu een monitor moest worden stopgezet teneinde de neergevallen steenen weg te ruimen, werd onmiddellijk de tweede monitor op een andere plaats in werking gesteld, zonder dat hierbij een noemenswaardige stagnatie in de toegevoerde hoeveelheid bagger naar het pompstation plaats had.

Het transport van de steenen naar het damlichaam geschiedde met platte lorries op decauvillespoor. Met het oog op het verschil in hoogteligging tusschen het kotfront en den dam werden hellingen van 5% maximum toegelaten. De lorries werden met handkracht voortbewogen en waren van behoorlijke remmen voorzien. De lading bedroeg gemiddeld ½ m^3, de maximum bereikte capaciteit met 20 lorries bedroeg 300 m^3 per dag (30 ritten per lorrie). De gemiddelde capaciteit was afhankelijk van de hoeveelheid aanwezige steenen. In verband met de groote hoeveelheid steenen op de grondwinningsplaatsen is 65 000 m^3 steen in den dam verwerkt, terwijl voor den steenvoet volgens het ontwerp slechts 23 000 m^3 benoodigd zou zijn geweest. Op elke grondwinningsplaats had men de beschikking over twee kleine verplaatsbare liertjes (hefvermogen 750 kg) voor het laden van de groote steenen op de lorries. Steenen waarvan de inhoud meer dan 1/3 m^3 bedroeg, werden door steenklovers gekloofd of met 5 kg voorhamers stukgeslagen. Hiervoor was zeer geschoold volk noodig met kijk op de breukvlakken. Groote steenen liet men het dynamiet springen.

Het werk op den dam.

De buisleidingen welke de bagger van de pompstations aanvoerden, werden op 1 à 2 m van den rand van het op te spoelen damlichaam aangelegd. Door de eerste grove deelen van onder de straal weg te trekken naar de buitenzijde, werd een kleine wal onderhouden, welke moest voorkomen, dat de straal langs het buitentalud zou afstroomen. Het afvloeien

van de modder naar het midden van den dam (de kleikern) werd geregeld met haaks omgeslagen blikken (leege cementvaten). Teneinde goede vaste bermen te verkrijgen, zonder tongen van grof materiaal in de kern, was constant toezicht op het damlichaam noodzakelijk. Werd de straal te veel geconcentreerd gehouden, dan bestond er kans op uitspoeling van de bermen en te veel grof materiaal in de kleikern; was daarentegen de straal te veel verspreid, dan bleef te veel fijn materiaal op het damlichaam achter. De helling waaronder het materiaal afvloeide, bedroeg gemiddeld 10%, d.w.z. bij de grovere deelen aan den rand steiler en nabij de kern flauwer. De vereischte breedte van de kleikern werd verkregen door het regelen van den vijverwaterstand. Aangezien over de eerste 1 à 2 m bij het instroomen van de straal in den vijver zich nog grof materiaal afzette, werd de breedte van het wateroppervlak steeds plus minus 1½ m breeder gehouden dan de vereischte kernbreedte. De overgangszône tusschen berm en kern, welke meestal gevormd wordt door duidelijk sprekende zandbermen, bestond te Gembong hoofdzakelijk uit min of meer zandhoudend slib, vermengd met de lichtere padasbrokken. De kern zelf evenwel bestaat uitsluitend uit slib. Aangezien deze modderkern tenslotte moet overgaan in een meer stabiele en tevens waterdichte kleidam, moet het materiaal voldoen aan eischen van goede consolidatie en voldoende waterdichtheid. Teneinde nu aan deze beide eischen, welke in wezen met elkaar in strijd zijn, te kunnen voldoen, moest de korrelgrootte van het materiaal binnen bepaalde grenzen worden gehouden. Dagelijks werden hiertoe acht grondmonsters uit de kern op korrelgrootte en krimp onderzocht. Tevens werden nog andere proeven betreffende de consolidatie genomen. Het korrelgrootte-onderzoek gebaseerd op bezinkproeven bleek het meest rationeel, mede omdat aan de hand van de in het laboratorium verkregen resultaten vrijwel onmiddellijk ingegrepen kon worden. Een nadere beschrijving van de verrichte onderzoekingen volgt onder IV. Doordat op de grondwinningsplaats grof en fijn materiaal in verschillende lagen voorkwamen, moest de ontgraving zoo worden geregeld, dat de verhouding ongeveer overeenkwam met de hoeveelheden, welke voor de bermen en de kleikern benoodigd waren. Indien te veel grof materiaal werd gespoeld bleef de kern bij de bermen achter. Weliswaar waren de verliezen aan materiaal alsdan zeer gering, doordat nagenoeg alles in den diepen vijver tot bezinking kwam, doch de noodzakelijke verwijdering van de allerfijnste deelen had niet plaats. Men moest dan een overmaat van fijnkorrelig materiaal aanvoeren, waardoor de vijverdiepte werd verminderd en de allerfijnste deelen werden uitgespoeld. Zoodoende ontstond de paradox: „Bij te fijne kern meer fijn materiaal aan het oorspronkelijke spoelmateriaal toevoegen". Het opspuiten had plaats in lagen van maximum 0,50 m dikte, gemiddeld ongeveer 0,25 m dik. De buizen op het damlichaam pasten conisch in elkaar, zoodat tijdens het bedrijf de plaats van den straal op eenvoudige wijze kon worden verlegd, door de buisleiding telkens met één buislengte van 5 m te verminderen. Het verlengen van de buisleiding tijdens het bedrijf was eveneens mogelijk, doch leverde wel eens moeilijkheden op. Voor het regelen van den vijverwaterstand was oorspronkelijk een vertikale koker gebouwd in de as van het damlichaam en uitmondend in den bandjirkoker. Deze koker werd in ringen van 0,50 m hoogte opgebouwd (inwendige diameter 0,80 m). Met een afneembare ijzeren cylindervormige schuif kon de waterstand zeer nauwkeurig worden geregeld. Evenwel vertoonde deze koker bij een hoogte van 16 m neiging tot scheefzakken, mede tengevolge van werking in de nog niet geconsolideerde kern. Op den linkeroever is toen een tweede koker gemaakt met een afvoerriool naar de waterzijde van den dam. In verband met den eenzijdigen afvoer van den vijver (de eerste koker stond centraal) werd op den rechteroever water ingelaten teneinde doorspoeling te verkrijgen. Hiervan zijn evenwel geen merkbare resultaten aan te wijzen. Toen in Juni 1932 de toevoer van water naar het rechterkotfront door het opkomende damlichaam werd afgesneden, is overgegaan tot het bouwen van een overlaat (frontmuur) waardoor het water uit den vijver weder op het kotfront kon worden gebruikt. Deze overlaat, gelegen ongeveer op de grens van berm en kern, werd gelijk met het damlichaam opgetrokken, terwijl steeds de ontstane stroomgeul in den berm werd volgespoeld. De aanwezigheid van dezen gemetselden muur in het damlichaam levert niet de minste bezwaren op, de constructie was zeer goedkoop en voldeed uitstekend.

Voor het transport van steenen zijn platte lorries gebruikt. Deze laden en lossen gemakkelijk en zijn minder aan slijtage onderhevig dan kiplorries. Op het damlichaam werden van klapperstammen railbaanbruggen (lossteigers) van 6 m hoogte gebouwd, zoodat de railbanen slechts om de 2 maanden verlegd behoefden te worden. De vertikale jukken bleven in de steenstorting achter, het horizontaal verband werd echter verwijderd.

Fig. 7 geeft een panoramafoto van den in aanbouw zijnden dam, genomen vanaf den rechteroever.

Over de laatste 5 m hoogte van den dam, dus van + 205 tot + 210 kon de „hydraulic fill"-methode niet meer worden toegepast. De verliezen aan materiaal, oorspronkelijk te stellen op 10 à 20% liepen tenslotte tot het dubbele op. De pompkosten werden te hoog, terwijl met een eenvoudige railbaan gemakkelijk de laatste hoeveelheid grond kon worden opgebracht en voor de bovenlagen geen hooge eischen aan de sorteering van den grondsoort behoefde te worden gesteld. De vijver werd aangehouden. De grond, met kiplorries aangevoerd, werd op den rand van den vijver gestort en door koelies ingespoeld (primitieve „semi-hydraulic-fill"). De bermen van iets grover materiaal werden min of meer aangestampt in laagjes van 10 tot 20 cm. Er heeft geen ongelijkmatige zetting van de kern en de bermen plaats gehad, terwijl tenslotte een smal slootje in het midden van den dam ter demping overbleef. De totale hoeveelheid grond, welke volgens de „hydraulic fill"-methode is verwerkt, bedroeg 220 000 m^3 tegen slechts 25 000 m^3 volgens de droge werkwijze.

Fig. 7. Panorama vanaf den rechteroever.

IV. Onderzoekingen.

Kernonderzoek.

Onder III is er reeds op gewezen, dat het opspoelen van aarden dammen niet van gevaren is ontbloot, omdat de kern tijdens den bouw en nog langen tijd daarna uitermate plastisch is. Meermalen is het elders dan ook voorgekomen, dat nog vóór de voltooiing en tijdens de toepassing van de „hydraulic fill"-methode de dammen gedeeltelijk bezweken. Echter is men algemeen en terecht de meening toegedaan, dat dit soort dammen gedurende den bouw in de meest ongunstige positie verkeert, doch dat het gevaar na de voltooiing is geweken. De toelaatbare bouwsnelheid is geheel afhankelijk van de snelheid, waarmede de plastische kern consolideert, d.w.z. voldoende mate van vastheid verkrijgt door het loslaten van de waterhoeveelheid, gepaard gaande aan inklinking. Volkomen consolidatie wordt veelal eerst na vele jaren bereikt. Gedurende den bouw moet men zich met gedeeltelijke consolidatie tevreden stellen. De tijd om tot volledige consolidatie te komen is in hoofdzaak afhankelijk van den aard van het ingebrachte materiaal en den daarop uitgeoefenden druk. Voor een bepaalde grondsoort is n.l. de poriën-ruimte een functie van den optredenden druk. Als bijzondere factoren gelden nog de breedte van de kern en de doorlaatbaarheid van de bermen, den ondergrond en de dalwanden. Het verloop van de consolidatie kan worden nagegaan door verticale en horizontale drukmetingen met „Goldbeck pressure cells" en door penetratieproeven met belaste ijzeren staven (rod-test) of ijzeren ballen. Betreffende de eischen en resultaten dezer proeven loopen de meeningen zeer uiteen. Bovendien geven deze proeven uitsluitend aan of de reeds ingebrachte hoeveelheid grond over de laatste 10 m of meer voldoende is geconsolideerd. Men kan hiermede dus slechts nagaan of de toelaatbare bouwsnelheid, behoorende bij het gebezigde kernmateriaal, niet wordt overschreden. Teneinde te kunnen beslissen of materiaal van goede hoedanigheid wordt ingebracht, komt men met deze test steeds te laat. Een systematisch dagelijksch laboratoriumonderzoek van monsters uit de bovenste lagen van de kern is noodzakelijk. De factoren, welke in hoofdzaak invloed hebben op de waterdichtheid en de mogelijkheid tot goede consolidatie, zijn de volgende:

1e) de korrelgrootte;
2e) de vorm en de structuur van de korrels;
3e) de colloïdaliteit;
4e) het specifiek gewicht.

Betreffende de korrelgrootte zijn vrij veel gegevens ter beschikking van reeds bestaande „hydraulic fill"-dammen, evenwel zijn hierbij de overige factoren niet vermeld. Het is echter gebleken, dat de kern van de dammen, welke zijn bezweken, bijna alle uit zeer fijnkorrelig kernmateriaal bestonden, zoodat men moet aannemen, dat bij de nog niet bezweken dammen met fijne kern de andere factoren (waaronder de bovengenoemde punten) gunstiger zijn geweest. Het is dus wenschelijk om een grens te stellen aan de toelaatbare fijnheid van het kernmateriaal aan de hand van deze empirische gegevens. Eveneens kan empirisch een grens voor grof kernmateriaal worden aangenomen aan de hand van gegevens betreffende dammen, welke een te groote lekkage vertoonden. Tusschen deze grenzen kan een bevredigende consolidatie, gepaard aan voldoende waterdichtheid, worden verwacht. De fijnheidsgrens is even boven die van het kernmateriaal van den Taylorsville-dam gekozen (zie *De Waterstaats-Ingenieur* No. 7 — 1931, *fig. 2*, blz. 271, overgenomen uit *Engineering News Record* van 18 Dec. 1930). De grens voor grof materiaal is aangehouden volgens de limiet in de bovengenoemde *fig. 2*. Het laboratoriumonderzoek te Gembong bestond uit het bepalen van de korrelgrootte van het kernmateriaal, proeven betreffende den krimp (poriënruimte en colloïdaliteit) en de bekende kleiballenproeven (waterdichtheid). De overige onderzoekingen, zooals afvoermetingen ter bepaling van de verliezen aan spoelmateriaal en de „rod-tests" werden eveneens door het laboratoriumpersoneel verricht. De grondmonsters uit de kern werden op regelmatigen afstand in strooken evenwijdig aan de as van den dam genomen. In totaal zijn bijna 3 000 monsters op korrelgrootte en krimp onderzocht, waarbij slechts bij uitzondering bovengenoemde grenzen voor goede consolidatie (toelaatbaar fijn) en voor voldoende waterdichtheid (toelaatbaar grof) werden overschreden. Dagelijks werden acht monsters onderzocht. Algemeen is waargenomen,

dat de monsters in de as van den dam fijner waren dan in de strooken op eenigen afstand uit de as. Er was zelfs zeer duidelijk een regelmatige verfijning waar te nemen vanaf de bermen naar het midden van den vijver. De vorming van een sterk sprekende zandbank als overgang van de bermen tot een homogenen kern, zooals dit bij vele Amerikaansche dammen schijnt voor te komen, is te Gembong niet waargenomen. Hoofdzakelijk is dit te verklaren uit het feit, dat de zandfracties in het uit de grondwinningsplaats aangevoerde spoelmateriaal slecht vertegenwoordigd waren. De vijverdiepte was betrekkelijk gering en nam zeer regelmatig van de bermen tot het midden toe tot ongeveer 0,50 à 1 m. Een geringe vijverdiepte moest in dit geval worden aangehouden, omdat vrij veel fijn spoelmateriaal uit de grondwinningsplaats moest worden toegevoegd om de allerfijnste deelen ($> 5\ \mu$) tot het gewenschte percentage uit te spoelen en toch voldoende kernmateriaal van doelmatige korrelgrootte te behouden.

De monsters werden genomen op een diepte van 2 m beneden den waterspiegel. De keuze van deze diepte hield verband met het volgende: waargenomen is, dat het ingebrachte materiaal op een diepte van 1 m nog aan wijziging tengevolge van woelingen en vermenging onderhevig was. Tot welke diepte de woelingen zich voortzetten was niet na te gaan, doch directe uitspoeling van materiaal op 2 m diepte kon niet worden verwacht. Om te controleeren in hoeverre de monsters, welke op 2 m diepte waren genomen, afweken van het materiaal, zooals het zich tenslotte in den dam zou consolideeren, zijn vergelijkende monsters met den diepmonstersteker genomen. Deze monsters werden op een diepte van resp. 3, 4, 5, ... 10 m genomen en vergeleken met monsters van dezelfde plaats en hoogteligging, welke vroeger op 2 m diepte waren genomen. Bij vergelijking van de grafieken voor de korrelgrootte bleek, dat de monsters op 3 — 5 m diepte meermalen in samenstelling verschilden met die op 2 m diepte. Daarentegen vertoonden de monsters op 5 — 10 m diepte onderling geen noemenswaardige verschillen. Hieruit viel de conclusie te trekken, dat het materiaal op 2 m beneden den waterspiegel nog aan wijzigingen onderhevig was, welke aanhielden, totdat het materiaal zich op 5 m beneden den waterspiegel bevond. Teneinde voor den bouw bruikbare gegevens te verkrijgen, kon men niet afgaan op monsters, welke op 5 m diepte waren gelegen. Immers, men zou dan niet meer in staat zijn wijzigingen aan te brengen, daar het materiaal dan reeds ruim een maand tevoren was ingebracht. Het kernmateriaal op 2 m diepte was evenwel nog door geforceerd spoelen te vergroven, terwijl bij normaal doorwerken de monsters niet noemenswaardig veranderden en vrij zuiver den toestand van den kern aangaven. Wel werd dezerzijds gemeend uit verscheidene vergelijkende proeven te mogen concludeeren, dat nivelleering plaats had door onderlinge verdringing der grondeeltjes, tengevolge waarvan na verloop van tijd de grovere monsters iets fijner en de fijnere monsters iets grover werden. Behalve een verschil in samenstelling van monsters in de as en nabij de bermen was ook een verschil te bemerken tusschen de monsters, welke genomen zijn in den aanvang en nadat de dam bijna was voltooid. De monsters bij breede kern (aanvang) waren n.l. veelal fijner dan bij smalle kern (einde), hetgeen met het oog op het verschil in stroomsnelheid van het vijverwater te verwachten was.

Onderzoek op korrelgrootte.

De fracties $< 5\ \mu$; van $5 — 20\ \mu$ en van $20 — 50\ \mu$ werden volgens de slibanalyse bepaald, terwijl van het uitgeslibte gedeelte de fracties 0,05 — 0,1 mm; 0,1 — 0,2 mm; 0,2 — 0,5 mm; 0,5 — 1 mm; 1 — 2 mm en $>$ 2 mm door droog zeven werden verkregen.

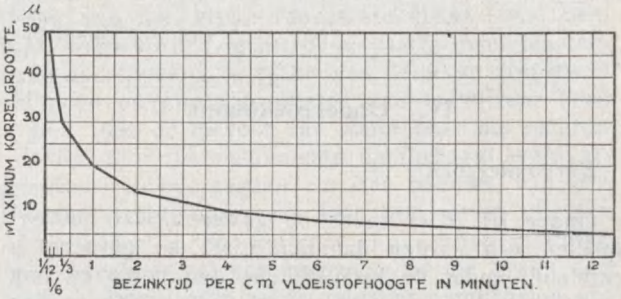


Fig. 8. Bezinkkromme.

Uit een microscopisch onderzoek is de bij deze grondsoort behoorende bezinkkromme (zie *fig. 8*) vastgesteld, voorstellende de maximum korrelgrootte, welke binnen een bepaalden tijd per cm vloeistofhoogte nog niet tot bezinking is gekomen. Meestal werden in het preparaat nog enkele duidelijk zichtbare groote korrels gevonden, doch dat moest worden toegeschreven aan hun abnormaal platten vorm of aan het soortelijk gewicht. Voor de slibanalyse werden ondervolgende bezinktijden per cm vloeistofhoogte aangehouden:

voor deelen	$> 5\ \mu$	bezinktijd binnen	12	minuten
„ „	$> 20\ \mu$	„ „	1	minuut
„ „	$> 50\ \mu$	„ „	1/12	„

De deelen $> 5\ \mu$ en $> 20\ \mu$ werden uitgeslibd in reageerbuizen van $2\frac{1}{2}$ cm diameter met vloeistofhoogten van resp. 5 en 9 cm en bezinktijden van resp. 60 min en 9 min. Voor beide fracties werd uitgegaan van een gemiddeld monster van 2 gram (nat). De deelen $>$ en $< 50\ \mu$ werden gescheiden in bekerglazen, diameter 9 cm, vloeistofhoogte 10 cm en bezinktijd 50 sec. Het bezinken werd na nauwkeurig afschenken eenige malen herhaald tot de vloeistof volkomen helder was. Het samenvlokken der grondeelen werd tegengegaan door toevoeging van enkele druppels sterke amonia. De zeven van 2, 1 en $\frac{1}{2}$ mm waren voorzien van ronde openingen, die van 0,2 en 0,1 mm waren draadzeven. Alle fracties werden aangegeven in % van de droge stof. Voor het drogen waren een droogstof en 2 electrische indamptoestellen aanwezig. De bepaling van het vochtgehalte van de grondmonsters was noodig voor de berekening van het percentage der fracties, doch was geen maat voor de consolidatie, daar bij het monstersteken het vochtgehalte van de oorspronkelijke substantie werd gewijzigd.

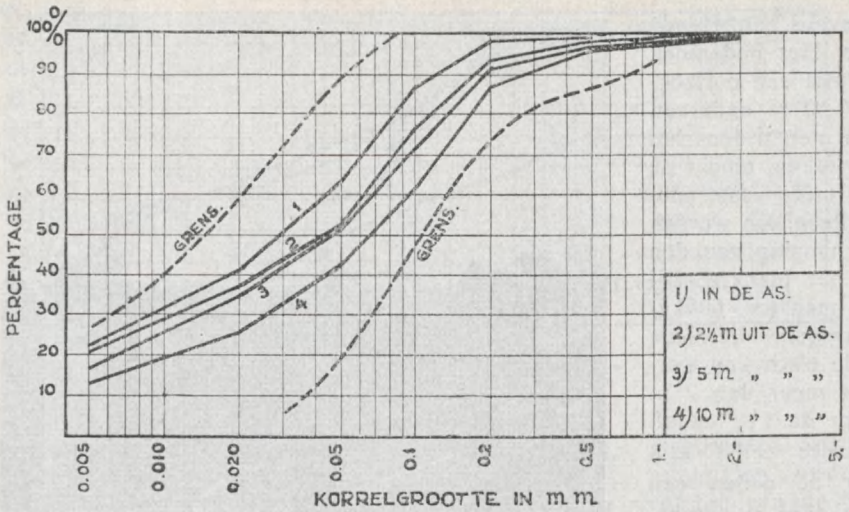


Fig. 9. Kernanalyse (gemiddeld) dam Gembong.

Van ieder monster werd een afzonderlijke grafiek gemaakt. Bovendien werden combinatiegrafieken gemaakt bestaande uit een lijnenbundel van alle monsters in een bepaalde strook en loopende over een maand. Tenslotte werden gemiddelde grafieken gemaakt per 5 m damhoogte, waarop het rekenkundig gemiddelde van alle monsters in een bepaalde strook werd aangegeven. Het gemiddelde van de verschillende strooken over de volle damhoogte wordt als eindresultaat aangegeven in *fig. 9*. Duidelijk is hierop te zien, dat de monsters vanuit het midden in fijnheid afnemen. Echter is in deze grafiek niet meer terug te vinden, dat in de lagere deelen van den dam de monsters fijner waren dan in de bovenste deelen.

Krimpproeven.

Voor bepaling van den krimp werden van de genomen monsters uit de kern proefblokjes gemaakt met een lengte van plus minus 7 cm, een breedte van plus minus 2 cm en een dikte van ca. 1½ cm. De afstand tusschen twee op het blokje aangebrachte streepjes werd in 0,1 mm met den schuifpasser opgemeten. De krimp werd bepaald tusschen vloeigrens en uitdroging bij ruim 100°. Gemiddeld bedroeg de krimp:

1e)	voor materiaal in de damas		8,9%;
2e)	„ „	2½ m van de as	8,4%;
3e)	„ „	5 m „	8,2%.

Zooals te verwachten was is de krimp het grootste bij het fijnste materiaal. Evenwel geldt dit voor de gemiddelde waarden, doch bij de monsters afzonderlijk waren de verschillen lang niet altijd evenredig met de korrelgrootte. Gedurende den bouw zou in den vervolge kunnen worden volstaan met enkele steekproeven.

Kleiballenproeven.

De kleiballen werden vervaardigd bij een consistentie van vloeigrens en met een diameter van ca. 6 cm. Deze ballen werden gedurende maximum 7 dagen in water gelegd. De tijd, waarna zij uiteenvallen, is dan eenigszins een maat voor de waterdichtheid. Over het algemeen hadden de kleiballen, vervaardigd uit materiaal uit de damas, den langsten levensduur, en waren dus het meest waterdicht. Wegens de zeer vele afwijkende gevallen was evenwel geen conclusie te trekken in verband met krimp of korrelgrootte.

Rod-test.

Deze proeven bestonden uit het indrukken van een 1½" pijp, waarbij de kracht werd uitgeoefend door 2 man. De maximum bereikte diepte werd genoteerd (zie *fig. 10*). De grootste diepte werd bereikt in de damas, terwijl de diepte in de richting van de bermen afnam. Men zou kunnen spreken van rod-test-bermen of „schijnbare taluds". In de as van den dam bedroeg de indrukking 7 à 8 m (max. 12,50 m eenmaal voorgekomen) en op 2 m afstand van den berm 1 tot 5 m. In de bermen zelf kon zelden een indrukking van één meter worden verkregen. Ter vergelijking van deze cijfers met elders gevonden waarden moge hierbij worden vermeld, dat bij den Calaveras-dam 27 m en bij de Miami-dammen 9 m als uiterste grens werd toegelaten. Deze proeven hebben dus een zeer betrekkelijke waarde voor de bepaling of de dam voldoende consolideert. Bij het onderzoek naar de keuze van het materiaal is te Gembong dan

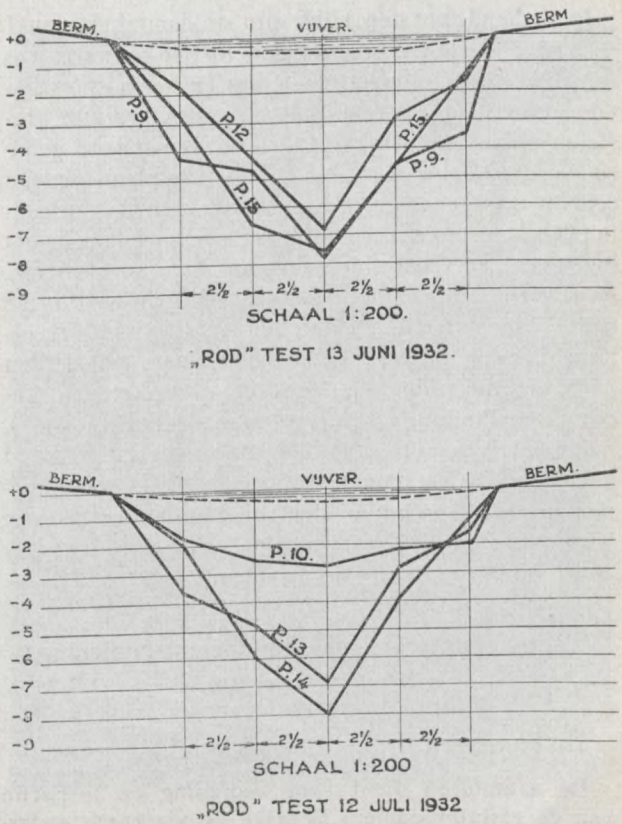


Fig. 10. Uitkomsten rod-test.

ook uitsluitend afgegaan op de gegevens betreffende de korrelgrootte en de vijverdiepte. Het onderzoek naar de vijverdiepte werd verricht met een horizontaal houten plankje van 0,50 bij 0,50 m onderaan een meetlat bevestigd. Feitelijk kon men tijdens het spoelen niet van een vijverdiepte spreken, omdat de overgang tusschen modderwater en meer vaste substantie nauwelijks merkbaar is en alleen kon worden waargenomen door een geringe verhooging van den weerstand bij het indrukken van het plankje. Bij belasting met het gewicht van één man (ca. 60 kg) werd een grootere indrukking verkregen. Hiermede ontstond een nieuwe test, waarbij de eisch kon worden gesteld, dat de indringing niet meer dan 2 m mocht bedragen tegenover 9 m voor de $1\frac{1}{2}$″-staaf. Proeven met „Goldbeck pressure cells" zijn mislukt, vermoedelijk omdat voor de cellen een flexibele bevestiging is gekozen en deze is beschadigd door al te groote bewegelijkheid van de kern tengevolge van den klink. Volledigheidshalve kan nog worden vermeld, dat zes maanden na voltooiing van den dam eenige 4″-buizen voor het meten van de verweekingslijn werden aangebracht, waarvan er een was gelegen in de as van de kern. Deze kern was reeds zoover geconsolideerd, dat gebruik van een $3\frac{1}{2}$″-puls de boorbuis van 4″ reeds bij 10 m diepte moest worden belast met een gewicht van meer dan 1 ton om zelfstandige zakking te verkrijgen, terwijl hij meer dan 15 m diepte de zakking met behulp van een heiblok moest worden verkregen.

Inklinking en verzakking.

In verband met den klink zijn de damtaluds vanaf + 187 5% steiler opgezet dan in het ontwerp was aangegeven. Al spoedig bleek, dat er zoowel horizontale als vertikale verplaatsing van de uitgezette profielen plaats had. Op + 192 is in één maand gedurende den bouw een horizontale verplaatsing van 0,40 m waargenomen. Vermoedelijk zijn de horizontale verplaatsingen in hoofdzaak een gevolg van het inklinken en consolideeren van het kernlichaam. Evenwel is nimmer het inzakken van den berm in de kern geconstateerd, zoodat een geleidelijke vervorming van het geheel moet hebben plaats gehad. Een half jaar na voltooiïng bleek de overmaat van 5% extra taludhelling op vele plaatsen bijna verbruikt.

Inmiddels was de inklinking nagenoeg tot stilstand gekomen. De maximum verticale klink is waargenomen op + 205 in het midden van den dam en bedroeg na 6 maanden 0,74 m over een hoogte van ongeveer 30 m vanaf den teen van den dam.

V. De aftaptoren, afsluitmiddelen, bedieningsbrug en overlaat.

De aftaptoren.

De aftaptoren dient voor bediening en inspectie van de afsluitmiddelen. Behalve de vierkante onderbouw, waarin zich de afsluitmiddelen bevinden, heeft de toren een ronde vorm met een inwendigen diameter van 5,90 m. De wanddikte bedraagt over het benedengedeelte 0,60 m en boven 0,50 m. Het betonwerk is uitgevoerd door de Hollandsche Beton Mij. *Figuur 11* geeft een blik op den in aanbouw zijnden aftaptoren. Tijdens den bouw van het fundament, het plaatsen van de afsluitmiddelen en de aansluiting op de dubbele aftaptunnel is de kali omgelegd naar den bandjirkoker. Het onderloopen van den bouwput tengevolge van een abnormaal vroegen bandjir heeft een oponthoud van ongeveer tien dagen veroorzaakt. De twee meter dikke fundatieplaat van 10 bij 10 m is zonder bekisting tegen den loodrecht uitgekapten harden grond aangestort. Hierbij is gezorgd voor een behoorlijke capteering en afvoer van de bestaande bronnen, welke met buizen naar een naast den bouwput gelegen pompput werden afgevoerd. Voor den vierkanten onderbouw is een houten bekisting gebezigd, voor het ronde torengedeelte een ijzeren bekisting. Voor den aanvoer van het beton is gebruik gemaakt van een storttoren met liftbak. De totale hoogte vanaf onderkant fundatieplaats tot bovenkant van het bedieningshuis bedraagt rond 42 m. De mengverhouding van het beton bedroeg een deel Portlandcement op 1,6 deelen zand, 2 deelen uitgezeefd steenslag kleiner dan 30 mm en 1 deel kleiner dan 50 mm. Het zand was afkomstig uit de kali Gelis bij Koedoes, en was harder en grover dan het ter plaatse verkrijgbare zand. De steenslag was afkomstig van andesietblokken uit de omgeving. Bij dit mengsel, dat ongeveer samenvalt met de Fullerkromme voor

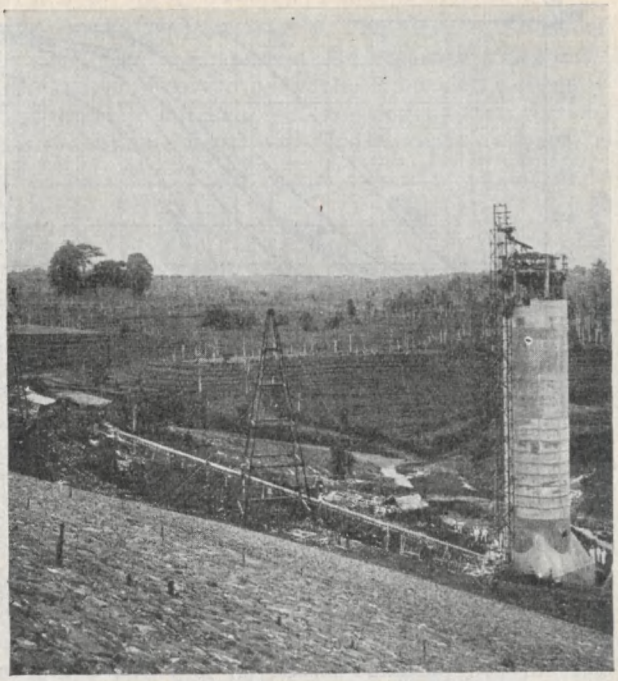


Fig. 11. Aftaptoren in aanbouw.

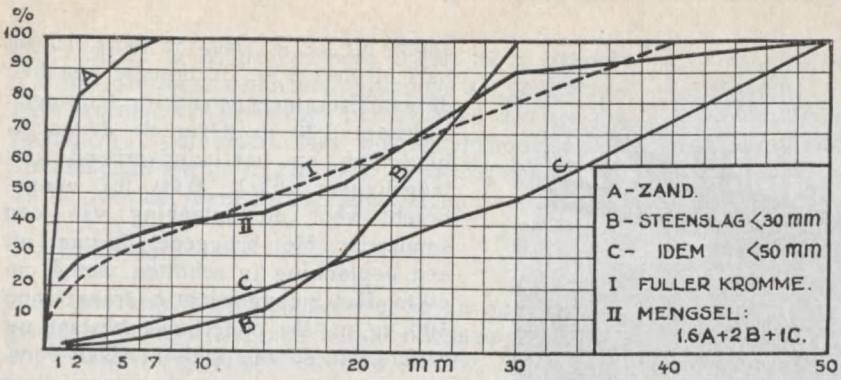


Fig. 12. Zeefkromme toeslagmaterialen.

maximum korrelgrootte van 40 mm, is blijkens de proeven een zeer waterdichte en harde beton verkregen (zie *fig. 12*). Op het niveau van de damkruin en de bedieningsbrug (+ 210) is een zeskantig bedieningshuis op den toren gebouwd. Hierin zijn de windwerken, de meetinstrumenten en een 10-tons montage loopkraan aangebracht. In totaal is 900 m^3 beton in den toren en het aansluitingsstuk aan den aftapkoker verwerkt. Voor het stellen van de afsluitmiddelen heeft de Holl. Beton Mij. drie maal het werk in den toren moeten stopzetten tot een totaal van 32 dagen. Met inbegrip van deze tijden was het betonwerk in rond 100 dagen gereed.

De afsluitmiddelen.

De afsluitmiddelen bestaan uit een aflaat- of spuiinrichting met groote capaciteit, benevens een inrichting voor het aftappen van het voor de bevloeiïng benoodigde water, de zgn. bedrijfsaftapping. Beide inrichtingen zijn als dubbelinstallatie uitgevoerd, zoodat in het geval een der afsluiters in het ongereede mocht geraken, in ieder geval nog de helft van de maximum capaciteit kan worden afgetapt.

De aflaat- of spuiïnrichting bestaat uit buisafsluiters van 1,60 diameter, zie *fig. 13* (speciale „Talsperrenschieber", systeem Reuther geleverd door de firma Polte, Magdeburg). In ieder buisgedeelte aansluitend op de dubbele aftaptunnel, zijn twee afsluiters achter elkaar geplaatst. De voorste, de zgn. nood- of slibschuif, kan uitsluitend met een windwerk worden bewogen. Door een omloopleiding kan eventueel water worden toegelaten tusschen de beide schuiven, waardoor de voorste schuif wordt ontlast. De tweede schuif kan zoowel met een windwerk als hydraulisch worden bewogen. Het voordeel van deze constructie is, dat de achterste schuif steeds schoongehouden en eventueel hersteld kan worden. De voorste schuif kan bij eventueele verontreiniging en sterke aanslibbing worden ontlast, waardoor het openen wordt verlicht. De windwerken, welke boven in dezen toren zijn opgesteld, zijn berekend op een hef- en drukkracht van 55 ton. Deze zou kunnen optreden in het meest ongunstige geval nl. bij vollen wadoek en een wrijvingscoëfficiënt van 0,7. De krachten worden door ca. 30 m lange stangen van het windwerk naar de schuif overgebracht. De moer bevindt zich in het windwerk, zoodat de schuifstangen uitsluitend op druk en trek worden belast en niet op torsie. Uitknikken wordt voorkomen door een zevental rolgeleidingen. Elk stel van vier rolgeleidingen (4 schuifstangen) is op ijzeren binten bevestigd, welke op consoles in de wanden van de betontoren zijn verankerd. Hierdoor ontstaan een zevental bordessen, welke met trappen zijn verbonden, teneinde het afdalen in den toren mogelijk te maken. De hydraulische inrichting bestaat uit een cylinder met zuiger, welke direct boven den afsluiter is gemonteerd. Met het oog op de mogelijkheid van beschadiging van de leeren zuigerringen, tengevolge van roesten van de cylinders, wordt glycerine gebruikt. Hiervoor is een hoogreservoir op het bedieningsbordes aangebracht, waarmede de vereischte druk kan worden verkregen. Onder in den toren is eveneens een reservoir aangebracht, waaruit door middel van een oliepompje de glycerine weder naar het hoogreservoir kan worden opgepompt. Tijdens het hydraulisch heffen of neerdrukken kan de schuifstang van het windwerk worden ontkoppeld. Bij het transport en de montage in den diepgelegen bouwput leverden de zwaarste onderdeelen van ruim 8 ton wel eenige moeilijkheden op. Bij de montage is gebruik gemaakt van een bok met takels. Hieraan werd de voorkeur gegeven boven een montagekraan met het oog op de beschikbare ruimte en het bandjirgevaar.

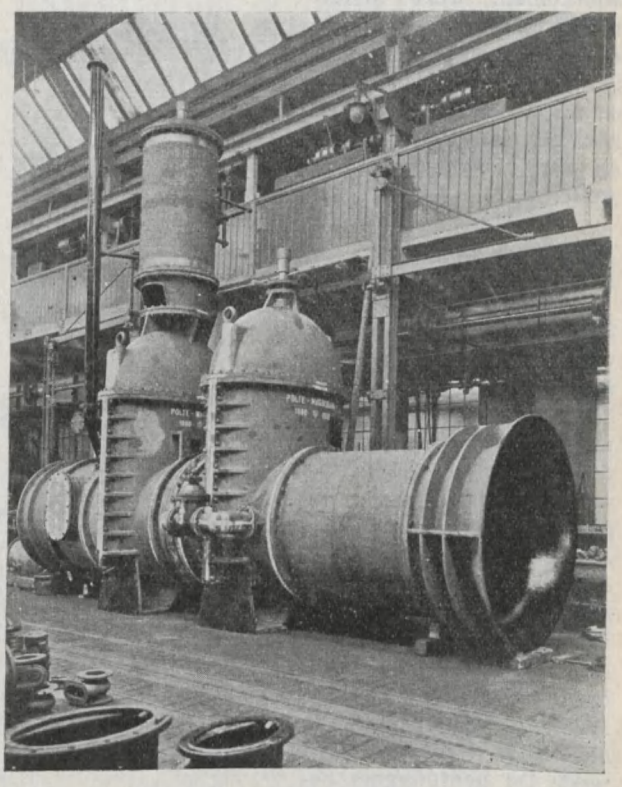


Fig. 13. De spuiafsluiter.

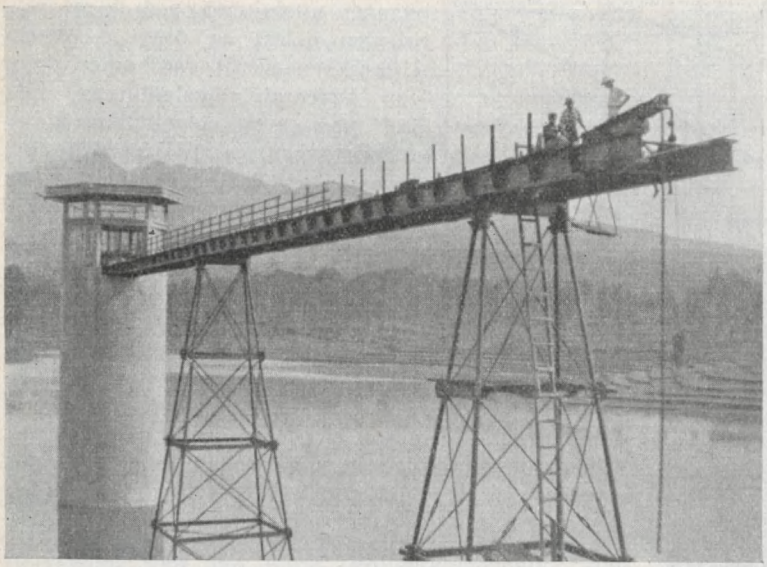


Fig. 14. Bedieningsbrug in aanbouw.

De bedrijfsaftapping bestaat uit twee Larner Johnson „needle valves", diameter 0,60 m. Vóór deze naaldafsluiters zijn venturimeters aangebracht met hydraulische aanwijzing in het bedieningshuis (systeem Meinecke). De bedrijfsaftapping tapt het water eenige meters boven den bodem van den wadoek af, waardoor beschadiging tengevolge van zand en grind wordt voorkomen. Deze afsluiters, welke een combinatie zijn tusschen een naaldventiel en een cylinderschuif, laten zich met een zeer geringe kracht openen en zijn nauwkeurig af te stellen.

De bedieningsbrug.

De bedieningsbrug, zie *fig. 14*, heeft een lengte van 123 m en bestaat uit vier overspanningen van 27 m en een overspanning van 15 m. Met het oog op de zakking en inklinking van het damlichaam zijn de brugpijlers gefundeerd op ongeroerden grond op den rechteroever, waardoor de brugas een hoek van 30° met de as van de aftaptunnel maakt. De brug is berekend op een last van 8 ton (zwaarste onderdeel van de afsluiters). De hoofdliggers bestaan uit D.I.P. No. 55 lang 16 m, hart op hart 2 m. De breedte tusschen de van ijzers geconstrueerde leuningen bedraagt 2,30 m. Over de dwarsverbindingen en het windverband zijn langsliggers (h.o.h. 0,90 m) aangebracht voor de oplegging van een smalspoor. Het bruggedek bestaat uit een beplanking in schotten van 4 cm dikte. Het eigengewicht bedraagt rond 500 kg/m. De onderbouw bestaat uit pijlers van schroefpaalmateriaal, voorzien van kruisen en trekstangen; voor iedere 4 m hoogte is een horizontaal dwarsverband van ijzer aangebracht. De bouw van deze pijlers heeft wel eenige moeilijkheden opgeleverd, omdat de betrekkelijk lange en zware schroefpalen (8 m lang, wegende ca. 800 kg) niet ieder afzonderlijk op de koppelbussen konden worden gesteld. Eerst is de eerste etage opgesteld. Deze is gebruikt als bok voor het daarin opbouwen van de tweede etage, welke daarna met vier takels aan de voetpunten is opgehaald en op de eerste geplaatst. Op dezelfde wijze werd daarna de derde etage weder op de tweede gesteld. De hoofdliggers voor den bovenbouw werden twee aan twee gekoppeld omhoog getakeld (over-

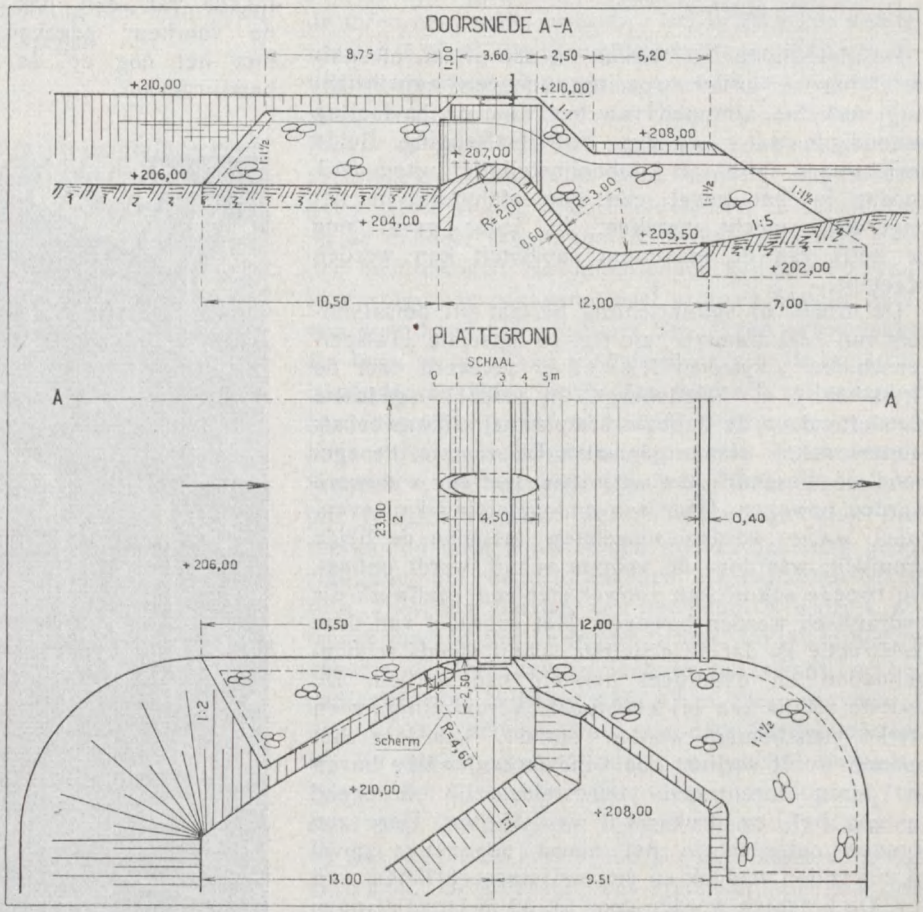


*Fig. 15. De overlaat *).*

*) **Errata:** De overlaatbreedte is 27 m inplaats van 23 m, als in *fig. 15* aangegeven.

spanning 27 m, lengte van twee liggers 32 m, gewicht 7,2 ton). De liggers moesten zijdelings als gewapende balk worden versterkt, om het zwiepen en het uitplooien te voorkomen. Het weerstandsmoment was onvoldoende om de liggers over de overspanning van 27 m over de jukken door te schuiven.

De overlaat.

De overlaat is op den linkeroever in ongeroerden grond en aansluitend aan het damlichaam gebouwd. Het niveau van de kruin ligt op + 207. De breedte bedraagt 27 m, in drie overspanningen van 9 m, onderbroken door twee pijlers van 1 m breedte. De dwarsdoorsnede heeft een ronde kruin met ojiefvormige storthelling met stortbak en stootbalk, zie *fig. 15*. De benedenstroomsche koffer reikt tot in de aldaar aanwezige zware steenbank. De aanwezigheid van deze steenbanken heeft aanleiding gegeven tot het onbeschermd laten van den verderen afloop naar de kali. Na uitslijting van de bovenlagen kan later, indien dit noodig zou blijken, alsnog een voorziening worden getroffen, doch vermoedelijk bieden de steenbanken voldoenden weerstand. Over de pijlers kan met een eenvoudige loopbrug de verbinding tusschen de beide oevers worden onderhouden.

V. De kosten.

De totale kosten van het werk hebben *f* 885 000,— bedragen, als volgt verdeeld:

1e.	gedeelte: Onteigening van gronden, aanleg van wegen en den bouw van loodsen, kantoor en tijdelijke woningen	*f* 183 000,—
2e.	gedeelte: De bouw van den aftapkoker, den bandjirkoker en het uitmondingskunstwerk	„ 109 000,—
3e.	gedeelte: De aarden dan met de steenstapeling	„ 400 000,—
4e.	gedeelte: De afsluitmiddelen ...	„ 77 000,—
5e.	gedeelte: De bouw van de aftaptoren, de bedieningsbrug en de overlaat	„ 116 000,—
	Totaal	*f* 885 000,—

Aangezien bij den bouw van het damlichaam (3e gedeelte) een voor Ned.-Indië bijzondere bouwwijze is toegepast, wordt hieronder een specificatie gegeven van de uitgaven voor dat gedeelte van het werk.

Specificatie uitgaven 3e gedeelte

I.	*Grondverzet:*		
a)	Schoonmaken van dalwanden en kalibedding	*f* 9 500,—	
b)	Maken van een inkassing voor de kern	„ 3 500,—	
			f 13 000,—
c)	Het aarden damlichaam:		
	1) Aanleg en onderhoud van de electrische installatie	*f* 39 800,—	
	2) Aanschaffing, onderhoud en bediening van pompmateriaal en buizen...	„ 102 500,—	
	3) Loswerken van grond en steenen (kotten)	„ 75 200,—	
	4) Krachtverbruik ...	„ 55 000,—	
	5) Arbeid op den dam	„ 10 200,—	
	6) Het volgens droge methode ontgraven, transporteeren en verwerken in den dam	„ 5 300,—	
			f 288 000,—
II.	*Bezoding:*		*f* —,—
III.	*Steenstapeling en steenbezetting:*		
	1) verzamelen in depôts	*f* 27 000,—	
	2) transporteeren en verwerken in den dam	„ 49 000,—	
			f 76 000,—
	3) aankoop idjoek, grind enz.		„ 2 000,—
IV.	*Diversen:*		
	w.o. bouwen van overloopkokers, en onderzoekingen:		„ 7 500,—
V.	*Administratie:*		
a)	Tractementen van werkbazen en administratief personeel...	*f* 11 300,—	
b)	Inrichting kantoor, telefoon, teeken- en schrijfbehoeften, enz.	„ 4 100,—	
c)	Transport tijdelijk personeel en aanwerving van koelies	„ 3 800,—	
d)	Werkplaatsen, loodsen en gereedschappen	„ 10 700,—	
e)	Opnemingen	„ 2 500,—	
f)	Verplegingskosten ...	„ 2 400,—	
			f 34 800,—
	Slametans		„ 700,—
	Totaal		*f* 422 000,—

Na afloop van het werk bleek slechts een gedeelte van de gebruikte machines en pompen verkoopbaar, mede in verband met het intreden van de malaise. Na aftrek van de transportkosten is voor rond *f* 22 000,— verkocht, zoodat de uitgaven voor het 3e gedeelte *f* 400 000,— hebben bedragen.

De posten I *c* 1 t.m. 5 hebben betrekking op het grondverzet volgens de „hydraulic fill"-methode en wel van 220 000 m³. De post I *c* 6 daarentegen heeft betrekking op de laatste 25 000 m³ grond,

welke droog verwerkt zijn. Een groot gedeelte van deze uitgaven is niet rechtstreeks evenredig met de hoeveelheid grondverzet, zoodat een splitsing moet worden gemaakt tusschen indirecte kosten en directe kosten van het grondverzet, als volgt:

Indirecte kosten v/h grondverzet:

I *c* 1. Aanleg en onderhoud hoogspanningslijn, Koedoes — Pati (18 km)	*f*	26 000,—
Aanleg en onderhoud (w.o. verplaatsingen) van de 6000-, 500- en 220-volt lijnen op het werk (inclusief reparaties aan motoren enz.)	„	13 800,—
I *c* 2. Plaatsen van de machines en bouw van de pompstations	„	1 500,—
Aanschaffing van pompmateriaal en machines, inclusief transport ...	„	84 500,—
Opbreken van de pompstations, transport en inpakken der machines	„	1 500,—
I *c* 3. Aanleg werkfronten en watervoorziening	„	3 000,—
Tezamen	*f*	130 500,—
Ontvangen aan verkoop machines ...	„	22 000,—
Uitgegeven aan *indirecte kosten:* ...	*f*	108 500,—

Omgerekend op 220 000 M³ grond, zijn dus de indirecte kosten *per m³ rond f 0,50.*

Directe kosten v/h grondverzet:

	Totaal voor 220 000 m³	per m³
I *c* 2. Bediening, onderhoud van pompmaterieel en buizen, inclusief aankoop stellinghout voor de buisleidingen en de kosten voor het verplaatsen der pompstations en het verleggen der buisleidingen	*f* 14 800,—	*f* 0,06[7]
I *c* 3. Grond- en steenwinning door koelies incl. aanschaffing van pikhouweelen enz. ...	„ 72 200,—	„ 0,32[8]
I *c* 4. Krachtverbruik grondpompen en monitors	„ 55 000,—	„ 0,25
I *c* 5. Arbeid op den dam ...	„ 10 200,—	„ 0,04[6]
Totale *directe kosten* ...	*f* 152 200,—	*f* 0,69[1]

De totale kosten per m³ volgens de „hydraulic fill"-methode hebben dus *f* 0,50 + *f* 0,69 = *f* 1,19 bedragen. Dit cijfer is inderdaad vrij hoog. Wil men de kosten van de „hydraulic fill"-methode vergelijken met de kosten volgens andere werkwijzen, dan moet met ondervolgende factoren rekening worden gehouden:

1e In de grondwinningsplaatsen kwamen abnormaal zware steenbanken voor, terwijl de padaslagen zich vrijwel uitsluitend met pikhouweelen lieten bewerken.

2e In verband met het geforceerd grondverzet in 1931, waarbij bovendien de koelies het grondverzet in dagloon niet prefereerden, moesten de dagloonen tot *f* 0,60 worden opgevoerd om over voldoende volk te kunnen beschikken. Weliswaar is het loon in 1932 tot *f* 0,35 teruggebracht (tenslotte tot *f* 0,25), doch steeds is gebleken, dat voor dit soort werk met moeite voldoende volk kon worden aangeworven.

3e De aanwezigheid van de vele steenbanken heeft ook invloed gehad op het krachtverbruik. Zeer veel is voor het loswerken der steenen van monitors gebruik gemaakt, terwijl de opbrengst aan grond minimaal was.

Indien de dam geheel volgens de droge werkwijze was gebouwd, zou het zeer twijfelachtig zijn geweest of zelfs met een grondverzetprijs *f* 1,19 per m³ had kunnen worden volstaan. Ten eerste was het terrein niet gunstig voor het aanleggen van railbanen, doch bovendien zouden de kosten bij droge ontgraving aanmerkelijk hooger zijn geweest. Dit was reeds gebleken bij de ontgraving van de sleuf voor den aftapkoker, waar voor het grondverzet prijzen van *f* 1,50 per m³ bij een loonstandaard van *f* 0,30 per dag geen uitzondering waren. Ter vergelijking zij nog opgemerkt, dat terzelfdertijd voor grondverzet in rooden laterietgrond tot 3 m diepte en bij een gemiddelden transportafstand van 50 m een prijs van *f* 0,10 à *f* 0,15 is betaald; een bewijs welk een handicap de steenbanken bij het grondverzet waren.

De laatste 5 m hoogte van den dam, inhoud 25 000 m³ en volgens droge werkwijze ingebracht, heeft slechts *f* 5 300,— of *f* 0,21[2] per m³ gekost. Deze prijs kan echter niet als basis dienen voor den bouw van een geheel damlichaam, omdat hier met zeer eenvoudig railbaantransport kon worden volstaan en uitsluitend lagen met weinig steen konden worden ontgonnen.

Bij toepassing van de „hydraulic fill"-methode wordt zeer intensief toezicht vereischt, zoodat de post „tractementen" voor werkbazen vrij hoog moest zijn. Ook zal de post „werkplaatsen en gereedschappen" bij machinaal werken uiteraard hooger zijn dan elders.

In den dam is 65 000 m³ steen verwerkt voor *f* 76 000,— of *f* 1,17 per m³. Het loswerken van de steenen kwam grootendeels t.l.v. het grondverzet.

Afzonderlijke ploegen waren evenwel aangewezen voor het verzamelen van de steenen langs de railbaan en het voor transport gereed maken (springen, kloven en stukhakken).

Het transport van de steenen geschiedde over afstanden van 200 tot 500 m met hoogteverschillen van 10 tot 15 m langs eenvoudige railbanen. Voor het verwerken van de steenen in den dam waren echter railbaanbruggen noodig, daar op andere wijze niet voldoende capaciteit werd behaald.

Hoewel de begrooting niet is overschreden, kan toch worden aangenomen, dat tengevolge van de groote hoeveelheid steen, de eenheidsprijzen voor een „hydraulic fill"-dam hoog zijn. Naar alle waarschijnlijkheid zou de prijs bij droog grondverzet echter nog hooger zijn geweest en de begrooting vermoedelijk zijn overschreden, waarbij dan nog een minder deugdelijke dam zou zijn verkregen.