3e JAARGANG
NUMMER 6

JUNI
1936

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

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:
jhr. ir. H. S. van Lennep,
ir. Ch. F. van Haeften,
P. J. Graaff.

Commissie van Redactie:
Voorzitter: prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh;
Leden: ir. E. E. Hens,
dr. ir. Tan Sin Hok.

Prijs per jaargang: *f* 20,— Afzonderlijke nummers: *f* 2,—
Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Hoogeschoolweg 3, Bandoeng.
Adres voor administratie en abonnementen: Bragaweg 38, Bandoeng.
Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum.

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Eenige trillingsproblemen in den bruggenbouw, door ir. W. J. van der Eb. — Het ingenieurscongres te Tokio. — Een herdenking. — Techn. Hoogeschool. — *Berichten van allerlei aard:* — Normalisatie. — Stichting voor Materiaalonderzoek. — *Boekbespreking.* — *Personalia.* — *Kon. Instituut van Ingenieurs:* Bestuursmededeelingen. — Vereenigingsnieuws.

Eenige trillingsproblemen in den bruggenbouw

door

ir. W. J. VAN DER EB,

ingenieur bij den Technischen Dienst (afd. Constructie en Bruggen) der Staatsspoorwegen te Bandoeng.

Het geven van een grootere hoogte aan de hoofdliggers van vakwerkbruggen bij de S. S., waarbij in het algemeen veel slankere randstaven verkregen worden, vorderde een nadere beschouwing van de transversaaltrillingen van de vakwerkstaven afzonderlijk. Onder verwaarloozing van de geringe demping en de voortdurende geringe verandering van de trillingsgetallen van hoofdliggers en staven zelf bij het passeeren van den rijdenden pulseerenden last, bleek resonantie mogelijk bij samentreffen van de trillingsgetallen van hoofdliggers en staven afzonderlijk. In verband met de vermoeidheidsverschijnselen van het materiaal verdient het aanbeveling deze trillingsgetallen zoo mogelijk niet met elkaar te laten samenvallen, hoewel verschillende invloeden (o.a. demping) maken, dat er geen direct gevaar ontstaat. Resonantie-verschijnselen in horizontale richting geconstateerd aan een viaduct op vrij hooge pijlers in de buurt van Sasaksaät, hebben geleid tot een onderzoek naar het gedrag van windverbanden onder invloed van een pulseerenden horizontaal last, waarbij 4 verschillende gevallen in beschouwing zijn genomen, n.l. *1e*) een windverband op 2 vaste steunpunten; *2e*) idem doorloopend over 4 onderling verschillend veerende steunpunten; *3e*) en *4e*) de gevallen *ad 1*) en *2*) in de ruimte beschouwd, d.w.z. dus als gekoppeld systeem van de hoofdliggers met bovenwindverband, voor het ruimtesysteem, bestaande uit 2 hoofdliggers, bovenwindverband met tusschenportalen en oneindig stijve eindportalen. De *ad 2*), *3*) en *4*) beschouwde gevallen vormen een uitbreiding op het *1e* geval, hetwelk reeds door C. E. Inglis is afgeleid.

De theorieën leiden tot een uitkomst voor de uitbuiging van de liggers op een willekeurig punt als functie van den tijd in een snel convergeerenden ∞ reeksvorm. Kort worden nog even andere ruimtegevallen aangehaald en de invloed van de massa van den rijdenden pulseerenden last in beschouwing genomen.

In de laatste jaren is in den bruggenbouw een groote interesse ontstaan voor het probleem van de dynamische werking van bewegende lasten op bruggen. Reeds is hierover veel gepubliceerd. Bekend zijn o.a. de werken van Thimoschenko en Inglis. Vooral de laatste heeft op dit gebied veel gepresteerd, zoowel theoretisch als experimenteel, daarbij gesteund door de waarnemingen van de British Bridge Stress Committee. Het onderstaande is een uitbreiding op de theorieën van Inglis, terwijl ook zijn analyse-methode gevolgd is. Om dit artikel tot een goed leesbaar geheel te maken, was het noodig, terwille van de chronologische volgorde, voor één geval in herhaling te vallen, ofschoon dit reeds in de publicaties van Inglis behandeld is.

Het onderstaande vormt een onderzoek:

ten 1*e*. naar het gedrag van vakwerkstaven op zichzelf betreffende hun transversale trillingen, wanneer de brug bereden wordt door een pulseerenden last;

ten 2*e*. naar de horizontale invloeden van treinen op bruggen. Hierbij zijn in beschouwing genomen liggers op 2 en op 4 steunpunten.

Bij de laatste zijn de steunpunten veerend aangenomen. Verder zijn afleidingen gemaakt voor beide gevallen, waarbij het systeem als ruimtesysteem in beschouwing is genomen, d.w.z. dat niet alleen de windverbanden in rekening zijn gebracht, doch ook de hoofdliggers, waaraan de windverbanden als 't ware gekoppeld zijn door het feit, dat de randen deel uitmaken én van de hoofdliggers én van de windliggers, waardoor koppel-trillingen ontstaan.

Wat de *ad 2*) betreffende onderzoekingen aangaat, deze zijn verricht naar aanleiding van geconstateerde resonantieverschijnselen op een bepaald viaduct in de Preangerlijn als gevolg van het sneller rijden van de „vlugge vier"-treinen. Het liet zich eerst aanzien, dat een kostbare versterking van de pijlers van dat viaduct noodig zou zijn. Om dit zoo mogelijk te omzeilen zijn ondervolgende theoretische beschouwingen opgesteld met daaraan vastgeknoopt een groote serie waarnemingen, welke thans harmonisch geanalyseerd worden.

Dit werk vordert echter zeer veel tijd, zoodat het niet mogelijk is resultaten daarvan reeds nu te publiceeren. Steller dezes stelt zich voor later daarop terug te komen. Echter kan nu reeds gezegd worden, dat bij de eerste experimenten een zekere regelmaat viel te constateeren en ook eenige conclusies zijn gedaan betreffende den aard van de horizontale stootwerking in haar verhouding tot de snelheid.

A. Over de transversale trillingen van vakwerkstaven afzonderlijk bij het rijden van een pulseerenden last over de brug.

Sinds de onderzoekingen en publicatie's van prof. N. C. Kist en prof. P. P. Bylaard over de gunstigste hoogte van vakwerken, waarbij bepaaldelijk bleek, dat in het algemeen te lage hoogten voor vakwerkbruggen zijn toegepast, zijn de type-bruggen van de S.S. geheel herzien geworden. Bij de nieuwere ontwerpen zijn grootere hoogten toegepast en is daarbij de juistheid van bovengenoemde publicaties gebleken. De nieuwere typen gaven belangrijke besparingen in bruggewichten en waren daarbij ook veel eenvoudiger in constructie te maken door het toepassen van een gering aantal velden.

Deze hooge vakwerken brachten echter iets anders met zich mede, n.l. het kleiner worden in doorsnede van de randstaven, waarbij tevens hun lengte grooter werd. De trillingsgetallen van de staven namen hierdoor dus af. Het vakwerk zelf werd door de groote hoogte in verticalen zin veel stijver; zijn eigen trillingsgetal nam dus toe. Lagen vroeger in het algemeen de trillingsgetallen van hoofdliggers en staven zelf ver uit elkaar, bij hoogere vakwerken is de mogelijkheid grooter, dat een samentreffen van de trillingsgetallen van hoofdliggers en één of meer staven plaats vindt.

Een vakwerkstaaf wordt tijdens treinovergang in zijn oplegpunten (dat zijn dus de theor. scharnierpunten) heen en weer geschud. Nemen we aan, dat het linkeroplegpunt zich beweegt volgens de functie $(U_1) = U_1 \cdot \cos \omega t$ en het rechterpunt volgens $(U_2) = U_2 \cdot \cos \omega t$, dan is op een afstand x van links (zie *fig. 1*).

$$U_x = \left\{ U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) + U_2 \cdot \frac{x}{l} \right\} \cdot \cos \omega t \ldots \quad (1)$$

Wij kunnen dan de partieele diff. vergelijking voor de gedwongen trilling opstellen (principe van d'Alembert).

Immers is:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = - M_x$$ of na 2 x verder differenteeren

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = q_x$$

Beschouwen wij de trilling t.o.v. de elastische lijn van de door haar eigen gewicht uitgebogen staaf, dan werken als eenige belasting de door het schudden ontstane massa krachten, welke zijn

$m \cdot \frac{\partial^2 (y + U_x)}{\partial \cdot t^2}$, als m de massa van de staaf per lengte-eenheid voorstelt.

Hieruit resulteert de trillingsdiff. verg.

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \cdot \frac{\partial^2 (y + U_x)}{\partial t^2} = 0$$

of na substitutie van (**1**)

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = m \cdot \omega^2 \cdot \left\{ (U_1 \cdot (l - \frac{x}{l}) + \right.$$

$$\left. + U_2 \cdot \frac{x}{l} \right\} \cdot \cos \omega t \ldots \quad (2)$$

Een particuliere oplossing is te vinden in den vorm

$$y = f(x) \cdot \cos \omega t,$$

waarbij $f(x)$ nog een nader te bepalen functie van x is.

Substitutie hiervan in (**2**) geeft:

$$\frac{d^4 f(x)}{dx^4} + \frac{m \cdot \omega^2}{E \cdot I} \cdot f(x) = \frac{m \cdot \omega^2}{E \cdot I} \cdot \left\{ U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) + \right.$$

$$\left. + U_2 \cdot \frac{x}{l} \right\}$$

Waarvan de oplossing, indien gesteld wordt

$$r = \sqrt[4]{\frac{m \cdot \omega^2}{E \cdot I}}$$ is,

$$f(x) = A \cdot \cos rx + B \cdot \sin rx \cdot + C \cdot \cosh rx +$$

$$+ D \cdot \sinh rx - U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) - U_2 \cdot \frac{x}{l}$$

Worden de voorwaarden ingevoerd, dat voor $x = 0$ en $x = l$ is $y = 0$ en $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$ voor $t =$ willekeurig, dan vindt men:

$$A = C = \frac{U_1}{2}$$

$$B = \frac{U_2 - U_1 \cdot \cos rl}{2 \sin rl}$$

$$D = \frac{U_2 - U_1 \cdot \cosh rl}{2 \sinh rl}$$

De gedwongen trilling krijgt dus de gedaante van:

$$y = \cos \omega t \cdot \left[\frac{U_1}{2} \cdot (\cos rx + \cosh rx) + \right.$$

$$+ \frac{U_2 - U_1 \cdot \cos rl}{2 \cdot \sin rl} \cdot \sin rx + \frac{U_2 - U_1 \cdot \cosh rl}{2 \cdot \sinh rl} \cdot$$

$$\left. \cdot \sinh rx - U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) - U_2 \cdot \frac{x}{l} \right] = \cos \omega t \cdot$$

$$\cdot f_1(x) \quad \ldots\ldots\ldots\

Toch doet men goed met bovenstaande beschouwingen, indien mogelijk rekening te houden, en wel in verband met de „dauer"-verschijnselen in het materiaal. Deze resonantiegevallen doen toch per treinovergang een belangrijk aantal spanningswisselingen van grooter beteekenis ontstaan, welke de staaf in ongunstiger conditie plaats in het „dauerfestigkeits"-gebied.

Nog een eigenaardigheid kan uit formule (4) afgeleid worden, welke echter alleen van mathematische beteekenis is.

Wordt n.l. $U_1 = U_2$ en denkt men zich de trilling zoodanig ontstaan, dat

$A_k = B_k = O$, zoodat dus $y = f_1(x) \cdot \cos \omega t$, en krijgt nu ω de waarde van:

$$\omega = k_2^2 \cdot \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}},$$

waarbij k_2 gegeven door $\cos k_2 l \cdot \cosh k_2 l = 1$ ... (5) d.w.z. dus het geval van de trillende staaf met vrije uiteinden, dan vindt men voor

$$\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = \frac{U_1}{2} \cdot r^3 \cdot \left[\sin rx + \sinh rx - \frac{1 - \cos rl}{\sin rl} \cdot \right.$$
$$\left. \cdot \cos rx + \frac{1 - \cosh rl}{\sinh rl} \cdot \cosh rx \right] \cdot \cos \omega t,$$

waarbij voor $x = 0$ en l de haakjesterm dan resp. wordt:

$$\pm \left[- \frac{1 - \cos rl}{\sin rl} + \frac{1 - \cosh rl}{\sinh rl} \right] \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Na substitutie van (5) en (6) en na eenige herleidingen vindt men nu, dat de haakjesterm = 0 wordt, immers is:

$$r = \sqrt[4]{\frac{m \cdot \omega^2}{E \cdot I}} = \sqrt[4]{k_2^4} = k_2$$

en dus $r \cdot l = k_2 \cdot l$ (zie noten [1]) en [2])).

d.w.z., dat in dit geval de steunpunten van de staaf dus geen reacties overbrengen tijdens de trilling. Dit resultaat was te verwachten, doch het geval is verder van geen beteekenis, aangezien hierbij geen gevaar bestaat van te groote uitwijkingen.

---

1) Te bewijzen dus:
$\frac{1 - \cos k_2 l}{\sin k_2 l} = \frac{1 - \cosh k_2 l}{\sinh k_2 l}$, wat na quadrateeren wordt:

$$\frac{(1 - \cos k_2 l)^2}{1 - \cos^2 k_2 l} = \frac{(1 - \cosh k_2 l)^2}{\sinh^2 k_2 l} = \frac{(1 - \cosh k_2 l)^2}{\cosh^2 k_2 l - 1}$$

en met $\cosh k_2 l = \frac{1}{\cos k_2 l}$ uit (5) krijgen we dus:

$$\frac{(1 - \cosh k_2 l)^2}{\cosh^2 k_2 l - 1} = \frac{(1 - \frac{2}{\cos k_2 l} + \frac{1}{\cos^2 k_2 l})}{\frac{1}{\cos^2 k_2 l} - 1} =$$

$$= \frac{(1 - \cos k_2 l)^2}{1 - \cos^2 k_2 l}$$

Inderdaad wordt dus (6) = 0.

B. Een horizontaal windverband, belast met een zich voortbewegenden pulseerenden last (dit geval is volkomen gelijk aan het door T h i m o s c h e n k o en I n g l i s behandelde geval van een ligger op 2 steunpunten bereden door een pulseerenden verticalen last).

Zijn de steunpunten volkomen onbewegelijk dan geldt de diff. verg. voor de beweging:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = f(xt)$$

waarin:
m = de massa per lengteeenheid van den ligger;
$E \cdot I$ = haar stijfheidsfactor;
$f(xt)$ = de horizontale belasting van x en t afhangende.

Wordt aangenomen, dat de brug zich lineair uitdempt, dan wordt de diff. verg.:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + h \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = f(xt)$$

In deze vergelijking is de zgn. rotatorische traagheid, welke in het algemeen gering is, verwaarloosd. Deze invloed uit zich door den term

$$\frac{\lambda}{g} \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^2 \cdot \partial t^2}$$

De uitwendige belastingsterm $f(xt)$ is discontinue. Om echter de vergelijking integreerbaar te maken, wordt $f(xt)$ ontwikkeld in een F o u r i e r' sche reeks.

Door een passende keuze van de integratie-grenzen wordt:

$$f(xt) = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cdot \sin \frac{n\pi x}{l},$$

waarbij:

$$A_n = \frac{2}{l} \cdot \int_0^l f(xt) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx$$

De last wordt voorloopig op een afstand a van links gedacht en gelijkmatig verdeeld over een zeer klein bereik $2 \cdot E$ (zie *fig. 2*).

Alsdan is:

$f(xt) = 0$ van $x = 0$ tot $x = (a - E)$
$f(xt) = \frac{P}{2 \cdot E}$ van $x = a - E$ tot $x = a + E$
$f(xt) = 0$ van $x = a + E$ tot $x = l$.

---

2) Wordt een constante axiale trek- of drukkracht in rekening gebracht, dan wordt de diff. verg:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \pm P \cdot \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + m \cdot \frac{\partial^2 (y + U \cdot x)}{\partial t^2} = 0$$

en resulteert in $f(x)$ de verg:

$$\frac{d^4 f(x)}{dx^4} \pm \frac{P}{E \cdot I} \cdot \frac{d^2 f(x)}{dx^2} + \frac{m \cdot \omega^2}{E \cdot I} \cdot f(x) =$$
$$= \frac{m \cdot \omega^2}{E \cdot I} \cdot \left\{ U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) + U_2 \cdot \frac{x}{l} \right\}$$

Aangezien de axiaalkracht bij passeeren van den last verandert in grootte, heeft het geen zin verder op deze formule in te gaan. Haar oplossing levert overigens geen principieele bezwaren.

Hiermede vindt men:

$$A_n = \frac{2 \cdot P}{2 \cdot l \cdot E} \int_{a-E}^{a+E} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = -\frac{P}{n \cdot \pi \cdot E} \cdot$$

$$\cdot \left[\cos n\pi \frac{(a+E)}{l} - \cos n\pi \frac{(a-E)}{l} \right] =$$

$$= \frac{2 \cdot P}{n \cdot \pi \cdot E} \cdot \sin \frac{n\pi a}{l} \cdot \sin \frac{n\pi E}{l}$$

Wordt E zeer klein gedacht, dan is te zetten:

$$\sin \frac{n\pi E}{l} = \frac{n\pi E}{l}$$

Hierdoor wordt dus:

$$A_n = \frac{2 \cdot P}{l} \cdot \sin \frac{n\pi a}{l}$$

Wanneer de last P met eenparige snelheid over de brug rijdt, dan is a niet constant, doch:

$$a = v \cdot t$$

$$\text{dus } A_n = \frac{2 \cdot P}{l} \cdot \sin \frac{n\pi vt}{l} = \frac{2 \cdot P}{l} \cdot \sin 2\pi kt$$

$$\text{als } k = \frac{n \cdot v}{2 \cdot l}$$

Wordt P sinusoidaal pulseerende gedacht volgens $P = P_o \cdot \sin 2\pi Nt$, dan vinden we ten slotte:

$$f(xt) = \frac{2 \cdot P_o}{l} \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt$$

Hiermee is de rijdende pulseerende geconcentreerde last P_o feitelijk omgezet in een som van een oneindig aantal sinusvormige met den tijd veranderlijke belastingen.

De diff. verg. wordt dan:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + h \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = \frac{2 \cdot P}{l} \cdot$$

$$\cdot \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt \quad \ldots \textbf{(I)}$$

Als randvoorwaarden voor de elastische lijn gelden:

voor $x = 0$ en $x = l$ is $ij = 0$

voor $x = 0$ en $x = l$ is $E \cdot I \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$

Een particuliere oplossing van deze partieele diff. vergelijking, welke tevens aan de gegeven randvoorwaarden voldoet, is te verkrijgen in den oneindigen reeksvorm

$$y = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f(t) \quad \ldots \textbf{(II)}$$

waarin $f(t)$ een nog nader te bepalen functie van den tijd is. Het is gemakkelijk in te zien, dat deze vorm volkomen aan de randvoorwaarden past.

Met deze oplossing wordt dus:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \sum_{n=1}^{n=\infty} E \cdot I \cdot \frac{n^4 \pi^4}{l^4} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f(t)$$

$$m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \sum_{n=1}^{n=\infty} m \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f''(t)$$

$$h \cdot \frac{\partial y}{\partial t} = \sum_{n=1}^{n=\infty} h \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f'(t)$$

Dit in de oorspronkelijke diff. verg. gesubstitueerd, geeft na schrapping van $\sin \frac{n\pi x}{l}$ voor den n^{den} term van de oneindige reeks **(II)** de gewone lineaire diff. verg. van de 2de orde met constante coëfficiënten in $f(t)$

$$m \cdot f''(t) + h \cdot f'(t) + \frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{l^4} \cdot f(t) = \frac{2 \cdot P_o}{l} \cdot$$

$$\cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt$$

of ook

$$f''(t) + 2 \cdot L \cdot f'(t) + A_n^2 \cdot f(t) = \delta \left[\cos 2\pi \cdot (N - k) \cdot t - \cos 2\pi \cdot (N + k) \cdot t \right] \quad \ldots \textbf{(III)}$$

waarin $2L = \frac{h}{m}$; $A_n^2 = \frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{l^4 \cdot m}$ en $\delta = \frac{P_o}{m \cdot l}$

Noemen wij verder

$y_{1n} = 2 \cdot \pi \cdot (N - k)$ en $y_{2n} = 2 \cdot \pi \cdot (N + k)$ en $A_{\bar{n}} = \sqrt{A_n^2 - L^2}$, dan is bij geringe demping de oplossing van **(III)**, zijnde dus de n$^{\text{de}}$ deeloplossing:

$$f(t) = e^{-Lt} (C_{1n} \cdot \cos A_{\bar{n}} t + C_{2n} \cdot \sin A_{\bar{n}} t) + M_{1n} \cdot \sin y_{1n} t + N_{1n} \cdot \cos y_{1n} t - M_{2n} \cdot \sin y_{2n} t - N_{2n} \cdot \cos y_{2n} t$$

Ter bepaling van M_{1n}, N_{1n}, M_{2n} en N_{2n} diene

$f(t)_{\text{particulier}} = M_{1n} \cdot \sin y_{1n} t + N_{1n} \cdot \cos y_{1n} t$ dus

$f'(t)_{\text{particulier}} = M_{1n} \cdot y_{1n} \cdot \cos y_{1n} t - N_{1n} \cdot y_{1n} \cdot \sin y_{1n} t$

$f''(t)_{\text{particulier}} = -M_{1n} \cdot y_{1n}^2 \cdot \sin y_{1n} t - N_{1n} \cdot y_{1n}^2 \cdot \cos y_{1n} t$

Hetgeen gesubstitueerd in de diff. verg. **(III)** geeft:

$$-M_{1n} \cdot y_{1n}^2 \cdot \sin y_{1n} t - N_{1n} \cdot y_{1n}^2 \cdot \cos y_{1n} t + 2 \cdot L \cdot M_{1n} \cdot y_{1n} \cdot \cos y_{1n} t - 2 \cdot N_{1n} \cdot L \cdot y_{1n} \cdot \sin y_{1n} t + A_n^2 \cdot M_{1n} \cdot \sin y_{1n} t + A_n^2 \cdot N_{1n} \cdot \cos y_{1n} t = \delta \cdot \cos y_{1n} t \quad \ldots \textbf{(IV)}$$

Wil deze vorm een identiteit worden, dan moet:

$$-M_{1n} \cdot y_{1n}^2 - 2 \cdot N_{1n} \cdot L \cdot y_{1n} + A_n^2 \cdot M_{1n} = 0$$

en $-N_{1n} \cdot y_{1n}^2 + 2 \cdot M_{1n} \cdot L \cdot y_{1n} + A_n^2 \cdot N_{1n} = \delta$

waaruit vallen op te lossen de waarden:

$$M_{1n} = \frac{2 \cdot \delta \cdot L \cdot y_{1n}}{(A_n^2 - y_{1n}^2)^2 + 4 \cdot L^2 \cdot y_{1n}^2}$$

$$N_{1n} = \frac{\delta (A_n^2 - y_{1n}^2)}{(A_n^2 - y_{1n}^2)^2 + 4 \cdot L^2 \cdot y_{1n}^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(V)}$$

welke (IV) tot een identiteit doen overgaan.

Voor M_{2n} en N_{2n} vindt men vanzelfsprekend denzelfden vorm.

Ter bepaling van de constanten C_{1n} en C_{2n} gelden de beginvoorwaarden voor $t = 0$ is $f(t) = 0$ en $f'(t) = 0$ of anders gezegd: bij het begin is de ligger recht.

Hieruit is te vinden:

$$C_{1n} = -(N_{1n} + N_{2n})$$

$$C_{2n} = -\frac{L}{A_{\bar{n}}} \cdot (N_{1n} + N_{2n}) - \frac{M_{1n}}{A_{\bar{n}}} \cdot y_{1n} - \frac{M_{2n}}{A_{\bar{n}}} \cdot y_{2n}$$

waarmee de oplossing van (I) dus volkomen gedefinieerd is in ∞vorm. Zij is nog in andere gedaante te zetten en wel:

$$y = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \Big[C_n e^{-Lt} \cdot \sin (A_{\bar{n}} t - E_n) + B_{1n} \cdot \sin (y_{1n} t - E_{1n}) + B_{2n} \cdot \sin (y_{2n} t - E_{2n}) \Big]$$

Hierin is:

$$C_n = \sqrt{C_{1n}^2 + C_{2n}^2} \qquad E_n = \text{bg tg} - \frac{C_{1n}}{C_{2n}}$$

$$B_{1n} = \sqrt{N_1^2 + M_1^2} \qquad E_{1n} = \text{bg tg} - \frac{N_1}{M_1}$$

$$B_{2n} = \sqrt{N_2^2 + M_2^2} \qquad E_{2n} = \text{bg tg} - \frac{N_2}{M_2}$$

Fig. 1

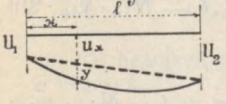


Fig. 2

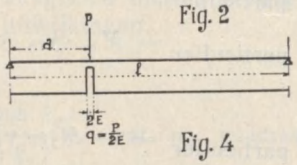


Fig. 3

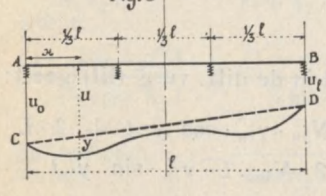


Fig. 4

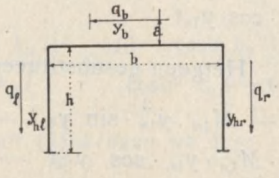
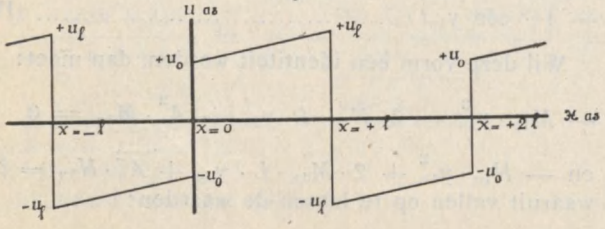


Fig. 5



C. Een horizontaal windverband, loopende over 4 veerende steunpunten, waarbij de mate van veering der steunpunten onderling niet gelijk is, bereden door een pulseerenden last (dit geval vormt een uitbreiding op de door I n g l i s behandelde gevallen).

Wij voeren hier 2 assenstelsels in:

1*e*) een vast assenstelsel *AB* samenvallend met den ruststand van den ligger;

2*e*) een beweeglijk assenstelsel *CD*, dat door de eindpunten van den ligger gaat (zie *fig. 3*).

De steunpuntsreacties *E* en *F* worden als uitwendige krachten ingevoerd, terwijl tevens de massa's van de veerende steunpunten (de pijlers) in *E* en *F* op den ligger geconcentreerd gedacht worden (t.w. de gereduceerde massa's van de pijlers). De pijlers (c.q. veerende steunpunten) worden dan verder massaloos gedacht.

In dit geval mag dan hun reactie steeds evenredig aan hun uitwijking aangenomen worden. Steunpuntsreacties en gereduceerde massa's vallen dan geheel onder de uitwendige belastingsfunctie $f(xt)$. Het is gemakkelijk in te zien, dat in dit geval de diff. verg. van de beweging wordt:

$$E \cdot I \cdot \frac{\delta^4 y}{\delta x^4} + h \cdot \frac{\delta (u + y)}{\delta t} + m \cdot \frac{\delta^2 (u + y)}{\delta t^2} = f(xt) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(I)}'$$

De belastingsfunctie van den pulseerenden last wordt wederom als in het vorige geval:

$$f_1(xt) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot P_o}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

De 2 tusschensteunpunten leveren op elk oogenblik reacties groot resp. $C_2 \cdot (u + y)_{\frac{1}{3}l}$ en $C_3 (u + y)_{\frac{2}{3}l}$ als C_2 en C_3 de veerconstanten zijn van de twee middelste pijlers. Deze belastingen in een reeks van F o u r i e r uitgedrukt worden dan voor

$$\text{pijler 2:} \sum_{n=1}^{n=\infty} - \frac{2 \cdot C_2 \cdot (u + y)_{\frac{1}{3}l}}{l} \cdot \sin \frac{n\pi}{3} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$\text{pijler 3:} \sum_{n=1}^{n=\infty} - \frac{2 \cdot C_3 \cdot (u + y)_{\frac{2}{3}l}}{l} \cdot \sin \frac{2n\pi}{3} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

De traagheidskrachten van de massa's in *E* en *F*, zijnde resp. M_2 en M_3, worden, indien M_2 en M_3 ook in een F o u r i e r'sche reeks ontwikkeld worden voor

$$\text{pijler 2:} \sum_{n=1}^{n=\infty} - \frac{2 \cdot M_2}{l} \cdot \sin \frac{n\pi}{3} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \frac{\delta^2 (u + y)_{\frac{1}{3}l}}{\delta t^2}$$

pijler 3: $\sum_{n=1}^{n=\infty} - \frac{2 \cdot M_3}{l} \cdot \sin \frac{2n\pi}{3} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \frac{\partial^2 (u+y)_{2/3 l}}{\partial t^2}$

Noemen we nu de uitwijkingen van pijler 1 en pijler 4 resp.: u_o en u_l, dan geldt dus klaarblijkelijk voor een willekeurig tusschenpunt:

$$u_x = (1 - \frac{x}{l}) \cdot u_o + \frac{x}{l} \cdot u_l$$

Wordt u_x weer in een reeks van Fourier ontwikkeld, dan krijgen wij:

$$A_n = \frac{2 \cdot u_o}{l} \cdot \int_0^l (1 - \frac{x}{l}) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx + \frac{2 \cdot u_l}{l} \cdot \int_0^l \frac{x}{l} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx$$

Men vindt dus:

voor n = even $\quad A_n = \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (- u_l + u_o)$.

n = oneven $A_n = \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (+ u_o + u_l)$.

Zoodat voor:

n = even $\quad u_x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (- u_l + u_o) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$

n = oneven $u_x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (+ u_o + u_l) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$

Stellen we nu eerst de diff. vergelijking op dan krijgen wij:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + h \cdot \frac{\partial (u+y)}{\partial t} + m \cdot \frac{\partial^2 (u+y)}{\partial t^2} =$$

$$= \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot P_o}{l} \cdot \sin 2\pi k t \cdot \sin 2\pi N t \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} -$$

$$- \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot c_2 \cdot \sin \frac{n\pi}{3}}{l} \cdot (u+y)_{1/3 l} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} -$$

$$- \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot c_3 \cdot \sin \frac{2n\pi}{3}}{l} \cdot (u+y)_{2/3 l} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} -$$

$$- \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot M_2}{l} \cdot \sin \frac{n\pi}{3} \cdot \frac{\partial^2 (u+y)_{1/3 l}}{\partial t^2} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} -$$

$$- \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot M_3}{l} \cdot \sin \frac{2n\pi}{3} \cdot \frac{\partial^2 (u+y)_{2/3 l}}{\partial t^2} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \quad \text{..... (II)'}$$

Wederom vormt de betrekking:

$$y = \sum_{n=1}^{n=\infty} f(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

en oplossing van (II)', terwijl tevens aan de voorwaarden voldaan is.

Voor $x = 0$ en $x = l$ zijn $\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = 0$ en $y = 0$.

Hiermee wordt dus:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} = - \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot \cos \frac{n\pi x}{l} \cdot f(t).$$

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{l^4} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f(t).$$

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f'(t)$$

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f''(t)$$

Verder is nu $\quad u_o = - \frac{1}{C_1} \cdot E \cdot I \cdot \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \quad x = 0$

$$u_l = + \frac{1}{C_4} \cdot E \cdot I \cdot \frac{\partial^3 y}{\partial x^3} \quad x = l_1$$

Of ook $\quad u_o = \sum_{n=1}^{n=\infty} + \frac{1}{C_1} \cdot \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot f(t)$

$$u_l = \sum_{n=1}^{n=\infty} - \frac{1}{C_4} \cdot \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot f(t)$$

— voor n = even
+ voor n = oneven.

Hiermee wordt dus:

$$u_x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot (\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_4}) \cdot f(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$ zoowel voor n = even. n = oneven

en ook dus:

$$\frac{\partial (u+y)}{\partial t} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[1 + \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot (\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_4}) \right] \cdot f'(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$ en

$$\frac{\partial^2 (u+y)}{\partial t^2} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[1 + \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot (\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_4}) \right] \cdot f''(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Waarmee dus weer:

$$\frac{\partial^2(u+y)}{\partial t^2}(x=1/3l) = \sum_{n=1}^{n=\infty}\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]\cdot\sin\frac{n\pi}{3}\cdot f''(t)$$

$$\frac{\partial^2(u+y)}{\partial t^2}(x=2/3l) = \sum_{n=1}^{n=\infty}\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]\cdot\sin\frac{2n\pi}{3}\cdot f''(t)$$

Dit alles in (II)′ invoerend en na schrapping van $\sin\frac{n\pi x}{l}$ geeft voor de n^{de} gedeeltelijke oplossing de diff. in $f(t)$

$$f''(t)+2\cdot L\cdot f'(t)+A_n^2\cdot f(t)=2\cdot\delta\sin 2\pi kt\cdot\sin 2\pi Nt$$

als gesteld is:

$$2\cdot L=\frac{\beta}{\alpha};\quad A_n^2=\frac{\gamma}{\alpha}\text{ en }2\,\delta=\frac{2\cdot P_o}{\alpha\cdot l}$$

$$\alpha = m\cdot\left[1+\frac{2\cdot n_2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]+\frac{2\cdot M_2}{l}\cdot\sin^2\frac{n\pi}{3}\cdot\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]+\frac{2\cdot M_3}{l}\cdot\sin^2\frac{2n\pi}{3}\cdot\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]$$

$$\beta = h\cdot\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]$$

$$\gamma=\frac{n^4\cdot\pi^4\cdot E\cdot I}{l^4}+\frac{2\cdot C_2}{l}\cdot\sin^2\frac{n\pi}{3}\cdot\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]+\frac{2\cdot C_3}{l}\cdot\sin^2\frac{2n\pi}{3}\cdot\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]$$

Wij zijn hiermede tot denzelfden vorm van diff. verg. gekomen als in geval *B*. De verdere bewerkingen zijn geheel dezelfde en kan daarvoor naar het vorige geval verwezen worden [3]).

Zooals valt in te zien, zijn de massa's M_1 en M_4 van de eindpijlers niet in deze berekeningswijze in te voeren. Deze massa's doen hun invloed in hoofdzaak direct op de pijlers zelf gelden en eerst indirect op den windligger.

Men kan ze in rekening brengen door het opstellen van 3 simultane diff. verg., doch is hier verder van afgezien. Ook de massa van den rijdenden last zelf is niet in rekening gebracht. Aan het slot van het artikel wordt hier nog nader op teruggekomen.

Wordt de demping verwaarloosd, dan wordt de uitkomst:

$$y=\sum_{n=1}^{n=\infty}\sin\frac{n\pi x}{l}\cdot\left[\frac{\delta}{A_n^2-y_{2n}^2}\cdot(\cos A_n t-\cos y_{2n}t)-\frac{\delta}{A_n^2-y_{1n}^2}\cdot(\cos A_n t-\cos y_{1n}t)\right].$$

---

3) Na de oplossing van $f(t)$ zijn dus y en $(u+y)$ ook bekend, immers:

$$y=\sum_{n=1}^{n=\infty} f(t)\,\sin.\,\frac{n\pi x}{l}$$

en

$$(u+y)=\sum_{n=1}^{n=\infty}\left[1+\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\right]\cdot f(t)\,\sin.\,\frac{n\pi x}{l}$$

Of ook:

$$(u+y)=\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{n^3\cdot\pi^3\cdot E\cdot I}{l^3}\cdot\left[\frac{1}{C_1}\cdot\left(1-\frac{x}{l}\right)+\frac{1}{C_4}\cdot\frac{x}{l}\right]f(t)$$

$\downarrow$
— voor $n=$ even
+ voor $n=$ oneven.

De eerste uitdrukking voor $u+y$ vertoont de eigenaardigheid voor $x=0$ en $x=l$, $(u+y)=0$ te geven.

Dit komt door de periodische benadering van de functie, waardoor bij toepassing van een ∞ aantal termen de waarden van $(u+y)$ voor $x=0$ en $x=l$ onbepaald worden. Om die waarden toch te kunnen vinden, moet men dan invullen $x=0+\triangle$ en $x=l-\triangle$, waarbij $\triangle$ een zeer kleine waarde voorstelt (zie fig. 5.).

Verder ziet men in, dat de bovenstaande methode uitgebreid kan worden tot een willekeurig aantal veerende steunpunten en niet beperkt behoeft te blijven tot 4 steunpunten.

Fig. 5. geeft de grafische voorstelling van de reeks (bij oneindig aantal termen).

$$u_x=\sum_{n=1}^{n=\infty}\frac{2\cdot n^2\cdot\pi^2\cdot E\cdot I}{l^3}\left(\frac{1}{C_1}+\frac{1}{C_4}\right)\cdot f(t)\cdot\sin\frac{n\pi x}{l}$$

Wordt $A_n = y_{2n}$ of $A_n = y_{1n}$, dan wordt één van de 2 termen onbepaald. In dit geval ontstaat resonantie. Wij krijgen van dit geval (indexen weggelaten) per term:

$$f(t) = \frac{\partial}{A_n^2 - y^2} \cdot (\cos A_n t - \cos y_n t) =$$

$$= \frac{2 \cdot \partial}{(A_n + y) \cdot (A_n - y)} \cdot \sin \frac{(A_n + y) \cdot t}{2} \cdot$$

$$\cdot \sin \frac{(A_n - y) \cdot t}{2}$$

Als A_n nagenoeg gelijk y wordt, dan is voor $\sin \frac{(A_n - y) \cdot t}{2}$ te zetten $\frac{(A_n - y) \cdot t}{2}$ en krijgen we dus verder:

$$f(t) = \frac{\partial t}{A_n + y} \cdot \sin \frac{(A_n + y) \cdot t}{2} \text{ en indien } A_n = y$$

$$f(t) = \frac{\partial t}{2 \cdot A_n} \cdot \sin A_n t.$$

Men ziet in deze laatste formule het sommeerende karakter. In dit geval zijn groote uitwijkingen te verwachten. Een numerische uitwerking van de gevallen *B*) en *C*) heeft doen inzien, dat reeds een geringe demping in de resonantiegevallen de amplituden belangrijk doet afnemen, waarbij tevens een bepaald maximum aan amplitude niet wordt overschreden ook bij een eventueel langdurig aangrijpen van den pulseerenden last, hetgeen in het geval zonder demping niet zoo is.

De gevonden uitkomsten voor y in beide gevallen zijn uitgedrukt in ∞-reeksen, welke evenwel snel convergeeren. In geval *B* is één harmonische n.l. $n = 1$ vaak reeds voldoende. In geval *C* de 3 eersten d.i. dus $n = 1$, 2 en 3, welke harmonischen de 3 mogelijke grondvormen van de elastische lijn, waarin de ligger trilt, weergeven. Worden alle veerkonstanten C_1 t/m C_4 ∞ groot, dan krijgt men een ligger op starre steunpunten. De harmonischen $n = 1$ en 2 en hun veelvouden kunnen dus niet ontstaan, hetgeen ook in de formule tot uiting komt; de ligger heeft de neiging om zich per veldwijdte als een gewone ligger op 2 steunpunten te gedragen, wat betreft de trillingsgetallen.

Immers voor $n = 1$ en $n = 2$ en hun veelvouden vindt men in dit geval $A_n = \infty$, d.w.z. dat de ligger zich als ∞ stijf gedraagt voor deze harmonischen.

Voor $n = 3$ en veelvouden daarvan verdwijnen alle bijkomstige termen, waar $M_{2;3}$ en $C_{1 \ldots 4}$ in voorkomen en resulteert feitelijk een diff. verg. voor een ligger op 2 steunpunten, doch met steunpuntsafstand $\frac{1}{3} l$ genomen.

Zooals reeds gezegd, zijn diverse proefnemingen door het bruggenbureau verricht. In de bedoeling ligt tevens uit deze proefnemingen (indien mogelijk) te extraheeren:

1*e* de frequentie van zijdelingsche stootwerking van diverse locomotieven (alleen rijdend, dus zonder wagens);

2*e* haar intensiteit;

3*e* de grootte van de demping.

De metingen zijn verricht met een half aperiodisch gedempte seismograaf, waarvan dus resonantie- en phasenverschuivingskrommen bekend zijn. Uit de gemeten krommen kunnen hiermee de werkelijke herleid worden. Reeds is bij de eerste metingen iets eigenaardigs gebleken, n.l.

1*e* bij de lagere snelheden schijnt de invloed van de onuitgebalanceerde massa's en hun werking ook in horizontale richting te domineeren;

2*e* bij de hoogere snelheden schijnt een andere invloed te domineeren met een kleinere frequentie, waarschijnlijk tengevolge van het periodiek aanrijden van linker en rechter rail (zgn. mouvement de lacet).

De bedoeling is verder om te trachten verband te vinden tusschen frequentie en snelheid van dezen laatsten invloed [4]).

Ondertusschen doen zich, doordat de pulseerende lasten niet direct op het windverband aangrijpen, doch hooger, en door het feit, dat windverband en hoofdliggers door de randen een gekoppeld geheel vormen, frequentie's van de hoofdliggers ook horizontaal gelden. Daarom volgt hier een afleiding voor het ruimte-geval. De uitkomsten zijn zeer bewerkelijk, als ook natuurlijk haar numerische uitwerking en dus voor algemeene practische toepassing onbruikbaar. Het ligt in de bedoeling voor 1 maal alle gevallen geheel numerisch uit te werken om nader te bepalen, welke invloeden van belang zijn en welke niet, en of niet de eenvoudiger afleiding reeds voldoende nauwkeurig resultaat oplevert.

Voorts is het misschien mogelijk uit theorie en waarnemingen een practische eindformule te bepalen.

De bovenstaande uitkomsten zijn geldig voor één pulseerenden last. Zij zijn als het ware enkelvoudige invloedslijnen. Voor een laststelsel, willekeurig geplaatst en willekeurig in phase verschoven, kan de zgn. „Summeneinfluszlinie" gemakkelijk bepaald worden als superpositie van de enkelvoudige invloedslijnen.

D. Een brug, bestaande uit 2 hoofdliggers, bovenwindverband, tusschen- en zeer stijve eindportalen, wordt belast door een rijdenden pulseerenden horizontalen last, welke hooger aangrijpt dan het windverband.

Als de massa's van de tusschenportalen verwaarloosd worden en aangenomen wordt, dat alle vakwerken loodrecht op hun eigen vlak zeer slap zijn, en verder, dat het eindportaal in zijn eigen vlak

4) De eerste analyses hebben reeds een verrassende overeenstemming geleverd tusschen de gemeten en de theoretisch berekende trillingstijden. Zoo werden gevonden als trillingstijden voor de harmonischen met verreweg den grootsten invloed resp. 0,63 en 0,71, terwijl de overeenkomstige theoretische waarden waren 0.62 en 0,68.

stijf is, dan komt men voor dit geval tot de volgende 3 diff. vergelijkingen:

$$\frac{\partial y_b}{x^4} = \frac{2 \cdot q_b}{E \cdot F \cdot b^2} + \frac{-q_l + q_r}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

$$\frac{\partial y_{hl}}{\partial x^4} = \frac{2 \cdot q_l}{E \cdot F \cdot h^2} + \frac{q_b}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

$$\frac{\partial y_{hr}}{\partial x^4} = \frac{2 \cdot q_r}{E \cdot F \cdot h^2} + \frac{q_b}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

Hierin beteekent:

q_b = belasting bovenwindverband, I hoofdligger = $\frac{1}{2} \cdot E \cdot F \cdot h^2$,

q_l = „ linkerhoofdligger, I bovenwindverband = $\frac{1}{2} \cdot E \cdot F \cdot b^2$,

q_r = „ rechterhoofdligger, I gekoppeld = $E \cdot F \cdot h \cdot b$.

y_b = doorbuiging bovenwindverband,

y_{hl} = „ linker hoofdligger.

y_{hr} = „ rechter hoofdligger,

Wanneer alleen een horizontale kracht op eenige hoogte boven het windverband werkt, dan is steeds:

$$q_l = -q_r.$$

Aangezien bij het begin van de beweging alles volkomen in rust is, mag voor dit geval ook aangenomen worden, dat de belastingen tengevolge van de massawerking der hoofdliggers links en rechts gelijk, doch tegengesteld gericht zijn, terwijl hetzelfde voor de dempende belastingen geldt. We noemen verder:

$$q_l = -q_r = q_h$$

Hierdoor worden de diff. verg. teruggebracht tot 2 en wel:

$$\frac{\partial^4 y_b}{\partial x^4} = \frac{2 \cdot q_b}{E \cdot F \cdot b^2} - \frac{2 \cdot q_h}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

$$\frac{\partial^4 y_h}{\partial x^4} = \frac{2 \cdot q_h}{E \cdot F \cdot h^2} + \frac{q_b}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

Analoog aan het voorgaande is weer:

$$-q_b = h_1 \cdot \frac{\partial y_b}{\partial t} + m_1 \cdot \frac{\partial^2 y_b}{\partial t^2} - \frac{2 \cdot P_1}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$-a_h = h_2 \cdot \frac{\partial y_h}{\partial t} + m_2 \cdot \frac{\partial^2 y_h}{\partial t^2} - \frac{2 \cdot P_2}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

waarin P_1 en P_2 in de volgende betrekking tot elkaar staan $P_2 = \frac{P_1 \cdot a}{b}$ (a = afstand P_1 tot bovenwindband) [5]).

Met de particuliere oplossingen in oneindigen vorm (welke tevens aan alle randvoorwaarden voldoen):

$$y_b = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f_1(t)$$

$$y_h = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f_2(t)$$

verkrijgt men dus verder:

$$-q_b = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \left[h_1 \cdot f'_1(t) + m_1 \cdot f_1''(t) - \frac{2 \cdot P_1}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt \right]$$

$$-q_h = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \left[h_2 \cdot f'_2(t) + m_2 \cdot f''_2(t) - \frac{2 \cdot P_2}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt \right]$$

terwijl verder is:

$$\frac{\partial^4 y_b}{\partial x^4} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{n^4 \cdot \pi^4}{l^4} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f_1(t)$$

$$\frac{\partial^4 y_h}{\partial x^4} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{n^4 \cdot \pi^4}{l^4} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot f_2(t)$$

Na schrapping van $\sin \frac{n\pi x}{l}$ resulteeren de 2 simultaan gewone diff. verg. van de 2de orde met constante coëfficiënten in $f_1(t)$ en $f_2(t)$ voor de n^{de} deeloplossing:

5) Het is duidelijk, dat in de uitdrukking voor $-q_h$ nog andere verticale belastingstermen zijn in te voeren, b.v. pulseerende verticaallasten. In de practijk zijn deze pulseerende verticaallasten voor linker- en rechterhoofdligger meestal 90° in phase t.o.v. elkaar verschoven. Dan zijn q_l en q_r vanzelfsprekend gescheiden te houden en moet uitgegaan worden van de 3 oorspronkelijk diff. verg. Dit geeft de meest algemeene oplossing van het dynamische vraagstuk. Zij is principieel (op dezelfde wijze als in het bovenstaande) uitvoerbaar en oplosbaar, doch geeft aanleiding tot nog grootere bewerkelijkheid (zie ook *ad E*).

Als n.l. worden ingevoerd de oplossingen:

$$y_b = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_1(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}; \quad y_l = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_2(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

en

$$y_r = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_3(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l},$$

dan vindt men, als tevens de invloed van de locomotiefveeren en -massa's in rekening worden gebracht voor den enkelen last het volgende:

(Vervolg noot 5 zie pag. 63).

$$\frac{n^4 \cdot \pi^4}{4} \cdot f_1(t) = -\frac{2 \cdot h_1}{E \cdot F \cdot b^2} \cdot f'_1(t) - \frac{2 \cdot m_1}{E \cdot F \cdot b^2} \cdot f''_1(t) + \frac{4 \cdot P_1}{E \cdot F \cdot b^2 \cdot l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt + \frac{2 \cdot h_2}{E \cdot F \cdot h \cdot b} \cdot f'_2(t) + \frac{2 \cdot m_2}{E \cdot F \cdot h \cdot b} \cdot f''_2(t) - \frac{4 \cdot P_2}{E \cdot F \cdot b \cdot h \cdot l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt$$

$$\frac{n^4 \cdot \pi^4}{l^4} \cdot f_2(t) = -\frac{2 \cdot h_2}{E \cdot F \cdot h^2} \cdot f'_2(t) - \frac{2 \cdot m_2}{E \cdot F \cdot h^2} \cdot f''_2(t) + \frac{4 \cdot P_2}{E \cdot F \cdot h^2 \cdot l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt + \frac{h_1}{E \cdot F \cdot h \cdot b} \cdot f'_1(t) + \frac{m_1}{E \cdot F \cdot h \cdot b} \cdot f''_1(t) - \frac{2 \cdot P_1}{E \cdot F \cdot h \cdot b \cdot l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi Nt.$$

Symbolisch kunnen deze 2 vergelijkingen als volgt geschreven worden (zie o.a. Forsyth, Lehrbuch der Differential gleichungen, bldz. 316) [6]).

$$p_1(D)\, f_1(t) + q_1(D)\, f_2(t) = T_1$$
$$p_2(D)\, f_1(t) + q_2(D)\, f_2(t) = T_2$$

Waarin p_1 p_2, q_1 en q_2 geheel rationale functies met constante coëfficiënten zijn en T_1 en T_2 de expliciete storingsfunctie van t. Uit deze 2 vergelijkingen resulteeren de afzonderlijke vergelijkingen in $f_1(t)$ en $f_2(t)$

$$[q_2(D)\, p_1(D) - q_1(D)\, p_2(D)]\, f_1(t) = q_2(D)\, T_1 - q_1(D)\, T_2$$

en

$$[q_2(D)\, p_1(D) - q_1(D)\, p_2(D)]\, f_2(t) = p_1(D)\, T_2 - p_2(D)\, T_1$$

Vervolg noot 5 van pag. 62.

$$-q_b = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[h_1 \cdot f_1'(t) + m_1 \cdot f_1''(t) - \frac{2 \cdot P_1}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi (N_o \cdot t + Q_1) \right] \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$-q_l = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \left[h_2 \cdot f_2'(t) + m_2 \cdot f_2''(t) - \frac{2 \cdot P_2}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi (N_o \cdot t + Q_1) - \frac{2}{l} \cdot \left\{ P_o \cdot \sin 2\pi \cdot (N \cdot t + Q_2) - M_u \cdot \frac{d^2u_2}{dt^2} - M_v \cdot \frac{d^2v_2}{dt^2} \right\} \cdot \sin 2\pi kt \right]$$

$$-q_r = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \left[h_2 \cdot f_3'(t) + m_2 \cdot f_3''(t) + \frac{2 \cdot P_2}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin 2\pi (N_o \cdot t + Q_1) - \frac{2}{l} \cdot \left\{ P_o \cdot \sin 2\pi (N \cdot t + Q_3) - M_u \cdot \frac{d^2u_3}{dt^2} - M_v \cdot \frac{d^2v_3}{dt^2} \right\} \cdot \sin 2\pi kt \right]$$

waarin:

$$u_2 = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_2(t) \cdot \sin 2\pi kt$$

$$u_3 = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_3(t) \cdot \sin 2\pi kt$$

$$\frac{du_2}{dt} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[f_2'(t) \cdot \sin 2\pi kt + f_2(t) \cdot 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \cos 2\pi kt \right]$$

Vervolg noot 5.

$$\frac{du_3}{dt} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[f_3'(t) \cdot \sin 2\pi kt + f_3(t) \cdot 2 \cdot \pi \cdot k \cdot \cos 2\pi kt \right]$$

$$\frac{d^2u_2}{dt^2} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[f_2''(t) \cdot \sin 2\pi kt + f_2'(t) \cdot 4 \cdot \pi \cdot k \cdot \cos 2\pi kt - f_2(t) \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot k^2 \cdot \sin 2\pi kt \right]$$

$$\frac{d^2u_3}{dt^2} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[f_3''(t) \cdot \sin 2\pi kt + f'(t) \cdot 4 \cdot \pi \cdot k \cdot \cos 2\pi kt - f_3(t) \cdot 4 \cdot \pi^2 \cdot k^2 \cdot \sin 2\pi kt \right]$$

en v_2 en v_3 verder gegeven zijn door de verg:

$$M_v \cdot \frac{d^2v_2}{dt^2} + \delta \left(\frac{dv_2}{dt} - \frac{du_2}{dt} \right) + \triangle (v_2 - u_2) = 0$$

$$M_v \cdot \frac{d^2v_3}{dt^2} + \delta \left(\frac{dv_3}{dt} - \frac{du_3}{dt} \right) + \triangle (v_3 - u_3) = 0;$$

hierin is $\triangle$ de veerconstante van de locomotiefveeren en verder Q_1, Q_2 en Q_3 willekeurige phaseverschuivingen,
M_v de massa boven de locomotiefveeren,
M_u de onuitgeveerde massa,
P_o de onuitgebalanceerde massa,
P_1 de horizontaal pulseerende kracht,

P_2 haar toeslagkracht in verticale richting $= \dfrac{a \cdot P_1}{b}$.

δ de dempingscoëfficiënt der locoveeren.

In bovenstaande vergelijkingen is nog niet verwerkt de invloed van den zich met constante snelheid verplaatsenden totaallast $g \cdot (M_u + M_v)$. Wordt deze ook ingevoerd, dan krijgt men zoowel voor $-q_l$ als voor $-q_r$ de term

$$-\frac{2 \cdot (M_u + M_v) \cdot g}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$ erbij.

6) In het volgende is, in tegenstelling met het voorgaande, de index n, duidende op de n^{de} deeloplossing, bij alle termen, die van n afhangen, gemakshalve weggelaten.

Wordt verder genoemd

$y_1 = 2 \cdot \pi \cdot (N - k)$ en $y_2 = 2 \cdot \pi \cdot (N + k)$

en

$$Q_1 = \left(\frac{2 \cdot P_1}{E \cdot F \cdot b^2 \cdot l} - \frac{2 \cdot P_2}{E \cdot F \cdot h \cdot b \cdot l} \right) \text{ en}$$

$$q_2 = \left(\frac{2 \cdot P_1}{E \cdot F \cdot h^2 \cdot l} - \frac{P_1}{E \cdot F \cdot h \cdot b \cdot l} \right)$$

dan resulteeren, indien men bovenstaande symbolische schrijfwijze uitwerkt, de volgende 2 vergelijkingen:

$$a \cdot f_1''''(t) + b \cdot f_1'''(t) + c \cdot f_1''(t) + d \cdot f_1'(t) + e \cdot f_1(t) = Q_1^{(1)} \cdot \cos y_1 t - Q_1^{(2)} \cdot \cos y_2 t - Q_1^{(3)} \cdot \sin y_1 t + Q_1^{(4)} \cdot \sin y_2 t \ldots\ldots\ldots \text{(I)}''$$

en

$$a f_2''''(t) + b \cdot f_2'''(t) + c \cdot f_2''(t) + d \cdot f_2'(t) + e \cdot f_2(t) = Q_2^{(1)} \cdot \cos y_1 t - Q_2^{(2)} \cdot \cos y_2 t - Q_2^{(3)} \cdot \sin y_1 t + Q_2^{(4)} \cdot \sin y_2 t \ldots\ldots\ldots \text{(II)}''$$

De beteekenis van de coëfficiënten volgt verderop in een verzamelstaat. Hier zal voorloopig de algemeene gang van zaken gevolgd worden.

De nuloplossing van de vergn. (I)'' en (II)'', welke voor beide dezelfde is, is in den vorm $f_1(t)_o$ resp. $f_2(t)_o = \Sigma\, C_e{}^{rt}$ resp. $\Sigma\, D_e{}^{rt}$, waarin r de wortels van de karakteristieke verg. $a \cdot r^4 + b \cdot r^3 + c \cdot r^2 + d \cdot r + e = 0$ ..... (III)''

Noemen we $u = r + \frac{b}{4 \cdot a}$ en substitueeren we dit in de karakteristieke vergelijking, dan resulteert $a_1 \cdot u^4 + b_1 \cdot u^2 + c_1 \cdot u + d_1 = 0$ ..... (IV)''

De oplossing hiervan wordt hier niet voluit in wortelvorm geschreven. Zij geschiedt het gemakkelijkst, indien $a, b \ldots e$ dus ook $a_1, b_1 \ldots\ldots d_1$ in numerische waarden gegeven zijn.

Bij zeer geringe demping verschijnen de wortels van (IV)'' en dus van (III)'' in den volgenden imaginairen vorm (zie S c h u h, Hoogere Algebra)

$$u_1 = \alpha + \lambda_1 \cdot i \quad \text{dus} \quad r_1 = \alpha + \lambda_1 \cdot i - \frac{b}{4 \cdot a} = -L_1 + \lambda_1 \cdot i$$

$$u_2 = \alpha - \lambda_1 \cdot i \qquad r_2 = \alpha - \lambda_1 \cdot i - \frac{b}{4 \cdot a} = -L_1 - \lambda_1 \cdot i$$

$$u_3 = -\alpha + \lambda_2 \cdot i \qquad r_3 = -\alpha + \lambda_2 \cdot i - \frac{b}{4 \cdot a} = -L_2 + \lambda_2 \cdot i$$

$$u_4 = -\alpha - \lambda_2 \cdot i \qquad r_4 = -\alpha - \lambda_2 \cdot i - \frac{b}{4 \cdot a} = -L_2 - \lambda_2 \cdot i$$

Zoodat de oplossing wordt:

$$f_1(t)_o = C_1 e^{(-L_1 + \lambda_1 i)\, t} + C_2 e^{(-L_1 - \lambda_1 i)\, t} + C_3 e^{(-L_2 + \lambda_2 i)\, t} + C_4 e^{(-L_2 - \lambda_2 i)\, t};$$

$$f_2(t)_o = D_1 e^{(-L_1 + \lambda_1 i)\, t} + D_2 e^{(-L_1 - \lambda_1 i)\, t} + D_3 e^{(-L_2 + \lambda_2 i)t} + D_4 e^{(-L_2 - \lambda_2 i)\, t}.$$

of in reëlen vorm:

$$f_1(t)_o = e^{-L_1 t} \cdot (A_1 \cdot \cos \lambda_1 t + A_2 \cdot \sin \lambda_1 t) + e^{-L_2 t} \cdot (A_3 \cdot \cos \lambda_2 t + A_4 \cdot \sin \lambda_2 t)$$

$$f_2(t)_o = e^{-L_1 t} \cdot (B_1 \cdot \cos \lambda_1 t + B_2 \cdot \sin \lambda_1 t) + e^{-L_2 t} \cdot (B_3 \cdot \cos \lambda_2 t + B_4 \cdot \sin \lambda_2 t)$$

Als particuliere oplossingen vindt men verder:

$$f_1(t)_{\text{particulier}} = (T_1) = M_1^{(1)} \cdot \cos y_1 t + N_1^{(1)} \cdot \sin y_1 t + M_1^{(2)} \cdot \cos y_2 t + N_1^{(2)} \cdot \sin y_2 t$$

$$f_2(t)_{\text{particulier}} = (T_2) = M_2^{(1)} \cdot \cos y_1 t + N_2^{(1)} \cdot \sin y_1 t + M_2^{(2)} \cdot \cos y_2 t + N_2^{(2)} \cdot \sin y_2 t$$

De constanten A en B staan onderling echter in een zeker verband tot elkaar en wel als volgt:

$B_1 = a_1 \cdot A_1 - b \cdot A_2 \qquad B_3 = a_2 \cdot A_3 - b_2 \cdot A_4$

$B_2 = b_1 \cdot A_1 + a_1 \cdot A_2 \qquad B_4 = b_2 \cdot A_3 + a_2 \cdot A_4$

Hierin beduidt:

$$a_1 = \frac{p_1 \cdot r_1 + q_1 \cdot s_1}{r_1^2 + s_1^2} \qquad b_1 = \frac{p_1 \cdot s_1 - q_1 \cdot r_1}{r_1^2 + s_1^2}$$

$$a_2 = \frac{p_2 \cdot r_2 + q_2 \cdot s_2}{r_2^2 + s_2^2} \qquad b_2 = \frac{p_2 \cdot s_2 - q_2 \cdot r_2}{r_2^2 + s_2^2}$$

$p_1 = \{a^1 - L_1 \cdot b^1 + (L_1^2 - \lambda_1^2) \cdot C^1\}$

$p_2 = \{a^1 - L_2 \cdot b^1 + (L_2^2 - \lambda_2^2) \cdot C^1\}$

$q_1 = (\lambda_1 \cdot b^1 - L_1 \cdot \lambda_1 \cdot C^1)$

$q_2 = (\lambda_2 \cdot b^1 - L_2 \cdot \lambda_2 \cdot C^1)$

$r_1 = \{d^1 - L_1 \cdot e^1 + (L_1^2 - \lambda_1^2) \cdot f^1\}$

$r_2 = \{d^1 - L_2 \cdot e^1 + (L_2^2 - \lambda_2^2) \cdot f^1\}$

$s_1 = (\lambda_1 \cdot e^1 - L_1 \cdot \lambda_1 \cdot f^1)$

$s_2 = (\lambda_2 \cdot e^1 - L_2 \cdot \lambda_2 \cdot f^1)$

$$a^1 = \frac{n^4 \cdot \pi^4}{l^4} + \frac{2 \cdot \gamma_1}{E \cdot F \cdot b^2} \qquad d^1 = \frac{2 \cdot \gamma_2}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

$$b^1 = \frac{2 \cdot \beta_1}{E \cdot F \cdot b^2} \qquad e^1 = \frac{2 \cdot \beta_2}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

$$c^1 = \frac{2 \cdot \alpha_1}{E \cdot F \cdot b^2} \qquad f^1 = \frac{2 \cdot \alpha_2}{E \cdot F \cdot h \cdot b}$$

Ter bepaling van de 4 nog onbekende integratieconstanten geldt, dat voor $t = 0$, $f_1(t) = 0$, $f_1'(t) = 0$, $f_2(t) = 0$ en $f_2'(t) = 0$

Hiermee krijgen wij de vergelijkingen in A:

$$A_1 + A_3 = -(T_1)_{(t=0)}$$

$$-A_1 \cdot L_1 + A_2 \cdot \lambda_1 - A_3 \cdot L_2 + A_4 \cdot \lambda_2 = -(T_1)'_{(t=0)}$$

$$a_1 \cdot A_1 - b_1 \cdot A_2 + a_2 \cdot A_3 - b_2 \cdot A_4 = -(T_2)_{(t=0)}$$

$$-L_2 \cdot (a_2 \cdot A_3 - b_1 \cdot A_4) + \lambda_1 \cdot (b_1 \cdot A_2 + a_1 \cdot A_2)$$

$$-L_2 \cdot (a_2 \cdot A_3 - b_2 \cdot A_4) + \lambda_2 \cdot (b_2 \cdot A_3 + a_1 \cdot A_4) = = -(T_2)'_{(t=0)}$$

Waarin:

$(T_1)'$ en $(T_2)'$ de eerste afgeleiden zijn van de particuliere oplossingen (T_1) en (T_2) (alle voor $t = o$ genomen)

Men vindt hieruit:

$$A_1 = \frac{\triangle_1}{\triangle} \quad A_2 = \frac{\triangle_2}{\triangle} \quad A_3 = \frac{\triangle_3}{\triangle} \quad A_4 = \frac{\triangle_4}{\triangle}$$

waarin is

$$\triangle = \begin{vmatrix} 1 & o \\ -L_1 & \lambda_1 \\ a_1 & -b_1 \\ (-a_1 \cdot L_1 + b_1 \cdot \lambda_1) & (b_1 \cdot L_1 + \lambda_1 \cdot a_1) \end{vmatrix}$$

$$\triangle = \begin{vmatrix} 1 & o \\ -L_2 & \lambda_2 \\ a_2 & -b_2 \\ (-L_2 \cdot a_2 + b_2 \cdot \lambda_2) & (L_2 \cdot b_2 + a_2 \cdot \lambda_2) \end{vmatrix}$$

verder $\triangle_1$ tm $\triangle_4$ determinanten zijn, afgeleid uit $\triangle$ door de correspondeerende kolom te vervangen door de kolom

$$-(T_1)_{(t=0)}$$
$$-(T_1)'_{(t=0)}$$
$$-(T_2)_{(t=0)}$$
$$-(T_2)'_{(t=0)}$$

Hiermee zijn de lijnen y_1 en y_2 bepaald.

De ligger op 4 steunpunten geeft een geheel analoge afleiding. In bijgaande overzichtstabel zijn de coëfficiënten voor beide gevallen opgenomen.

Men ziet, dat de numerische bewerking zeer omslachtig zal zijn.

E. Andere ruimtegevallen.

Andere ruimtegevallen zijn op analoge wijze af te leiden, doch worden nog veel bewerkelijker. Het statisch onbepaalde geval, waarbij alle verbanden toegepast zijn, leent zich eveneens tot uitwerking. Men gaat dan hierbij uit van de 5de diff. verg., zooals afgeleid in Klopper III, bldz. 170, waarbij de 5de diff. verg. die is voor de statisch onbepaalde hoekvervorming van een willekeurig tusschenportaal. Men geraakt dan voor $f(t)$ tot een lineaire diff. verg.

1 tot 5

van de 10de orde met constante coëfficiënten. Trou-

Overzichtstabel van de coëfficiënten voor de 2 ruimtegevallen.

Geldend voor brug op 2 steunpunten.

$\alpha_1 = m_1 \cdot \beta_1 = h_1 \cdot \gamma_1 = 0$

$\alpha_2 = m_2 \cdot \beta_2 = h_2 \cdot \gamma_2 = 0.$

Geldend voor brug op vier steunpunten met gelijke veerconstanten voor de pijlers in horizontale – en idem doch ∞ groote in verticale richting.

$$\alpha_1 = m_1\left(1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{c_1 l^3}\right) + \frac{2m_1}{l}\sin^2\frac{n\pi}{3}\left(1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{c_1 l^3}\right) + \frac{2m_2}{l}\sin^2\frac{2n\pi}{3}\left(1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{c_1 l^3}\right);$$

$$\beta_1 = h_1\left(1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{c_1 l^3}\right);$$

$$\gamma_1 = \frac{2c_1}{l}\sin^2\frac{n\pi}{3}\left(1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{c_1 l^3}\right) + \frac{2c_2}{l}\sin^2\frac{2n\pi}{3}\left(1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{c_1 l^3}\right);$$

$\alpha_2 = m_2$;

$\beta_2 = h_2$;

$\gamma_2 = o$ voor $n = 3, 6, 9$ enz.

$\gamma_2 = \infty$ voor $n = 1, 2, 4, 5, 7, 8$ enz.

Geldend voor brug op vier steunpunten met ongelijke veerconstanten voor de pijlers in horizontale richting en gelijke doch ∞ groote in verticale richting.

$$\alpha_1 = m_1\left[1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{l^3}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_4}\right)\right] + \frac{2m_2}{l}\sin^2\frac{n\pi}{3}\left[1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{l^3}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_4}\right)\right] + \frac{2m_3}{l}\sin^2\frac{2n\pi}{3}\left[1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{l^3}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_4}\right)\right]$$

$$\beta_1 = h_1\left[1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{l^3}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_4}\right)\right]$$

$$\gamma_1 = \frac{2c_2}{l}\sin^2\frac{n\pi}{3}\left[1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{l^3}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_4}\right)\right] + \frac{2c_3}{l}\sin^2\frac{2n\pi}{3}\left[1 + \frac{2n^2\pi^2 E F b^2}{l^3}\left(\frac{1}{c_1} + \frac{1}{c_4}\right)\right]$$

$\alpha_2 = m_2$;

$\beta_2 = h_2$;

$\gamma_2 = o$ voor $n = 3, 6, 9$ enz.

$\gamma_2 = \infty$ voor $n = 1, 2, 4, 5, 7, 8$ enz.

Geldend voor alle gevallen

$$a = \frac{2\alpha_1\alpha_2}{E^2F^2h^2b^2};$$

$$b = \frac{2\alpha_1\beta_2}{E^2F^2h^2b^2} + \frac{2\alpha_2\beta_1}{E^2F^2h^2b^2};$$

$$c = \frac{2n^4\pi^4\alpha_1}{l^4EFb^2} + \frac{2n^4\pi^4\alpha_2}{l^4EFh^2} + \frac{2\alpha_1\gamma_2}{E^2F^2h^2b^2} + \frac{2\alpha_2\gamma_1}{E^2F^2h^2b^2} + \frac{2\beta_1\beta_2}{E^2F^2h^2b^2};$$

$$d = \frac{2n^4\pi^4\beta_1}{l^4EFb^2} + \frac{2n^4\pi^4\gamma_2}{l^4EFh^2} + \frac{2\beta_1\gamma_2}{E^2F^2h^2b^2} + \frac{2\beta_2\gamma_1}{E^2F^2h^2b^2};$$

$$e = \frac{n^8\pi^8}{l^8} + \frac{2n^4\pi^4\gamma_1}{l^4EFb^2} + \frac{2n^4\pi^4\gamma_2}{l^4EFh^2} + \frac{2\gamma_1\gamma_2}{E^2F^2h^2b^2};$$

$$+\varrho_1^{(1)} = \varrho_1\left(\frac{n^4\pi^4}{l^4} + \frac{2\gamma_2}{EFh^2}\right) - \varrho_1\frac{2\alpha_2\gamma_1^2}{EFh^2} + \varrho_2\frac{2\gamma_2}{EFh^2} - \varrho_2\frac{2\alpha_2\gamma_1^2}{EFh^2};$$

$$-\varrho_1^{(2)} = -\varrho_1\left(\frac{n^4\pi^4}{l^4} + \frac{2\gamma_2}{EFh^2}\right) + \varrho_2\frac{2\alpha_2\gamma_2^2}{EFh^2} - \varrho_1\frac{2\gamma_2}{EFh^2} + \varrho_2\frac{2\alpha_2\gamma_2^2}{EFh^2};$$

$$-\varrho_1^{(3)} = -\varrho_1\frac{2\beta_2\gamma_1}{EFh^2} - \varrho_2\frac{2\beta_2\gamma_1}{EFh^2};$$

$$+\varrho_1^{(4)} = \varrho_2\frac{2\beta_2\gamma_2}{EFh^2} + \varrho_1\frac{2\beta_2\gamma_2}{EFh^2};$$

$$+\varrho_2^{(1)} = \varrho_2\left(\frac{n^4\pi^4}{l^4} + \frac{2\gamma_1}{EFb^2}\right) - \varrho_2\frac{2\alpha_1\gamma_1^2}{EFb^2} + \varrho_1\frac{2\gamma_1}{EFb^2} - \varrho_1\frac{\alpha_1\gamma_1^2}{EFb^2};$$

$$-\varrho_2^{(2)} = -\varrho_2\left(\frac{n^4\pi^4}{l^4} + \frac{2\gamma_1}{EFb^2}\right) + \varrho_2\frac{2\alpha_1\gamma_2^2}{EFb^2} - \varrho_1\frac{\gamma_2}{EFb^2} + \varrho_1\frac{\alpha_1\gamma_2^2}{EFb^2};$$

$$-\varrho_2^{(3)} = -\varrho_2\frac{2\beta_1\gamma_1}{EFb^2} - \varrho_1\frac{\beta_1\gamma_1}{EFb^2};$$

$$+\varrho_2^{(4)} = \varrho_2\frac{2\beta_1\gamma_2}{EFb^2} + \varrho_1\frac{\beta_1\gamma_2}{EFb^2};$$

$$M_1^{(1)} = \frac{\varrho_1^{(1)}(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e) - \varrho_1^{(2)}(b\gamma_1^3 - d\gamma_1)}{(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e)^2 + (b\gamma_1^3 - d\gamma_1)^2}$$

$$N_1^{(1)} = \frac{-\varrho_1^{(3)}(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e) - \varrho_1^{(1)}(b\gamma_1^3 - d\gamma_1)}{(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e)^2 + (b\gamma_1^3 - d\gamma_1)^2}$$

$$M_1^{(2)} = \frac{-\varrho_1^{(3)}(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e) + \varrho_1^{(4)}(b\gamma_2^3 - d\gamma_2)}{(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e)^2 + (b\gamma_2^3 - d\gamma_2)^2}$$

$$N_1^{(2)} = \frac{+\varrho_1^{(4)}(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e) + \varrho_1^{(2)}(b\gamma_2^3 - d\gamma_2)}{(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e)^2 + (b\gamma_2^3 - d\gamma_2)^2}$$

$$M_2^{(1)} = \frac{\varrho_2^{(1)}(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e) - \varrho_2^{(2)}(b\gamma_1^3 - d\gamma_1)}{(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e)^2 + (b\gamma_1^3 - d\gamma_1)^2}$$

$$N_2^{(1)} = \frac{-\varrho_2^{(3)}(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e) - \varrho_2^{(1)}(b\gamma_1^3 - d\gamma_1)}{(a\gamma_1^4 - c\gamma_1^2 + e)^2 + (b\gamma_1^3 - d\gamma_1)^2}$$

$$M_2^{(2)} = \frac{-\varrho_2^{(3)}(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e) + \varrho_2^{(4)}(b\gamma_2^3 - d\gamma_2)}{(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e)^2 + (b\gamma_2^3 - d\gamma_2)^2}$$

$$N_2^{(2)} = \frac{+\varrho_2^{(4)}(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e) + \varrho_2^{(2)}(b\gamma_2^3 - d\gamma_2)}{(a\gamma_2^4 - c\gamma_2^2 + e)^2 + (b\gamma_2^3 - d\gamma_2)^2}$$

$$(\tau_1)_{t=0} = M_1^{(1)} + M_1^{(2)}$$

$$(\tau_1)'_{t=0} = \gamma_1 M_1^{(1)} + \gamma_2 N_1^{(2)}$$

$$(\tau_2)_{t=0} = M_2^{(1)} + M_2^{(2)}$$

$$(\tau_2)'_{t=0} = \gamma_1 N_2^{(1)} + \gamma_2 N_2^{(2)}$$

wens, zooals na het voorgaande gemakkelijk valt in te zien, geraakt men in alle gevallen tot lineaire diff. verg. met constante coëfficiënten, zoolang de massa van den last niet in rekening wordt gebracht.

Oplossing is dus steeds principieel mogelijk, doch stuit af op de oplossing van de karakteristieke vergelijking, welke er één van hoogere macht is.

Wordt de massa van den last in rekening gebracht, dan komt in alle gevallen als belastingsterm erbij:

$$\sum_{n=1}^{n=\infty} -\frac{2 \cdot M}{l} \cdot \sin 2\pi kt \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \frac{d^2h}{dt^2} \text{ (totale diff.).}$$

Hierin beteekent h de doorzakking steeds onder den last genomen. Met de oplossing:

$$y = \sum_{n=1}^{n=\infty} f(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \text{ wordt dus}$$

$$h = \sum_{n=1}^{n=\infty} f(t) \cdot \sin \frac{n\pi vt}{l} = \sum_{n=1}^{n=\infty} f(t) \cdot \sin 2\pi kt$$

En dan is dus:

$$\frac{d^2h}{dt^2} = \sum_{n=1}^{n=\infty} [\sin 2\pi kt \cdot f''(t) + 4 \cdot \pi \cdot k \cdot \cos 2\pi kt \cdot f'(t) - 4 \cdot \pi^2 \cdot k^2 \cdot \sin 2\pi kt \cdot f(t)]$$ [7]).

Worden deze termen voor de verschillende gevallen bijgevoegd, dan komt men voor $f(t)$ tot een diff. verg. met veranderlijken coëfficiënt, waarvan de oplossing nog niet bekend is. Er zijn 2 methoden om toch tot een resultaat te komen:

1*e* een benaderingsoplossing voor $f(t)$ te vinden in den vorm van een oneindige reeks (methode Inglis);

2*e* de oplossing van $f(t)$ zonder den invloed van de massa van den last als 1e benaderingsoplossing beschouwen en hiermee $\frac{d^2h}{dt^2}$ bepalen; deze nu bijwijze van correctie als bekende storingsfunctie invoeren in de diff. verg. en deze opnieuw oplossen. Door herhaalde toepassing van deze opeenvolgende benaderingsoplossing kan $f(t)$ tot elken graad van nauwkeurigheid benaderd worden.

Beide methoden geven aanleiding tot zeer omslachtig rekenwerk. Hier moge volstaan worden met het bovenstaande.

7) Voor veerende eindsteunpunten wordt:

$$\frac{d^2h}{dt^2} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[1 + \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l} \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_4}\right) \right] \cdot \left[\sin 2\pi kt \cdot f''(t) + 4 \cdot \pi \cdot k \cdot \cos 2\pi kt \cdot f'(t) - 4 \cdot \pi^2 \cdot k^2 \cdot \sin 2\pi kt \cdot f(t) \right]$$

F. Iets over de convergentie en over het voordeel van het gebruik van goniometrische reeksen.

Nemen wij b.v. het eenvoudigste geval van een balk op 2 steunpunten met een last P in het midden. Wij hebben dus:

$$E \cdot I \cdot \frac{d^4y}{dx^4} = q_x, \text{ waarin } q_x \text{ wordt:}$$

$$q_x = \frac{2 \cdot P}{l} \cdot \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi}{2} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}, \text{ zoodat dus}$$

$$E \cdot I \cdot \frac{d^4y}{dx^4} = \frac{2 \cdot P}{l} \cdot \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi}{2} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

De particuliere oplossing $y = A \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$ voldoet aan de eindvoorwaarden van den balk n.l., dat y en $\frac{d^2y}{dx^2}$ gelijk 0 zijn voor $x = 0$ en $x = l$.

Deze oplossing in de oorspronkelijke diff. verg. substitueerend, geeft voor de n^{de} deel oplossing:

$$\frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{l^4} \cdot A \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} = \frac{2 \cdot P}{l} \cdot \sin \frac{n\pi}{2} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

of

$$A = \frac{2 \cdot P \cdot l^3}{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I} \cdot \sin \frac{n\pi}{2},$$

zoodat

$$y = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot P \cdot l^3 \cdot \sin \frac{n\pi}{2}}{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Of uitgewerkt:

$$y = \frac{P \cdot l^3}{E \cdot I} \cdot \left(\frac{1}{48{,}73} \cdot \sin \frac{\pi x}{l} + 0 - \frac{1}{3\,947{,}13} \cdot \sin \frac{3\pi x}{l} + 0 + \frac{1}{30\,456{,}25} \cdot \sin \frac{5\pi x}{l} \text{ enz.} \right)$$

Men ziet, dat de eerste term voor de doorbuiging in het midden reeds een voldoende benadering geeft, en dat de reeks zeer sterk convergeert.

Gaan we nu na, wat we vinden door $E \cdot I \cdot \frac{d^2y}{dx^2}$ te bepalen d.w.z. dus via de elastische lijn het moment bepalend:

$$E \cdot I \cdot \frac{d^2y}{dx^2} = -\sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot P \cdot l \cdot \sin \frac{n\pi}{2}}{n^2 \cdot \pi^2} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Wij weten, dat in dit geval het momentenvlak een driehoek is met als max. ordinaat $\frac{1}{4} \cdot P \cdot l$.

Analytisch is dit

voor $x = 0 \quad - \frac{1}{2}l \quad M_x = \frac{1}{2} \cdot P \cdot x$

voor $x = \frac{1}{2} \cdot l - l \quad M_x = \frac{1}{2} P \cdot (l - x)$

Wordt dit in een reeks ontwikkeld, dan vinden wij:

$$M_x = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}, \text{ waarin}$$

$$A_n = \frac{P}{l} \cdot \int_0^{\frac{1}{2}l} x \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx + \frac{P}{l} \cdot$$

$$\cdot \int_{\frac{1}{2}l}^{l} (l - x) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = \frac{2 \cdot P \cdot l \cdot \sin \frac{n\pi}{2}}{n^2 \cdot \pi^2}$$

zoodat:

$$M_x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2 \cdot P \cdot l \cdot \sin \frac{n\pi}{2}}{n^2 \cdot \pi^2} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Klaarblijkelijk vindt men in oneindigen vorm dezelfde uitkomst, hetgeen te verwachten was.

Het is gemakkelijk in te zien, dat deze reeks minder sterk convergeert, aangezien n in den noemer slechts in het quadraat voorkomt.

Nog sterker spreekt dit bij de dwarskracht.

Men vindt, dat in oneindigen vorm de uitkomst exact blijft; de reeks convergeert, maar weer minder snel.

Er dient even op gewezen te worden, dat in het voorgaande steeds gewerkt is met de volledige F o u r i e r' sche reeks en wel

$$y = C + \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} + \sum_{n=1}^{n=\infty} B_n \cdot$$

$$\cdot \cos \frac{n\pi x}{l}$$

Door passende integratiegrenzen is het mogelijk, al naar gelang de voor te stellen functie's even dan wel oneven zijn, één van de termen A_n of B_n nul te krijgen. Meestal wordt $B_n = 0$. Bij de ontwikkeling van de dwarskracht in een goniometrische reeks vindt men echter, dat $A_n = 0$ en $C = 0$ wordt, zoodat

$$Dx = \sum_{n=1}^{n=\infty} B_n \cdot \cos \frac{n\pi x}{l}, \text{ hetgeen ook overeenkomt}$$

met het 3x diff. van de uitdrukking voor y.

Men moet dus voorgaande formules met overleg gebruiken. In oneindigen vorm geven ze alle de exacte oplossing. De reeksen voor y convergeeren snel. Waar het meestal gaat om den dynamischen toeslag en deze toeslag gewoonlijk bepaald wordt uit de verhouding van dynamische en statische doorbuigingen, heeft men dus te doen met zeer snel convergeerende reeksen. Wil men echter dynamische momenten of dwarskrachten bepalen, dan dienen ongetwijfeld meerdere termen van de reeks in rekening gebracht te worden en voor elk geval afzonderlijk bepaald te worden, of de benadering voldoende nauwkeurig is.

In noot 3 staan twee formules voor $(u + y)$. Het is zonder meer in te zien, dat deze reeksen voor $(u + y)$ minder snel convergeeren dan die voor y alleen; dit komt omdat de snel convergeerende van den tijd afhankelijke amplituden $f(t)$ in het eene geval met $\frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_4}\right)$ en in het tweede geval met $\frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{l^3}$ vermenigvuldigd worden.

De toepassing van goniometrische reeksen biedt vaak groote voordeelen, omdat ze de diff. vergelijkingen in het algemeen gemakkelijk integreerbaar maken. Zoo zou b.v. het invoeren van de demping in geval *A.* de oplossing direct zeer veel bewerkelijker maken.

Wordt $U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) + U_2 \cdot \frac{x}{l}$ in een F o u r i e r' sche reeks ontwikkeld, zoo komt men tot een veel eenvoudiger oplossing.

Stellen we n.l.:

$$\frac{U_x}{\cos \omega t} = U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) + U_2 \cdot \frac{x}{l} =$$

$$= \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cdot \sin \frac{n\pi x}{l},$$

dan is

$$A_n = \frac{2}{l} \cdot \int_0^l \left[U_1 \cdot (1 - \frac{x}{l}) + U_2 \cdot \frac{x}{l} \right] \cdot$$

$$\cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx$$

$$\text{of } A_n = \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi)$$

$$\frac{U_x}{\cos \omega t} = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot$$

$$\cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Bij het in rekening brengen van demping en axiaalkracht wordt de diff. verg.:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \pm \frac{P \cdot \partial^2 y}{\partial x^2} + m \cdot \frac{\partial^2 (y + U_x)}{\partial t^2} +$$

$$+ h \cdot \frac{\partial (y + U_x)}{\partial t} = 0$$

of na substitutie van

$$U_x = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot$$

$$\cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \cos \omega t$$

wordt verkregen:

$$E \cdot I \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} \pm P \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + m \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} + h \cdot \frac{\partial y}{\partial t} =$$

$$= \frac{2 \cdot m \cdot \omega^2}{n \cdot \pi} \cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot$$

$$\cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \cos \omega t + \frac{2 \cdot h \cdot \omega}{n\pi} \cdot$$

$$\cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \sin \omega t$$

Wordt weer de bekende oplossing ingevoerd, welke tevens aan de randvoorwaarden voldoet n.l.:

$y = f(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$, dan resulteert in $f(t)$ de volgende vergelijking:

$$\frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{l^4} \cdot f(t) \pm \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot P}{l^2} \cdot f(t) + n \cdot f''(t) +$$

$$+ h \cdot f'(t) = \frac{2 \cdot \omega^2 \cdot m}{n \cdot \pi} \cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot$$

$$\cdot \cos \omega t + \frac{2 \cdot h \cdot \omega}{n \cdot \pi} \cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot \sin \omega t$$

of

$$f''(t) + 2 \cdot L \cdot f'(t) + A_n^2 \cdot f(t) = \frac{2 \cdot \omega^2}{n \cdot \pi} \cdot$$

$$\cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot \cos \omega t + \frac{2 \cdot h \cdot \omega}{n \cdot \pi \cdot m} \cdot$$

$$\cdot (U_1 - U_2 \cdot \cos n\pi) \cdot \sin \omega t = U_n \cdot \sin (\omega t - E_{2n})$$

als is

$$2 \cdot L = \frac{h}{m} \text{ en } A_n^2 = \frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{m \cdot l^4} \pm \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot P}{m \cdot l^2}$$

De oplossing luidt dan, zooals bekend is:

$$f(t) = e^{-Lt} \cdot (C_{1n} \cdot \cos A_n' t + C_{2n} \cdot \sin A_n' t) +$$
$$+ M_{1n} \cdot \sin \omega t + N_{1n} \cdot \cos \omega t + M_{2n} \cdot \sin \omega t +$$
$$+ N_{2n} \cdot \cos \omega t$$

of ook

$$f(t) = C_n e^{-Lt} \cdot \sin (A_n' t - E_{1n}) + B_n \cdot \sin (\omega t - E_{2n})$$

en dus

$$y = \sum_{n=1}^{n=\infty} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \left[C_n e^{-Lt} \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \sin (A_n' t - E_{1n}) + B_n \cdot \sin (\omega t - E_{2n}) \right]$$

n.l. als gesteld is $A_n' = \sqrt{A_n^2 - L^2}$

Op de bepaling van M_{1n}, N_{1n}, M_{2n}, N_{2n} en dus verder van B_n en de integratieconstanten en phaseverschuivingen wordt hier niet meer ingegaan.

De methode staat in het voorafgaande aangegeven.

Het spreekt vanzelf, dat onder verwaarloozing van axiaalkracht en demping met deze methode voor $f_1(x)$ dezelfde uitkomst verkregen wordt als in *A*, doch $f_1(x)$ dan in een ∞ reeks ontwikkeld.

Uit de waarde voor A_n^2 ziet men, dat A_n nul kan worden, indien $P = \frac{n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$ wordt of gelijk de Euler'sche knikkracht, d.w.z. dat de staaf zich in dit geval als een oneindig slappe gedraagt.

Eerste vervolg.

Hierboven behandelde ik het vraagstuk van een ligger op vier steunpunten, belast door een rijdenden pulseerenden last. Het viaduct echter in de buurt van Sasaksaät, waarvoor deze theoretische onderzoekingen zijn verricht, vormde een nog ingewikkelder geval, aangezien het bestaat uit 2 soortgelijke bruggen, welke tezamen op een gemeenschappelijken middenpijler rusten. Dit vormt bij elkaar een gekoppeld trillingssysteem. Feitelijk is elke ligger op zich zelf reeds een gekoppeld systeem, waarbij het gelukt is door de toepassing van Fourier'sche reeksen het geheele trillingsbeeld door één differentiaalvergelijking weer te geven. Zulks is niet meer mogelijk met het bovenbedoelde geval. De koppeling vindt plaats in het scharnierpunt, gelegen op den middenpijler. In *fig.* 6 is het systeem weergegeven met de verschillende veerconstanten en gereduceerde massa's van de pijlers.

Nu geldt weer de diff. vergelijking (I) van geval *C* voor elk der liggers nl.:

voor den 1sten ligger:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y_1}{\partial x^4} + h \cdot \frac{\partial (u_1 + y_1)}{\partial t} +$$
$$+ m \cdot \frac{\partial^2 (u_1 + y_1)}{\partial t^2} = f_1(xt).$$

voor den 2en ligger:

$$E \cdot I \cdot \frac{\partial^4 y_2}{\partial x^4} + h \cdot \frac{\partial (u_2 + y_2)}{\partial t} +$$
$$+ m \cdot \frac{\partial^2 (u_2 + y_2)}{\partial t^2} = f_2(xt).$$

De afleiding der verschillende belastingstermen verloopt geheel analoog als in geval *C*. Het verschil treedt op in de koppelingsuitdrukkingen.

We vonden de in een Fourier'sche reeks ontwikkelde uitdrukking voor U_x:

$$U_x = \frac{2}{n \cdot \pi} \cdot (U_o - U_l \cdot \cos n\pi) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Met de in *fig.* 6 aangegeven veerkonstanten en met de algemeene aan alle randvoorwaarden voldoende oplossingen:

$$y_1 = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_1(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

en

$$y_2 = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_2(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

vindt men voor den 1en ligger:

$$U_{10} = \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{C_1 \cdot l^3} \cdot f_1(t)$$

en

$$U_1 = \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{C \cdot l^3} \cdot f_2(t) - \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot \cos n\pi}{C \cdot l^3} \cdot f_1(t)$$

zoodat:

$$(U_1 + y_1) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[f_1(t) + \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot \left\{ \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_1}\right) \cdot f_1(t) - \frac{\cos n\pi}{C} \cdot f_2(t) \right\} \right] \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

voor den 2en ligger:

$$U_{20} = \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I}{C \cdot l^3} \cdot f_2(t) - \frac{n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot \cos n\pi}{C \cdot l^3} \cdot f_1(t)$$

$$U_2 = \frac{-n^3 \cdot \pi^3 \cdot E \cdot I \cdot \cos n\pi}{C_6 \cdot l^3} \cdot f_2(t)$$

zoodat:

$$(U_2 + y_2) = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[f_2(t) + \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot \left\{ \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_6}\right) \cdot f_2(t) - \frac{\cos n\pi}{C} \cdot f_1(t) \right\} \right] \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Substitutie van deze waarden in de oorspronkelijke 2 diff. vergn. levert de 2 gewone simultane diff. vergn. in $f_1(t)$ en $f_2(t)$ (indien voorloopig de belastingsfunctie door den pulseerenden last niet in rekening gebracht wordt):

$$\alpha_1 \cdot f_1''(t) + \beta_1 \cdot f_1'(t) + \gamma_1 \cdot f_1(t) - \alpha_2 \cdot f_2''(t) - \beta_2 \cdot f_2'(t) - \gamma_2 \cdot f_2(t) = 0$$

$$\alpha'_1 \cdot f_2''(t) + \beta'_1 \cdot f_2'(t) + \gamma'_1 \cdot f_2(t) - \alpha'_2 \cdot f_1''(t) - \beta'_2 \cdot f_1'(t) - \gamma'_2 \cdot f_1(t) = 0$$

Deze 2 diff. vergn. geven dus het uittrillingsbeeld weer van de uit hun evenwichtsstand gebrachte 2 liggers.

Door toepassing van de in geval *D* beschreven symbolische bewerking geraakt men tot de 2 volgende afzonderlijke diff. vergn. van de 4e orde in $f_1(t)$ en $f_2(t)$

$$a \cdot f_1''''(t) + b \cdot f_1'''(t) + c \cdot f_1''(t) + d \cdot f_1'(t) + e \cdot f_1(t) = 0$$

en

$$a \cdot f_2''''(t) + b \cdot f_2'''(t) + c \cdot f_2''(t) + d \cdot f_2'(t) + e \cdot f_2(t) = 0.$$

Indien men noemt:

$$E_1 = \left[1 + \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_1}\right) \right]$$

$$E_2 = \left[1 + \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^3} \cdot \left(\frac{1}{C} + \frac{1}{C_6}\right) \right]$$

$$\eta = \frac{2 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I \cdot \cos n\pi}{C \cdot l^3}$$

beteekent in het bovenstaande:

$$\alpha_1 = \left(m + \frac{2 \cdot M_2 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot M_3 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot E_1$$

$$\alpha'_1 = \left(m + \frac{2 \cdot M_4 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot M_5 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot E_2$$

$$\beta_1 = h \cdot E_1$$

$$\beta'_1 = h \cdot E_2$$

$$\gamma_1 = \frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{l^4} + \left(\frac{2 \cdot C_2 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot C_3 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot E_1$$

$$\gamma'_1 = \frac{n^4 \cdot \pi^4 \cdot E \cdot I}{l^4} + \left(\frac{2 \cdot C_4 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot C_5 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot E_2$$

$$\alpha_2 = \left(m + \frac{2 \cdot M_2 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot M_3 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot \eta$$

$$\alpha'_2 = \left(m + \frac{2 \cdot M_4 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot M_5 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot \eta$$

$$\beta_2 = \beta'_2 = h \cdot \eta$$

$$\gamma_2 = \left(\frac{2 \cdot C_2 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot C_3 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot \eta$$

$$\gamma'_2 = \left(\frac{2 \cdot C_4 \cdot \sin^2 \frac{n\pi}{3}}{l} + \frac{2 \cdot C_5 \cdot \sin^2 \frac{2n\pi}{3}}{l}\right) \cdot \eta$$

$$a = -(\alpha_1 \cdot \alpha'_2 + \alpha'_1 \cdot \alpha_2)$$
$$b = -(\alpha_1 \cdot \beta'_2 + \beta_1 \cdot \alpha'_2 + \alpha'_1 \cdot \beta_2 + \beta'_1 \cdot \alpha_2)$$
$$c = -(\alpha_1 \cdot \gamma'_2 + \beta_1 \cdot \beta'_2 + \gamma_1 \cdot \alpha'_2 + \alpha'_1 \cdot \gamma_2 + \beta'_1 \cdot \beta_2 + \gamma'_1 \cdot \alpha_2)$$
$$d = -(\beta_1 \cdot \gamma'_2 + \gamma_1 \cdot \beta'_2 + \beta'_1 \cdot \gamma_2 + \gamma'_1 \cdot \beta_2) = -(\gamma_1 \cdot \gamma'_2 + \gamma'_1 \cdot \gamma_2)$$

Men komt dan voor beide diff. vergn. tot dezelfde karakteristieke verg.:

$$a \cdot r^4 + b \cdot r^3 + c \cdot r^2 + d \cdot r + e = 0$$

Na oplossing van de wortels dezer verg., welke bij geringe demping alle vier toegevoegd complex zijn, evenals in geval D uit het eerste gedeelte van mijn artikel, resulteeren de oplossingen:

$$y_1 = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[e^{L_1 t} \cdot (C_{1n} \cdot \cos \lambda_{1n} t + C_{2n} \cdot \sin \lambda_{1n} t) + e^{L_2 t} \cdot (C_{3n} \cdot \cos \lambda_{2n} t + C_{4n} \cdot \sin \lambda_{2n} t) \right] \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$y_2 = \sum_{n=1}^{n=\infty} \left[e^{L_1 t} \cdot (C'_{1n} \cdot \cos \lambda_{1n} t + C'_{2n} \cdot \sin \lambda_{1n} t) + e^{L_2 t} \cdot (C'_{3n} \cdot \cos \lambda_{2n} t + C'_{4n} \cdot \sin \lambda_{2n} t) \right] \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

Ten tijde $t = 0$ zullen de elastische lijnen van beide liggers elk een bepaalden vorm hebben; eveneens zullen de snelheden functies zijn van de abcis x. Wij stellen, dat de elastische lijnen van beide liggers voorgesteld worden door:

$$y_{1\,t=0} = f_1(x) \text{ en } y_{2\,t=0} = f_2(x),$$

verder het verloop van de snelheden door:

$$\frac{\partial y_1}{\partial t}_{t=0} = f_1'(x) \text{ en } \frac{\partial y_2}{\partial t}_{t=0} = f_2'(x) \cdot$$

Na toepassing van dezelfde bewerkingen en integraties, zooals zulks gebeurt bij de bepaling van de coëfficiënten van de Fourier'sche reeks, komt men tot de ondervolgende vergelijkingen ter bepaling van de integratieconstanten.

$$C_{1n} + C_{2n} = \frac{1}{l} \cdot \int_0^{2l} f_1(x) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = P$$

$$C'_{1n} + C'_{2n} = \frac{1}{l} \cdot \int_0^{2l} f_2(x) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = Q$$

$$-L_1 \cdot C_{1n} + \lambda_{1n} \cdot C_{2n} - L_2 \cdot C_{3n} + \lambda_{2n} \cdot C_{4n} = \frac{1}{l} \cdot \int_0^{2l} f'_1(x) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = R$$

$$-L_1 \cdot C'_{1n} + \lambda_{1n} \cdot C'_{2n} - L_2 \cdot C'_{3n} + \lambda_{2n} \cdot C'_{4n} = \frac{1}{l} \cdot \int_0^{2l} f'_2(x) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = S$$

terwijl de constanten van de beide oplossingen nog in een zeker verband tot elkaar staan, gegeven door de vergn:

$$C_{1n} = p_1 \cdot C'_{1n} + q_1 \cdot C'_{2n}$$
$$C_{2n} = -q_1 \cdot C'_{1n} + p_1 \cdot C'_{2n}$$
$$C_{3n} = p_2 \cdot C'_{3n} + q_2 \cdot C'_{4n}$$
$$C_{4n} = -q_2 \cdot C'_{3n} + p_2 \cdot C'_{4n}$$

Hierin is:

$$p_1 = \frac{[\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot (L_1^2 + \lambda_{1n}^2)^2 - (\alpha_1 \cdot \beta_2 + \beta_1 \cdot \alpha_2) \cdot [\alpha_1^2 \cdot (L_1^2 + \lambda_{1n}^2)^2 - 2 \cdot \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot L_1 \cdot (L_1^2 + \cdot L_1 \cdot (L_1^2 + \lambda_{1n}^2) + (\alpha_1 \cdot \gamma_2 + \gamma_1 \cdot \alpha_2) \cdot + \lambda_{1n}^2) + L_1^2 \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_1 + \beta_1^2 \cdot (L_1^2 + \cdot (L_1^2 + \lambda_{1n}^2) + \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (L_1^2 + \lambda_{1n}^2) - (\beta_1 \cdot + \lambda_{1n}^2) - 2 \cdot \beta_1 \cdot \gamma_1 \cdot \cdot \gamma_2 + \beta_2 \cdot \gamma_1) \cdot L_1 + \gamma_1 \cdot \gamma_2)] \cdot L_1 + \gamma_1^2]}$$

$$q_1 = \frac{-\lambda_{1n} \cdot [(L_1^2 + \lambda_{1n}^2) \cdot (\alpha_1 \cdot \beta_2 - \beta_1 \cdot \alpha_2) - [\alpha_1^2 \cdot (L_1^2 + \lambda_{1n}^2)^2 - 2 \cdot \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot L_1 \cdot (L_1^2 + - L_1 \cdot (\alpha_1 \cdot \gamma_2 - \alpha_2 \cdot \gamma_1) + (\beta_1 \cdot \gamma_2 \cdot - \gamma_1 + \lambda_{1n}^2) + L_1^2 \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_1 + \beta_1^2 \cdot (L_1^2 + \cdot \beta_2)] + \lambda_{1n}^2) - 2 \cdot \beta_1 \cdot \gamma_1 \cdot L_1 + \gamma_1^2]}$$

$$p_2 = \frac{[\alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot (L_2^2 + \lambda_{2n}^2)^2 - (\alpha_1 \cdot \beta_2 + [\alpha_1^2 \cdot (L_2^2 + \lambda_{2n}^2)^2 - 2 \cdot \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot L_2 (L_2^2 + + \beta_1 \cdot \alpha_2) \cdot L_2 \cdot (L_2^2 + \lambda_{2n}^2) + (\alpha_1 \cdot \gamma_2 + + \lambda_{2n}^2) + L_2^2 \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_1 + \beta_1^2 \cdot (L_2^2 + + \gamma_1 \cdot \alpha_2) \cdot (L_2^2 + \lambda_{2n}^2) + \beta_1 \cdot \beta_2 \cdot (L_{2n}^2 + + \lambda_{2n}^2) - 2 \cdot \beta_1 \cdot \gamma_1 \cdot + \lambda_{2n}^2) - (\beta_1 \cdot \gamma_2 + \beta_2 \cdot \gamma_1) \cdot L_2 + \gamma_1 \cdot \gamma_2) \cdot L_2 + \gamma_1^2]}$$

$$q_2 = \frac{-\lambda_{2n} \cdot [(L_2^2 + \lambda_{2n}^2) \cdot (\alpha_1 \cdot \beta_2 - \beta_1 \cdot \alpha_2) - [\alpha_1^2 \cdot (L_2^2 + \lambda_{2n}^2) - 2 \cdot \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot L_2 \cdot (L_2^2 + - L_2 \cdot (\alpha_1 \cdot \gamma_2 - \alpha_2 \cdot \gamma_1) + + \lambda_{2n}^2) + L_2^2 \cdot \alpha_1 \cdot \gamma_1 + \beta_1^2 \cdot (L_2^2 + + (\beta_1 \cdot \gamma_2 - \gamma_1 \cdot \beta_2)] + \lambda_{2n}^2) - 2 \cdot \beta_1 \cdot \gamma_1 \cdot L_2 + \gamma_1^2]}$$

p_1, q_1, p_2 en q_2 zijn constanten.

Oplossing van de verg. voor $C_{1n} - C'_{4n}$ geeft:

$$C_{1n} = \frac{(p_1^2 + q_1^2) \cdot Q - (p_1 - q_1) \cdot P}{2 \cdot q_1}$$

$$C_{2n} = \frac{(p_1 + q_1) \cdot P - (p_1^2 + q_1^2) \cdot Q}{2 \cdot q_1}$$

$$C'_{1n} = \frac{(p_1 + q_1) \cdot Q - P}{2 \cdot q_1}$$

$$C'_{2n} = \frac{P - (p_1 - q_1) \cdot Q}{2 \cdot q_1}$$

$$C_{3n} = \frac{(p_2 \cdot \lambda_{2n} + q_2 \cdot L_2) \cdot R' - (\lambda_{2n}^2 - L_2^2) \cdot q_2 \cdot \lambda \cdot 2 \cdot n \cdot (p_2^2 + q_2^2) \cdot S'}{(\lambda_{2n}^2 - L_2^2) \cdot q_2}$$

$$C_{4n} = \frac{-(q_2 \cdot \lambda_{2n} - p_2 \cdot L_2) \cdot R' - (\lambda_{2n}^2 - L_2^2) \cdot q_2 - L_2 \cdot (p_2^2 + q_2^2) \cdot S'}{(\lambda_{2n}^2 - L_2^2) \cdot q_2}$$

$$C'_{3n} = \frac{\lambda_{2n} \cdot R' - (\lambda_{2n} \cdot p_2 - L_2 \cdot q_2) \cdot S'}{(\lambda_{2n}^2 - L_2^2)\, q_2}$$

$$C_{4n} = \frac{-(L_2 \cdot p_2 + \lambda_{2n} \cdot q_2) \cdot S' + S_2 \cdot R'}{(\lambda_{2n}^2 - L_2^2) \cdot q_2}$$

waarin:

$R' = R + L_1 \cdot C_{1n} - \lambda_{1n} \cdot C_{2n}$

$S' = S + L_1 \cdot C'_{1n} - \lambda_{1n} \cdot C'_{2n}$

Uit de oplossingen $y_1 = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_1(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$

en

$$y_2 = \sum_{n=1}^{n=\infty} f_2(t) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

blijkt dat, ook wanneer op het systeem een gedwongen trilling wordt uitgeoefend, op het moment, waarop die gedwongen trilling ophoudt en dus de tijdstelling begint voor de uittrilling van de liggers, de elastische lijnen zoowel als het verloop van de snelheden van beide liggers door eenvoudige Fourier'sche reeksen worden weergegeven, waarbij $f_1(t)$, $f_2(t)$, $f'_1(t)$ en $f'_2(t)$ een bepaalde waarde voor dat oogenblik hebben. Voor de bepaling van de integratieconstanten zijn zij dus als constant in rekening te brengen. Dus hebben we:

$$f_1(x) = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_{1n} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$f_2(x) = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_{2n} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$f'_1(x) = \sum_{n=1}^{n=\infty} A'_{1n} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

$$f'_2(x) = \sum_{n=1}^{n=\infty} A'_{2n} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l}$$

en dan wordt dus:

$$\frac{1}{l} \cdot \int_0^{2l} f_1(x) \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = \frac{1}{l} \cdot \int_0^{2l} \left(\sum_{n=1}^{n=\infty} A_{1n} \cdot \sin \frac{n\pi x}{l} \right) \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot dx = A_{1n}$$

aangezien alle integraties van den vorm:

$\int_0^{2l} \sin \frac{n\pi x}{l} \cdot \sin \frac{m\pi x}{l} = 0$ worden.

dus hebben we:

$P = A_{1n}$

$Q = A_{2n}$

$R = A'_{1n}$

$S = A'_{2n}$

Uit den bouw van de integratieconstanten $C_{1n} \cdots C_{4n}$ valt te concludeeren, dat alleen dàn een harmonische bij de uittrilling afwezig kan zijn, indien van te voren—dus tijdens de gedwongen trilling—in beide liggers deze harmonische niet voorkwam. Heeft op het moment, waarop de uittrilling begint, de 1e ligger b.v. een elastische lijn, die op te vatten is als de som van de 1e en 2e harmonische en die van den 2den ligger b.v. alleen maar van de 1e, dan komt de 2de harmonische toch in de uittrilling van beide liggers voor.

Wij kunnen nu de gedwongen trilling in beschouwing nemen. Deze invloed, welke zich uit als een storingsfunctie T, werkt eerst op den eersten en daarna op den 2den ligger. Wij hebben dus 2 × het stelsel vergelijkingen op te lossen en de integratieconstanten als volgt te bepalen.

Voor $t = 0$ zijn zoowel y_1, y_2 als $\frac{\partial y_1}{\partial t}$ en $\frac{\partial y_2}{\partial t}$ nul.

Voor $t =$ de tijd, waarop de pulseerende last juist van den 1en op den 2en ligger rijdt, zijn y_1, y_2, $\frac{\partial y_1}{\partial t}$ en $\frac{\partial y_2}{\partial t}$ te bepalen en deze elastische lijnen en snelheidsverloopen in te voeren als beginvoorwaarde voor de 2de phase van de beweging dus als de pulseerende last op den 2den ligger rijdt.

Het heeft echter geen zin deze bewerking uit te voeren. Zij levert principieel geen moeilijkheden op, doch ze is slechts uitermate bewerkelijk in de uitvoering.

Het zou weinig zin hebben, de gedragingen van een locomotief te analyseeren uit krommen, verkregen voor het meest ingewikkelde geval. De opgenomen krommen hebben aangetoond (na correctie), dat de pijlers geen gevaarlijke uitwijkingen krijgen. De correctie bestaat in het aanbrengen van de juiste phaseverschuiving en verandering van amplitude (afgeleid uit resonantie en phaseverschuivingskromme van het meetinstrument). Bovenstaande theorie is alleen getoetst op de diverse uittrillingskrommen.

De gedragingen van de locomotief zullen geanalyseerd worden uit krommen, opgemeten aan een brug op 2 steunpunten, dus het eenvoudigste geval.

Bij de toepassing van de bovenverkregen formules op de brug, waaraan de metingen zijn verricht, bleek iets eigenaardigs, n.l. dat voor een willekeurige harmonische, λ_{1n} en λ_{2n} slechts zeer weinig van elkaar verschilden, men kan zeggen practisch aan elkaar gelijk waren. Dit uit zich in een zweving van zeer langen tijdsduur, welke practisch niet merkbaar is,

aangezien de dempingsfactoren een veel grooteren invloed hebben en evenzoo het over elkander heen liggen van de verschillende andere harmonischen.

De uittrillingskrommen vertoonen 2 specifieke karakters, welke in *fig. 7* en *fig. 8* zijn aangegeven. Nu eens vertoonde de uittrillingslijn duidelijke vrij korte zwevingen dan weer niet. Blijkens het voorgaande is dit gemakkelijk te verklaren. Er zullen altijd één of twee harmonischen zijn, welke in een opgemeten kromme domineeren. Treedt een zweving op, dan zijn de domineerende harmonischen, welke de zweving veroorzaken b.v. de 1e en 2e of de 2e en 3e. Treedt geen zweving op, dan treedt slechts één domineerende harmonische op. Dat nu eens één dan weer twee harmonischen domineeren, komt natuurlijk door de wijze van oprijden van de locomotief, die daarmede den vorm van de elastische lijn bij de trilling bepaalt.

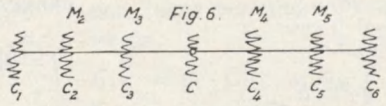


Fig. 6.

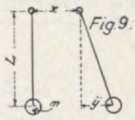


Fig. 9.

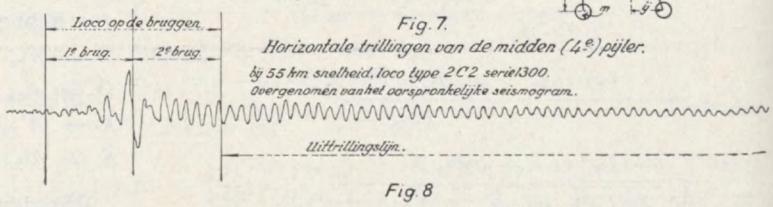


Fig. 7.
Horizontale trillingen van de midden (4e) pijler.
bij 55 km snelheid, loco type 2C2 serie 1300.
Overgenomen van het oorspronkelijke seismogram.

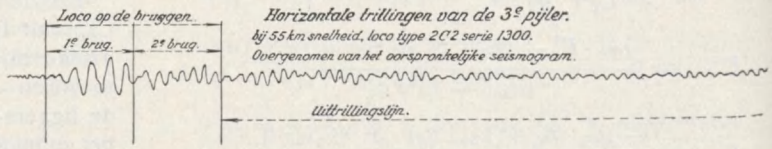


Fig. 8
Horizontale trillingen van de 3e pijler.
bij 55 km snelheid, loco type 2C2 serie 1300.
Overgenomen van het oorspronkelijke seismogram.

Hieronder volgen 2 staatjes, waarbij de theoretische trillingstijden vergeleken worden met de opgemeten waarden. Neemt men in aanmerking, dat door diverse omstandigheden de papierrol niet steeds met dezelfde snelheid werd voortbewogen en dat daarbij maximale verschillen van ± 10% zijn geconstateerd, dan mag de overeenkomst van theorie en experiment alleszins bevredigend genoemd worden. Dit zijn voorloopige conclusies, daar de studie van dit onderwerp nog niet beëindigd is, doch nog steeds in vollen gang is. Andere conclusies van belang zullen t.g.t. gepubliceerd worden.

Uittrillingen zonder zweving.

Seismogram No.	1	2	3	4	5	6	7	8
Gemeten trillingstijden.	0,71	0,68	0,73	0,74	0,62	0,64	0,60	0,63
Theoretische trillingstijden.	0,71	0,71	0,71	0,71	0,62	0,62	0,62	0,62

Uittrillingen met zweving.

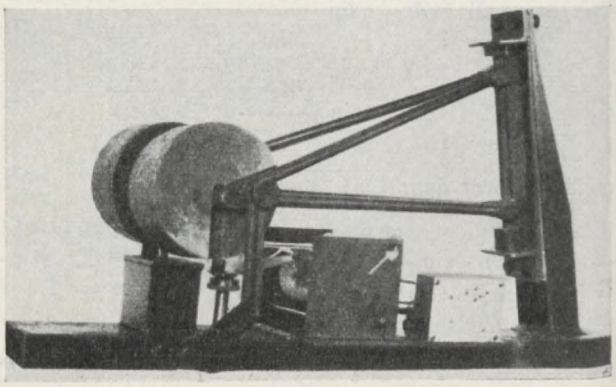
Seismogram No.		1	2	3	4	5
Gemeten trillingstijden der domineerende hoofdharmonischen.	*a*	0,63	0,63	0,49	0,52	0,45
	b	0,73	0,72	0,57	0,61	0,52
Idem volgens	*a*	0,62	0,62	0,48	0,48	0,48
de theorie	*b*	0,71	0,71	0,62	0,62	0,62

Iets over de correctie van de metingen verricht met de seismograaf.

De metingen zijn verricht met een zelf geconstrueerde gedempte seismograaf. Onderstaande *foto* geeft het beeld daarvan weer. De beweging van de papierrol geschiedt door middel van een omgewerkt telegraaftoestel. De schrijfarm is uit aluminium vervaardigd in den vorm van een ruimtevakwerkje. De bedoeling daarvan is de eigen trillingen van den arm zoo klein mogelijk te houden door te trachten een zoo groot mogelijke stijfheid te verkrijgen bij een zoo klein mogelijke massa. De demping is een uitwendige oliedemping en bestaat uit een regelbaren dompelaar, welke in een bak met zware olie steekt. Zij is ongeveer half aperiodisch.

De gewichten wegen tezamen 100 kg, terwijl de eigen trillingstijd met demping 3,23 sec bedraagt. Heel beknopt volgt hieronder de eenvoudige theorie van de seismograaf, opdat voor den op dit gebied niet georienteerden lezer de toegepaste correcties begrijpelijk worden. De seismograaf is feitelijk een trage slinger, waarop een gedwongen trilling wordt uitgeoefend, welke opgeteekend moet worden en berust dus op het principe van meetinstrumenten met trage massa. Laat de dwingende trilling weergegeven worden door de oneindige reeks:

$$x = \sum_{n=1}^{n=\infty} x_{on} \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{T_n} + Q_n\right)$$



De bewegingsvergelijking van de trage seismograafmassa luidt (zie *fig. 9*):

$$m \cdot L \cdot \frac{d^2 \cdot (y + x)}{dt^2} + 2 \cdot b \cdot m \cdot L \cdot \frac{dy}{dt} + m \cdot g \cdot y = 0$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2 \cdot b \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{g}{L} \cdot y = -\frac{d^2x}{dt^2}$$

Voeren we hier de betrekking van de dwingende beweging in, dan krijgen wij:

$$\frac{d^2y}{dt^2} + 2 \cdot b \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{g}{L} \cdot y = \sum_{n=1}^{n=\infty} \frac{n^2 \cdot \pi^2}{T^2} \cdot x_{on} \cdot$$

$$\cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{T_n} + Q_n\right) = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{T_n} + Q_n\right)$$

$$y = e^{-bt} \cdot \left(C_1 \cdot \sin \sqrt{\frac{g}{L} - b^2} \cdot t + C_2 \cdot \right.$$

$$\left. \cdot \cos \sqrt{\frac{g}{L} - b^2} \cdot t \right) + \sum_{n=1}^{n=\infty} A_{\bar{n}} \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{T_n} + Q_n\right)$$

of ook

$$y = e^{-bt} (C \cdot \sin \sqrt{\frac{g}{L} - b^2} \cdot t + \Omega) +$$

$$+ \sum_{n=1}^{n=\infty} A_{\bar{n}} \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{T_n} + \theta_n\right)$$

Hierin is:

$$A_{\bar{n}} = \frac{A_n}{\sqrt{\left(\frac{g}{L} - \frac{n^2 \cdot \pi^2}{T^2_n}\right)^2 + \frac{4 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot b^2}{T^2_n}}}$$

en

$$\theta_n = Q_n + bg\,tg \frac{-2n\pi b}{T_n \left(\frac{g}{L} - \frac{n^2 \cdot \pi^2}{T^2_n}\right)}$$

Daar in den regel een seismograaf zoowat half aperiodisch gedempt wordt, dus m.a.w. zwaar gedempt, wordt de term $e^{-bt} \cdot C \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{g}{L} - b^2} \cdot t + \Omega\right)$ zeer snel te verwaarloozen klein, en houden we dus de gedwongen trilling over:

$$y = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_{\bar{n}} \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{T_n} + \theta_n\right),$$

terwijl de dwingende trilling is:

$$x = \sum_{n=1}^{n=\infty} A_n \cdot \sin\left(\frac{n\pi t}{T} + Q_n\right)$$

Gemakkelijk zijn de aan te brengen correcties in te zien. De gemeten krommen worden door middel van harmonische analyses in hun samenstellende harmonischen ontbonden. De amplituden van deze harmonischen worden gecorrigeerd door middel van den factor:

$$\frac{A_n}{A_{\bar{n}}} = \sqrt{\left(\frac{g}{L} - \frac{n^2 \cdot \pi^2}{T^2_n}\right)^2 + \frac{4 \cdot n^2 \cdot \pi^2 \cdot b^2}{T^2_n}},$$

welke factor alleen instrumentgrootheden bevat en den factor n, en verder krijgen zij de juiste phase-verschuiving, zijnde bg tg $\frac{-2n\pi b}{T_n \left(\frac{g}{L} - \frac{n^2\pi^2}{T^2_n}\right)}$

Worden nu de gecorrigeerde samenstellende harmonischen wederom bij elkaar opgeteld, dan krijgt men de werkelijke slingering. Dit geeft (in zijn eenvoudigsten vorm) het principe weer van de seismische metingen.

In werkelijkheid is het probleem veel gecompliceerder, doch wordt hier niet verder daarop ingegaan.

Men raadplege hiervoor o.a. Steuding „Messung mechanischer Schwingungen" (waarin verder naar de zeer theoretische verhandelingen van Wiechert verwezen wordt).

Bandoeng, Maart 1936.

Literatuur.

1. Fr. Bleich: Theorie und Berechnung der eisernen Brücken. (Julius Springer, Berlin).
2. Fr. Bleich: Stahlhochbauten. (Julius Springer, Berlin).
3. C. E. Inglis: Oscillations in a bridge caused by the passage of a locomotive in *Proceedings* of the Royal Society Series A. Vol. 118 no. A 779.
4. C. E. Inglis: A mathematical treatise on vibrations in railway bridges. (Cambridge University press, London).
5. S. Thimoshenko: Vibration problems in engineering. (Constable and Company, London). In dit werk worden bij voorkeur de bewegingsvergelijkingen van Lagrange toegepast.
6. Dr. W. Hort: Technische Schwingungslehre. (Julius Springer, Berlin).
7. Den Hartog: Mechanical vibration. (Mc Graw-Hill Book Company, New York and London).

Het meest volledige werk op dit gebied is C. E. Inglis (4), terwijl S. Thimoshenko (5) een zeer aanbevelenswaard werk is voor een heldere inleiding in trillingsproblemen in het algemeen.

Het Ingenieurscongres te Tokio.

Door tusschenkomst van den Consul-generaal van Japan te Batavia ontving de Groep de volgende uitnoodiging van de Algemeene Ingenieurs Vereeniging (Nihon Kogakkai) te Tokio:

Mijne Heeren,

Hiermede hebben wij de eer U uit te noodigen tot deelname aan het Derde Ingenieurs Congres, dat in April 1936 te Tokio zal worden gehouden.....

Het zal U bekend zijn, dat het Wereld Ingenieurs Congres in October 1929 werd gehouden onder de auspiciën van onze Vereeniging en dat de steun en de samenwerking van de ingenieurs en industrieelen van de deelnemende landen het congres tot een succes maakten. Meer dan 1 000 buitenlanders en 3 500 Japanners namen er aan deel. Het aantal door buitenlanders behandelde onderwerpen bedroeg meer dan 450, terwijl 370 bijdragen uit ons land afkomstig waren [1]).

Nadien hebben wij twee nationale Ingenieurs Congressen gehouden, elk met een deelname door meer dan 5 000 personen.....

De bijzondere aantrekkelijkheid van ons komende derde Ingenieurs Congres ligt in onze wensch om het tot een gelegenheid te maken van bevordering van de goede verstandhouding tusschen ingenieurs en industrieelen van alle landen in Azië, zoowel als in Australië en Hawai.....

Vertrouwend, dat ons streven in het belang van de wetenschap en van de goede internationale verstandhouding Uw instemming zal hebben, en dat U aan ons congres zult willen deelnemen door het afvaardigen van een vertegenwoordiger en door het toezenden van verhandelingen over de onderwerpen, welke in het Technisch Programma zijn aangegeven, hebben wij de eer te zijn, enz.

B. Mano
President.

Zooals reeds werd medegedeeld [2]), werd aan het Congres deelgenomen door de volgende Ned.-Indische ingenieurs: prof. ir. P. P. Bijlaard, ir. V. L. A. Razoux Schultz en ir. H. van der Veen. Deze laatste vertegenwoordigde de Groep Ned.-Indië van het Instituut.

Het congres ving aan op Zaterdag 4 April om 9 uur v.m. en werd geheel gehouden in de gebouwen van de Keizerlijke Universiteit te Tokio. De openingsbijeenkomst had plaats in het auditorium (zie *foto*) der universiteit onder overgroote belangstelling der deelnemers, waarvan er in totaal niet minder dan 6 122 waren ingeschreven. Nadat de voorzitter dr. B. Mano het Congres had geopend, werden achtereenvolgens namens de Ministers van Opvoeding en van Handel en Nijverheid de goede wenschen voor het welslagen uitgesproken. Hierna volgden nog verscheidene andere officieele toespraken, waaronder die van den Rector Magnificus van de gastvrije Keizerlijke Universiteit, en namens de aanwezige buitenlandsche ingenieurs, zoomede namens de Groep Ned.-Indië door zijn Secretaris.

1) Zie de uitvoerige verslagen hierover door den tegenwoordigen Alg. Secr. van het Instituut in *De Ingenieur* van 2 Mei 1930, pag. A. 103 e.v.

2) Zie *De Ingenieur in Ned.-Indië* pag. I. 28, No. 3 — 1936.

Het auditorium der Keizerlijke Universiteit te Tokio.

Na deze algemeene plechtigheid vergaderde het congres verder in secties, die uiteraard slechts ten deele konden worden bijgewoond.

De door de Ned.-Indische delegatie gehouden verhandelingen zullen in dit tijdschrift verschijnen.

Het Congres zelve werd opgeluisterd door enkele gemeenschappelijke maaltijden en excursies. Bijzonder treffend was de typisch Japansche maaltijd ter eere van de buitenlandsche gasten in de Koyokan, Shiba Park, Tokio, op den avond van 7 April. Dat enkele aanwezigen nog niet recht weg wisten met het Japansche eetgerei was niet te verwonderen. Van de excursies is bijzonder vermeldenswaard de tocht door de keizerlijke tuinen te Tokio, waar juist de kersebloesem begon uit te botten en een langere excursie om den Fuji Yama.

Het Bestuur van de Groep stelt het bijzonder op prijs deze gelegenheid gehad te hebben om de bestaande vriendschappelijke relaties met de actieve algemeene overkapping van ingenieursvereenigingen in Japan, de Nihon Kogakkai, te hebben kunnen vernieuwen.

H. V.

Een Herdenking.

Op 14 October 1931 werd aan het Inawashiro-meer een standbeeld onthuld voor den Nederlandschen civiel ingenieur Cornelis Johannes van Doorn, die van 1872 tot 1880 hoofdingenieur was bij den Rijkswaterstaat in Japan [1]).

Het initiatief voor deze bijzondere hulde aan ir. van Doorn werd genomen door dr. Mitsugu Sengoku, oud-minister, president der South Manchurian Railway Co. en een der grondleggers van de Tokio Electriciteits Maatschappij. Dr. Sengoku is intusschen overleden, doch zijn verdiensten als een der pioniers op het gebied der electriciteitsvoorziening van Japan zullen lange jaren in herinnering blijven.

Het was een zeer gelukkige gedachte, dat deze beide ingenieurs in het bijzonder werden herdacht bij een bezoek, dat in April j.l. door den Directeur van Verkeer en Waterstaat, mr. dr. ir. J. A. M. van Buuren, tezamen met enkele andere Ned.-Indische ingenieurs, aan Japan werd gebracht (zie *foto*). Het verblijf van deze groep in Japan werd begonnen met een

1) Zie *De Ingenieur* van 5 Mei 1906 No. 18 en van 27 November 1931 No. 48.

Herdenking Dr. Mitsugu Sengoku.

bezoek aan het Aoyama kerkhof te Tokio, op 11 April, waar dr. van Buuren in korte woorden de verdiensten herdacht van dr. Sengoku voor de electriciteitsvoorziening. Ook zijn band met ir. van Doorn werd in herinnering gebracht.

Tusschen de drukke werkzaamheden had dr. van Buuren op 25 April nog de gelegenheid om het standbeeld van ir. van Doorn te bezoeken aan het Inawashiro-meer. Hier wees de Directeur van Verkeer en Waterstaat op de bestaande oude banden tusschen Nederland en Japan, welke een blijvend symbool hebben verkregen met de oprichting van het monument.

Hij sprak het vertrouwen uit, dat door wederzijdsche samenwerking en waardeering deze verhoudingen zullen worden versterkt.

H. V.

Technische Hoogeschool Bandoeng.

Voor het examen van civiel-ingenieur zijn geslaagd de heeren: W. J. Comys, A. B. Delmaar, A. P. Koch, R. Oekar, R. Poedjono, A. J. Prins, A. E. Smith, en J. W. Zegers.

Met ingang van 8 Juli is, voor den duur van het aan prof. ir. J. W. F. C. Proper, hoogleeraar in de waterbouwkunde en de hydraulica aan de Technische Hoogeschool verleend buitenlandsch verlof, belast met het geven van onderwijs in genoemde vakken ir. P. L. E. Happé, thans hoofdingenieur op wachtgeld bij het departement van Verkeer en Waterstaat.

BERICHTEN VAN ALLERLEI AARD.

Normalisatie.

Bij het Secretariaat van den Normalisatieraad — Bragaweg 38 Bandoeng — zijn verkrijgbaar gesteld de navolgende ter critiek gepubliceerde ontwerp-normaalbladen:

V 354: Symbolen voor de toegepaste mechanica.
V 504: Motorrijtuigen; Voorschriften voor de reminrichting.
V 505: Idem; Voorschriften voor de verlichting.
V 506: Idem; Voorschriften voor herkenningsteekens.
V 507: Idem; Voorschriften voor richtingaanwijzers.
V 508: Idem; Plaatsing van achterlichten en achternummerplaat.
V 509: Idem; Nummerplaten.
V 770: Stalen askoppelingen. Aansluitmaten voor opgespiede flenskoppelingen.
V 771: Idem; Aansluitmaten voor aangesmede flenskoppelingen.
V 844: Gereedschappen. Vierkanten en vierkante gaten.
V 845: Idem; Centergaten.
V 891: Gasmaskers. Aansluiting met schroefdraad.

Belanghebbenden worden uitgenoodigd eventueele critiek op deze ontwerp-normaalbladen vóór 1 Juli 1936 in te dienen bij het Secretariaat van den Normalisatieraad.

Stichting voor Materiaalonderzoek.

Van bovengenoemde Stichting, gevestigd te 's Gravenhage, Prinsessegracht 23, ontvingen wij het jaarverslag over 1935.

Dit jaarverslag wordt op aanvraag kosteloos aan belangstellenden toegezonden.

BOEKBESPREKING.

A. H. van Leeuwen en ir. H. Sangster. „Schuilplaatsen en beveiliging tegen luchtaanvallen".

Uitg. A. W. Sythoff's Uitg. Mij. N. V., Leiden. Prijs: ingen. *f* 1,40; gec. *f* 1,65.

Onder het motto: „Wat in vredestijd verzuimd werd, kost bloed in oorlogstijd" hebben de beide auteurs dit voor *iederen burger* practische en onmisbare boek samengesteld.

In het voorwoord merken de schrijvers op, dat het de bedoeling is geweest de te behandelen stof zoo populair, doch ook zoo volledig mogelijk te beschrijven ter voorlichting van de Nederlandsche bouwkundigen. De overzichtelijke wijze van behandeling maakt het werkje echter mede geschikt ook niet-technici een inzicht te geven in de voorzieningen, welke tegen het luchtgevaar dienen te worden getroffen, waarbij het opvalt, hoe vaak op eenvoudige wijze in particuliere woningen schuilplaatsen kunnen worden ingericht.

Van den belangrijken inhoud noemen wij o.a.: Schuilplaatsen in particuliere woningen. — Verbouwing van bestaande kelders tot publieke schuilplaatsen. — Inrichting van een publieke schuilplaats. — Schuilplaatsen boven maaiveld. — De deuren en luiken. — Leidingen door schuilplaatsen. — Enz.

In een voorwoord van den Minister van Binnenlandsche Zaken wordt er opgewezen, hoezeer de bescherming der burgerbevolking tegen de gevolgen van aanvallen uit de lucht allerwegen belangstelling geniet. Het terrein is echter nog weinig onderzocht en verkend, zoodat practische wenken des te noodiger zijn.

Deze eersteling over technische luchtbescherming in den Nederl. boekhandel mag in dit opzicht als zeer geslaagd worden beschouwd en zal dan ook voor velen van groot nut kunnen zijn.

Aan de firma Sythoff komt voor de keurige verzorging van tekst en plaatwerk allen lof toe.

H.

Verslagen en Mededeelingen van het Waterkrachtkadaster No. 17 — Statistiek van waterwaarnemingen (Hydrometrie) over het jaar 1935.

Uitgave van het Departement van Verkeer en Waterstaat.

Formaat 24 × 35 cm², 82 blz. Prijs *f* 5,—.

Deze publicatie verschilt wat inrichting en uitvoering betreft niet noemenswaard van die van het vorig jaar. Naast eenige wenken voor den gebruiker en een tweetal overzichten betreffende de waarnemingsposten, zijn verder opgenomen de debietcijfers over 1935 voor Java en de Buitengewesten, gegevens betreffende regenval en minimumafvoeren en de verrichte watermetingen (totaal 73).

Het aantal eigen waterwaarnemingsposten op Java en Sumatra bedroeg einde 1935 resp. 33 en 7, waarvan resp. 27 en 6 uitgerust zijn met een registreerend instrument.

Het totaal oppervlak der stroomgebieden, waarop door de verzamelde gegevens contrôle werd uitgeoefend, bedroeg aan het eind der verslagperiode ca. 13 500 km², waarvan 7 600 km² op Java en 5 900 km² in de Buitengewesten.

Aan den stelregel om alle eigen waterwaarnemingsposten minstens twee maal per jaar te inspecteeren en tevens de juistheid der verschillende afvoerkrommen met behulp van molenmetingen te verifieeren, werd ook in het verslagjaar voldaan. Het aantal storingsdagen bedroeg op Java 1,2% en op Sumatra 4,6% van het aantal „postdagen".

De verslagperiode werd in het algemeen gekenmerkt door krappe debieten.

Vr.

Ontvangen geschriften.

Macnaughtan, D. J. & Haigh, B. P. The Mechanical Properties of Tin-Base Alloys. Techn. Pub. Intern. Tin Research and Developm. Council, 1935, Ser. A, No. 26.

Beschrijving van het werk, dat genoemde auteurs hebben verricht om te komen tot sterkere tinlegeeringen dan tot op heden werden gebruikt voor tinnen siervoorwerpen, soldeer- en draagmetalen, waaraan hooge eischen worden gesteld.

Baier, S. & Macnaughtan, D. J. The Electrodeposition of Bronze Using Bronze Anodes. Idem, 1936, Ser. A. No. 27.

Béchard, C. The Electrodeposition of Bronze Using Bi-Metallic Anodes. Idem, 1936, Ser. A, No. 28.

Haringhuizen P. J. & Was, D. A. Research on Thin Layers of Tin and Other Metals I. The Influence of Thin Metal Layers on the Deterioration of Technical Insulting Oils. Idem, 1935, Ser. A, No. 29. Overdr. Proceed. Kon. Ak. Wetensch. Amsterdam, 1935, **38**, pp. 1002 — 6.

Bevat gegevens, die waardevol kunnen zijn, als men wil aangeven, hoe de aantasting van transformatoroliën tot een minimum beperkt kan worden.

Hoar, T. P. The Corrosion of Tinplate. Idem, 1936, Ser. A, No. 30.

Canned Beer. Information Circular No. 1. Intern. Tin Research and Developm. Council 1936.

Uiteenzetting over het inblikken van bier.

Exemplaren dezer geschriften worden op aanvrage gratis verstrekt aan belangstellenden door de *International Tin Research and Development Council, Statistical Office, Prinsessegracht 21, Den Haag.*

PERSONALIA.

Ir. J. W. J. Beek, tijd. wnd. afd. chef bij de S. S., is overgeplaatst van de exploitatie der Oosterlijnen naar die der Westerlijnen.

Ir. T. N. C. Canter Visscher, kapitein der artillerie, is met verlof naar Nederland vertrokken.

De eerste luitenants der artillerie, C. L. Teeuwen en A. B. C. Schoondorp, zijn uit Nederland teruggekeerd en geplaatst resp. bij den Artillerie Constructie Winkel en bij de Projectielfabriek.

Ir. C. R. J. Laceulle is werkzaamgesteld als volontair op het hoofdkantoor der S. S.

Ir. J. T. Walter, inspecteur bij de S. S., is overgeplaatst van Soerabaia naar Madioen en belast met de functie van inspecteur Handelszaken.

Ir. J. D. Carrière, ambt met buitenl. verlof, is benoemd tot ingenieur bij het departement van V. en W. en tewerkgest. bij de Bankatinwinning.

Mr. ir. Ong Swan Yoe, ambt. op non-act., is herbenoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat en geplaatst op het dept. van V. en W.

Ir. F. Klein, idem, idem en ter besch. gesteld van de stadsgemeente Semarang.

Ir. F. M. van Veen, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, is ter besch. gesteld van de provincie West-Java en geplaatst te Cheribon.

Ir. H. M. Verwey, idem, is overgeplaatst van Bandoeng naar Palembang en toegevoegd aan den Resident van Palembang.

Aan ir. B. L. Anthonijs Feher, idem, is wegens zes-jarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ing. in de eerste helft van Aug. 1936.

Aan prof. ir. J. W. F. C. Proper, hoogleeraar aan de Techn. Hoogeschool te Bandoeng, is wegens negen-jarigen dienst elf maanden verlof naar Europa verleend, ing. 8 Juli 1936.

Dr. ir. R. W. van Bemmelen, ambt. op non-act., is herbenoemd tot ingenieur bij den Dienst van den Mijnbouw.

Ir. G. H. Scholten, ingenieur bij de B. P. M., is na ommekomst van Eur. verlof overgeplaatst van P. Brandan naar Pladjoe.

Dr. S. W. Tromp, idem, is van Pladjoe vertrokken naar Scheveningen.

Ir. J. K. van der Zwet en dr. ir. L. van Houten, idem, zijn uit Holland aangekomen en geplaatst te P. Brandan.

Ir. J. J. A. Floor, idem, is van Tjepoe met verlof vertrokken.

Ir. A. L. Soesman, idem, is overgeplaatst van Wonokromo naar Tjepoe.

Ir. F. C. L. van Vugt, idem, is vertrokken naar Curaçao.

Aan ir. A. L. de Vos tot Nederveen Cappel, ingenieur 2e klasse bij de Zuster-Maatschappijen te Semarang, is met ing. van 14 April 1936 acht maanden verlof naar Europa verleend.

Ir. F. van Rij, chef van dienst bij de N. I. S., is met ingang van 1 April 1936 gepensionneerd.

Irs. J. W. C. Baron van Dedem, J. A. H. Ondang en J. P. N. Jansen zijn herbenoemd tot ingenieur bij den Prov. Waterstaat van W.-Java en geplaatst te Batavia-C.

Irs. F. H. J. Janssen en J. W. Marcus, ingenieurs bij den Prov. Waterstaat van W.-Java, zijn overgeplaatst resp. van Batavia naar Tasikmalaja en van Palimanan naar Cheribon.

Irs. B. Lieneman en F. E. Kolmus, ingenieurs bij 's Lands Waterstaat t/b van de Prov. W.-Java, zijn overgeplaatst resp. van Cheribon naar Poerwakarta en van Batavia-C. naar Palimanan.

KON. INST. VAN INGENIEURS. Groep Ned.-Indië.

BESTUURSMEDEDEELINGEN

De in nummer 4 van dezen jaargang voorgestelde nieuwe leden zijn aangenomen.

Als *gewoon lid* worden voorgesteld:

ir. P. A. Schreuder Peters, ingenieur bij 's Lands Waterstaat t/b Landschapswerken, te Samarinda;

ir. G. van Esch, idem t/b Prov. Waterstaat van Oost-Java, te Banjoewangi;

dipl. ing. P. Riis, directeur Waterleiding en Assaineering te Djocjakarta.

Als *junior lid* wordt voorgesteld:

Sardjono, student aan de Technische Hoogeschool, te Bandoeng.

Eventueele bezwaren tegen deze candidaatstelling worden vóór 10 Juli a.s. ingewacht bij den secretaris, Bragaweg 38, Bandoeng.

VEREENIGINGSNIEUWS.

Vereeniging van Waterstaatsingenieurs in Ned.-Indië.

Verslag van de 24e jaarvergadering, gehouden te Batavia van 20 — 22 Mei 1936.

Op den eersten dag (20 Mei) verzamelden zich tegen 8 uur 's avonds een groot aantal leden uit alle deelen van Java, enkele met hun dames, op het terras van Hotel des Indes voor de gebruikelijke *Réunie*. Begunstigd door prachtig weer bleef het gezelschap tot na middernacht bijeen.

Op 21 Mei ving des morgens om 9 uur de *Huishoudelijke vergadering* aan in het Receptie paviljoen van Hotel des Indes. Hieraan werd deelgenomen door 28 leden, waarvan één van de Buitengewesten (ir. F. H. Wouters uit Benkoelen). Evenals het vorig jaar werd de deelname gestimuleerd door de bepaling, dat de vereeniging voor elk lid de gemaakte kosten boven een zeker percentage van het salaris zou vergoeden.

In zijn openingswoord herdenkt de Voorzitter de overleden collega's van Alphen, de Quant en van der Woude.

Als nieuwe leden worden zonder stemming toegelaten de irs. M. J. Roos, Ong Thwan Tjiang, G. Botman, J. P. der Weduwen, J. P. Toms, J. L. Barkey, G. van Esch, F. A. W. Meyneken, C. J. M. Swaan, A. R. H. Brouwer en F. E. Kolmus.

De jaarverslagen worden zonder op- of aanmerkingen goedgekeurd.

Vervolgens spreekt de Voorzitter zijn dank uit aan ir. E. E. Hens voor de verzorging van het jaarboekje 1936 en vraagt machtiging voor de uitgave 1937.

In verband met het a.s. Europeesch verlof van den redacteur van het tijdschrift *De Ingenieur in Ned.-Indië*, ir. E. E. Hens, wordt het Bestuur gemachtigd om t.z.t. een opvolger aan te wijzen.

Het wordt wenschelijk geacht om op de volgende jaarvergadering een uitspraak te doen inzake de definitieve positie van het tijdschrift en de daarvoor noodige wijzigingen van het Huishoudelijk Reglement voor te bereiden.

De vergadering besluit den vertegenwoordiger in Nederland, ir. P. J. Ott de Vries, te bedanken voor zijn bemoeienis en hem te verzoeken de vertegenwoordiging te willen blijven voortzetten.

Inzake de financiering van de *Handleiding over meetinrichtingen* van ir. D. G. Romijn wordt besloten met den samensteller nader in overleg te treden omtrent de wijze van uitgaaf.

Het voorstel van het Bestuur om de jaarvergadering het volgend jaar te Salatiga te houden wordt goedgekeurd. In verband met het dan te vieren 25-jarig bestaan der Vereeniging zal aan het programma een bijzonder karakter worden gegeven; overwogen wordt o. a. om met de Groep Ned.-Indië van het Kon. Inst. van Ingenieurs in overleg te treden omtrent de uitgave van een extra nummer van het tijdschrift.

De begrooting voor het jaar 1936 wordt zonder stemming goedgekeurd.

Dan komt aan de orde punt 13 der agenda: „De Lands- en Provinciale personeelsvoorziening", waaraan verreweg het grootste gedeelte van den ochtend is gewijd.

De Voorzitter leidt de besprekingen in met een verwijzing naar mededeeling No. 5 van dit jaar, waarin ter voorbereiding van de behandeling aan de leden is medegedeeld tot welk resultaat het werk van de commissie, die op de vorige jaarvergadering te Bandoeng is ingesteld ter bestudeering van dit vraagstuk, heeft geleid.

De leden dezer commissie, waarvan (o.a. wegens vertrek) slechts drie leden waren overgebleven, konden niet tot overeenstemming komen om een eindverslag op te stellen.

Het Hoofdbestuur ontving een nota van het commissie-lid, ir. Valkenburg, waarmede ir. Meyer verklaarde in te stemmen, en een nota van ir. van Witzenburg.

De nota Valkenburg is den leden als bijlage van genoemde mededeeling toegezonden. De steller dezer nota beveelt aan, in hoofdzaak uit fiscale overwegingen, voorloopige handhaving van den bestaanden toestand, met dien verstande, dat de aanstelling van jonge ingenieurs op Java aan de Provincies blijft voorbehouden en het Land jonge ingenieurs uitsluitend voor de Buitengewesten aanstelt; om op deze wijze dus geleidelijk te komen tot *gescheiden* ingenieurskorpsen.

De nota van Witzenburg is niet overgelegd, doch de leidende gedachte daarin is, het behoud van een *centrale* regeling met handhaving van het dualisme — provinciale naast ter beschikking gestelde ingenieurs — doch met een nader te bepalen vaste verhouding tusschen de beide groepen van ingenieurs.

Het Bestuur achtte het minder juist om met concrete conclusies terzake te komen en heeft een aantal overwegingen opgesteld, die ook aan de leden zijn toegezonden.

Daarbij zijn de volgende oplossingen overwogen:

a. bestaande toestand;
b. geheel gesplitste korpsen;
c. volledig gecombineerde korpsen.

Voorts heeft het daarbij een schema opgesteld om de besprekingen in vaste banen te leiden.

Aangezien ir. van Witzenburg verhinderd was de vergadering bij te wonen, licht ir. Berkhout diens standpunt toe, waarbij hij tot de conclusie komt, dat de voordeelen van een gecombineerd korps voor alle instanties het grootst zijn.

Ir. Valkenburg, als voorstander van gescheiden korpsen, licht zijn nota nader toe.

Nog vele leden zeggen hun meening over dit belangrijke agenda-punt, waaruit men den indruk krijgt, dat de meeste sprekers zijn voor een *gecombineerd* korps van ingenieurs.

Het resultaat der debatten is echter van dien aard, dat gemeend wordt, dat de vergadering zich *nu* (bijeenzijnde ten getale van 28) niet kan uitspreken voor een bepaalde oplossing, en het gewenscht acht, dat de discussies aan alle leden worden toegezonden met een lijst van vraagpunten ter beantwoording, teneinde het Hoofdbestuur in staat te stellen op deze wijze tot een bepaalde uitspraak te komen.

Na dit punt is de bestuurswisseling aan de orde.

De aftredende bestuursleden irs. te Winkel en Wijn worden door den Voorzitter bedankt voor hetgeen zij voor de vereeniging hebben gedaan en de nieuwe bestuursleden irs. de Lannoy en van Riemsdijk worden welkom geheeten.

Na de rondvraag wordt de vergadering om ± 1 uur door den Voorzitter gesloten.

Voor de deelnemers was er na de lunch geen tijd om te rusten, want om 4.30 was het verzamelen in een der localen van het in aanbouw zijnd gemeentelijk slachthuis op den hoek Jacatraweg-Goenoengsari. Hier hield de directeur van Gemeentewerken van Batavia, de heer Timmermans, een inleiding tot het bezoek aan genoemd slachthuis, dat zijn voltooiing nadert.

Na een rondang over het terrein waren de excursisten de gasten van de „Nedam", welke firma zich een royale gastheer betoonde.

's Avonds om 9 uur werd de *openbare vergadering* gehouden.

Een groot aantal genoodigden had gevolg gegeven aan de uitnoodiging om deze vergadering bij te wonen.

Na de openingsrede van den Voorzitter, ir. J. Adriaanse, werd het woord gegeven aan ir. M. M. C. Posno, sectie-ingenieur te Batavia tot het houden van een lezing over de beteekenis en vorderingen der Tangerangwerken als een inleiding tot de excursie.

De ochtend van den laatsten dag (22 Mei) werd besteed aan de *excursie naar de Tangerangwerken*, waarbij de nieuwe stuw en schutsluis met electrische bediening zich in een groote belangstelling van de deskundigen konden verheugen.

Na de bezichtiging der kunstwerken in een „tropische" hitte was de koele dronk, aangeboden door het provinciaal bestuur van West-Java, buitengewoon welkom.

In afwijking van het programma werd hierna nog een bezoek gebracht aan de waterzuiveringsinstallatie van de drinkwaterleiding voor Tangerang.

Ter plaatse werd door ir. J. van Gendt de werking der installatie toegelicht.

Des avonds vond het *feestdiner* plaats, waarmede de jaarvergadering werd besloten.

Aan het diner werd deelgenomen door 22 leden, waarvan 6 met hunne echtgenooten en 1 buitengewoon lid; als gasten zaten aan het hoofd van den Provincialen Waterstaat van West-Java met mevrouw Jonker.

Het diner werd om 10.15 geopend met een tafelrede van den Voorzitter, waarbij een dronk werd ingesteld op H. M. de Koningin. Het verloop was zeer geanimeerd, eerst vroeg in den ochtend gingen de laatste deelnemers huiswaarts.

De Secretaris,

D. van Riemsdijk

3e JAARGANG
NUMMER 6

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

JUNI
1936

III. ELECTROTECHNIEK EN WERKTUIGBOUW.

INHOUD: Materieele ervaringen van groote luchtmachten en de daaruit door kleine naties te putten ervaringen, door H. G. B. de Kruyff van Dorssen. — Varia.

Materieele ervaringen van groote luchtmachten en de daaruit door kleine naties te putten lessen

door

H. G. B. DE KRUYFF VAN DORSSEN,

kapitein-vlieger bij de Militaire Luchtvaartafdeeling te Bandoeng.

Beschouwen we den geweldigen vooruitgang in ontwerpen, constructies en performance van alle typen vliegtuigen, die in de laatste jaren door buitenlandsche fabrieken ten behoeve van Leger- en Marinevliegdiensten werden gebouwd, dan dringt zich de vraag aan ons op, welke de richtlijnen en hulpmiddelen zijn, die de industrie in het buitenland in staat stellen hun producten tot zulk een hoog peil op te voeren, waarbij dan weder de vraag naar voren komt, of ook niet in Nederland de hulpmiddelen aanwezig zijn om dezelfde richtlijnen met succes te kunnen volgen. Het spreekt van zelf, dat bij de beantwoording van deze laatste vraag vooral in aanmerking genomen moet worden:

a. de grootte van het totale bedrag, dat door een land aan zijn luchtvloot wordt besteed, en den omvang van de te verwachten bestellingen van de verschillende vliegtuigtypen;

b. de snelheid, waarmede ervaringen met nieuwe vliegtuigen kunnen worden verkregen en doorgegeven aan den fabrikant;

c. de wijze, waarop de industrie aangepast is aan den bouw en eventueele massaproductie van moderne Marine- en Legervliegtuigen;

d. de beschikbare gelden, die door de betrokken landen voor wetenschappelijke en practische proeven met verschillende vliegtuigtypen kunnen worden besteed.

De huidige ontwikkeling van de militaire luchtvaart in Engeland, Amerika, Frankrijk, Italië, Japan en Duitschland staat in nauw verband met de belangrijke taak, die de luchtvaart in deze landen is toebedeeld in de nationale defensie. Gaan we de bedragen na, die b.v. Amerika, het land, dat door zijn isolement zoo gunstig gelegen is tegen luchtaanvallen, voor zijn luchtmacht besteedt, om een denkbeeld te geven van wat een groote mogendheid aan militaire vliegtuigen bestelt en welke sommen zij hiervoor uitgeeft aan de eigen industrie, dan komt men tot de conclusie, dat genoemd land b.v. in het midden van het jaar 1935 een aantal orders voor Marine- en Legervliegdiensten plaatste van totaal 548 vliegtuigen van verschillende typen voor een gezamenlijk bedrag van 9 760 000 dollar.

Deze orders waren als volgt:

Marine-vliegdienst.

60 „Consolidated"-vliegbooten.
45 „Vought"-watervliegtuigen.

Leger-vliegdienst.

50 Tweezits „Consolidated"-jachtvliegtuigen.
71 „Douglas"-verkenningsvliegtuigen.
26 „Stearman"-lesvliegtuigen.
83 „Northrop"-jager-bommenwerpers.
110 „Northrop"-slagvliegtuigen.
50 „Curtiss"-jachtvliegtuigen.
35 „Seversky"-snelle lesvliegtuigen (overgangstoestellen).
18 „Douglas"-transportvliegtuigen.

Bovendien werden aan het eind van datzelfde jaar ten behoeve van den Legervliegdienst nog geplaatst orders voor totaal 218 vliegtuigen tot een bedrag van $ 11 658 074, verdeeld als volgt:

115 „Northrop"-slagvliegtuigen ($ 2 560 074).
90 „Douglas"-tweemotorige bommenwerpers ($ 6 498 000).
13 „Boeing"-viermotorige bommenwerpers (een proeforder van $ 2 600 000).

De bedragen, die de Amerikaansche Regeering in totaal voor nieuw materieel ten behoeve van haar *Legervliegdienst* denkt te besteden in het loopende en het volgende jaar bedragen resp. in totaal $ 29 501 522 en $ 45 540 177 (begroot).

Deze bedragen zijn inclusief een bedrag voor radiouitrusting van $ 2 226 000 resp. $ 2 237 780, en voor bewapening van $ 1 723 730 resp. $ 680 850.

Het aantal aan te schaffen vliegtuigen bedraagt in totaal voor 1936 416 sts. en voor 1937 565 sts. *).

*) Bij deze vliegtuigen is tevens gerekend op 50% aan reservemotoren en -onderdeelen, behalve voor de 65 vliegtuigen, die bestemd zijn voor de National Guard en Reserve Afdeelingen.

Het is voor de hand liggend, dat mogendheden zooals Amerika, welke zooveel vliegtuigen bestellen, beschikken zullen over veel betere bouwgegevens, die zij de fabrikanten ter beschikking stellen, dan de kleinere naties met hun beperkte bestellingen. Hierbij komt nog, dat de groote bestellingen en de ruimere geldmiddelen der grootere mogendheden de industrie de gelegenheid openen dure proeven in kostbare laboratoria te nemen, hetgeen niet mogelijk is bij bestellingen van geringeren omvang, zooals die door de kleinere landen worden geplaatst, die over minder goede laboratoria beschikken. Hieruit volgt, dat de industrie in laatstgenoemde landen gehandicapt is.

Neemt men hierbij nog in aanmerking, dat de ontwikkeling van het militaire vliegtuig bij de groote luchtmachten zich hoe langer hoe meer richt op het gebruik van groote, meermotorige vliegtuigen, voorzien van de meest moderne bewapening en installaties, terwijl de snelheden en actieradiën steeds grooter worden, dan is het begrijpelijk, dat de vliegtuigindustriën in de kleinere landen het moeilijk hebben en het steeds moeilijker zullen krijgen, indien zij met eigen ontworpen producten gelijken tred willen houden met die van de groote landen.

Het is voor de kleinere industriën noodig om te trachten lessen te putten uit de ervaringen, die groote luchtmachten met het voor hun ontworpen en gebruikte materieel hebben opgedaan. Dat het niet altijd mogelijk zal zijn, deze gegevens te verkrijgen is voldoende bekend en het laat zich aanzien, dat mede door het meer en meer uitbreiden van de diverse luchtvloten van groote naties en de rivaliteit der volkeren het steeds moeilijker zal worden om de verlangde inlichtingen te bemachtigen, zonder over te gaan tot licentiebouw.

Gaan we om dit nader aan te toonen na, welke werkzaamheden b.v. in Amerika voorafgaan aan het in het bedrijfstellen van een nieuw te projecteeren militair vliegtuig met zijn bewapening enz., dan zien we de volgende werkwijze toepassen:

1. Nadat allereerst door den luchtvaartstaf is vastgesteld, voor welk doel het te ontwerpen vliegtuig noodig is, hebben er uitvoerige (genotuleerde) besprekingen plaats met de tactische-, bewapenings- en technische experts, afkomstig van de verschillende vliegtuiggroepen, waarbij het vliegtuig zal worden ingedeeld. Deze besprekingen hebben ten doel om vast te stellen, welk type van vliegtuig het best geschikt is voor de opgegeven tactische doelstelling. Dit komt vooral bij den Amerikaanschen vliegtuigdienst naar voren, omdat men daar het principe huldigt van gespecialiseerde vliegtuigtypen. Heeft men het type eenmaal vastgesteld, dan bepaalt men aan welke eischen het vliegtuig moet voldoen. Hierbij worden de performance, actieradius, militaire nuttige last, bewapening, motoren, schroeven, de sterkte van de bemanning, de plaats van de bemanning en militaire uitrusting, zekerheidsfactoren enz. aangegeven. Het een en ander geschiedt natuurlijk in samenwerking met het „National Advisory Committee for Aeronautics" om na te kunnen gaan, of het geëischte van het verlangde vliegtuigtype in werkelijkheid na den bouw verwacht kan worden.

2. Na het voorgaande vastgesteld te hebben wordt overgegaan tot detailleering van de militaire inrichting van het te ontwerpen vliegtuigtype, en wordt de geheele commissie van genoemde experts, welke meestal uit ca. 15 man bestaat, voor eenigen tijd gedetacheerd bij de „Engineering Division" te „Wright Field", Dayton, Ohio, om aanwijzigingen te geven bij den bouw, waarbij eerst een mock-up gemaakt wordt.

Wanneer deze mock-up en dus ook de juiste indeeling en plaats van de militaire uitrusting gereed is, worden de verschillende vliegtuigfabrieken uitgenoodigd om deel te nemen aan de verdere besprekingen betreffende het nieuwe project.

Dat bij deze besprekingen vaak zeer veel bezwaren naar voren komen van den kant van de vliegtuigindustrie ligt voor de hand, daar door de reeds eerder genoemde militaire commissie dikwijls haast het onmogelijke gevergd wordt. Is men het eens geworden, dan wordt in overleg met de verschillende fabrieken beslist hoeveel een dergelijk type vliegtuig, geheel compleet, zal mogen kosten. Na overeenstemming omtrent de kosten, krijgen verschillende vliegtuigfabrieken dan meestal een opdracht om tot den bouw van een prototype tegen concurreerende prijzen over te gaan..

3. De prototypen worden door de verschillende fabrieken in eigen werkplaatsen gebouwd door een speciale groep personeel, die onder eede heeft beloofd niets te vertellen omtrent het te bouwen vliegtuig. Er wordt verder doorloopend door verschillende militaire inspecteurs — dit zijn speciaal hiervoor opgeleide technische officieren — toezicht gehouden.

Zijn de prototypen van de verschillende vliegtuigfabrieken gereed, dan worden ze naar de „Engineering Division" te Dayton overgevlogen en voor beproeving overgedragen. Het zeer grondig tegen elkaar uit probeeren van deze vliegtuigen geschiedt door een aantal test-pilots van genoemde Division in samenwerking met dezelfde commissie, die gehoord werd bij het vaststellen van de eischen. Bij deze beproevingen worden de vliegtuigen in den kortst mogelijken tijd afgevlogen (compleet revisie-uren) en geheel gedemonteerd, waarna wordt vastgesteld, welk vliegtuig genomen zal worden. Is de keuze eenmaal gevallen, dan geeft de commissie aan, welke wijzigingen alsnog aan het gekozen vliegtuig moeten worden aangebracht; het wordt hierna weer gemonteerd en teruggevlogen naar de fabriek.

4. Van het gekozen vliegtuigtype worden dan als regel 13 stuks nabesteld (voor de zoogenaamde „Service test") die bij de vliegtuiggroepen, gestationneerd in verschillende deelen van de U. S. A., beproefd zullen worden onder alle mogelijke weers- en dienstomstandigheden. Meestal krijgt iedere groep een vliegtuig, dat in den kortst mogelijken tijd afgevlogen moet worden tot het zooveel vlieguren heeft, dat een complete revisie noodzakelijk zal zijn. Hierna wordt het teruggevlogen naar de Engineering Division, terwijl een compleet rapport met voorgestelde service-wijzigingen wordt medegegeven. Zijn alle 13 vliegtuigen terug te Dayton en alle rapporten van de vliegtuiggroepen ontvangen,

dan komt de commissie weer bij elkaar om de naar voren gebrachte wijzigingen te behandelen. Aan de hand van de dan genomen beslissingen worden de specificaties vastgesteld, waaraan de in serie te bouwen vliegtuigen zullen hebben te voldoen. Wanneer we nagaan, dat men in Amerika het idee is toegedaan, dat de moderne militaire vliegtuigen met hun geheele uitrusting als één geheel ontworpen moeten worden, dan is het te begrijpen, dat deze wijze van beproeven en introduceeren van een prototype zeer kostbaar is. Uit de ervaring, opgedaan met de op deze manier aangeschafte vliegtuigen, bleek echter, dat men in Amerika enorme bedragen aan onderhoud kon besparen, zoodat men toch op den duur goedkooper uit was.

5. Het spreekt van zelf, dat de geheele gang van zaken hier slechts in het kort behandeld kan worden, zoodat in werkelijkheid nog vele andere werkzaamheden verricht moeten worden. Het is duidelijk, dat b.v. de rol, die het te gebruiken materiaal speelt, zeer belangrijk is, vooral wanneer van een dergelijk type vliegtuig een groot aantal besteld zal worden.

Vooral in Amerika is men zeer geporteerd voor den geheel-metaalbouw, waarschijnlijk omdat de industrie in dat land beter uitgerust is voor de massafabrikage en het benoodigde materiaal steeds te krijgen is in het eigen land. In Duitschland is men momenteel meer geneigd over te gaan tot den bouw van geheel-houten oorlogsvliegtuigen, daar men daar dan minder afhankelijk is van speciaal ingerichte vliegtuigfabrieken en een industrieele mobilisatie sneller en gemakkelijker zal kunnen verloopen. Dat ook Duitschland echter waarschijnlijk eenige moeilijkheden ondervindt met het verkrijgen van het benoodigde hout, moge blijken uit het feit, dat Dr. L. M. Cohn-Wagner uit Berlijn en Dr. A. von Hullen uit Krefeld in Februari 1936 zich naar Amerika begaven in verband met aanschaffingen van groote hoeveelheden dennenhout en spruce voor den massabouw van geheel-houten vliegtuigen.

De groote diensten, welke Gouvernementslaboratoria aan den militairen vliegtuigbouw kunnen bewijzen, blijken wel zeer duidelijk uit de verklaring van Dr. J. S. Ames, voorzitter van het „National Advisory Committee for Aeronautics" in de U.S.A., tegenover zijn mede committee-leden tijdens de jaarvergadering gehouden in December 1935.

In genoemde vergadering deelde Dr. Ames mede, dat de zeer groote vlucht, die de ontwikkeling van den militairen- en commercieelen vliegtuigbouw in Amerika kon nemen, in hoofdzaak te danken is aan de resultaten van de fundamenteele wetenschappelijke onderzoekingen verricht door N. A. C. A.

De belangrijke verrichtingen op luchtvaartgebied in het afgeloopen jaar, zouden volgens hem in Amerika *niet* mogelijk zijn geweest, zonder het werk van N. A. C. A. Als voorbeelden werden o.m. door Dr. Ames genoemd de werkzaamheden bij N. A. C. A. verricht voor de „China Clipper" voor de „Trans-Pacific Air Service", verrichtingen voor de „Douglas Transport", de „Martin", „Douglas" en „Boeing"-bombardements-vliegtuigen, waarvan alle kenmerkende principieele grondslagen aanbevolen waren door N. A. C. A. als resultaten van door dezen dienst gehouden onderzoekingen.

Dat deze verklaring zeker geen overdrijving bevat, kan gemakkelijk geconcludeerd worden uit de vele aanvragen om adviezen van de zoo succesvolle Amerikaansche vliegtuigbouwers. Wij kunnen hierbij opmerken, dat N. A. C. A. inderdaad de grootste onderzoekingsorganisatie op luchtvaartgebied ter wereld is, zoodat het anderzijds weer geen verwondering behoeft te wekken, dat Amerika op het gebied van den vliegtuigbouw ten opzichte van andere landen practisch aan de spits staat.

Het bestuur van N. A. C. A. bestaat uit 15 leden afkomstig van Marine, Leger, andere takken van Gouvernementsdiensten, Handel en Industrie, die alle zonder eenige vergoeding hun diensten aan genoemde organisatie bewijzen, terwijl het gesalarieerde personeel te Washington, D. C. en te Langley Field, Va. uit een staf van totaal ongeveer 350 personen bestaat.

De waarde aan gebouwen en installaties vertegenwoordigt een bedrag van ca. $ 5 000 000,—.

De begrooting voor het afgeloopen jaar voor N. A. C. A. bedroeg totaal $ 1 158 850 aan salarissen en onkosten. Dat N. A. C. A. met een dergelijk bedrag wonderen heeft verricht moge blijken uit de feiten, dat het perfectioneeren van vliegtuigen, op advies van N. A. C. A., voor Marine en Leger een besparing van ca. ruim $ 1 000 000 per jaar tengevolge had en dat de aviatiek in Amerika in het algemeen met behulp van deze adviezen in het geheel aan bouwkosten en verder, rond $ 10 000 000 per jaar aan uitgaven kon besparen.

Misschien lijken deze besparingen op het eerste gezicht wel overdreven, doch bij nadere beschouwing komt men tot de overtuiging, dat zij inderdaad wel zeer groot moeten zijn. Wanneer we alleen reeds in aanmerking nemen het werk, dat door N. A. C. A. verricht is op het gebied van motor-cowlings, verstelbare schroeven, juisten motor-inbouw voor meermotorige vliegtuigen, vormverbetering van romp en vleugels, remklappen, koelingsvraagstukken enz., waardoor de snelheid, economie en bedrijfszekerheid van de moderne vliegtuigen belangrijk verbeterd werden, dan kunnen wij ons voorstellen, dat een thans verkregen besparing op Legervliegtuigen ter grootte van $ 702 200, op Marine-vliegtuigen van $ 342 500 per jaar, niet overdreven behoeft te zijn. De verdere besparingen, die door vliegtuigfabrikanten konden worden verkregen, moeten wel zeer groot zijn, nog afgezien van de enorme voordeelen, die verkregen worden door de, in verband met de aangebrachte verbeteringen, zoo zeer groeiende export van vliegtuigen. De gelden aan het National Advisory Committee for Aeronautics besteed, zijn dan ook zeker niet weggeworpen!

Het spreekt vanzelf, dat alleen door goede samenwerking tusschen N. A. C. A. en de Leger- en Marinevliegdiensten deze zeer gunstige resultaten konden worden verkregen. Dr. Ames verklaarde dan ook op bovengenoemde vergadering, dat natuurlijk een van de hoofdtaken van N. A. C. A. is om bij onderzoekingen nauw samen te werken met de Marine- en Legervliegdiensten en de Burger Luchtvaart.

In verband met het voorgaande, is het begrijpelijk, dat het ook voor de kleine landen noodzakelijk is om voor den bouw van vliegtuigen, hetzij naar eigen ontwerp, hetzij in licentie, te beschikken over zoo oordeelkundig mogelijk samengestelde luchtvaartspecificaties en voorschriften, welke door wetenschappelijke onderzoekingen en uit practische bouwgegevens samengesteld zijn.

Dat deze specificaties en voorschriften inderdaad zoo up to date en compleet mogelijk moeten wezen spreekt wel voor zichzelf, vooral indien, zooals de juiste weg is, het tevens voorgeschreven wordt, dat de specificaties of voorschriftnummers van de verschillende materialen en onderdeelen op de werkteekeningen aangegeven worden en bepaald wordt, dat geen andere materialen of onderdeelen mogen worden gebruikt. Hierdoor zal tevens de uit te oefenen contrôle door luchtvaartautoriteiten belangrijk vereenvoudigd worden.

Het ligt voor de hand dat, om een dergelijk systeem door te voeren, het betrokken kleine land zal moeten kunnen beschikken over een zeer modern uitgerusten Rijksvoorlichtingendienst en een groote ervaring op het gebied van den bouw van geheel compleet uitgeruste moderne militaire vliegtuigen.

Aangezien het eerste wel mogelijk is en veel nut kan afwerpen ook bij toepassing van licentiebouw van militaire vliegtuigen, verdient het ten sterkste aanbeveling voor de kleinere landen, hun studiediensten voor luchtvaart van de meest moderne hulpmiddelen en uitrustingen te voorzien.

Voor wat betreft de zoo noodige uitgebreide bouwervaringen, zullen de kleine naties steeds het oog gericht moeten houden op die landen, welke er groote luchtmachten op na houden en op de richtlijnen, die daar bij den vliegtuigbouw gevolgd worden.

Aan de hand van het voorgaande komen we tot de volgende conclusies:

1. In verband met de groote kosten voor onderzoekingen is het op den duur voor kleine landen ondoenlijk om complete militaire vliegtuigen te bouwen naar eigen ontwerp, die, uit een militair oogpunt voor wat betreft de gevechtswaarde, de performance en de onderhoudskosten, op gelijk peil staan met dergelijke vliegtuigen gebouwd door groote mogendheden.
2. Het is voor kleine landen wel mogelijk voor militaire vliegtuigen licentiebouw toe te passen, waarbij dan een goede Rijksvoorlichtingsdienst veel nut zal kunnen afwerpen.

Literatuur.

Army & Navy Register, 6 Jan. 1934, 15 Febr. 1936, 18 Jan. 1936, 25 Jan. 1936 en 8 Febr. 1936.
The Flight, 9 Jan. 1936.
Aviation, Jan. 1936.
The Aeroplane, 6 Nov. 1935.

VARIA.

Het dicht-koken van de klinknaden en klinknagels van stoomketels, tanks en andere dichte constructies en het achtereenvolgens daarvoor te gebruiken kookgereedschap.

Voor zoover bekend, geeft geen enkel technisch werk een duidelijke beschrijving van het koken van de klinknagels van stoomketels, tanks en andere dichte constructies, alhoewel het koken een der voornaamste bewerkingen is, welke bij den bouw van deze constructies voorkomt.

Dikwijls is men van meening, dat het koken slechts een weinig dicht stempelen der plaatranden beteekent en gaat men niet verder daarop in. Het is echter een zeer bijzonder werk, dat alle aandacht verdient.

Indien men goed en slecht kookwerk door den microscoop bekijkt, dan ziet men, welke verwoesting door slecht kookwerk in het platenmateriaal kan ontstaan. Meermalen worden er nieuwe stoomketels afgeleverd, waarvan het kookwerk zoo slecht is, dat menig ketel-expert deze het liefst geheel zou afkeuren.

De groote machinefabrieken hebben voor de vervaardiging van dichte constructies meer ervaren vakmenschen, doch de kleinere fabrieken moeten zich met minder geschoolde krachten behelpen. Van beide wordt echter goed werk geëischt, hetgeen wel eens moeilijkheden kan geven.

Aan boord van stoomschepen en bij vele stoombedrijven op het land, tracht de werktuigkundige bij lekkages aan zijn ketels, deze weleens zelf dicht te koken, daar speciale vakmenschen door groote afstanden en onkosten veelal moeilijk te krijgen zijn. Voor het koken wordt dan meestal een stompe, platte beitel gebruikt, welke naast het lek in het platenmateriaal wordt gedreven. Bij eenvoudige lekkages wordt hierbij weleens een tijdelijke dichtheid bereikt. Afdoende is het echter niet.

Voor vele werktuigkundigen kan het nuttig zijn een beter inzicht omtrent kookwerk te hebben. De kans om bij voorkomende lekkages deze zelf behoorlijk dicht te koken, is dan veel grooter en zeer goed mogelijk.

In de eerste plaats moet men erom denken, nooit aan een ketel te koken, waarop stoomdruk staat. De lekkages zouden daarbij slechts grooter kunnen worden. Ook bij het proefpersen met water, mag er niet gekookt worden als er druk op het werkstuk staat. De lekkende plaatsen worden bij het persen met een krijtstreep gemerkt en na het aflaten van den druk nagekookt.

In Europa bestaan voor het koken van klink*naden* twee methoden, n.l. de Fransche en de Engelsche methode. Beide methoden vinden in verschillende landen, naar beoordeeling en gewoonte van den ketelfabrikant, toepassing.

De Fransche methode, afkomstig uit de fabrieken Cockerill, te Seraing, is de meest gangbare en wordt in Frankrijk bijna uitsluitend toegepast. De Engelsche methode is in Engeland algemeen in gebruik.

De werkwijze voor het koken van klink*nagels* is over de geheele wereld gelijk en heeft plaats zooals in *fig. 1* is aangegeven.

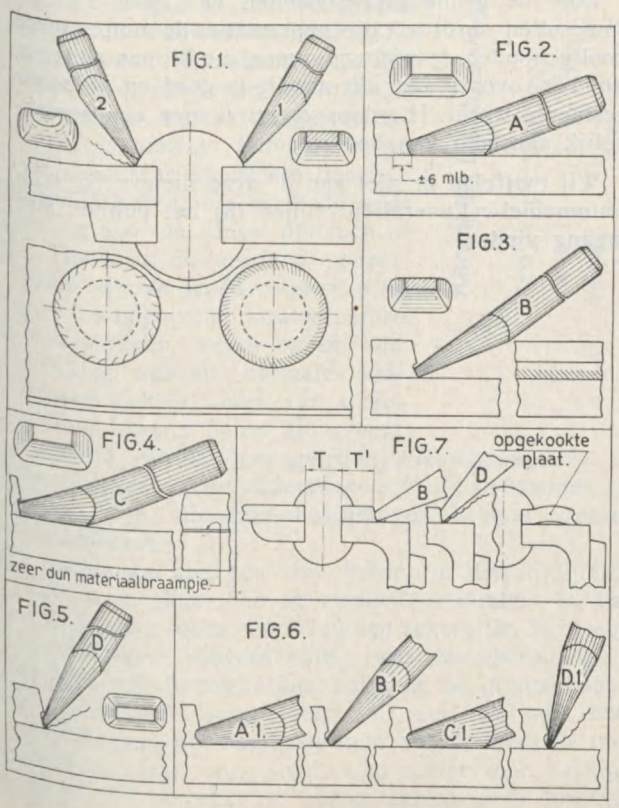
De punt van beitel no. 1 is van fijne kartelingen voorzien, welke er na gloeiing met een scherp plat beiteltje zijn ingekapt. Na het harden van den beitel drijft men daarmede het materiaal van den nagelkop tegen de plaat, waardoor een innige aaneensluiting der materiaalkristallen plaats heeft.

Beitel no. 2 snijdt de door beitel no. 1 gedreven kookbraam weg en maakt den koprand wederom glad. De punt van beitel no. 2 mag slechts zeer weinig in het platenmateriaal dringen. Eenige tienden van een millimeter is algemeen toelaatbaar.

De Engelsche methode voor het koken van klinknaden is verreweg de oudste. Een goede en duurzame dichtheid is er mede te bereiken. Bij een eventueele latere lekkage is het nakoken echter wat minder gemakkelijk. De werkwijze is, zooals de *figuren 2* t.m. *5* aangeven.

Met den beitel *A* wordt in de te koken bovenplaat een groef gedreven, waardoor het materiaal tot op een diepte van vijf à zes millimeter sterk tegen de onderplaat gedrukt wordt. Met den hierna te gebruiken beitel *B* wordt het platenmateriaal nog inniger tegen elkaar gebracht. Beitel *B* is als beitel no. 1 gekarteld.

De nu vervolgens aan te wenden beitel *C* drijft het materiaal in de groef wederom glad. Beitel *C* is practisch geheel gelijk aan *A*, doch eenige tienden van een millimeter dunner en aan de onderzijde slechts zeer weinig afgerond. Bij het glad drijven der groef wordt er een zeer dun braampje materiaal tusschen onderplaat en den beitel uit de groef gedreven.



Het dunne braampje, dat onverbroken langs den groefrand loopt, wordt nu met den vierden en laatsten beitel, welke niet scherp mag zijn, door zachte tikken met den hamer op den beitelkop weggenomen. Laat het braampje zich nog niet geheel verwijderen, zoo neemt men daarna een wat scherperen beitel *D*. De kooknaad is hiermede gereed en dicht.

De beitel *D* mag echter ook slechts zeer weinig, hoogstens eenige tienden van een millimeter in de onderplaat dringen. Diepere, scherpe insnijding kan bij de rechte naden vooral aanleiding tot het scheuren der platen geven.

Om het koken der naden wat te vergemakkelijken, worden de plaatranden schuin geschaafd. Een haaksch geschaafde plaat laat zich echter ook behoorlijk koken. Het is echter voorgekomen, dat kookranden op dertig en veertig graden werden geschaafd, hetgeen veel te schuin is. De schaafhoek moet het liefst twaalf en hoogstens vijftien graden zijn. Hierbij worden de beste resultaten op duurzame dichtheid verkregen. Het ruw afschaven der platen moet eveneens vermeden worden. Hierdoor ontstaan vele kleine scheurtjes in de plaatranden, welke het kookwerk bemoeilijken en ongunstig beïnvloeden.

Bij de Fransche kookmethode wordt de kookgroef meer in afgeronden vorm uitgevoerd. Vergelijkende proeven op dichtheid, gaven tusschen beide methoden geen verschil.

Fig. 6 geeft de vormen van de vier beitels, welke in Frankrijk algemeen toepassing bij het koken vinden. Beitel B_1 is gelijk beitel no. 1 en *B*, van fijne kartelingen voorzien.

Het zgn. inzetten van het platenmateriaal met de beitels $A — A_1$, en het glad drijven der kookgroef met de beitels $C — C_1$ kan uit de hand, doch ook pneumatisch geschieden. Voor zwaar werk geeft de pneumatische handkookmachine eenig voordeel. Het werk met de overige beitels kan uitsluitend met de hand gebeuren.

Bij dunnere platen worden de beitels naar verhouding dunner genomen. Platen van tanks minder dan zes millimeter dik worden gewoonlijk niet met een groef gekookt. Hiervoor gebruikt men den gekartelden beitel no. 1 of (*B*), om het materiaal tegen de onderplaat of het hoekijzer te drijven. Met beitel *D* neemt men daarna alleen het gevormde kleine kookbraampje weg.

Indien de platen dunner dan zes millimeter zijn, moet men er voor zorgen (zie *fig. 7*), dat T^1 gelijk of hoogstens drie millimeter grooter is dan *T*.

Indien T^1 te groot is, kookt men de plaat licht af en wordt de lekkage daardoor grooter.

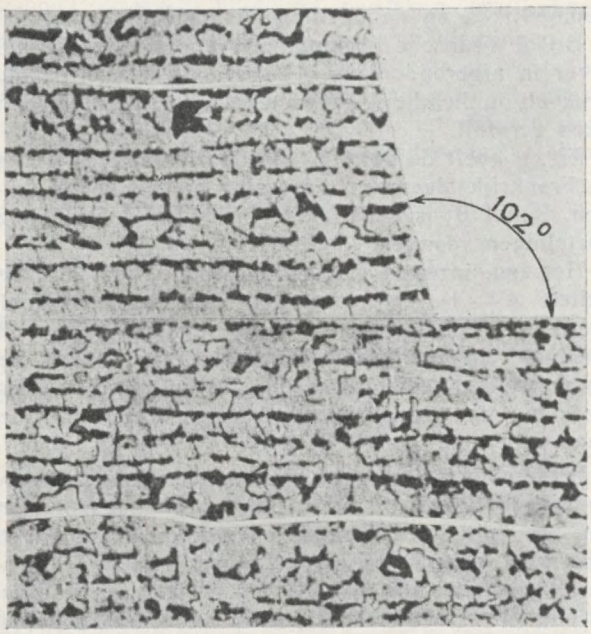
Bij de vervaardiging van waterreservoirs uit dunne platen, legt men voor de dichtheid ook wel een of twee — met ijzermenie bestreken — strooken katoendoek tusschen de te klinken naden. Hierdoor vervalt dan het kookwerk. Voor olietanks is deze laatste werkwijze onmogelijk. Klinkwerk voor olietanks moet geheel als voor stoomketels worden uitgevoerd.

De onderlinge afstanden der klinknagels mogen met het oog op het afkoken der platen eveneens niet te groot zijn. Voor een enkele naad, dus met een rij klinknagels, neemt men een steek van twee en een half maal den nageldiameter. Indien de onderlinge

afstand der nagels grooter wordt dan zes en een half maal de plaatdikte, wat bij ketels het geval kan zijn, dan is men aan de practische grens tot het afkoken der platen.

Een goede duurzame dichtheid van stoomketels en tankwerk hangt niet altijd alleen van het koken der naden af. Andere bewerkingen moeten daartoe eveneens bijdragen.

In vele fabrieken gebruikt men b.v. bij het boren van klinknagelgaten en soms ook bij het schaven van platen het zgn. boorwater (water, waarin zeep is opgelost en nog olie is toegevoegd). Het gebruik van vetdeelen en olie tijdens de vervaardiging van dichtwerk is zeer slecht. Bij het boren, schaven en ponsen mag alleen schoon zoet water, doch het liefst regenwater worden gebruikt. Ruime toevoer van water tijdens het boren maakt de gaten glad en is het behoud der spiraalboren. Een boor, die bij de moderne snelboorders duizend omwentelingen per minuut maakt, heeft een krachtige straal water noodig ongeveer gelijk aan de helft van den diameter van de boor.



Een volkomen dichtheid berust eveneens op het deskundig klinken van de vooraf vast tegen elkaar gebouwde, schoone, geheel ontbraamde platen en gladde rechte ontbraamde nagelgaten.

Een olie- of vetlaagje tusschen de platen, hoe gering ook, maakt elke innige aaneensluiting der materiaalkristallen onmogelijk. Een duurzame goede dichtheid is daarbij geheel uitgesloten.

Bijgaande *foto* (100 × vergroot) geeft een duidelijk beeld der materiaalkristallen van twee tegen elkaar gebouwde vloeiijzeren ketelplaten.

Praktijking. G. J. Spenkelink,
Oud-ambtenaar bij den Indischen
Centralen Aanschaffingsdienst.

Nieuwe Shell Automobiel Cylinder Oliën.

Naar wij vernemen heeft de B. P. M. nieuwe Shellmotoroliën geïntroduceerd. Deze nieuwe automobielcylinder smeeroliën zijn, uit speciaal geselecteerde grondstoffen, op moderne wijze geraffineerd, waarbij er tegen gewaakt is door te ver doorgevoerde raffinage een product te verkrijgen, dat aan smeerwaarde heeft ingeboet. De nieuwe Shell-motoroliën schijnen dan ook aan de allerhoogste eischen te voldoen.

Men deelde ons o.a. mede, dat de oliefilm onverbreekbaar is, waardoor men onder alle omstandigheden bij alle snelheden en temperaturen verzekerd is van de absolute smering van den motor.

Voorts is deze smeerolie bijzonder goed bestand tegen oxidatie, hetgeen een waarborg vormt voor duurzaamheid en lagere consumptie.

Door de prima eigenschappen van deze Shell-smeeroliën wordt ook bij topprestaties de motor steeds koel gehouden, terwijl een motor, die bij den aanvang koud is, overal waar dit noodig is goed en afdoende gesmeerd wordt. Hierdoor verkrijgt men een gemakkelijk aanslaan van den motor.

Wij twijfelen er niet aan of deze nieuwe Shell-automobiel-cylinderoliën zullen bij het publiek snel ingang vinden.

3e JAARGANG
NUMMER 6

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

JUNI
1936

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.

„DE MIJNINGENIEUR"

INHOUD: Der krater des Anak Krakatau, von dr. M. Neumann van Padang. — Economische Mededeelingen.

Der Krater des Anak Krakatau

von

dr. M. NEUMANN VAN PADANG,

Geologe beim Vulkanologischen Dienst in Niederländisch Indien.

(Mit 3 Abbildungen im Text).

Vor einigen Monaten habe ich in dieser Zeitschrift (1936, *) IV. S. 1) die Lageveränderungen der Krater vom Slamet, Lamongan, Merapi und Semeroe besprochen und auf die Gefahren hingewiesen, die dadurch die Umgebung bedrohen. Bei allen diesen Vulkanen hat sich der Eruptionspunkt einige hundert Meter verlagert, eine Erscheinung, die schon bei vielen Feuerbergen beobachtet worden ist. In den meisten Fällen bleibt der Krater jahrhundertelang auf derselben Stelle; nur einige alte Kraterwälle verraten, dass der Ausbruchspunkt in vorhistorischer Zeit ein anderer gewesen ist. So war beim Slamet seit Menschengedenken immer derselbe Krater tätig. Vom Lamongan ist jedoch eine Kraterverlegung aus dem Jahre 1847 bekannt geworden, während der Eruptionspunkt beim Merapi innerhalb der letzten 50 Jahre um 400 m, beim Semeroe sogar innerhalb von 2 Jahren um 125 m verschoben ist.

a. Der Ausbruchspunkt Anak Krakataus.

Auch der Krater des Anak Krakatau macht den Eindruck nicht stets an derselben Stelle gewesen zu sein, obgleich die Verschiebungen gering waren. Am 29. Dezember 1927 begann nach 44-jähriger Ruhe die neue Tätigkeit des Krakatau und als die Durchbruchsstelle (D, Abb. 3) am 4. Januar 1928 festgelegt wurde (1929 S. 27), lag sie bei 105° 25′ 27″ Ö. L. v. Gr. und 6° 6′ 6″ S. Br. In Bezug auf den Mittelpunkt der Gradabteilung, welche 1° 40′ — 2° 0′ östlich von dem Meridian durch Südsumatra entfernt ist und zwischen 6° 0′ — 6° 20′ S. Br. liegt, hat dieser Eruptionspunkt die Koordinaten x = + 3665 m und y = + 7187 m. Der Meridian durch Südsumatra befindet sich 103° 33′ 27,8″ Ö. v. Greenwich.

Nach den Messungen des Regierungsdampfers „Cycloop" am 20. Januar 1928 befand sich der Ausbruchspunkt etwas westlicher, d.h. 2-300 m nördlich von der Stelle, wo er heute ist. Dieser Punkt lag gerade zwischen den ehemaligen Kratern des Danan und Perboewatan, zweier Vulkane, die bei dem grossen Ausbruch vom Jahre 1883 vernichtet sind. Beide standen mit dem Rakata auf einer NW — SO gerichteten Störungszone (1927/29, S. 48), so dass angenommen werden muss, dass das Magma dieser drei Feuerberge an NW — SO gerichteten Spalten hochgekommen ist. Da der jetzige Krater sich wieder auf diesem Streifen befindet, muss das neue Magma dieselben Spalten benutzt haben.

Nun ist durch den gewaltigen Ausbruch im August 1883 der grösste Teil der mittleren Krakatau-Insel, und zwar 22 km² Land, zerstört und eine Kaldera gebildet worden. Verbeek (1885, S. 371 ff) behauptete schon, dass diese grosse Vernichtung durch Einsturz und Zusammenbruch des Vulkanherddaches entstanden ist (1929, S. 16 u. 1933), welche Auffassung 1) durch den geringen Prozentsatz alter Gesteine in der Bimssteintuffdecke der Randinseln, 2) durch die merkwürdige Gestalt des Kalderabeckens mit grabenförmigen Verlängerungen und 3) durch die exzentrische Lage der Kalderamitte in Bezug auf die Eruptionspunkte, unterstützt wird. Wollte man die Entstehung des Beckens durch explosive Vorgänge erklären, so müsste die Kalderamitte sich bei den Explosionspunkten, d.h. an der Stelle der Danan- und Perboewatankrater befinden.

Die tiefste Stelle des Einsturzbeckens ist 2 — 3 km entfernt von der Linie, welche die Gipfel der früheren Krakatauvulkane verbindet. Die Kraterschlöte dieser Feuerberge (s. 1933, Karte) befanden sich also in der Nähe des nordöstlichen Randes einer exzentrisch gelegenen Magmakammer, auf der Stelle einer tektonischen Störungszone.

Das Dach der Magmakammer wurde nach der Katastrofe zu einer chaotischen Anhäufung von Schollen und Trümmern, in der keine durchgehenden Spalten mehr vorhanden sein konnten. Aber auch

*) Siehe Schriftenverzeichnis.

die tektonischen Störungslinien bei den Kraterschlöten müssen mitbetroffen sein, denn der 1 — 2 km breite Inselteil, welcher sich NO von den Kratern, d.h. NO von diesen Störungslinien befunden hat, ist verschwunden und in die entleerte Magmakammer in südwestlicher Richtung abgeglitten.

Eine untermeerische Schwelle, auf deren Rand Anak Krakatau entstanden is, begrenzte das Kalderabecken nach NO und bildete die 100 m hohe steile Nordostwand des Troges (Abb. 3). Da die tektonischen Brüche an der Stelle der Verbindungslinie der vormaligen Gipfel, ungefähr mit dieser Steilwand zusammenfallen, bildeten sie anscheinend die Seite des Magmaherdes. Die Brüche waren ausserdem, und sind es noch jetzt, im Untergrund der Magmakammer vorhanden, denn die Ursache der eruptiven Tätigkeit im Jahre 1927 war nicht die Wiederbelebung eines Magmarestes im Vulkanherd vom Jahre 1883, sondern durch das Eindringen neuen Magmas aus grosser Tiefe in den alten Herd veranlasst. Die frischen Eruptionsprodukte des Anak Krakatau haben nämlich eine Zusammensetzung, die von denen der vormaligen Vulkane abweicht. Während Danan und Perboewatan aus Hypersthenandesiten, bisweilen mit etwas Olivin, aufgebaut waren (1885, S. 191) und die Lava des Ausbruches vom Jahre 1883 noch kieselsäurereicher war mit 60 — 70% SiO_2 (1885, S. 292 u. 1929, S. 53), ist die Lava des Anak Krakatau basaltisch mit nur 51 — 55% SiO_2 (1929, S. 53 u. 1933/35, S. 84). Man hat es also mit einem anderen und zwar mit einem ursprünglichen, d.h. wenig veränderten Magma zu tun.

Aus verschiedenen Fällen weiss man, dass das Magma unserer indischen Vulkane soweit es nicht durch aufgenommenes Nebengestein veränderte, im Laufe der Zeit kieselsäurereicher geworden ist, und dass viele Vulkane mit ursprünglich basaltischen Gesteinen, später Andesite gefördert haben. Esenwein hat das ausführlich beschrieben bei den Laven von Paloeweh (1930); beim Tanggamoes hat sich das Magma zuletzt sogar in Plagioliparite verwandelt (1932). In einem unveröffentlichten Dienstbericht vom 15. Mai 1933 habe ich Veränderungen in demselben Sinne bei den Laven des G. Slamet beschrieben. Sogar bei Anak Krakatau fand in wenigen Jahren ähnliches statt, denn die Asche vom Jahre 1928 hatte 51,81%, die vom November und Dezember 1933 55,03% SiO_2 Wenn die Lava vom Juli 1935 auch etwas weniger SiO_2 enthält, nämlich 54,76% (1933/35, S. 159), so wird dadurch die Tendenz einer Änderung nach kieselsäurereicheren Gesteinen nicht beeinträchtigt [1]).

Allmähliche Veränderungen in umgekehrtem Sinne sind in Indien nicht nachgewiesen. Deshalb ist das kieselsäureärmere Magma des Anak Krakatau nicht durch Entmischung aus dem andesitischen Magma des Danan und Perboewatan entstanden, sondern es muss erst nach 1883 aus grosser Tiefe neu in den Vulkanherd eingedrungen sein, und zwar auf der NW — SO gerichteten Bruchzone [2]).

Geht nun aus der Lage des Anak Krakatau und aus der Zusammensetzung seines Magmas hervor, dass die NW — SO gerichteten Spalten noch vorhanden sind, wichtig wäre es zu wissen, ob der junge Krater sich in der Richtung dieser Schwächenzone verschoben hat. Bedeutende und plötzliche Verlagerungen und Einbrüche bei einem untermeerischen Vulkan haben möglicherweise Flutwellen zur Folge, die für die Umgebung verhängnisvoll sein können.

b. Veränderungen und Aufbau Anak Krakataus.

Der Krater war im Januar 1928 in NW — SO Richtung ungefähr 600 m breit (1927/29, S. 33) und Stehn (1927/29, S. 49) zeichnet in seinem Bericht drei nebeneinander gelegene Eruptionspunkte in der Richtung der alten Bruchfläche. Am 26. Januar 1928 tauchte der Vulkangipfel durch fortwährende Anhäufung der ausgeworfenen Produkte zum ersten Mal als eine 3 m hohe und 175 m lange Insel über den Meeresspiegel auf. Da der Krater am Rande des Kalderabeckens entstanden war, wuchs sein Wall schief und erschien nur jener Teil über Wasser, der auf dem untermeerischen Rücken abgelagert worden war. Der südwestliche Kraterwall, an der Seite des mehr als 270 m tiefen Einsturzbeckens, blieb unsichtbar. Nach dieser Seite fanden fortwährend Abrutsche statt, wodurch die Insel allmählich wegglitt, während die Brandung den lose aufgestapelten Schutt wegräumte, und so war die Insel am 4. Februar 1928 wieder verschwunden.

In Abb. 1 sind die Ausbrüche und darunter Lebensdauer und Höhen des Anak Krakatau angegeben. Die Tätigkeit aus den Jahren 1927/29 hat Stehn (1927/29, S. 97 u. 157) in graphischer Darstellung veröffentlicht.

Ende Januar 1929, ein Jahr nach dem Verschwinden von Anak Krakatau I entstand während einer kräftigen eruptiven Tätigkeit, die am 12. jenes Monats angefangen hatte, von neuem eine Insel (Abb. 1), die wie die vorige sichelförmig war und nordöstlich vom Krater lag. Am 10. April wurde diese, durch die Brandung schon wieder stark zerstückelte Insel Krakatau II aufgemessen (M, Abb. 1, siehe ferner die Karte in 1927/29, S. 115). Sie war 29.3 m hoch, etwa 8 m niedriger als am 18. Februar. In den darauffolgenden Monaten vulkanischer Ruhe, aber

1) Diese ausserordentlich schnelle Veränderung in der Zusammensetzung der Laven Anak Krakataus, kann jedoch auch durch Aufnahme kieselsäurereicher Produkte, die das Dach der neuen Magmakammer bilden, entstanden sein.

2) Ähnliches zeigt der Goentoervulkan. Der Lavastrom aus dem Jahre 1840 und die Blöcke in der Umgebung des jüngsten Kraters bestehen aus mittel- bis dunkelgrauen Labradorbasalten mit 50.8% SiO_2. Die Lavabänke, die den alten schon stark erodierten nördlichen Gipfel, den G. Agoeng, zusammensetzen, bestehen aus mittel- bis hellgrauen Augithypersthenandesiten mit 61.75% SiO_2. Da man vom G. Agoeng keine Ausbrüche kennt, und also nicht weiss, welcher zeitliche Zusammenhang zwischen ihm und dem Goentoer besteht, darf man m.E. nicht ohne weiteres behaupten, dass das Magma des letzteren kieselsäureärmer geworden ist. Ich glaube vielmehr, dass auch hier basaltische Lava aus grosser Tiefe in einen leeren Magmaherd oder in seine unmittelbare Nähe eingedrungen ist und zu erneuter Tätigkeit geführt hat, sodass Agoeng- und Goentoerkrater, obgleich räumlich noch keine 2 km von einander entfernt, zwei verschiedene, zeitlich getrennte Magmaherde gehabt haben.

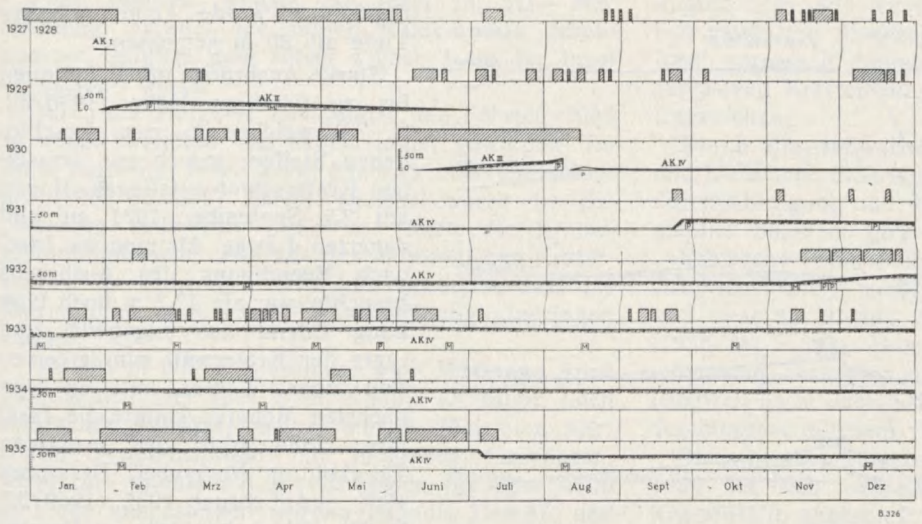


Abb. 1. Zeitliche Darstellung der Ausbrüche (schraffierte Blöcke) des Anak Krakatau (AK I — AK IV) und Lebensdauer samt Höhe der Inseln.
M sind die Zeiten der Messungen auf der Insel.
P gibt einige Zeiten der Inselanpeilungen von Lang-Eiland aus an.
Die Monate sind in Abschnitte von 5 Tagen zerlegt.

auch während der schwachen Tätigkeit im Juni, als die meisten Eruptionen noch keine 30 m Höhe erreichten, ging die Vernichtung durch Brandung und Abspülung weiter, und am 3. Juli 1929 gehörte Anak Krakatau II ebenfalls der Vergangenheit an.

Während der vielen Ausbrüche der nachfolgenden Monate, auch bei der ziemlich starken Ausbruchsphase vom 30. April bis zum 15. Mai 1930 ist keine neue Insel entstanden. Eerst bei der darauffolgenden Phase, die am 2. Juni begann, ist Anak Krakatau III geboren. Am 8. Juni war der Vulkangipfel während der Ebbe, vom 13. Juni an auch während der Flut sichtbar; Anfang August war die Insel 38 m, am 8. August schon 50 m hoch und 375 m lang. Einige Tage ist die Verbindung zwischen Meer und Krater unterbrochen gewesen, aber am 7. August war in den südwestlichen Trennungswall, vermutlich durch die Tätigkeit eines dritten Eruptionspunktes (1930/32, S. 26) wieder eine Bresche geschlagen.

Explosionen haben die Insel am 9. August vernichtet. Der untermeerische Körper Anak Krakataus war jedoch so gross geworden und befand sich so nah unter dem Meeresspiegel, dass die Aufschüttungen der folgenden Tage bereits eine neue Insel bildeten, Anak Krakatau IV, die noch jetzt besteht. Am 11. August kam der Kraterrand über Wasser, am nächsten Tag war das Eiland 9½ m und am 16. August 1930 13,2 m hoch (1930/32, S. 28), 1125 m lang und 500 m breit. In den nachfolgenden Monaten sackten die locker aufgeschütteten Massen zusammen, der Regen spülte die Oberflächenschichten ins Meer und so wurde die Insel allmählich niedriger (am 21. Januar 1931 war sie 6.38 m hoch), ein Vorgang, der in den folgenden Jahren nach grossem Inselzuwachs wiederholt festgestellt wurde.

In Abb. 2 sind die SW — NO Querprofile durch Anak Krakatau IV vom November 1930 bis Dezember 1935 angegeben. Weil sie untereinander geordnet und in den späteren Profilen auch die früheren Zustände eingezeichnet worden sind, kommen die Veränderungen der Inselhöhe, Inselgrösse und Kraterlage deutlich zum Ausdruck. Im Profil vom August 1935 ist noch der Querschnitt durch den Kalderaboden gegeben, nach Eschers Karte (1919). Beim steilen Knick im Bodenprofil entstand der Krater des Anak Krakatau.

Im oberen Profil von Abb. 2 geben die Strichpunktlinien den Platz an von Anak Krakatau II (AK II) und Anak Krakatau III (AK III), welche bzw. vom Januar bis Juli 1929 und vom Juni bis August 1930 bestanden haben. Der Kraterrand des Anak Krakatau III befindet sich mehr als 100 m nordöstlicher als der des Anak Krakatau II (s. auch 1930/32, S. 24), obgleich sein Ausbruchspunkt 125 m nach Süden (1930/32, S. 19), also in entgegengezetzter Richtung, damit ferner von der Insel, beobachtet worden ist. Vermutlich ist diese südliche Ausbruchsstelle nur kurze Zeit tätig gewesen.

Die Küste des Anak Krakatau IV ist wieder 125 m nach Nordosten verschoben und somit über 225 m von der des Anak Krakatau II entfernt. Man bekommt also den Eindruck, als ob man es hier mit einer Kraterverschiebung in nordöstlicher Richtung zu tun hat. Mit Sicherheit ist hierüber jedoch nichts zu sagen.

Seit August 1930 ist die etwa 350 m grosse Kraterschlotmündung an derselben Stelle gewesen (s.S. 106), obgleich sie nicht immer über ihre ganze Breite tätig war, wie das aus den Querprofilen (Abb. 2) seit November 1930 deutlich hervorgeht. Vielleicht muss man auch die Ausbrüche, die am 9. August 1930 mitten durch Anak Krakatau III gegangen sind, als Explosionen erklären, welche im nordöstlichen Teil der Kraterschlotmündung stattgefunden haben.

Einen zeitlichen Zusammenhang zwischen den Veränderungen der Inselform seit 1930 und der vulkanischen Tätigkeit bekommt man durch Vergleich von Abb. 2 mit Abb. 1. Will man einen Zusammenhang zwischen Inselaufbau und vulkanischer Tätigkeit suchen, dann muss man, wie Reck (1931) in einem schönen Aufsatz sehr richtig bemerkt hat, nicht nur Ausbruchsdauer sondern auch die Stärke (Auswurfshöhe) und ausserdem die Zahl der Explosionen in Betracht ziehen.

In den Monaten September bis Dezember 1930 ist der Vulkan ruhig gewesen und bei den verschiedenen Besuchen an die Insel wurden nur Versackungen festgestellt. Über dem Krater, dessen Boden sich auf 250 m Entfernung von der Insel, 47 m unter dem Meeresspiegel befand, schwamm ziemlich viel Schlamm und Schwefelpuder. Im August 1931 war die Kratertiefe noch 45 m (1930/32, S. 72) und im

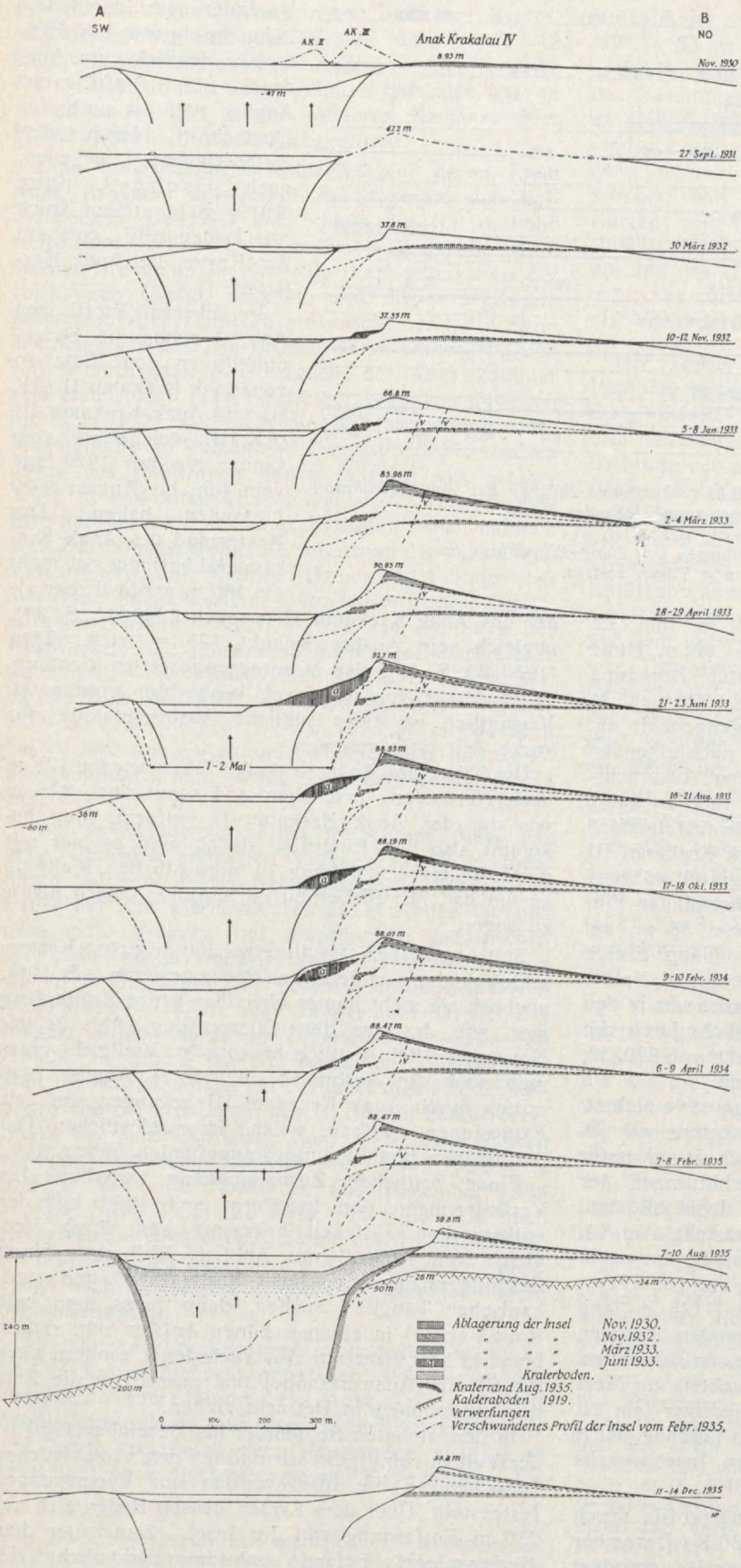


Abb. 2. NO–SW Querprofile durch Anak Krakatau II bis IV nach A–B in Abb. 3.

September wurde keine grössere Tiefe als 26 m gemessen.

Starke Ausbrüche mit Eruptionen bis zu 2400 m Höhe (1930/32, S. 73) welche aus zwei verschiedenen Stellen, jedoch aus demselben Kraterschlot aufstiegen, fingen am 23. September 1931 an und dauerten 4 Tage. Als man die Insel nach Beendigung des Ausbruchs besuchte, war sie 47,2 m hoch (von Lang Eiland aus angepeilt) und ragte der Kraterwall zum grössten Teil über Wasser auf. In den nächsten Monaten konnte die Insel ihre Höhe trotz der eruptiven Tätigkeit im November, Dezember 1931 und Februar 1932 (1930/32, S. 93) nicht behaupten; im Dezember 1931 wurde eine Höhe von 39.7 m angepeilt (1930/32, S. 83) und im März 1932 nur noch 37,6 m gemessen (Abb. 1 u. 2). Durch Nachsacken, Verdichten und Abspülen war die Insel wieder niedriger und durch die Wirkung der vom SW kommenden Brandung schmäler geworden, denn die Wellen stürmten gegen diese Küste, lockerten den Sand, der z.T. in das tiefe Kalderabecken abglitt, z.T. nach NO in den Krater geworfen wurde. Am 30. März war der Kratersee nicht mehr rund, sondern oval, 400 m lang, 200 m breit und vom Meer getrennt durch einen 20 m breiten, niedrigen Strandwall, der seit September, also in 6 Monaten, 150 m nach NO verlagert worden war. Als die Insel im November 1932 aufgemessen wurde, war der Kratersee wieder schmäler geworden (125 m), weil der SW-Wall noch 50 m weiter nach NO verschoben war. Er befand sich nun mitten über dem Eruptionspunkt (Abb. 2) so dass er bei den Explosionen, die am 14. November anfingen, vollkommen vernichtet wurde. Neuer Schutt wurde auf der Insel abgelagert, wodurch sie am 24. November 42 m, drei Tage später 48,8 m und im Januar als Folge der Dezembertätigkeit 66,8 m hoch war.

Grosse Mengen Eruptionsschutt waren auch innerhalb der Kraterwand angehäuft worden. Ein 75 m breiter und etwa 3 m hoher Strandwall trennte den 200 m grossen Kratersee vom Meer. Die Explosionen haben nordöstlich von der Mitte der Kraterschlotmündung stattgefunden.

Viele Spalten, welche die Insel in SO — NW Richtung, parallel zur steilen Kalderawand durchquerten, zeigten, dass schon wieder Teile der Insel abgeglitten waren.

Durch die Tätigkeit vom Januar und Februar 1933 ist Anak Krakatau von neuem höher geworden. Im März ragte die Insel schon 85,96 m über dem Meer auf (1933/35, S.17 Karte). Diesmal waren die Explosionen südwestlich von der Mitte der Kraterschlotmündung in der Nähe des südwestlichen Kraterwalles, der denn auch vernichtet wurde, so dass das Meer durch eine 90 m breite Öffnung eindringen konnte.

Die 125 m hohen Eruptionen vom März und April 1933 haben die Insel 5 m erhöht. Es folgte nach schwacher Tätigkeit am 1. und 2. Mai eine sehr starke Eruptionsphase mit mehreren Gasphasen, wobei die dunklen Eruptionsmassen bis über 2500 m Höhe ausgestossen wurden und die Dampf- und Aschenwolken bis zu 7900 m Höhe reichten (1933/35, S. 25ff). Eine schwächere vulkanische Tätigkeit bis zum 17. Juni bildete den Abschluss.

Bei den gewaltigen Ausbrüchen an den beiden ersten Maitagen befand sich der Explosionspunkt in grosser Tiefe, die Kraterschlotmündung war in ihrer vollen Breite von 350 m offen (vgl. die Eruptionssäulen in Stehns Fotografien in 1933/35) so dass der niedrige Südwestwall vernichtet wurde und das Meer freien Zugang zu dem Krater hatte (1935, IV S. 72). Allmählich wurde der Ringwall neu aufgebaut und am Ende der Gasphasen war der Krater wieder geschlossen durch einen Strandwall, der völlig ausserhalb des Walles vom April gelegen war. Die Insel war höher geworden, der Gipfel lag im Juni 92,7 m über dem Meer, (etwa 4 m niedriger als am 25. Mai, wo er von Lang Eiland angepeilt wurde).

Im Juni 1933, 1½ Monate nach dem grossen Ausbruch waren im Krater zwei bis drei Terrassen, die sowohl nach Stehns (1933/35, S. 32) wie auch nach meiner Meinung (1935, IV. S. 72) durch die Tätigkeit nach dem 15. Mai entstanden sind, also auf ähnliche Weise wie die Ablagerungen, die nach dem Ausbruch vom Dezember 1932 im Krater gefunden waren.

Im August 1933 war die Insel wieder niedriger und schmäler, weil von dem südwestlichen Strandwall ein 40 m breiter Streifen durch die Brandung abgeschlagen und die Küste um diesen Betrag nach NO verlegt worden war. Ausserdem waren die Versackungen und die dadurch entstandenen Brüche grösser geworden. Südwestlich von der Insel hatte das Meer auf 100 m Entfernung eine Tiefe von 36 m, auf 200 m Entfernung von 60 m (Abb. 2).

Vom 5. bis zum 24. September 1933 fanden mit einigen Unterbrechungen, kleine bis 300 m hohe Eruptionen statt, die keinen aufbauenden Einfluss auf die Insel ausgeübt haben, denn im Oktober war sie nur noch 88,19 m hoch und ihre Südwestküste 15 m weiter nach NO verlagert. Drei Eruptionslöcher in dem südöstlichen Ringwall, mit Durchmessern von 30 — 45 m (1933/35, S. 57) lagen auf einer NW — SO-Linie, parallel zur ursprünglichen, steilen nordöstlichen Kaldera, aber noch innerhalb der Kraterfläche vom November 1930 und vom August 1935, wie wir später sehen werden. Vermutlich gaben die Abrutsche, die auch die Risse in der Insel verursacht haben, südöstlich vom Krater den explosiven Kräften die Möglichkeit zum stürmischen Entweichen.

Durch die schwachen Eruptionen im November und Dezember 1933 ist die Insel nicht höher, sondern durch Abtragung und Absturz wieder etwas niedriger, nämlich 88,07 m, geworden (1933/35, S. 69).

Schwache Ausbrüche aus drei verschiedenen Eruptionslöchern sind im Januar 1934 beobachtet und zwar am 9. und vom 15. bis Ende des Monats (1933/35, S. 83). Hierdurch wurde nur die Kraterumgebung verändert und zwar wurde der niedrige Ringwall 55 m nach SW geworfen, so dass der Inseldurchmesser mit dem vom Juni 1933 übereinkam.

Die schwache Tätigkeit im März und Anfang April 1934 hat sich hauptsächlich in der nordöstlichen Kraterhälfte abgespielt, hier ist eine Einbuchtung in der Kraterseeform entstanden, während der benachbarte Kraterwall durch die neu abgelagerten Eruptionsprodukte 40 cm höher geworden und der Südwestwall des Sees durch die Brandung wieder um 70 m nach NO verlegt war. Auch im Juni spielte sich die schwache Tätigkeit nur im nordöstlichen Teil des Kraters ab, der mit Ausnahme eines 60-80 m grossen Tümpels ganz mit Schutt und Schlamm aufgefüllt wurde (1933/35, S. 102).

Am 4. Januar 1935 begann der Vulkan nach 7 monatlicher Ruhe wieder seine Tätigkeit, welche mit Unterbrechungen oder schwacher Wirkung bis Mitte März, vom 28 März — 6. Mai und schliesslich vom 25. Mai bis zum 29. Juni gedauert hat. Bei den sehr starken Explosionen vom 6. bis 12. Juli wurde die Eruptivmassen bis 1700 m Höhe emporgeschossen und stiegen die Dampfwolken bis zu 4300 m Höhe auf. Der Explosionspunkt wird wieder tief gelegen haben und der Kraterschlot ist über seine volle Breite tätig gewesen, wie nach dem Ausbruch deutlich aus der Kraterform zu ersehen war, da sie nicht wie nach dem Maiausbruch 1933 unter Ablagerungen schwacher Nacheruptionen begraben wurde. Dabei wurde der inzwischen wieder in den Krater verlagerte übermeerische südwestliche Kraterwall völlig vernichtet und weit ausserhalb der früheren Küste im Meere neu aufgebaut. Der südwestliche Kraterseerand befand sich sogar 75 m ausserhalb des vormaligen Strandes (Abb. 2 u. 1933/35, S. 158 Fig. 3 u. 4).

Merkwürdigerweise wurde von Pasaoeran der Ausbruchspunkt nicht immer auf derselben Stelle beobachtet, so dass etwa 500 m südlicher noch ein zweiter untermeerischer Krater vorhanden sein muss.

Anfang August 1935 wurden auf Anak Krakatau drei Steinpyramiden N, O und TN gebaut (Abb. 3), deren Koordinaten im Bezug auf die Mitte des Blattes (siehe S. 101) bestimmt wurden. Sie waren für:

N	x = + 3553,48 m	y = + 7680,51 m
O	x = + 4170,18 „	y = + 6773,11 „
TN	x = + 3521,11 „	y = + 7259,26 „

Im November 1930 war schon eine kleine Pyramide S errichtet worden, welche im September 1931 sowohl vom Beobachtungsposten Q 778 mit den Koordinaten x = + 6632,05 und y = + 8830,02, wie von P 68

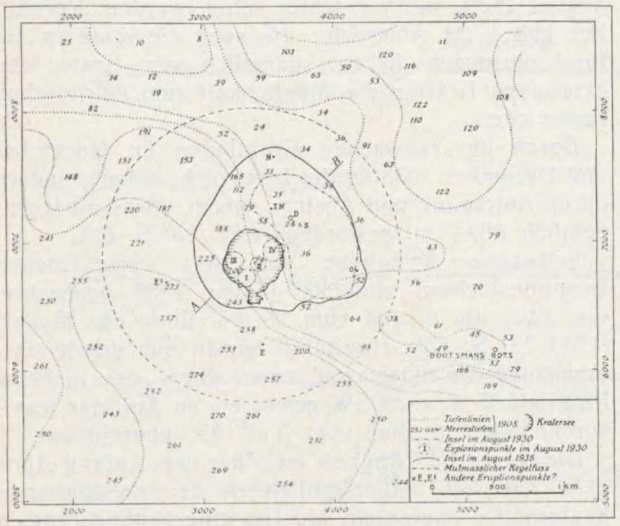


Abb. 3. Lage der Insel Anak Krakatau im August 1935 im Vergleich zu der vom August 1930 und die Tiefen der Kalderasee nach E s c h e r s Angabe (1919).

mit den Koordinaten x = + 6927,96 und y = + 7643,80 angepeilt wurde. Die Richtungen waren damals N 120° 10′ W bezw. N 99° 15′ W. Obgleich diese Anpeilungen ungenügend sind um die Koordinaten von S eindeutig zu bestimmen, sind sie trotzdem ausgerechnet worden. Sie waren: x = + 3744 ± 10 m und y = + 7133 ± 40 m. Die Insellage vom November 1930 ist dadurch mit der jetzigen zu vergleichen (Abb. 3) und dann zeigt es sich, dass die vier Explosionspunkte, die S t e h n (1930/32, S. 24) in dem untermeerischen Krater neben der damaligen Insel gezeichnet hat, nahezu mit dem jetzigen Krater zusammenfallen.

Die verschiedenen Änderungen der Insel- und der Kraterform wurden hier oben schon besprochen. Der südwestliche Ringwall hat die meisten Veränderungen erlitten, weil er durch die Brandung fortwährend nach NO gedrückt wurde, dadurch mehr oder weniger über der Kraterschlotmündung zu liegen kam und selbstverständlich bei den nächstfolgenden Explosionen ganz oder teilweise weggesprengt und auf seinen alten Platz wieder aufgebaut wurde. Der Einfluss der Brandung ist in Abb. 2 aus den Querprofilen vom April und August 1933, April 1934, Februar 1935 und schliesslich vom Dezember 1935 ersichtlich. Weil der Südwestwall bei den grössten Ausbrüchen vollkommen vernichtet wurde, bekam das Meerwasser freien Zugang zu dem Krater, auf welche Tatsache ich bei der Besprechung der Eruptionsregen vom Krakatau (1935, IV. S. 72) schon hingewiesen habe.

Nicht bei allen Ausbrüchen wurde dieser Südwestwall jedoch zerstört. Oft war nur ein Teil des Magmaspiegels explosiv, wie z.B. aus der vulkanischen Tätigkeit im März, April und Juni 1933 hervorgeht. Durch die Pendelbewegung des Strandwalles veränderten auch Form und Lage des Kratersees, aber auch durch Abrutsche von der steilen, hohen nordöstlichen Kraterwand. Dies geschah z.B. nach dem Ausbruch im Februar 1933, wodurch der Kratersee im März ziemlich weit nach SW verschoben wurde, ebenso nach der Tätigkeit im Mai und Juni 1933, als eine dicke Schuttbank (a Abb. 2) gegen die steile Vulkanwand abgelagert wurde. Ähnliches beobachtete man im Oktober 1933, Februar 1934 und zuletzt im Dezember 1935.

Wie schon erwähnt, zeigt die Insel durch Abrutsch in das tiefe Kalderabecken, Risse und Verwerfungen, die in den Querprofilen (Abb. 2) nur angedeutet sind. Eine auffallende Störungszone, die schon im August 1933 hervortrat, war die Veranlassung, dass ein 125 m breiter Streifen des Kraterwalles während der gewaltigen Explosionen im Juli 1935 in den Krater sank, und ein mehr als 600 m grosser Krater (vgl. Fig. 4 in 1933/35, Bull. Nr. 73) mit einem 450 m grossen Kratersee entstand. Der Krater lag auf derselben Stelle wie im November 1930 (Abb. 3), aber die drei Explosionspunkte vom Januar 1928 befanden sich anscheinend ein wenig nördlicher. Die Ausbrüche fanden zwischen 1930 und 1935 wiederholt an anderen Stellen statt, meistens weil verschiedene und nur kleine Teile der Magmaoberfläche im Kraterschlot explodiert sind, aber auch durch eine geringfügige Kraterschlotverlagerung. Auf diese Weise muss auch die verschiedene Lage der Inseln Anak Krakatau II, III und IV erklärt werden. Merkwürdig sind die Explosionsstellen in der Nähe des vormaligen Perboewatankraters. Am 20. März 1928 kam nämlich etwa 300 m nordwestlich von der Hauptausbruchsstelle Dampf aus dem Meer zum Vorschein (1927/29, S. 55) und ebenso am 27. März desselben Jahres, aber nun etwas nördlicher von der vorigen Stelle. Beide Stellen befinden sich auf der Störungszone.

Der Eruptionspunkt südlich von Anak Krakatau, welcher im Juli 1935 von Pasaoeran aus beobachtet worden ist, lag weit ausserhalb des Kraters und deutet auf einen zweiten Eruptionspunkt E (Abb. 3), der sich nicht in der NW-SO verlaufenden Bruchzone befand. Ich habe diesen Explosionspunkt südlich von Anak Krakatau gezeichnet, weil die Insel nach dieser Seite eine auffallende, einspringende Strandlinie besass (siehe Fig. 4 in 1933/35, Bull. Nr. 73), während der Inselstrand in der Richtung des Eruptionspunktes E' vom Dezember 1929, den S t e h n südwestlich vom Krater angibt (1927/29, S. 158) nach dem letzten Ausbruch keine abweichende Form zeigte. Anscheinend hat man es hier mit zwei verschiedenen Explosionspunkten zu tun.

c. Die Inselgrösse.

Durch die vielen Ausbrüche ist die Insel Anak Krakatau stetig gewachsen. Anak Krakatau II war im April 1929 27000 m² gross, Anak Krakatau IV hatte im November 1930 eine Oberfläche von 0,467 km², im November 1932 von 0,62 km², im Januar 1933 von 0.76 km², im Februar 1935 von 0.792 km² und im August 1935 von 1.155 km². Rechnet man den Kratersee nicht mit, dann war die Landoberfläche im August noch immer 0.98 km².

Damit man ein Bild bekommt von der Menge Eruptionsschutt, die den Vulkankegel von Anak Krakatau während der Tätigkeit in den Jahren 1927/35 aufgebaut hat, habe ich angenommen, dass dieser

Kegel einen kreisförmigen Fuss mit 2250 m Durchmesser besitzt (Abb. 3). Bei dieser Annahme ist auf der Südwestseite des Kraters zwei bis drei mal so viel abgelagert worden wie auf der gegenüber gelegenen Seite, wie mit der tieferen Lage des Kalderabodens und den vielen Abrutschen in Einklang steht. An der Südwestseite ist dann ein untermeerischer Hang von weniger als 19°, eine Böschung, die sehr gut möglich ist, denn der untermeerische Hang der Inseln Paloeweh und Gg. Api (Wetar) beträgt 28° bezw. 24° (1935a, S. 64). Durch diesen theoretischen Krakatau-kegel wurden NO — SW gerichtete Querprofile konstruiert, welche 100 m von einander entfernt sind und der Inhalt zwischen diesen Streifen wurde ausgerechnet. Die Form des Meeresbodens wurde aus der Karte von Escher (1919) übernommen. Man bekommt dann einen Inhalt von 0,3 km³, eine verschwindend kleine Zahl, wenn man bedenkt, dass bei dem grossen Krakatauausbruch des Jahres 1883 18 km³ Vulkanschutt ausgeworfen worden sind.

d. Zusammenfassung.

Die Lage des Ausbruchspunktes und die Zusammensetzung der Lava des Anak Krakatau zeigen, dass die alte NW — SO gerichtete Störungszone, die für den Aufbau der vormaligen Krakatauvulkane von ausschlaggebender Bedeutung gewesen ist, noch immer besteht und zwar im Untergrunde und in der Flanke des Magmaherdes.

Aus den zur Verfügung stehenden Messungen geht hervor, dass der Krater in den Jahren 1927 — 1930 ein wenig nach S gewandert, vom August 1930 an jedoch auf seinem Platz geblieben ist (Abb. 3). Nach den grössten Ausbrüchen hatte er einen Durchmesser von 450 — 600 m und die Kraterschlotmündung von etwa 350 m (Abb. 2). Dabei wurde der niedrige südwestliche Kraterwall, der beim zunehmenden Wachsen der Insel entstanden und durch die Brandung immer wieder nach NO verlegt worden war, vernichtet, so dass das Meerwasser frei in den Krater fliessen konnte.

Der südwestliche Strandwall hat das Zufliessen von Meerwasser in den Krater nie vollkommen verhindert, denn die lose aufgestapelten Sande und Lapilli waren so durchlässig, dass der Krater niemals ohne Wasserfüllung gesehen worden ist. Wenn der Kraterwall aus Sand mit einer durchschnittlichen Korngrösse von 2.54 mm bestünde (E. Prinz — Handbuch der Hydrologie 1923 S. 165), so würde sich der 450 m grosse Krater in etwa 20 Stunden, ein 250 m grosser Krater — so wie er meistens gewesen ist — jedoch in etwa 11 Stunden mit Wasser füllen. Nun bestand der Wall zum Teil aus groben Lapilli, die das Wasser viel leichter durchströmen lassen, so dass die Füllzeit kürzer gewesen ist.

Meistens sind nur Teile der Magmaoberfläche im Kraterschlot explodiert, weshalb man den Eindruck bekommt (Abb. 2), dass der Krater mehrmals seinen Platz gewechselt hat, um so mehr als die Verschiebungen des südwestlichen Walles und die Abstürze von der hohen nordöstlichen Kraterwand den Kratersee fortwährend verlegt haben.

Diese Veränderungen, sogar die völlige Vernichtung der Insel im August 1930, haben keine bedeutenden Flutwellen verursacht. Das Beispiel von Paloeweh jedoch, als der Ausbruch im August 1928 von mehr als 5 m hohen, anscheinend durch untermeerische Abrutsche verursachten Flutwellen begleitet wurde, lehrt, welche Erscheinungen auch beim Krakatau zu erwarten sind.

Schriftenverzeichnis.

1885 R. D. M. Verbeek. Krakatau. Batavia.

1908 A. Franssen Herderschee. De opneming van de Krakatau-groep in Mei 1908. Jaarverslag Topogr. Dienst.

1919 B. G. Escher. Veranderingen van de Krakatau-groep na 1908. Hand. Eerste Ned. Ind. Natuurw. Congr.

1927/29 Ch. E. Stehn. Bulletin of the Netherlands East Indian Volcanological Survey.

1929 The geology and volcanism of the Krakatau-groep. Fourth Pac. Sci. Congr.

1930 P. Esenwein Petrographische Untersuchungen an Gesteinen von Paloeweh. Vulkan. en Seismol. Meded. 11.

1930/32 Ch. E. Stehn. Bulletin of the Netherlands India Volcanological Survey.

1931 H. Reck. Ein Überblick auf den Ausbruch des Krakatau von 1928 — 30. Zeitschr. f. Vulkanologie.

1932 R. W. van Bemmelen en P. Esenwein. De liparitische eruptie van den bazaltischen Tanggamoes vulkaan. Wetensch. Meded. Nr. 22.

1933 M. Neumann van Padang. De Krakatau voorheen en thans. Tropische Natuur, 12.

1933a ..... Het gesteente van den Slamet. Nicht veröffentlichter Dienstbericht.

1933/35 Ch. E. Stehn. Bulletin of the Netherlands India Volcanological Survey.

1935. M. Neumann van Padang. Eenige opmerkingen naar aanleiding van Hartmanns beschouwingen over eruptieregens.

1935a Ph. H. Kuenen. Geological interpretation of the bathymetrical results. The Snellius Expedition.

1936 M. Neumann van Padang. Over de verplaatsing van de kraters der vulkanen Slamet, Lamongan, Merapi en Semeroe. Ing. Ned.-Indië, 3, IV.

ECONOMISCHE MEDEDEELINGEN.

Productiecijfers van Aardolie in kgtonnen.

	1936		1935	
	April	t/m April	April	t/m April
Java en Madoera	32 496,1	135 219,5	34 442,1	149 793,7
Noord-Sumatra ...	58 764,7	225 059,–	76 905,9	325 210,1
Palembang ..	221 815,6	890 231,2	194 088,6	753 784,5
Djambi	45 456,2	182 863,2	26 738,3	106 452,5
Oost-Borneo	81 430,8	328 872,1	87 113,5	351 016,5
Tarakan	60 369,3	253 229,–	66 369,3	270 839,1
Boenjoe	780,5	2 125,–	678,7	2 776,9
Ceram.....	3 512,17	14 664,43	3 602,6	12 214,67
Nederlandsch-Indië:	504 625,37	2 032 263,43	489 939,–	1 972 087,97

Productiecijfers van Steenkolen in kgtonnen.

	1936		1935	
	April	t/m April	April	t/m April
Gouvernementsmijnen.	57 677,–	247 892,–	54 440,–	227 578,–
Steenkolen Mij „Parapattan"	19 420,–	86 760,–	21 200,–	84 130,–
Oost-Borneo Maatschappij	6 462,–	25 270,–[1]	5 897,–	22 332,–
Loa-Boekit kolenmijnen..	3 000,–[2]	12 012,75	2 968,5	12 780,75

1) Werkelijke productie Maart 1936: 6.726,– kgt.

2) Geschat.

Mijnbouw Maatschappij Redjang Lebong.

Gedurende de maand April werden:

8 000 ton erts vermalen van gemiddeld { 3,56 dwts. goud per ton. 21,8 „ zilver „ „
2 240 „ sands en
5 740 „ slimes behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 1 311 ozs. goud en ca. 7 467 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 71 000,—.

De bedrijfskosten over April bedroegen ± *f* 54 000,—, terwijl voor prospecteeren werd uitgegeven ± *f* nihil.

Mijnbouw Maatschappij Simau.

Gedurende de maand April werden:

7 412 ton erts vermalen van gemiddeld { 9,4 dwts. goud per ton. 108,– „ zilver „ „
2 860 „ sands,
4 283 „ slimes en
272 „ concentraten behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 3 669 ozs. goud en ca. 40 984 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 210 000,—.

De bedrijfskosten over April bedroegen ± *f* 108 000,—, terwijl voor montage werd uitgegeven ± *f* 3 000,— en voor prospecteeren der vergunningsterreinen ± *f* 3 000,—.

Rectificatie.

De opgave van de jaarcijfers der aardolie-producten in de April-aflevering, IV. pag. 78, moet als volgt gelezen worden:

	1935	1934	1933
Als stookolie verkocht.....	830 998	806 285	761 574
Verwerkt	5 057 224	4 596 022	4 304 753
Verkregen producten:			
benzine	1 694 278	1 504 510	1 446 406
aviation spirit	56 482	16 777	2 543
white spirit	36 994	27 551	—
kerosine.....	816 263	806 398	727 250
residu	1 226 921	1 271 587	1 380 185
solar- en dieselolie	845 426	712 020	574 244
smeerolie	22 940	25 630	22 551
impregneerolie	6 117	6 771	10 579
paraffine, was, ceresine.	58 411	71 049	55 156
asfalt enz.	10 254	8 852	8 592
overige productie incl. stillgassen	112 880	5 000	3 757
verliezen	122 253	93 142	100 627
stock tusschenproducten	48 005	46 735	27 137

In de opgave der productiecijfers voor aardolie in kgt in het Aprilnummer 1936, IV. pag. 77, is voor Noord-Sumatra over de maand April abusievelijk 53 414,9 opgegeven instede van 53 144,9.

3e JAARGANG
NUMMER 6

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

JUNI
1936

VI. WATERBOUWKUNDE.

INHOUD: Over grondwaterstroomen en het onderzoek hunner stroomingsbeelden met behulp der electrische methode, door prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh en ir. O. Stevens. — Reservoirdammen in de Vereenigde Staten, door ir. D. H. Arends.

Over grondwaterstroomen en het onderzoek hunner stroomingsbeelden met behulp der electrische methode

door

prof. ir. C. G. J. VREEDENBURGH en ir. O. STEVENS.

(met 21 figuren).

Gebruik makende van de wiskundige analogie, welke bestaat tusschen de bewegingsvergelijkingen van een electrischen stroom door een plaatvormigen geleider en die van een grondwaterstroom, kan het stroomingsbeeld van de laatste electrisch worden bepaald, zoowel voor grond met isotropische als anisotropische doorlaatbaarheid. Ook de invloed der capillaire en funiculaire zônes kan in het onderzoek worden betrokken.

De verbeterde inrichting van het in het laboratorium voor Technische Mechanica der Technische Hoogeschool te Bandoeng in gebruik zijnd toestel wordt beschreven, evenals de resultaten van eenige uitgevoerde metingen [1]).

1. De bewegingsvergelijking van water door grond bestaande uit gebieden met verschillende, doch isotropische doorlaatbaarheid.

Beschouwt men een bepaald punt van een gegeven grondmassa, dan kan de waterdoorlaatbaarheid van den grond in alle richtingen dezelfde zijn. De doorlaatbaarheid is dan in dat punt *isotroop*. Is in *alle* punten der grondmassa de doorlaatbaarheid isotroop, terwijl zij ook *dezelfde grootte* heeft, dan is de grond *homogeen-isotroop*.

Wanneer wij ons voorloopig tot een dergelijke grondsoort bepalen, dan moge allereerst in herinnering worden gebracht, dat een waterstroom alleen mogelijk is door zgn. *stijghoogteverschillen*. Onder de *stijghoogte* van het grondwater in een bepaald punt van het stroomingsveld, verstaat men de hoogte tot waar het water stijgt in een aan beide einden open buisje, dat met zijn ondereinde in het beschouwde punt (meetpunt) wordt geplaatst. Deze hoogte wordt gemeten — b.v. in cm's — ten opzichte van een aangenomen vast horizontaal vergelijkingsvlak.

Beschouwt men een *stationnairen* waterstroom, d.i. een die *niet* met den *tijd* varieert, wèlk punt van het stroomingsveld men ook beschouwt, dan kan men alle punten der stroomingsruimte, waar de stijghoogte h een *zelfde* waarde h_1 heeft, in een oppervlak vereenigen. Een dergelijk oppervlak noeme men een *h-vlak* met de *parameterwaarde* h_1. Zoo kan men ook andere h-vlakken opsporen, met parameterwaarden h_2, h_3 enz. [2]).

Het is gebruikelijk de parameterwaarden der h-vlakken zoodanig te kiezen, dat de opvolgende verschillen dezelfde zijn.

Op een bepaald h-vlak I met de parameterwaarde h_0 neme men een punt P (*fig. 1*). Verder zij II een naburig h-vlak met de parameterwaarde $h_0 - dh$, gelegen op een afstand dn van I, gemeten volgens de normaal NN van I in P.

De verhouding $\frac{dh}{dn}$ geeft dan de absolute waarde van het stijghoogte*verval* in P. Volgens de wet van Darcy stroomt nu door een oppervlakte-elementje dF in P, waarvan de normaal met NN samenvalt, een waterhoeveelheid:

$$dQ = dF \cdot k \cdot \frac{dh}{dn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarin k de *doorlaatcoëfficiënt* van den grond voorstelt, die blijkbaar de dimensie heeft van een snelheid. Wat de richting der waterstrooming betreft kan worden opgemerkt, dat deze steeds plaats heeft van een punt met grootere stijghoogte naar een punt met kleinere stijghoogte, alzoo in het onderhavig geval van oppervlak I naar oppervlak II toe.

In verband met formule (1) wordt:

$$v = -k \cdot \frac{dh}{dn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

1) De inhoud van dit artikel werd kort gerefereerd in de vergadering der Wis- en Natuurkundige Sectie van het Zevende Ned.-Indisch Natuurwetenschappelijk Congres te Batavia, op den 25sten October 1935. Zie de betrekkelijke *Handelingen*, blz. 136 e.v.

2) In de literatuur wordt de *stijghoogte* ook wel *drukpotentiaal* genoemd. Dit woord kan echter tot misverstand aanleiding geven, omdat niet alle grondwaterstroomen een (snelheids)potentiaal bezitten (zie b.v. onder hoofdstuk 5 van dit artikel).

gewoonlijk beschouwd als de *watersnelheid* in P, die bij homogeen isotropischen grond langs NN gericht is. Het minteeken houdt er rekening mede, dat de snelheid een richting heeft tegengesteld aan den positieven gradiënt.

Tegen formule (2) bestaat geenerlei bezwaar, mits men slechts bedenke, dat deze watersnelheid feitelijk een *fictieve* is en wel die welke *zou* optreden, wanneer de watersnelheid dQ het *geheele* oppervlakteelementje dF zou doorstroomen. In werkelijkheid geschiedt dit *niet*, daar immers een gedeelte van dF door vaste stof (de grondkorrels) is ingenomen. De gemiddelde *werkelijke* watersnelheid zal dus *grooter* zijn dan v en wel des te grooter naarmate de *oppervlakteporositeit* p_v kleiner is [3]). De gemiddelde werkelijke watersnelheid tusschen de grondkorrels bedraagt dus:

$$v_w = -\frac{k}{p_v}\cdot\frac{dh}{dn} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

De wet van Darcy geeft alleen voldoende nauwkeurige uitkomsten, wanneer v_w niet te groot wordt met betrekking tot de poriën tusschen de grondkorrels of wel de waterbeweging niet te veel afwijkt van een Poiseuille'sche strooming.

Bedenkt men, dat $\frac{dh}{dn}$ niets anders is dan de *gradiënt* der stijghoogte h, zoo volgt uit formule (2) voor de snelheidscomponenten v_x, v_y en v_z volgens de richtingen OX, OY en OZ van een willekeurig rechthoekig assenstelsel:

$$v_x = -k\cdot\frac{\partial h}{\partial x};\ v_y = -k\cdot\frac{\partial h}{\partial y};\ v_z = -k\cdot\frac{\partial h}{\partial z};\ \ldots \quad (4)$$

en:

$$|v| = k\cdot\left\{\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2+\left(\frac{\partial h}{\partial z}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}}\ldots \quad (5)$$

Daar in verband met (4) de snelheidscomponenten kunnen worden gevonden, als de partieele afgeleiden volgens de betrekkelijke asrichtingen van de functie $\phi\ (xyz) = -k\cdot h$, zal de waterbeweging als een potentiaalstrooming kunnen worden opgevat met ϕ als *snelheidspotentiaal*. De h-vlakken zijn dan tevens vlakken van gelijke potentiaal (aequi-potentiaaloppervlakken), die door de stroomlijnen loodrecht worden gesneden [4]).

Bestaat de grondmassa uit verschillende aansluitende isotropische gebieden, echter ieder gebied met een andere doorlaatbaarheid, dan blijven de formules (4) en (5) natuurlijk geldig, mits men voor k slechts substitueert den plaatselijken doorlaatcoëfficiënt van den grond in het beschouwde punt.

In het geval eener *vlakke* strooming b.v. in het vlak OXY, worden de formules (4) en (5) met $\frac{\partial h}{\partial z} = 0$:

$$v_x = -k\cdot\frac{\partial h}{\partial x};\ v_y = -k\cdot\frac{\partial h}{\partial y}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

$$|v| = k\cdot\left\{\left(\frac{\partial h}{\partial x}\right)^2+\left(\frac{\partial h}{\partial y}\right)^2\right\}^{\frac{1}{2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

De continuïteitsvoorwaarde voor dit geval geeft verder, zooals men gemakkelijk kan verifieeren [5]):

$$\frac{\partial v_x}{\partial x}+\frac{\partial v_y}{\partial y} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

waaruit het bestaan volgt van een stroomfunctie $\psi(xy)$, zoodanig dat:

$$v_x = -\frac{\partial \psi}{\partial y};\ v_y = \frac{\partial \psi}{\partial x}; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Immers bij substitutie van deze waarden in (8), ziet men dat aan deze vergelijking wordt voldaan.

In een gebied, waar de doorlaatcoëfficiënt dezelfde is, stelt een lijn $\psi(xy) = constant$ blijkbaar een stroomlijn voor, daar deze alle h-lijnen loodrecht snijdt. Immers volgt uit (6) en (9):

$$\frac{\partial h}{\partial x}\cdot\frac{\partial \psi}{\partial x}+\frac{\partial h}{\partial y}\cdot\frac{\partial \psi}{\partial y} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Komt een *stroomlijn* van een gebied met den doorlaatcoëfficiënt k in een gebied met een anderen doorlaatcoëfficiënt k', dan zal ze bij de grenslijn tusschen beide gebieden worden *gebroken* en wel zoodanig dat de *tangenten der hoeken met de normaal op het grensvlak zich verhouden als de beide doorlaatcoëfficiënten*. Dit kan gemakkelijk worden bewezen aan de hand van *fig. 2*.

Men beschouwe twee naburige stroomlijnen *1* en *2*, die de grenslijn GG tusschen beide gebieden resp. snijden in de punten A en B. Verder de twee naburige lijnen van gelijke stijghoogte $h + dh$ en h, eveneens door de punten A en B gaande. Bedenkende, dat tusschen de twee stroomlijnen, zoowel in het eene als in het andere gebied, *dezelfde* waterhoeveelheid moet stroomen heeft men:

$$AA'\cdot k\cdot\frac{dh}{A'B} = BB'\cdot k\cdot\frac{dh}{AB'}$$

of wel:

$$k\cdot\operatorname{cotg}\alpha = k'\cdot\operatorname{cotg}\alpha'$$

$$\frac{tg\,\alpha}{tg\,\alpha'} = \frac{k}{k'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

Voor de breking der *h-lijnen* geldt blijkbaar:

$$\frac{\operatorname{cotg}\beta}{\operatorname{cotg}\beta'} = \frac{k}{k'}\ ^{6}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

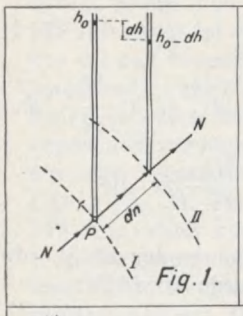
---

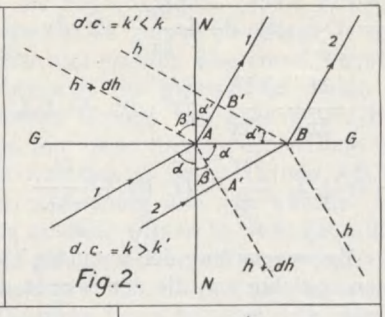
3) Beschouwt men de grondkorrels als elementaire kubusjes, die alle evenwijdig aan de stroomrichting en ook onderling evenwijdig georienteerd zijn, dan kan men gemakkelijk afleiden, dat $p_v = 1-(1-p_r)^{2/3}$, wanneer p_r de *ruimte-porositeit* is. Varieert p_r van 0,1 tot 0,5, zoo bedraagt volgens deze formule $p_v = 0{,}68$ tot $0{,}74\ p_r$, alzoo rond $0{,}7\ p_r$.

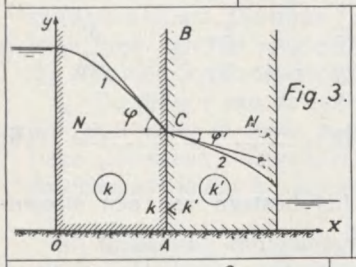
4) Zie b.v. Vreedenburgh, „Potentiaalstroomingen", *Openbare Werken*, Nos. 25 en 26 — 1933 en No. 1 — 1934.

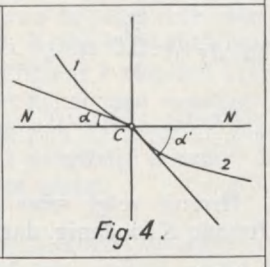
5) Zie b.v. Vreedenburgh, „Conforme afbeelding en de graphische oplossing van vlakke potentiaalstroomingsbeelden", *De Ingenieur in Ned.-Indië*, No. 3 — 1934.

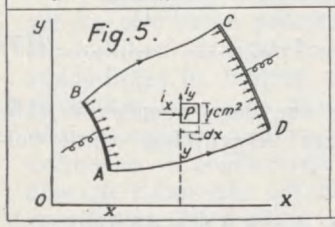
6) De brekingswet volgens de formules (11) en (12) werd op andere wijze reeds afgeleid door Borgesius (zie: *De Ingenieur* No. 49 — 1912). Verder moge worden opgemerkt, dat electrische krachtlijnen op de grens van twee diëlectrica met verschillende diëlectrische constanten, op soortgelijke wijze worden gebroken, evenals magnetische krachtlijnen op de grens van twee media met verschillende magnetische permeabiliteit. (zie b.v.: Bosscha, Leerboek der Natuurkunde).

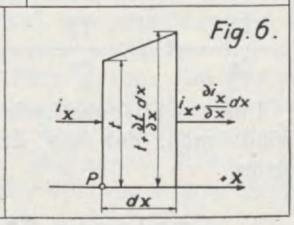












In verband met de breking van een stroomlijn op de grens van twee media, moge nog melding worden gemaakt van de volgende paradox.

Beschouwt men het stroomingsgeval volgens *fig. 3*, n.l. van een waterkeerenden poreuzen dam met verticale wanden op een waterdichten ondergrond, welke dam volgens de verticale scheidingslijn *AB* gesplitst is in een linker gedeelte, bestaande uit een fijnkorrelig materiaal met een kleinen doorlaat-coëfficiënt *k*, en een rechter gedeelte, bestaande uit een poreuzer materiaal met een grooteren doorlaatcoëfficiënt *k'*, dan zal de phreatische waterlijn — afgezien van capillaire strooming — in *C* een knik vertoonen, doordat de linker tak *1* steiler zal verloopen dan de rechter tak *2*.

De continuïteitsvoorwaarde voor de strooming door *AC* opstellende, vindt men:

$$AC \cdot k \cdot \left(\frac{dy}{dx}\right)_1 = AC \cdot k' \cdot \left(\frac{dy}{dx}\right)_2 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

$$k \cdot tg\ \varphi = k' \cdot tg\ \varphi'$$

$$\frac{tg\ \varphi}{tg\ \varphi'} = \frac{k'}{k}$$

Daar de phreatische waterlijn hier een stroomlijn is [7]), vindt men dus, dat de breking hier zoodanig zou plaats hebben, dat de tangenten der hoeken met de normaal van het grensvlak *omgekeerd* evenredig zouden zijn met de doorlaatcoëfficiënten, hetgeen in strijd zou zijn met (**11**)!

De fout in de redeneering schuilt in verg. (**13**). De hier gebruikte formule, die dikwijls in de practijk wordt toegepast en volgens welke de gemiddelde watersnelheid langs een verticaal gelijk zou zijn aan het product van den doorlaatcoëfficiënt en de tangens van den hoek, die de raaklijn aan de phreatische waterlijn maakt met de horizontaal, geldt alleen exact voor een *parabolische* phreatische lijn [8]). De formule $v_{gem} = k \cdot \frac{dy}{dx}$ moge daarom misschien bij benadering juist zijn voor de takken der phreatische lijnen *1* en *2* (*fig. 3*) op eenigen afstand van *C*, in *C* zelf geldt zij zeker *niet*. De knik in de phreatische lijn zal hier inderdaad aan formule (**11**) moeten voldoen, waardoor een plaatselijke vervorming zal moeten optreden, als in *fig. 4* is geschetst [9]).

2. De bewegingsvergelijkingen van een electrischen stroom door een plaat van veranderlijke dikte en weerstand.

In *fig. 5* stelle *ABCD* een horizontale geleidende plaat voor, waardoor heen een stationnaire electrische stroom gaat.

De dikte van de plaat in een willekeurig punt *P* met coördinaten *x* en *y*, zij *t* en de electrische potentiaal *V*. Verder zij de *specifieke weerstand* = *r* en de *stroomdichtheid* = *i* met componenten i_x en i_y volgens de asrichtingen *OX* en *OY* [10]). In het algemeen kunnen *t* en *r* bepaalde functies zijn van *x* en *y*. Verwaarloost men de variaties van *V*, i_x en i_y in de *dikte*-richting van de plaat, dan zijn ook deze grootheden alleen functies van *x* en *y*. Men beschouwe nu in het willekeurig punt *P* een oppervlakte-elementje van 1 cm², gelegen in het verticaalvlak door *P*, evenwijdig aan *OY*. Dit oppervlakte-elementje zij het grondvlak van een elementair horizontaal gelegen recht prisma'tje met een lengte *dx* (zie *fig. 5*). Is de electrische potentiaal in $P = V$, dan is deze aan het rechter einde van het prisma'tje $V + \frac{\partial V}{\partial x} \cdot dx$. De stroomsterkte in de lengterichting van het prisma'tje, hier tevens de stroomdichtheid, is dan volgens de wet van Ohm:

$$i_x = -\frac{\frac{\partial V}{\partial x} \cdot dx}{r \cdot dx} = -\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial V}{\partial x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

waarbij het minteeken daarop duidt, dat de richting van den electrischen stroom overeenkomt met die, waarin de potentiaal *afneemt* (verg. form. **2**).

7) De phreatische waterlijn is als meetkundige plaats van alle punten, waar de atmosferische druk heerscht, feitelijk een *druklijn*. Zij is alleen tevens een *stroomlijn*, wanneer men, zooals in het onderhavig geval, van de capillaire strooming afziet. Zie ook Van Mourik Broekman en Buisman, „Waterspanningen in dijken en dammen", *De Ingenieur* No. 32 — 1934.

8) Zie Vreedenburgh en Stevens, „Electrodynamisch onderzoek van potentiaalstroomingen enz.". *De Ingenieur* No. 32 — 1933, noot 8.

9) Aanwijzingen in deze richting geven ook de interessante laboratoriumproeven van Schaffernak en Dachler met stroomingen door gelaagde grond. Zie: *Die Wasserwirtschaft* No. 30 — 1933, blz. 402, *fig. 7c* en *7d*.

10) De specifieke weerstand is de weerstand van een lichaampje van 1 cm² doorsnede en 1 cm lengte, wanneer het in zijn lengterichting door een electrischen stroom doorloopen wordt. De stroomdichtheid is de hoeveelheid electriciteit, die per sec door 1 cm² der doorsnede gaat.

Door beschouwing van een elementair prisma'tje in de *Y*-richting vindt men op geheel analoge wijze:

$$i_y = -\frac{\frac{\partial V}{\partial y}\cdot dy}{r\cdot dy} = -\frac{1}{r}\cdot\frac{\partial V}{\partial y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

Tenslotte kan voor den electrischen stroom nog een continuïteitsvoorwaarde worden opgesteld.

Daartoe beschouwe men in *P* een uit de volle dikte van de plaat gesneden lichaampje, in den vorm van een recht vierzijdig afgeknopt prisma'tje, waarvan het grondvlak een rechthoekje is met de zijden *dx* en *dy* evenwijdig aan de asrichtingen. In de *X*-richting stroomt per tijdseenheid het prisma'tje *binnen* (zie *fig. 6*) een hoeveelheid electriciteit van: $t\cdot dy\cdot i_x$ en een hoeveelheid electriciteit *uit* van:

$$(t+\frac{\partial t}{\partial x}\cdot dx)\cdot dy\cdot(i_x+\frac{\partial i_x}{\partial x}\cdot dx)$$

Op dezelfde wijze vindt men in de *Y*-richting, dat *binnen*stroomt: $t\cdot dx\cdot i_y$ en *uit*stroomt:

$$(t+\frac{\partial t}{\partial y}\cdot dy)\cdot dx\cdot(i_y+\frac{\partial i_y}{\partial y}\cdot dy)$$

Daar de continuïteitsvoorwaarde luidt, dat het prisma'tje, per tijdseenheid, evenveel electriciteit moet instroomen als uitstroomen, vindt men:

$$t\cdot i_x\cdot dy + t\cdot i_y\cdot dx = (t+\frac{\partial t}{\partial x}\cdot dx)\cdot dy\cdot(i_x+$$

$$+\frac{\partial i_x}{\partial x}\cdot dx)+(t+\frac{\partial t}{\partial y}\cdot dy)\cdot dx\cdot(i_y+\frac{\partial i_y}{\partial y}\cdot dy)$$

$$= t\cdot i_x\cdot dy + t\frac{\partial i_x}{\partial x}\cdot dx\cdot dy + i_x\cdot\frac{\partial t}{\partial x}\cdot dx\cdot dy +$$

$$+\frac{\partial t}{\partial x}\cdot\frac{\partial i_x}{\partial x}\cdot dx^2\cdot dy + t\cdot i_y\cdot dx + t\cdot\frac{\partial i_y}{\partial y}\cdot dx\cdot$$

$$\cdot dy + i_y\cdot\frac{\partial t}{\partial x}\cdot dx\cdot dy+\frac{\partial t}{\partial y}\cdot\frac{\partial i_y}{\partial y}\cdot dx\cdot dy^2.$$

Met wegvalling der oneindig kleinen der derde orde ten opzichte van die der tweede orde wordt dit:

$$dx\cdot dy\cdot(t\frac{\partial i_x}{\partial x}+i_x\cdot\frac{\partial t}{\partial x}+t\cdot\frac{\partial i_y}{\partial y}+i_y\cdot\frac{\partial t}{\partial y})=0$$

$$\frac{\partial(t\cdot i_x)}{\partial x}+\frac{\partial(t\cdot i_y)}{\partial y}=0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

Hieruit volgt weer het bestaan van een stroomfunctie *S* zoodanig, dat

$$\frac{\partial S}{\partial x}=t\cdot i_y;\quad \frac{\partial S}{\partial y}=-t\cdot i_x; \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

Immers bij substitutie van deze waarden in (16) vindt men, dat aan deze vergelijking wordt voldaan.

3. Analogie in de bewegingsvergelijkingen van grondwater en electriciteit.

Resumeerende heeft men dus voor vlakke stroomingen de volgende bewegingsvergelijkingen:

Grondwater		Electriciteit	
$\frac{\partial h}{\partial x}=-\frac{v_x}{k}$		$\frac{\partial V}{\partial x}=-r\cdot i_x$	(14′)
$\frac{\partial h}{\partial y}=-\frac{v_y}{k}$	(6′)	$\frac{\partial V}{\partial y}=-r\cdot i_y$	(15′)
$\frac{\partial \psi}{\partial x}=+v_y$		$\frac{\partial S}{\partial x}=+t\cdot i_y$	
$\frac{\partial \psi}{\partial y}=-v_x$	(9′)	$\frac{\partial S}{\partial y}=-t\cdot i_x$	(17′)

Zorgt men, dat de randbegrenzingen van de stroomingsvelden der grondwater- en electriciteitsstroomingen met elkander overeenstemmen, dan kan tusschen de bewegingsvergelijkingen op tweeërlei wijze verband worden gelegd.

Analogie I.

Men stelle $V = h$ en $S = \psi$. De vergelijkingen worden dan identiek mits $r\cdot i_x=\frac{v_x}{k}$, $r\cdot i_y=\frac{v_y}{k}$, $t\cdot i_y=v_y$ en $t\cdot i_x=v_x$ waaraan blijkbaar wordt voldaan, wanneer $t=r\cdot k$ ..... (18)

Analogie II.

Men stelle $V=-\psi$ en $S=h$. De vergelijkingen worden dan identiek mits $r\cdot i_x=v_y$, $r\cdot i_y=-v_x$, $t\cdot i_y=-\frac{v_x}{k}$ en $t\cdot i_x=\frac{v_y}{k}$, waaraan wordt voldaan, wanneer $t=\frac{r}{k}$ ..... (19)

Bij toepassing van *analogie I* zullen de lijnen van gelijke electrische potentiaal blijkbaar overeenkomen met de lijnen van gelijke stijghoogte van het grondwater, terwijl de electrische stroomlijnen de grondwaterstroomlijnen zullen geven. Is het stroomingsveld van het grondwater gegeven door twee *h*-lijnen en

twee stroomlijnen als begrenzingen, zooals gewoonlijk het geval is, dan zal de geleidende plaat, te maken uit een materiaal met grooten weerstand, behalve meetkundig gelijkvormig, ter plaatse der beide *h*-lijnen voorzien moeten worden van goed geleidende koperen electroden, ten einde hier de electrische potentialen constante waarden te geven (lijnen *AB* en *CD* in *fig. 5*). Ter voldoening aan voorwaarde (**18**) kan men echter nog op twee wijzen te werk gaan n.l.:

I_a. De geleidende plaat heeft overal een *constanten* specifieken *weerstand* r, m.a.w. bestaat uit één en het zelfde materiaal. De dikte t van de plaat moet dan in ieder punt van het electrisch stroomingsveld *evenredig* zijn met den doorlaatcoëfficiënt k van den grond.

I_b. De *dikte* t van de plaat houdt men *constant*. In dit geval moet in ieder punt van de plaat de specifieke weerstand r *omgekeerd* evenredig zijn met den doorlaatcoëfficiënt k van den grond.

Bij toepassing van *analogie II*, zullen de lijnen van gelijke electrische potentiaal overeenkomen met de stroomlijnen van het grondwater terwijl de electrische stroomlijnen de *h*-lijnen zullen geven. De koperen electroden moet men dus nu leggen langs de beide randstroomlijnen van het grondwater, die het te onderzoeken stroomingsveld begrenzen. Evenals bij *analogie I* kan men ook hier op twee wijzen aan de voorwaarde (**19**) voldoen n.l.:

II_a. Bij constanten specifieken weerstand r van de plaat moet de dikte t overal *omgekeerd* evenredig zijn met den doorlaatcoëfficiënt k van den grond.

II_b. Bij constante dikte t van de plaat, moet de specifieke weerstand overal *evenredig* zijn met den doorlaatcoëfficiënt k.

Uit het bovenstaande volgt, dat de electrische methode ons in principe in staat stelt, stroomingsbeelden te produceeren van waterstroomingen door grond met *willekeurig varieerende* doorlaatbaarheid, zooals men b.v. aantreft bij een hydraulisch opgespoelden dam. Hierbij moet echter het volgende worden aangeteekend.

Zooals reeds werd opgemerkt, werden de bewegingsvergelijkingen van den electrischen stroom volgens de formules (**14**) t.m. (**17**) afgeleid onder verwaarloozing der stroomdichtheidscomponente in de dikterichting van de plaat. Ze gelden dus alleen *exact*, wanneer de plaatdikte t constant is en slechts *bij benadering*, wanneer de diktevariaties niet te groot zijn.

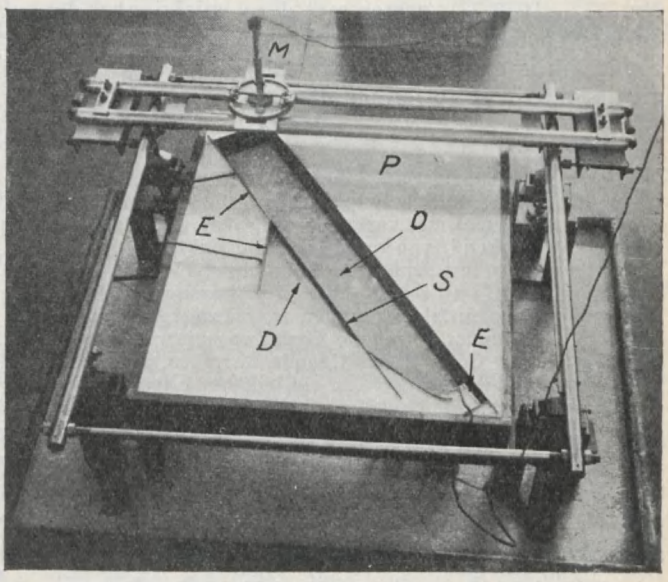
In verband hiermede moet derhalve aan de werkwijzen I_b of II_b de voorkeur worden gegeven, omdat hierbij exact wordt voldaan aan de voorwaarde eener vlakke electriciteitsstrooming. Daar staat echter tegenover, dat het niet zoo eenvoudig is om een plaat te fabriceeren, waarbij de specifieke weerstand r op de vereischte wijze met de gegeven doorlaatcoëfficiënten k van den grond varieert. Immers zou men daartoe de plaat uit even veel materialen moeten samenstellen, als er doorlaatcoëfficiënten zijn. Hierbij komt nog een andere moeilijkheid. Veronderstel eens, dat men er in geslaagd is een dergelijke plaat samen te stellen, waarbij de weerstand op de juiste wijze varieert, dan geldt dit alleen nog maar bij een *bepaalde temperatuur*. Immers zooals bekend is, verandert de specifieke weerstand van een materiaal sterk met de temperatuur en bij verschillende materialen niet op dezelfde wijze.

Voor de practische uitvoering is het dus veel eenvoudiger, te werken met een plaat van *hetzelfde* materiaal alzoo volgens de analogieën I_a of II_a. Bij veranderlijke doorlaatbaarheid van den grond dient men echter de plaat dienovereenkomstige diktevariaties te geven. Het spreekt van zelf, dat wanneer deze dikteveranderingen beduidend worden, de electrische stroom niet meer voldoende beantwoordt aan de voorwaarde eener vlakke strooming, tenzij speciale voorzieningen worden getroffen, waarop straks zal worden teruggekomen.

Wanneer men te doen heeft met een waterstrooming door homogeen isotropische grond met in alle punten dezelfde doorlaatbaarheid, moet de geleidende plaat blijkbaar, zoowel bij toepassing van *analogie I* als *analogie* II, steeds overal dezelfde dikte hebben.

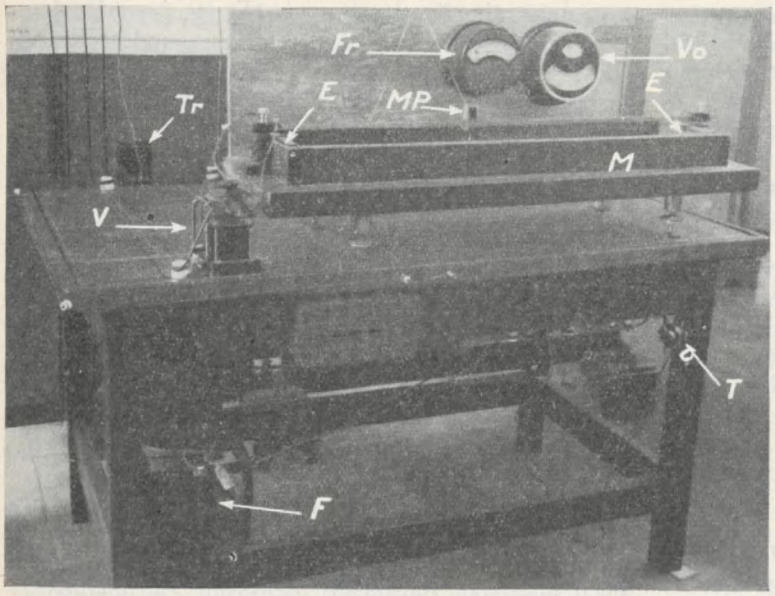
4. De in het laboratorium voor Technische Mechanica der T.H. te Bandoeng gevolgde werkwijze.

Als geleidende plaat wordt door ons gebruik gemaakt van een *vloeistoflaag* eener zeer verdunde keukenzout oplossing (½ g per l). De voor deze vloeistoflaag noodige ruimte wordt verkregen door uitholling (uitschaven) van een paraffinelaag, die zich bevindt in een grooten houten bak met de volgende inwendige afmetingen in cm: 110 × 90 × 11. Het gebruik van paraffine heeft dit voordeel, dat eventueele dikte-



(Cliché Handelingen 7de Nat. Wet. Congres).

Fig. 7. Toestel in gereedheid gebracht voor het onderzoek van het stroomingsgeval volgens fig. 10.
D = dam (vloeistofdiepte 1 cm). E = electrode.
O = ondergrond (vloeistofdiepte 7 cm.) P = paraffine.
S = schot met koperdraden (cascade). M = meetpen.
Inwendige afmetingen modellenbak in cm: 110 × 90 × 11.



(Cliché Handelingen 7de Nat. Wet. Congres).

Fig. 8. Meetgoot met hulpinstrumenten.

M = meetgoot	*T = telefoon.*
F = toonfilter	*Fr = frequentiemeter.*
Tr = transformator	*Vo = voltmeter.*
V = variometer	*E = electrode.*
MP = meetpen.	

(diepte-)variaties der geleidende laag zeer nauwkeurig zijn te verkrijgen [11]).

In *fig. 7* ziet men een afbeelding van het toestel, in gereedheid gebracht voor het onderzoek van het stroomingsgeval volgens *fig. 10,* waarbij twee gebieden aanwezig zijn met verschillende doorlaatbaarheid. De inrichting van ons toestel komt in hoofdzaak overeen met de beschrijving gegeven in *De Ingenieur* No. 32 — 1933 [12]), echter met deze wijzigingen, dat de meetgoot met bijbehoorende apparaten thans afzonderlijk is opgesteld (*fig 8*), terwijl speciale voorzieningen zijn getroffen om de *algeheele verdwijning* van den toon in de koptelefoon der Wheatstone'sche schakeling (*fig. 9*) te verkrijgen.

De koperen electroden van het model en die van de rechthoekige meetgoot zijn paarsgewijze verbonden en zoodanig op den hoofdstroom geschakeld, dat ze paarsgewijze dezelfde spanning hebben. Teneinde polarisatie aan de electroden te voorkomen, wordt wisselstroom gebruikt. Deze stroom wordt ter plaatse opgewekt met behulp van een draaistroommotor van 2 pk en een toerental van 2 850 per min. De motor drijft door middel van een riemoverbrenging een achtpolige wisselstroom-dynamo van 450 Watt, welke dynamo normaal 4 000 toeren per min kan maken. De riemschijven der beide machines hebben een zoodanigen diameter, dat een wisselstroom van 500 perioden wordt verkregen, welke stroom ook den toon levert, waarvan de verdwijning met behulp der telefoon wordt waargenomen. Ten einde het toerental constant te houden, dient mogelijke slip van den riem over de schijven zooveel doenlijk te worden voorkomen. Gebleken is, dat bij een riemsnelheid van ongeveer 20 m per sec, het toerental practisch constant te houden is, terwijl de trekkracht in den riem daarbij niet te groot wordt.

Doordat in verband met het hinderlijk geluid van den motor met generator, dit samenstel in een ander vertrek moest worden opgesteld dan het overig instrumentarium, zijn op de meettafel (*fig. 8*) een frequentie- en voltmeter opgesteld, waardoor de stroomopwekking gedurende de proef voortdurend gecontroleerd kan worden. Tijdens het meten zelf worden deze meters uitgeschakeld, aangezien zij hinderlijke inductieverschijnselen veroorzaken. De schakeling is, zooals reeds werd opgemerkt, in hoofdzaak een Wheatstone'sche brugschakeling, waarmede potentialen gemeten worden. In de meetgoot, bestaande uit een langwerpigen bak met constante, rechthoekige doorsnede, waarin zich een keukenzout-oplossing van 10 g per liter bevindt, is de potentiaal in elk punt nauwkeurig bekend, aangezien deze tusschen beide electroden lineair verloopt.

Met behulp van de langs een afleesliniaal glijdende pen der meetgoot (*fig. 8*) kunnen nu voor een groot aantal punten der geleidende vloeistoflaag van het model de relatieve potentiaalwaarden worden bepaald. Een punt in het model heeft blijkbaar een zelfde potentiaal als een punt in de meetgoot, wanneer de brug stroomloos is. Ten einde dit te kunnen waarnemen, is in de brug een koptelefoon van 2 000 Ohm opgenomen. De gang van zaken is nu deze, dat we in het model met de pen *M* van *fig. 7* een bepaald punt P_1 (*fig. 9*) fixeeren, waarvan de coördinaten nauwkeurig kunnen worden afgelezen, waarna door verschuiving van de pen MP van *fig. 8,* het punt P_2 in de meetgoot (*fig. 9*) wordt opgespoord, waarbij de toon in de telefoon verdwijnt. De bij dezen stand van MP behoorende aflezing aan de liniaal wordt aangehouden als de potentiaalwaarde in het punt P_1.

---

11) Het denkbeeld om grondwaterstroomen electrisch te onderzoeken met behulp van een vloeistoflaag in paraffine eventueel met variabele dikte (of weerstand) is, voor zoover bekend, van ons afkomstig en werd ook het eerst door ons in toepassing gebracht (Vreedenburgh en Stevens, „Elektrodynamische Untersuchung von Potentialströmungen in Flüssigkeiten insbesondere angewendet auf ebene Grundwasserströmungen". *Handelingen* 1er Congrès des Grands Barrages, Stockholm 1933. Volume IV Question 2b; zie ook het uitvoerig artikel in *De Ingenieur* No. 32 — 1933). Intusschen werd deze werkwijze ook in Amerika ingevoerd door het U. S. Bureau of Reclamation te *Denver* Col. (Lane, Campbell en Price, *Civil Engineering* 1934, Vol. 4 No. 10 „The flow net and the electric analogy"; Hebert, *Civil Engineering* 1935 Vol. 5 No. 2 „Developments in application of the electric analogy"). Men moet wel aannemen, dat deze ingenieurs van het U.S. Bureau of Reclamation niet bekend waren met het verhandelde op het Dammencongres te *Stockholm* in 1933, noch met onze bovengenoemde uitvoerige publicatie in *De Ingenieur* van datzelfde jaar, althans wordt in hun artikels, die geruimen tijd later verschenen, met geen woord van onzen arbeid melding gemaakt, alhoewel hunne beschouwingen en uitvoeringen groote overeenkomst vertoonen met de onze.

12) Vreedenburgh en Stevens „Electrodynamisch onderzoek van potentiaalstroomingen enz.".

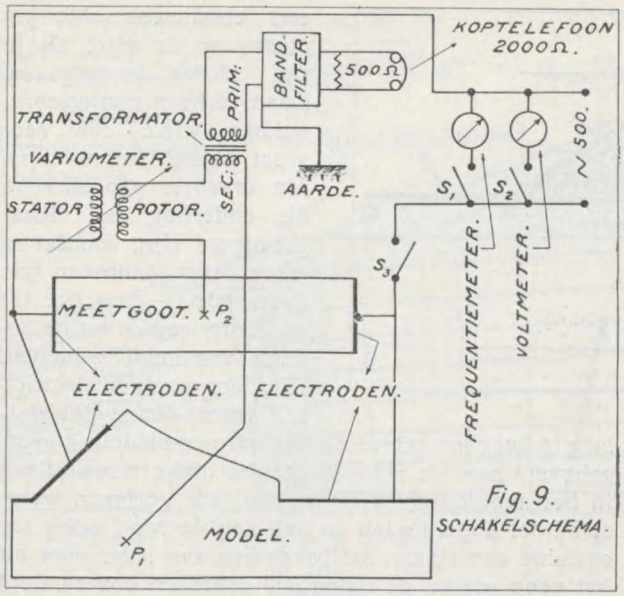


Fig. 9. SCHAKELSCHEMA.

Nadat op deze wijze voor een voldoende aantal punten van het model de relatieve potentiaalwaarden bepaald zijn, kunnen door rechtlijnige interpolatie tusschen de gemeten punten de gewenschte lijnen van gelijke potentiaal worden geteekend. Hierbij moet echter worden opgemerkt, dat het zonder bepaalde voorzorgen als regel niet mogelijk is, om den toon in de telefoon *geheel* tot verdwijnen te brengen. In dit geval vindt men dan geen uitgesproken geluidsnulpunt, maar een vlak minimum, waardoor het nauwkeurig meten zeer bemoeilijkt wordt.

De oorzaak dat de toon niet verdwijnt, is allereerst een gevolg van de zgn. polarisatiecapaciteit, die steeds optreedt, wanneer wisselstroom door een electrolytische cel geleid wordt. Bovendien bezit het electrolyt steeds een zeker diëlectrisch geleidingsvermogen. Daardoor zijn de weerstanden in het model geen reëele weerstanden, maar krijgen zij ook een capacitieve componente.

Nemen we in plaats van de meetgoot een zuivere capaciteitvrije weerstand, dus b.v. een rechte draad, dan zal de hoofdstroom gedeeltelijk doch zonder bijzonderheden door dezen weerstand gaan. De stroom die echter door het model gaat, krijgt een phaseverschuiving ten opzichte van de voorgaande, met het gevolg, dat er tusschen de uiteinden van de brug steeds een potentiaalverschil blijft bestaan, waardoor de telefoon niet tot zwijgen is te brengen. Door opname van een variometer in de schakeling kan men echter dit bezwaar opheffen. Een variometer is een samenstel van 2 spoelen, in ons geval ieder van 40 windingen. De eene spoel (stator) is vast, terwijl de andere (rotor) draaibaar is. Men kan nu door draaien aan een geïsoleerde knop, die over een verdeelde cirkelvormige schaal loopt, de spoelen in iederen willekeurigen stand ten opzichte van elkaar stellen. De stator is opgenomen in den hoofdstroom en de rotor is in serie geschakeld met de telefoon in de brug (zie *fig. 9*). In de brug kan op deze wijze door draaien aan den variometer, een electromotorische kracht worden geinduceerd, die het genoemde storende phaseverschil opheft. De brug is dan volkomen stroomloos te krijgen, waardoor de toon in de telefoon geheel verdwijnt. Hierdoor wordt het groote voordeel bereikt, dat de metingen snel en nauwkeurig kunnen worden uitgevoerd.

Het bovenstaande geldt alleen voor een toon van een bepaalde frequentie, zonder boventonen. Daarom is in het schakelschema nog een zgn. *bandfilter* opgenomen (*fig. 9*). Dit is een stelsel van zelfinducties en capaciteiten, die den hoofdtoon van zijn hinderlijke boventonen ontdoet.

Verder moet worden opgemerkt, dat tengevolge van de vloeistof in de meetgoot nog een bijkomende phaseverschuiving optreedt, die echter eveneens met den variometer kan worden geneutraliseerd.

In de vloeistoflaag van het model is de stroomsterkte niet overal even groot. De tijdens den doorgang van de electriciteit ontwikkelde warmte zal dus ook niet overal even groot zijn maar van punt tot punt veranderen. Dit zal tot gevolg hebben dat de specifieke geleidbaarheid strikt genomen niet overal dezelfde zal blijven, waardoor de nauwkeurigheid der uitkomsten ongunstig kan worden beïnvloed. Men ziet dus, dat snel meten van groot belang is, omdat de ontwikkelde warmte evenredig is met den tijd. Verder is het aan te bevelen na elke meting den stroom uit te schakelen. Bovendien kan men nog den stroom in hoofdzaak door de meetgoot leiden, aangezien het voor de meetgoot er niets toe doet of de temperatuur van het electrolyt al dan niet stijgt. Immers is de stroomsterkte hier overal even groot. Toch moet men den weerstand van het model weer niet te groot kiezen, zooals bleek bij voorloopige metingen, aangezien men dan een grootere phaseverschuiving krijgt, die met een kleinen variometer niet meer kan worden opgeheven.

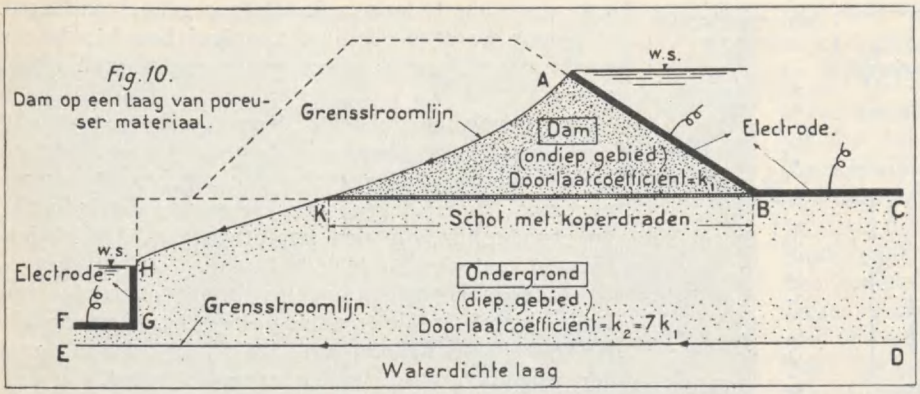
Zooals reeds boven werd opgemerkt, wordt als electrolytoplossing gebruikt ½ g keukenzout per liter voor het model en 10 g per liter voor de meetgoot. Dit bleek voor onze modellen het gunstigst. In het algemeen is het aan te bevelen, het een en ander te probeeren en dan na te gaan wat in een bepaald geval het gunstigst is.

Tijdens het meten is het wenschelijk, dat men niet te dicht bij het toestel komt, aangezien men dan onaangename inductieverschijnselen krijgt, die het meten bemoeilijken. In verband hiermede is het van belang, dat de persoon, die meet, zich zelf gedurende de meting aardt.

Vrij belangrijke fouten kunnen nog ontstaan, doordat de electroden *vuil* zijn. Bij de electroden ontstaat dan een spanningsverval, waardoor men te lage potentialen meet. Men moet dus de electroden goed schoon houden door ze op geregelde tijden in zoutzuur te wasschen of met zand af te schuren. Bij ons toestel zijn de electroden uitneembaar gemaakt ten einde na elke serie metingen deze onderdeelen uit het model te kunnen nemen om ze te reinigen.

Voorts is het wenschelijk tijdens het meten telkens contrôlemetingen te verrichten op een vast proefpunt.

Andere bronnen van fouten kunnen zijn de ongelijkmatige geleidbaarheid van het electrolyt. Ten einde dit te vermijden werd de zoutoplossing minstens een dag te voren klaar gemaakt.



Na elke serie metingen werd het electrolyt verwijderd, ten einde als gevolg van het blijven staan, de vorming van bezinksel te voorkomen, hetgeen weer een oorzaak kan zijn van onjuiste uitkomsten. Te kleine meetpennen werken ongunstig. Bij onze metingen werd een meetpen gebruikt van 1 mm diameter, vervaardigd uit roestvrij staal, die zoover werd neergelaten tot zij 1 mm in het electrolyt stak.

Neemt men alle genoemde voorzorgen goed in acht dan kunnen met het toestel zeer nauwkeurige metingen worden verricht.

Het is hier de plaats aan ir. W. F. Einthoven, hoofd van de Afdeeling der Telegrafie en Radio te *Bandoeng*, onzen warmen dank te betuigen, niet alleen voor zijn waardevolle suggesties bij de verbetering der electrische uitrusting van het toestel, doch ook voor de verschillende apparaten die hij welwillend ter beschikking stelde.

We komen thans terug op het stroomingsgeval volgens *fig. 10,* voorstellende de waterstrooming door een waterkeerenden dam, geplaatst op een laag van poreuser materiaal, die zelf rust op een waterdichten ondergrond. De doorlaatcoëfficiënt k_2 van de poreuse laag is 7 keer zoo groot als de doorlaatcoëfficiënt k_1 van den dam. Bij toepassing van analogie I_a moeten derhalve electroden worden geplaatst langs *ABC* en langs *EGH,* terwijl de vloeistofdiepte in het gebied der poreuse laag 7 keer zoo groot moet zijn als die in het gebied van den eigenlijken dam. Kiest men de eerste diepte 1 cm, dan zal de tweede dus 7 cm moeten worden (zie *fig. 11*).

Het spreekt van zelf dat men langs de grenslijn *BK* in *fig. 10* niet zonder meer een plotselingen diepteovergang van deze grootte kan toelaten, omdat, althans in het naastliggende gebied, de electrische strooming te veel van de noodzakelijke voorwaarde eener vlakke strooming zou afwijken.

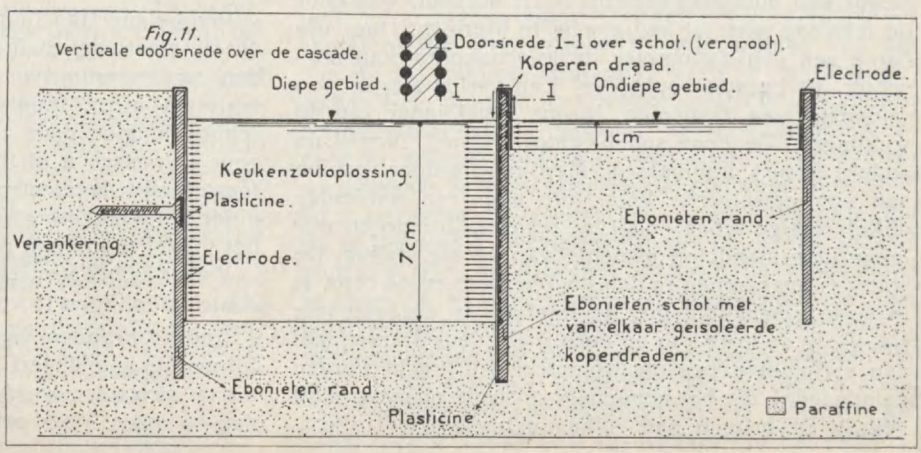
Ten einde dit bezwaar op te heffen werd de volgende voorziening getroffen, die zeer goed heeft voldaan. Langs *BK* in *fig. 10* werd een ebonieten schot geplaatst op de wijze als in *fig. 11* is aangegeven. Daaroverheen zijn op zorgvuldige wijze een zeer groot aantal dunne koperen draadjes aangebracht, die onderling van elkaar geïsoleerd zijn, doordat ze elkaar niet aanraken (zie doorsnede I — I in *fig. 11*) en verder reiken tot de bodems van beide gebieden. Hierdoor wordt de electriciteit van de dunne vloeistoflaag in het eene gebied als het ware onmiddellijk overgeheveld naar de *volle* diepte der dikke vloeistoflaag in het andere gebied. Door den zeer geringen weerstand der koperdraden en hun geïsoleerde ligging ten opzichte van elkaar, zal bovendien van ieder punt uit het eene gebied de potentiaal practisch onveranderd worden overgebracht naar het overeenkomstige punt van het andere gebied. Door deze „cascade" is dus ook in het diepe gebied reeds dicht bij het schot een electriciteitsstrooming te verwachten, die zeer weinig van een vlakke strooming zal afwijken. Inderdaad hebben contrôlemetingen langs verschillende verticalen uitgewezen, dat dit het geval is.

In *fig. 12* zijn de meetresultaten gegeven, waarbij de meetteekening 5 × is verkleind. Duidelijk ziet men hier bij de grenslijn de breking der stroomlijnen volgens formule (**11**).

Stroom- en potentiaallijnen zijn in ieder gebied geteekend met dezelfde parameterverschillen der stroom- en potentiaalfuncties [13]), zoodat ook de diagonalen der bogenvierhoeken twee stelsels orthogonaal aan elkaar toegevoegde lijnen moeten opleveren. Het berekenen der watersnelheden en van de kwel geschiedt verder op de gewone wijze.

Volledigheidshalve moge tenslotte nog worden aangeteekend, dat de vorm der phreatische waterlijn voor dit stroomingsgeval (zie *fig. 12* en lijn *AKH* in *fig. 10*) bepaald werd door een voorafgaande proef met een model uit aarde.

13) Op welke wijze dit kan geschieden is uitvoerig uiteengezet in het meergenoemde artikel in *De Ingenieur* No. 32 — 1933.



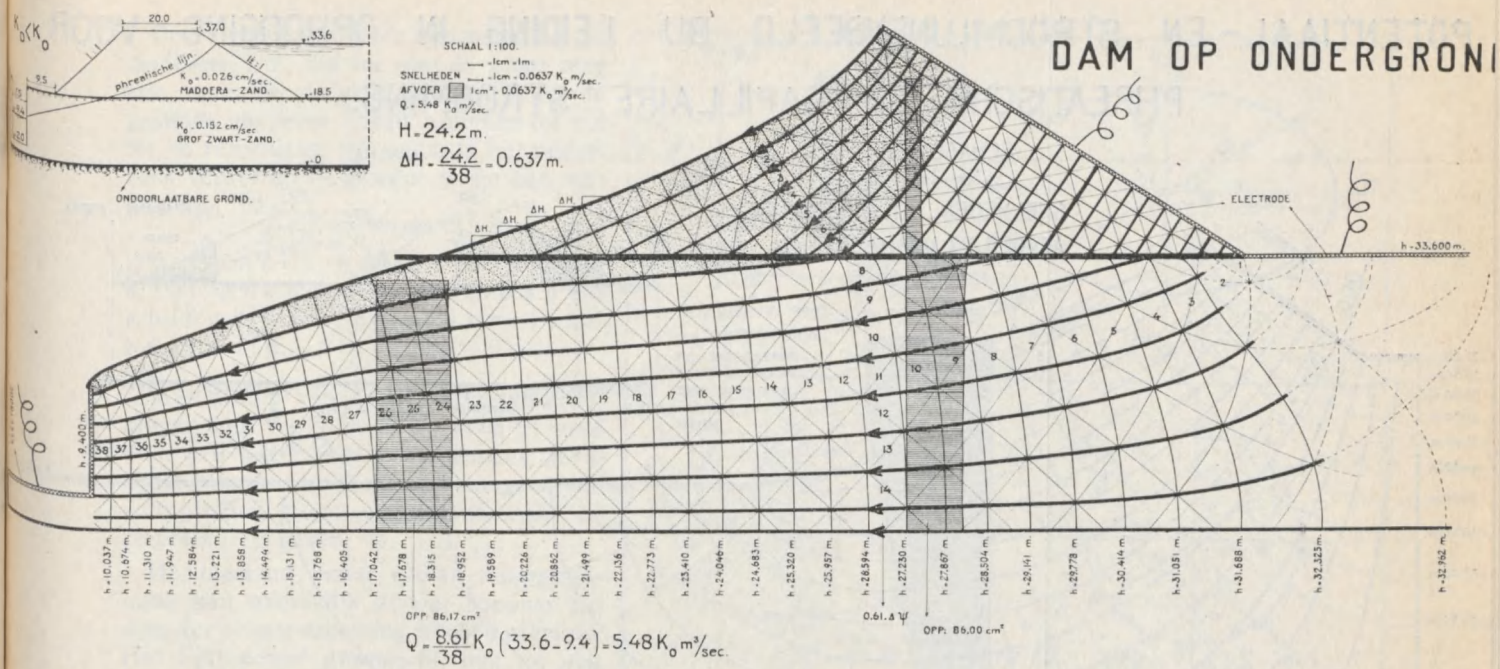


Fig. 12. Strooming door een dam op een laag van poreuser materiaal. Meetteekening 5 × verkleind.

Zooals bekend is, bevinden zich in het algemeen boven de phreatische waterlijn nog een tweetal waterhoudende zônes, waarin ook stroomingen kunnen plaats hebben, n.l. de *capillaire* en de *funiculaire* zône. Beschouwen we eerst de capillaire zône, dan kan men zeggen, dat deze alleen hierin verschilt van het gebied beneden de phreatische lijn (phreatische zône), dat de drukken er kleiner zijn dan die der atmosfeer. Overigens is er geen enkele reden om te veronderstellen, dat de strooming in de capillaire zône op een andere wijze zou plaats hebben dan in de phreatische, zoodat het stroomingsveld in beide zônes met elkaar één geheel moeten vormen. Dit werd trouwens ook waargenomen door van Mourik Broekman en Buisman bij hun laboratorium-proeven met een dam uit aarde [14]).

Onmiddellijk beneden het capillaire vlies is de druk blijkbaar gelijk aan den capillairen onderdruk $\gamma \cdot c$, wanneer c de capillaire stijghoogte is. Vervolgt men een h-lijn tot in de capillaire zône, dan krijgt men in piezometrische buisjes dus den toestand als in *fig. 13* is aangegeven, waarbij voor het zichtbaar maken der stijghoogten in de capillaire zône van omgebogen buisjes kan worden gebruik gemaakt. Daar de capillaire lijn evenals de phreatische lijn een druklijn is, zal ieder van deze lijnen dus aan de voorwaarde moeten voldoen, dat zij door stijghoogtelijnen met gelijke parameterverschillen gesneden moet worden in punten met aequidistante hoogteliggingen, zooals in *fig. 14* voor een willekeurige druklijn is aangegeven. Als contrôlemiddel kan deze eigenschap bij het onderzoek van stroomingsbeelden goede diensten bewijzen.

Zooals reeds werd opgemerkt vormen de phreatische en capillaire zônes een aaneengesloten stroomingsveld. Hieruit volgt dus, dat men bij het electrisch onderzoek ook de capillaire strooming in rekening kan brengen, door n.l. op de phreatische waterlijn eenvoudig de capillaire zône te superponeeren. De resultaten van een dergelijk onderzoek zijn in

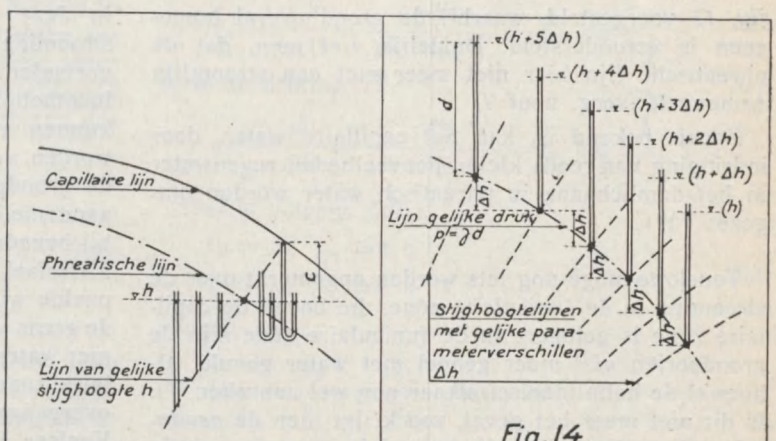


Fig. 13.

Fig. 14.

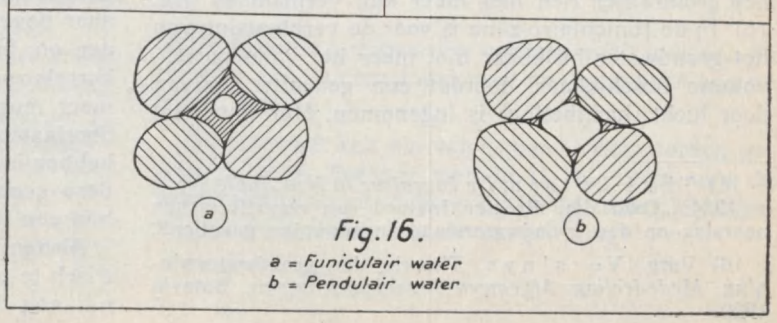


Fig. 16.
a = Funiculair water
b = Pendulair water

14) „Waterspanningen in dijken en dammen". *De Ingenieur* No. 32 — 1934.

POTENTIAAL- EN STROOMLIJNENBEELD BIJ LEIDING IN OPHOOGING VOOR PHREATISCHE EN CAPILLAIRE STROOMING.

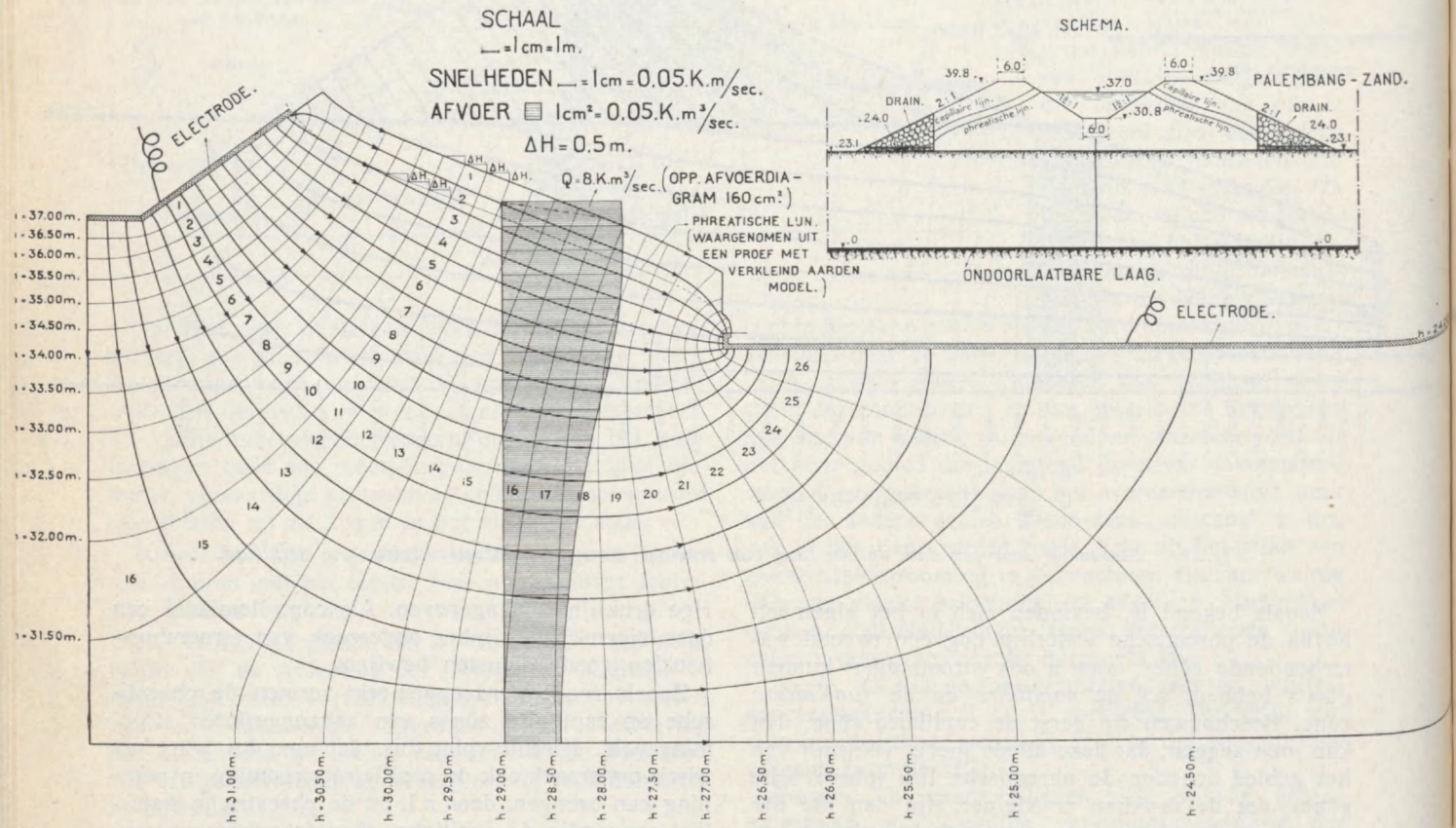


Fig. 15. Meetteekening 4,3 × verkleind.

fig. 15 voorgesteld, waarbij de grond overal homogeen is verondersteld. Duidelijk ziet men, dat de phreatische lijn hier niet meer met een stroomlijn samenvalt (verg. noot 7).

Zooals bekend is, kan het capillaire water, door indringing van reeds kleine hoeveelheden regenwater in het damlichaam, in phreatisch water worden omgezet [15]).

Tenslotte moge nog iets worden opgemerkt over de strooming in de *funiculaire* zône, die boven de capillaire zône is gelegen. In de funiculaire zône zijn de grondporiën *niet* meer geheel met water gevuld, alhoewel de holle menisci elkaar nog wel aanraken [16]). Is dit niet meer het geval, zoo krijgt men de *pendulaire* zône, die boven de funiculaire ligt, en waarin het grondwater zich niet meer kan verplaatsen (*fig. 16*). In de funiculaire zône is voor de verplaatsing van het grondwater blijkbaar niet meer het volle poriënvolume beschikbaar, doordat een gedeelte daarvan door lucht (luchtbellen) is ingenomen. Het water zal in deze zône dus een grooteren weerstand tegen strooming ondervinden, dan overeenkomt met den normalen doorlaatcoëfficiënt k van den grond. De luchtbellen, die zich niet — althans moeilijk — zullen kunnen verplaatsten, kunnen hierbij als het ware worden vergeleken met kleine materiaalkorrels, die de grondporiën opvullen. Het lijkt ons daarom wel aannemelijk, dat de strooming in de funiculaire zône bij benadering identiek zal zijn met die in een grondmateriaal, waarvan de doorlaatcoëfficiënt op een bepaalde wijze *afneemt*, van af de normale waarde bij de grens van het capillaire water (grondporiën geheel met water gevuld) tot de waarde nul, waar de pendulaire zône begint. Het is niet waarschijnlijk, dat de overgangstoestanden plotseling zullen plaats hebben. Veeleer moet worden aangenomen, dat van af de benedengrens der funiculaire zône de luchtbellen naar boven toe gemiddeld steeds grooter zullen worden om bij het begin der pendulaire zône de grondkorrels zooveel aan te raken, dat geen waterbeweging meer mogelijk is Hoe de bedoelde afname van den doorlaatcoëfficiënt in de funiculaire zône zal plaats hebben is niet bekend. Voor zoover echter geen meerdere gegevens ten dienste staan, zou men daarvoor b.v. een lineair verloop kunnen aannemen.

Alsdan is het stroomingsbeeld echter weer electrisch te produceeren! Op de capillaire lijn wordt dan n.l. nog de funiculaire zône gesuperponeerd.

15) Thal Larsen. *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 4 — 1934. „Over den directen invloed van atmosferischen neerslag op den grondwaterstand in sommige gevallen".

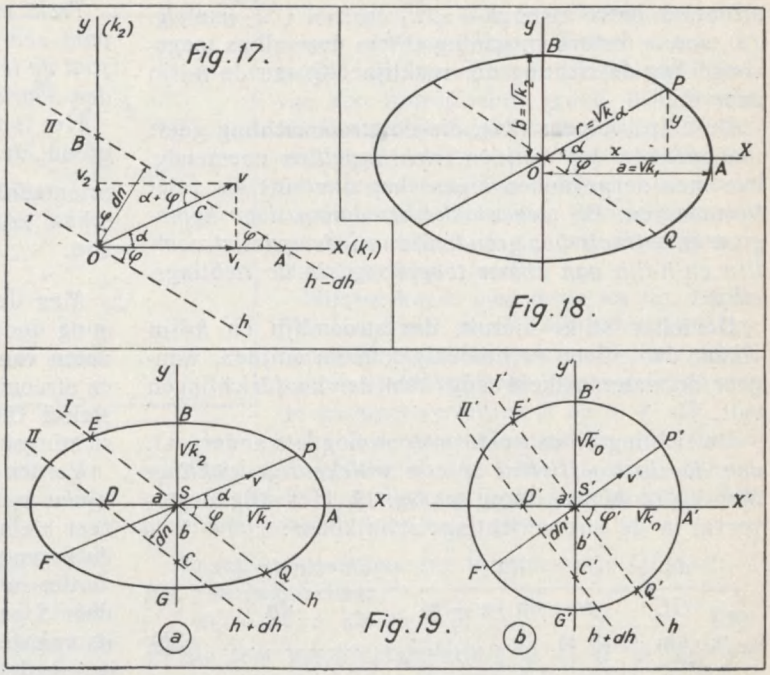
16) Verg. Versluys, Theorie der grondwaterwinning. *Mededeeling Algemeen Ingenieurscongres,* Batavia 1920.

De vloeistofdiepte van het model bij de capillaire lijn, die nu niet te groot mag zijn, moet dan volgens analogie I_a bij de gestelde aanname lineair afnemen tot nul bij de funiculaire lijn, waarna het onderzoek verder op de gewone wijze kan verloopen.

5. Vlakke waterstrooming door grond met homogeen anisotropische doorlaatbaarheid.

Met behulp van de bewegingsvergelijkingen door Versluys gegeven [17]) werd door één onzer voor het algemeen geval eener ruimtestrooming door homogeen anisotropischen grond, een geometrische interpretatie gegeven [18]).

De toestand eener vlakke waterstrooming kan natuurlijk zonder bezwaar uit dien der ruimtestrooming worden afgeleid. Het lijkt echter gewenscht, ook tot een beter begrip van evenbedoelde interpretatie, de vergelijkingen voor het vlakke stroomingsgeval, dat hier alleen in beschouwing zal worden genomen, rechtstreeksch af te leiden.



Bij een vlakke strooming door homogeen anisotropische grond [19]) kan men de grondmassa vervangen denken door een aequivalente poreuze massa met twee onderling rechthoekige stelsels poriënkanalen, welke fictieve massa in elke richting dezelfde doorstrooming geeft, wanneer de omstandigheden, wat het verloop der stijghoogten betreft, dezelfde blijven. De richtingen dezer twee stelsels fictieve poriënkanalen noemt men de *hoofdstroomrichtingen* der grondmassa. Zijn de doorlaatcoëfficiënten in deze twee hoofdrichtingen resp. k_1 en k_2, dan zijn de componenten der watersnelheid in een bepaald punt, volgens de assen van een rechthoekig assenstelsel, OXY, waarbij OX en OY resp. evenwijdig loopen aan de richtingen van k_1 en k_2:

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= k_1 \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \\ v_2 &= k_2 \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

wanneer h de plaatselijke stijghoogte is en het minteeken buiten beschouwing wordt gelaten. *De resulteerende watersnelheid v valt nu niet meer volgens de normaal van een stijghoogtelijn,* zooals bij isotropischen grond het geval is (verg. *fig. 1*). Dit kan eenvoudig worden ingezien aan de hand van *fig. 17*.

O is in deze figuur een willekeurig punt der grondmassa en OX en OY zijn de beide hoofdstroomrichtingen met de doorlaatcoëfficiënten k_1 en k_2. Verder zijn I en II elementen van twee naburige lijnen van gelijke stijghoogten, die een bedrag dh verschillen en een hoek φ maken met de richting OX. De afstand tusschen de beide h-lijnen zij dn. Tenslotte stelle men de gradiënt $\frac{dh}{dn}$ kortheidshalve p_n.

Het stijghoogteverval in de richting OX is dan blijkbaar:

$$\left.\begin{aligned} p_x &= \frac{dh}{OA} = \frac{dh}{dn : \sin\varphi} = p_n \cdot \sin\varphi \\ \text{en in de richting } OY\text{:} \\ p_y &= \frac{dh}{OB} = \frac{dh}{dn : \cos\varphi} = p_n \cos\varphi \end{aligned}\right\} \quad \ldots \quad (21)$$

Dus is volgens (20):

$$\left.\begin{aligned} v_1 &= k_1 \cdot p_n \cdot \sin\varphi \\ v_2 &= k_2 \cdot p_n \cdot \cos\varphi \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

waaruit volgt:

$$tg\,\alpha = \frac{v_2}{v_1} = \frac{k_2}{k_1} \cdot \cot\varphi \text{ of:}$$

$$tg\,\alpha \cdot tg\,(\pi - \varphi) = -\frac{k_2}{k_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (23)$$

welke formule blijkbaar het verband geeft tusschen de richting der watersnelheid in O en de raaklijn aan de h-lijn door O.

Dit resultaat kan als volgt geometrisch worden geinterpreteerd. Teekent men in O een ellips met de assen georienteerd volgens de hoofdstroomrichtingen en beantwoordende aan de vergelijking:

$$\frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (24)$$

17) „De onbepaalde vergelijking der permanente beweging van grondwater". *Verhandelingen* Geologisch — Mijnbouwkundig genootschap voor Nederland en Koloniën, Geologische serie Deel I Februari 1915.

18) Vreedenburgh. „Over de stationnaire waterbeweging door grond met homogeen anisotropische doorlaatbaarheid". *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 11 — 1935.

19) Dat is grond, waarbij in ieder punt de anisotropie van den zelfden aard is.

alzoo met halve assen $a = \sqrt{k_1}$ en $b = \sqrt{k_2}$ (zie *fig. 18*), zoo is de stroomrichting OP in deze ellips toegevoegd aan de richting der raaklijn OQ aan de h-lijn door O.

De ellips volgens (24), die de stroomrichting geeft ten opzichte der h-lijnen, *richtingsellips* noemende, kan men de gevonden eigenschap dus kort als volgt formuleeren. *Bij een vlakke strooming door homogeen anisotropischen grond, zijn in ieder punt stroomlijn en h-lijn aan elkaar toegevoegd in de richtingsellips.*

Duidelijk blijkt hieruit, dat stroomlijn en h-lijn elkaar dàn alleen rechthoekig kunnen snijden, wanneer de watersnelheid langs één der hoofdrichtingen valt.

De richtingsellips geeft ons ook nog iets anders n.l. *den doorlaatcoëfficiënt in een willekeurige richting.* Men keere daartoe terug tot *fig. 17*. Het stijghoogteverval in de stroomrichting is blijkbaar:

$$\alpha = \frac{dh}{OC} = \frac{dh}{dn : \sin(\alpha + \varphi)} = \frac{dh \cdot \sin(\alpha + \varphi)}{dn} =$$

$$= p_n \cdot \sin(\alpha + \varphi) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (25)$$

Krachtens definitie is:

$$v = v_\alpha = k_\alpha \cdot p_\alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (26)$$

wanneer k_α den doorlaatcoëfficiënt *in de richting* α voorstelt.

Bedenkt men dat volgens (22)

$$\left.\begin{aligned} \sin\varphi &= \frac{v_1}{k_1 \cdot p_n} = \frac{v \cdot \cos\alpha}{k_1 \cdot p_n} \\ \cos\varphi &= \frac{v_2}{k_2 \cdot p_n} = \frac{v \cdot \sin\alpha}{k_2 \cdot p_n} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

dan kan men schrijven:

$$k_\alpha = \frac{v}{p_\alpha} = \frac{v}{p_n(\sin\alpha\cos\varphi + \cos\alpha\sin\varphi)}$$

of:

$$k_\alpha = \frac{1}{\frac{\cos^2\alpha}{k_1} + \frac{\sin^2\alpha}{k_2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

Men zette van uit het punt O in de richting α een stuk OP uit $= \sqrt{k_\alpha}$ (zie *fig. 18*). De coördinaten van P zijn dan $x = \sqrt{k_\alpha} \cdot \cos\alpha$ en $y = \sqrt{k_\alpha} \cdot \sin\alpha$. Vergelijking (28) kan dan ook als volgt worden geschreven:

$$\frac{(\sqrt{k_\alpha} \cdot \cos\alpha)^2}{k_1} + \frac{(\sqrt{k_\alpha} \cdot \sin\alpha)^2}{k_2} = 1$$

$$\text{of } \frac{x^2}{k_1} + \frac{y^2}{k_2} = 1 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (24)$$

d.i. wederom de richtingsellips!

In woorden heeft men dus:

Trekt men in de richtingsellips van uit het middelpunt een voerstraal in een willekeurige richting, dan stelt de lengte van dezen voerstraal de wortel voor uit den doorlaatcoëfficiënt van den grond in die richting.

Het is duidelijk, dat bij homogeen anisotropischen grond, de richtingsellipsen in alle punten gelijk georienteerd zijn en indien $\sqrt{k_1}$ en $\sqrt{k_2}$ op dezelfde schaal zijn uitgezet, overigens ook congruent zullen zijn.

Men denke thans van een bepaalde vlakke strooming door homogeen anisotropischen grond, de coördinaten van alle punten van het stroombeeld (h-lijnen en stroomlijnen) gegeven ten opzichte van een assenstelsel OXY, evenwijdig aan de beide hoofdstroomrichtingen.

Verder denke men om alle snijpunten S der stroomlijnen met de h-lijnen richtingsellipsen geteekend van zeer kleine afmetingen met de middelpunten in S en de assen georienteerd volgens de hoofdrichtingen en verder in ieder van haar een lijnelementje dl van de door S gaande h-lijn als middellijn en een elementje ds van de door S gaande stroomlijn als daaraan toegevoegde richting.

Nu worde het geheele stroombeeld getransformeerd, door de coördinaten x en y van *ieder* punt van de h-lijnen en stroomlijnen èn van de elementaire richtingsellipsen te wijzigen in nieuwe coördinaten x' en y' zoodanig dat,

$$\left.\begin{aligned} x' &= \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_1}} \cdot x \\ y' &= \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_2}} \cdot y \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (29)$$

Men krijgt dan een ander stroombeeld, bestaande uit andere h-lijnen en stroomlijnen, welk nieuw stroombeeld echter thans wèl de eigenschap bezit, *dat alle stroomlijnen en h-lijnen elkaar rechthoekig snijden,* dus als een potentiaalstroombeeld kan worden beschouwd.

Dit kan aan de hand van *fig. 19* worden verklaard. De ellips van *fig. 19a* zij een der elementaire richtingsellipsen als boven bedoeld, waarbij QE het lijnelementje dl zij van de stijghoogtelijn h door S en PF het elementje ds van de door S gaande stroomlijn. Zooals boven reeds werd bewezen, zijn PF en QE aan elkaar toegevoegd in de ellips.

Nu zal door de transformatie volgens (29), *fig. 19a* overgaan in *fig. 19b*. Het is duidelijk, dat de ellips hierbij een cirkel is geworden met een straal $\sqrt{k_o}$, terwijl volgens een bekende eigenschap uit de analytische meetkunde, de toegevoegde middellijnen $PF = ds$ en $QE = dl$ der ellips tevens zijn overgegaan in de loodrecht op elkaar staande middellijnen $P'F' = ds'$ en $Q'E' = dl'$ in den cirkel. De lijnelementjes dl en ds zijn dus twee lijnelementjes dl' en ds' geworden, die elkaar rechthoekig snijden. Dit geldt voor ieder snijpunt S der h-lijnen en stroomlijnen van het anisotropisch stroombeeld m.a.w. *het getransformeerde stroombeeld is een potentiaalstroombeeld geworden geldende voor homogeen isotropischen grond.*

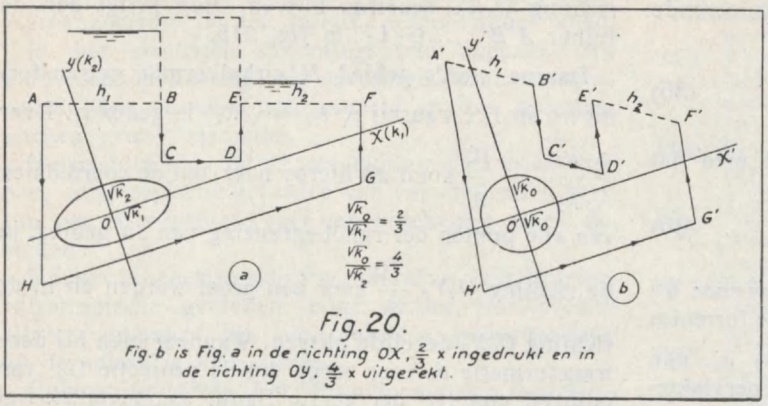


Fig. 20.

Fig. b is Fig. a in de richting OX, $\frac{2}{3}$ x ingedrukt en in de richting OY, $\frac{4}{3}$ x uitgerekt.

Hiermede is een belangrijk hulpmiddel verkregen om anisotropische stroomingsgevallen tot oplossing te brengen.

In *fig. 20a* zij *ABCDEFGH* de gegeven begrenzing van een stroomingsveld door anisotropischen grond met hoofdrichtingen evenwijdig aan *OX* en *OY*. *AB* en *EF* zijn lijnen van gelijke stijghoogten resp. met de parameterwaarden h_1 en h_2, terwijl *AHGF* en *BCDE* randstroomlijnen zijn.

De doorlaatcoëfficiënt k_1 in de hoofdrichting *OX* zij 4 keer zoo groot als die in de andere hoofdrichting (k_2).

De richtingsellips geteekend met het middelpunt in *O*, dat overigens willekeurig in het stroomingsveld kan worden gekozen, heeft dus de assenverhouding:

$$\frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_2}} = \frac{2}{1}.$$

Kiest men $\frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_1}} = \frac{2}{3}$ en $\frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_2}} = \frac{4}{3}$, zoo kan men de *begrenzing* van het anisotropisch stroomingsveld volgens *fig. 20a* met de formules (**29**) transformeeren, waardoor de nieuwe begrenzing *A'B'C'D'E'F' G'H'* van *fig. 20b* wordt verkregen en de richtingsellips in een cirkel met straal $\sqrt{k_o}$ is overgegaan. In het nieuwe stroomingsveld kan men nu electrisch de *h*-lijnen en stroomlijnen bepalen met behulp van een vloeistoflaag van overeenkomstigen vorm als in *fig. 20b* aangegeven en electroden langs *A'B'* en *E'F'*.

Wanneer men nu de gevonden *h*-lijnen en stroomlijnen *terug*transformeert, wat blijkbaar in het onderhavig geval daarop neerkomt, dat het thans bekende stroombeeld binnen de randbegrenzing van *fig. 20b*, in de richting OX, $\frac{3}{2}\times$ wordt uitgerekt en in de richting *OY*, $\frac{3}{4}\times$ wordt ingedrukt, heeft men de gezochte *h*-lijnen en stroomlijnen binnen de gegeven begrenzing van *fig. 20a*, voor den anisotropischen grond, verkregen. *De h-lijnen behouden bij deze terugtransformatie dezelfde parameterwaarden.* Zijn de *h*-lijnen in *fig. 20b* derhalve geteekend met gelijke stijghoogteverschillen tusschen h_1 en h_2, dan zijn de teruggetransformeerde *h*-lijnen in *fig. 20a* dus ook *h*-lijnen met dezelfde stijghoogteverschillen.

Thans zal de volgende vraag onder de oogen worden gezien. Welke waarde k' moet men aan den doorlaatcoëfficiënt van den isotropischen grond, behoorende bij het stroomingsveld van *fig. 20b*, geven, opdat met behoud van dezelfde parameterwaarden der *h*-lijnen, in beide stroombeelden tusschen twee overeenkomstige stroomlijnen, ook *dezelfde* waterhoeveelheid vloeit?

Hiertoe keere men terug tot *fig. 19*. In *fig. 19a* zijn *I* en *II* twee naburige stijghoogtelijnen in den anisotropischen grond, op een afstand *dn* van elkaar gelegen met de parameterwaarden *h* en $h + dh$.

In het getransformeerde stroombeeld worden deze stijghoogtelijnen I' en II' in *fig. 19b* op een afstand *dn'* van elkaar gelegen, doch met dezelfde parameterwaarden *h* en $h + dh$.

De waterafvoer door het lijnelementje $QE = dl$ in *fig. 19a* is blijkbaar:

$$dQ = dl \cdot v \cdot \sin(\alpha + \varphi) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

en die door het lijnelementje $Q'E' = dl'$ in *fig. 19b*, wanneer men aan den isotropischen grond een doorlaatcoëfficiënt k' toekent:

$$dQ' = dl' \cdot k' \cdot \frac{dh}{dn'} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

Betrekking (**30**) kan met behulp van (**27**) als volgt worden herleid:

$$dQ = dl \cdot v \cdot (\sin\alpha \cdot \cos\varphi + \cos\alpha \cdot \sin\varphi) = \frac{v^2 \cdot dl}{p_n} \cdot \left(\frac{\sin^2\alpha}{k_2} + \frac{\cos^2\alpha}{k_1}\right) \ldots \quad (32)$$

De berekening van dl' en $\frac{dh}{dn'}$ in (**31**) geeft het volgende resultaat (zie *fig. 19 a* en *b*).

$$dl' \cdot \cos\varphi' = \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_1}} \cdot dl \cdot \cos\varphi = \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_1}} \cdot dl \cdot \frac{v \cdot \sin\alpha}{k_2 \cdot p_n}$$

$$dl' \cdot \sin\varphi' = \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_2}} \cdot dl \cdot \sin\varphi = \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_2}} \cdot dl \cdot \frac{v \cdot \cos\alpha}{k_1 \cdot p_n}$$

waaruit volgt:

$$dl' = \frac{v \cdot dl}{p_n} \cdot \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}} \cdot \sqrt{\frac{\sin^2\alpha}{k_2} + \frac{\cos^2\alpha}{k_1}} \ldots \quad (33)$$

Verder heeft men:

$$\frac{dh}{dn'} = dh \cdot \sqrt{\frac{1}{a'^2} + \frac{1}{b'^2}} =$$

$$= dh \cdot \sqrt{\frac{k_1}{k_o \cdot a^2} + \frac{k_2}{k_o \cdot b^2}} = \sqrt{\frac{k_1}{k_o} \cdot p_x^2 + \frac{k_2}{k_o} \cdot p_y^2}$$

Met $v \cdot \cos\alpha = k_1 \cdot p_x$ en $v \cdot \sin\alpha = k_2 \cdot p_y$ wordt dit:

$$\frac{dh}{dn'} = \frac{v}{\sqrt{k_o}} \cdot \sqrt{\frac{\cos^2\alpha}{k_1} + \frac{\sin^2\alpha}{k_2}} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (34)$$

De waarden (**33**) en (**34**) in (**31**) substitueerende geven tenslotte:

$$dQ' = \frac{v^2 \cdot dl}{p_n} \cdot \frac{k'}{\sqrt{k_1 \cdot k_2}} \cdot \left(\frac{\sin^2 \alpha}{k_2} + \frac{\cos^2 \alpha}{k_1}\right) \ldots (35)$$

Vergelijkt men (**35**) met (**32**), dan ziet men dat $dQ' = dQ$, wanneer:

$$\underline{k' = \sqrt{k_1 \cdot k_2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (36)$$

Geeft men den isotropischen grond behoorende bij het getransformeerde stroombeeld volgens de formules (**29**) dus den doorlaatcoëfficiënt $k' = \sqrt{k_1 \cdot k_2}$, dan zullen door twee overeenkomstige oppervlakte-elementjes van beide stroombeelden dezelfde waterhoeveelheden stroomen en derhalve ook door twee overeenkomstige stroombuizen.

Blijkbaar doet het er hierbij niet toe hoe groot men $\sqrt{k_o}$ *kiest.* Voor de bepaling van het anisotropische stroombeeld van *fig. 20a* moet deze figuur slechts in de hoofdstroomrichtingen zoodanig worden vervormd (uitgerekt of samengedrukt), dat de *richtingsellips een cirkel is geworden.* Hiertoe moeten de vervormingscoëfficiënten $\frac{n}{\sqrt{k_1}}$ en $\frac{n}{\sqrt{k_2}}$ zijn, waarbij n echter willekeurig kan worden gekozen.

Heeft men te doen met *twee* homogeen anisotropische gebieden van *verschillenden aard* zooals in *fig. 21a* is aangegeven, zoo kan men als volgt te werk gaan. De anisotropie van gebied *I* zij gegeven door de richtingsellips O_1 met de halve assen $\sqrt{k_1}$ en $\sqrt{k_2}$ en die van gebied *II* door de richtingsellips O_2 met de halve assen $\sqrt{k_1'}$ en $\sqrt{k_2'}$.

Op de wijze als in *fig. 20* is aangegeven, wordt nu gebied *I* cirkelvormig getransformeerd [20]) in *I'* (fig. *21b*), waarbij $\sqrt{k_o} = \sqrt{k_1}$ is gekozen. Daar $\frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_2}} = \frac{4}{3}$, komt deze transformatie dus hierop neer, dat de coördinaten van alle punten der randbegrenzing in de richting O_1Y_1, $\frac{4}{3}$ keer zoo groot worden en in de richting O_1X_1, dezelfde blijven. Men krijgt dan de figuur $A'B'.....G_1'L_1'$ in *fig. 21b.*

Daarna wordt gebied *II* cirkelvormig getransformeerd in *II'*, waarbij $\sqrt{k_o} = \sqrt{k_1'}$ is gekozen. Daar $\frac{\sqrt{k_1'}}{\sqrt{k_2'}} = \frac{10}{9}$, komt dit hierop neer, dat de coördinaten van alle punten der randbegrenzing van dit gebied, in de richting O_2Y_2, $\frac{10}{9}$ keer zoo groot worden en in de richting O_2X_2 dezelfde blijven. Wanneer men bij deze transformatie er voor zorgt, dat de projectie G_2' van punt G, met G_1' der eerste figuur samenvalt, krijgt men dan de figuur $L_2'G_2'H'K'$ in *fig. 21b.*

Men ziet, dat de grenslijn LG tusschen beide gebieden in *fig. 21a* door de eerste transformatie zich projecteert als $L_1'G_1'$ en door de tweede transformatie als $L_2'G_2'$, m.a.w. *niet langs elkaar vallen* maar een zekeren hoek φ met elkaar maken.

Thans wordt figuur *II'* om het punt G_2' gedraaid over den hoek φ, zoodat de lijnen $G_2'L_2'$ en $G_1'L_1'$ wèl langs elkaar vallen. Men krijgt dan *fig. L''G' H''K''* = *II''* in *fig. 21b.*

Tenslotte wordt *fig. I'* gelijkvormig getransformeerd tot *I''*, zoodanig dat $G_1'L_1'$ *gelijk* wordt aan $G_1'L''$. Stelt men $\frac{G_1'L''}{G_1'L_1'} = \mu$ dan zal men gemakkelijk inzien, dat *fig. I''* = $A''B''$ .....$G_1'L''$ niets anders is dan gebied *I* in *fig. 21a,* cirkelvormig getransformeerd met $\sqrt{k_o} = \mu \cdot \sqrt{k_1}$.

In de aanliggende getransformeerde gebieden *I''* en *II''* in *fig. 21b,* kan nu electrisch het stroomingsbeeld worden bepaald Hierbij bedenke men echter, dat in verband met het eerder uiteengezette, bij behoud van de zelfde parameterwaarden der *h*-lijnen, tusschen twee overeenkomstige stroomlijnen alleen dan dezelfde waterhoeveelheid blijft vloeien als in de anisotropische gebieden van *fig. 21a,* wanneer aan gebied *I''* een doorlaatcoëfficiënt $\sqrt{k_1 \cdot k_2}$ en aan gebied *II''* een doorlaatcoëfficiënt $\sqrt{k_1' \cdot k_2'}$ wordt toegekend Alzoo moeten bij het electrisch onderzoek, bij toepassing van analogie I_a, de diepten t_1 en t_2 der electrolytoplossing met deze doorlaatcoëfficiënten evenredig zijn. Langs $L''G_1'$ in *fig. 21b* moet dus een cascade worden aangebracht als in *fig. 11.*

Is de grens tusschen de gebieden *I* en *II* een willekeurige gebogen lijn, dan kan men de beide projecties van deze lijn zoo dicht mogelijk bij elkaar leggen en dezelfde booglengte geven, doch niet meer geheel tot samenvallen brengen. De oppervlakte, die tusschen de beide lijnen overblijft, vormt dan het bovenvlak der cascade, waarover de koperdraden met geringen weerstand worden gelegd, die

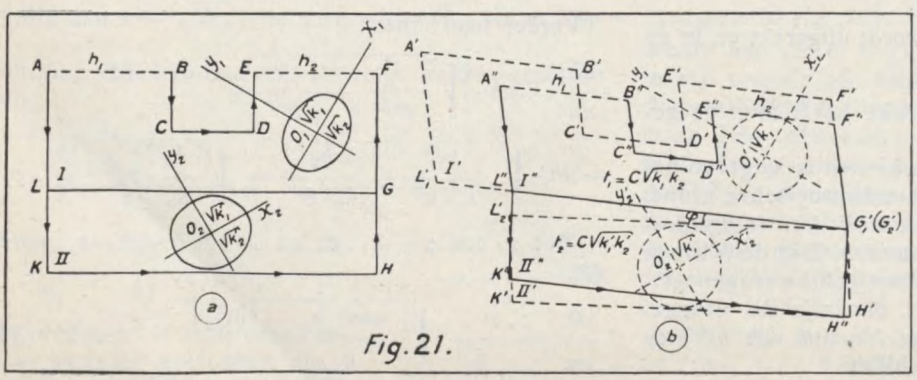


Fig. 21.

20) Dat is zoodanig, dat de richtingsellips een *cirkel* wordt.

er voor zorgen, dat bij het electrisch onderzoek, overeenkomstige punten dezelfde potentiaal behouden.

Is het electrisch stroomingsbeeld bepaald, dan wordt door *omkeering* van *alle* uitgevoerde transformaties, het gezochte stroombeeld in den anisotropischen grond gevonden.

Het is duidelijk, dat de aangegeven werkwijze voor twee anisotropische gebieden van verschillenden aard kan worden uitgebreid voor een willekeurig aantal gebieden.

Het geval eener *ruimte*strooming door verschillende anisotropische gebieden moge verder onbesproken blijven, alhoewel ook hier dezelfde gedachtengang tot de oplossing kan voeren.

Ongetwijfeld stemt het tot voldoening de mogelijkheid te hebben aangetoond, *hoe een grondwaterstroom met gegeven randbegrenzingen, door een willekeurig aantal gebieden met verschillende anisotropische doorlaatbaarheid, steeds kan worden omgezet in een potentiaalstrooming en daardoor op betrekkelijk eenvoudige wijze electrisch tot oplossing kan worden gebracht.*

Literatuur.

1912. Borgesius, *De Ingenieur* No. 49, „Grondwaterbeweging in de omgeving van bronnen".

1915. Versluys, *Verhandelingen* Geologisch — Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Koloniën, Geologische Serie Deel I, „De onbepaalde vergelijking der permanente beweging van het grondwater".

1920. Versluys, Algemeen Ingenieurs Congres Batavia, *Mededeeling* Sectie Irrigatie en Assaineering „Theorie der grondwaterwinning".

1928. Taylor and Sharman, *Proceedings of the Royal Society A*, Vol. 121 „A mechanical method for solving problems of flow in compressible fluids".

1928. Gerber und Ackeret, *Mitteilung* No. 6 Escher Wyss „Experimentelle Methode zur Ermittlung von Potentialströmungsbildern".

1930. Vreedenburgh, *De Ingenieur* No. 43, „Eenige experimenteele onderzoekingsmethoden in de Mechanica" sub B.

1931. Fidmann en Ossokin, XVe Congrès International de Navigation, Venise, 1er Section „Pression hydraulique sous les barrages".

1933. Vreedenburgh en Stevens, *De Ingenieur* No. 32 „Electrodynamisch onderzoek van potentiaalstroomingen in vloeistoffen in het bijzonder toegepast op vlakke grondwaterstroomen".

1933. Zie ook de mededeeling van dezelfde schrijvers op het 1er Congrès des Grands Barrages, Stockholm, Volume IV, Question 2b.

1933. Pavlovsky, 1er Congrès des Grands Barrages, Stockholm, Volume IV, Question 2b „Motion of water under dams".

1933. De Vos, *De Waterstaats-Ingenieur* No. 10, „Het stroomen van water door aarden dammen en den bodem daaronder".

1933. Dachler, *Die Wasserwirtschaft* No. 2 — „Über Sickerwasserströmungen in geschichtetem Material".

1933. Schaffernak en Dachler, *Die Wasserwirtschaft* No. 30 — „Erforschung der physikalischen Gesetze nach welchen die durchsickerung des Wassers durch eine Talsperre oder durch den Untergrund stattfindet".

1933/1934. Vreedenburgh, *Openbare Werken* No. 25 en 26 — 1933 en No. 1 — 1934, „Potentiaalstroomingen".

1934. Van Mourik Broekman en Buisman, *De Ingenieur* No. 32 „Waterspanningen in dijken en dammen".

1934. Vreedenburgh, *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 3, „Conforme afbeelding en de grafische oplossing van vlakke potentiaalstroomingsbeelden".

1934. Thal Larsen, *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 4 „Over den directen invloed van atmosferischen neerslag op den grondwaterstand in sommige gevallen".

1934. Lane, Campbell and Price, *Civil Engineering* Vol. 4 No. 10 „The flow net and the electric analogy".

1935. Hebert, *Civil Engineering* Vol. 5, No. 2 „Developments in application of the electric analogy".

1935. Vreedenburgh, *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 11 „Over de stationnaire waterbeweging door grond met homogeen anistropische doorlaatbaarheid".

1935. Vreedenburgh en Stevens, *Handelingen* 7e Ned.-Indisch Natuurwetenschappelijk Congres, Batavia, Wis- en Natuurkundige Sectie.

Reservoirdammen in de Vereenigde Staten

door

ir. D. H. ARENDS,

ingenieur bij 's Lands Waterstaat met buitenl. verlof.

Verslag van een studiereis naar de Ver. Staten van N.-Amerika, gepubliceerd met toestemming van het hoofd van de afd. Irrigatie, Waterkracht en Assaineering van het departement van Verkeer en Waterstaat.

Inleiding.

Nadat door welwillende medewerking van het Departement van Verkeer en Waterstaat aan steller dezes toestemming verleend was de reis naar Europa, in verband met het hem verleende buitenlandsche verlof, via Amerika te maken, werd een verblijf van 7 weken in de Vereenigde Staten benut voor een bezoek aan een 17-tal bestaande en in uitvoering zijnde reservoirdammen.

Tengevolge van introductie door het Nederlandsche gezantschap werd contact verkregen met vele Amerikaansche ingenieurs met wie veelal op vruchtbare wijze van gedachten gewisseld kon worden. Een woord van erkentelijkheid over de overal ondervonden buitengewone behulpzaamheid bij het bezichtigen der werken en het verstrekken van inlichtingen mag hier niet achterwege blijven.

Achtereenvolgens werden bezichtigd:

1e. een aantal dammen in de nabijheid van Los Angeles, meest behoorend tot het Los Angeles Flood Control District;

2e. Boulder Dam in de Colorado;

3e. een viertal dammen bij Phoenix (Ar.);

4e. eenige dammen bij Denver (Colorado), alwaar ook een hydraulisch en een grondonderzoeklaboratorium werden bezocht.

Dammen bij Los Angeles.

De meeste bezichtigde dammen zijn of worden uitgevoerd door de Los Angeles Country Flood Control

District en hebben bandjirvermindering in de rivieren, waarin zij gebouwd zijn, ten doel.

De door de verschillende rivieren gevormde dejectiekegels vertegenwoordigen n.l. door de daarop gelegen stedelijke bebouwing en vruchtboomgaarden een hooge waarde. Het Flood Control District beperkt zich uitsluitend tot aanleg en exploitatie van werken ter voorkoming van hoogwaterschade; het heeft geen verkoopsrechten op het in de reservoirs vastgehouden water. Dit water wordt o.m. gebruikt voor verrijking van het grondwaterreservoir door het over groote oppervlakken uit te spreiden en in den bodem te laten wegzakken. Behalve van het hoogwater zelve wordt ook veel last en schade ondervonden van de daarbij meegevoerde groote hoeveelheden vaste stoffen. De grondoorzaak van dit euvel schijnt te liggen in ontbossching (door platbranden) door goudzoekers, waardoor de bouwkruin is weggespoeld en reboisatie zeer moeilijk is geworden, zoodat maatregelen tegen verdere erosie niet wel te nemen zijn. De belangrijkste bestrijdingsmiddelen bestaan in:

1e. Aanleg van reservoirs.

2e. Aanleg van betonnen kanalen e.d. voor snellen afvoer van het water naar zee. Hierbij moeten verschillende vraagstukken nog opgelost worden wegens de bij de groote verhangen op de dejectiekegels optredende excessieve snelheden, o.m. golfvorming en luchtopname, en ligging van den waterspiegel in bochten. Een model onderzoek was bij mijn bezoek onder handen.

3e. Waar andere middelen niet mogelijk waren, heeft men zijn toevlucht genomen tot het graven van diepe kuilen in den bodem van kleinere afvoeren. De hierin afgezette vaste stoffen worden geregeld weggegraven, waarbij alweer moeite is ondervonden bij het zoeken naar geschikte opslagruimte.

Deze debris-pits (zie *foto 1*) schijnen wel te voldoen, maar zijn zeer duur in exploitatie. De ontgraving komt op 20 cent per cu. yard te staan. Bovendien moet de rivierbodem boven- en benedenstrooms door betondrempels worden vastgelegd.

In de nabijheid van Los Angeles werden bezichtigd de volgende dammen: San Gabriel 1, San Gabriel 2, Morris, Pacoima, Devils Gate, Big Santa Anita, Big Dalton en Puddingstone.

De laatste 6 dammen waren bij mijn bezoek reeds voltooid, bij San Gabriel 2 waren de herstellingen, die kort na den bouw noodig bleken in een vergevorderd stadium, terwijl bij San Gabriel 1 de werkzaamheden tijdelijk (of duurzaam?) gestaakt waren. Alle dammen, met uitzondering van den Morris-dam, die door de stad Pasadena gebouwd is, zijn onderdeel van de hoogwaterbescherming van het County of Los Angeles.

San Gabriel 1 en 2.

Voor een beschrijving van deze beide dammen en de daaraan verbonden lange lijdensgeschiedenis moge in hoofdzaak verwezen worden naar de erover verschenen literatuur, in het bijzonder het artikel van ir. Eysvoogel in *De Ingenieur in Ned.-Indië* No. 9 — 1935 „Zetting van Rockfill-dammen", terwijl ik me zal beperken tot enkele aanvullende opmerkingen.

Zooals bekend, was aanvankelijk een hooge betondam geprojecteerd, welk project werd opgegeven, nadat reeds een belangrijk bedrag was uitgegeven voor het blootleggen van den fundeeringsbodem. Besloten werd in plaats daarvan twee hooge rockfilldammen te bouwen.

De meest stroomop gelegen dam, San Gabriel 2 is voltooid en heeft last gegeven door een aanzienlijke zetting.

De meening van ir. Eysvoogel, dat dit niet heeft gelegen aan den gebruikten steen, kan geheel onderschreven worden, aangezien het gebruikte dioriet (granito-dioriet) van schitterende kwaliteit is. De opvatting, dat door toevoer van meer spoelwater de bij de gebruikte werkwijze ontstane scheidingsvlakken in de puinmassa zouden verdwijnen, is echter niet in overeenstemming met hetgeen mij daaromtrent door den uitvoerenden ingenieur werd medegedeeld. Door het veelvuldig berijden met zware trucks zou n.l. het bovenvlak van elke laag tot een waterdichte massa ineengereden worden. De voorgeschreven bestorting van rockfill-dammen met bijzonder zware blokken op de luchtzijde zou ten doel hebben den vereischten weerstand tegen uitspoelen te geven bij het ontstaan van geconcentreerde stroomen op die scheidingsvlakken bij ondichtheid van het waterzijdig scherm. Het wil mij trouwens voorkomen, dat een zetting van 3,60 m bij een in een 10-tal lagen gestorten dam niet geweten kan worden aan holtevorming op de laagscheidingen, die dan elk voor een zetting van 3 à 4 dm verantwoordelijk zouden moeten zijn.

Een belangrijke factor in de verklaring van de opgetreden zettingen kan de volgende in de betrokken mededeelingen blijkbaar verzwegen omstandigheid zijn.

Bij de uitvoering heeft men wegens vertraging van de werkzaamheden aan den koffer op één oever, aldaar een wigvormig stuk van den dam open moeten laten. Dit stuk is later in één keer door over den kop storten van steen opgevuld, waarbij wellicht een nogal losse stapeling is gevormd.

Neemt men verder in aanmerking, dat door de groote droogte in de betrokken streek alle gewonnen steen uiterst droog en daardoor stroef is (geen groefwater in het gesteente als bij ons en in andere landen), dan is het duidelijk, dat de steenstapeling ook in de rest van den dam aan den lossen kant kan zijn geweest, waardoor een plotselinge zetting in het laatst opgevulde gedeelte zich door het heele damlichaam kon voortplanten. Op *foto 2* is aan de bocht in de later aangebrachte beplanking duidelijk te zien, dat de zetting het sterkst is geweest nabij het uiteinde van den dam. De werkelijkheid was nog meer geprononceerd, aangezien men bij het aanbrengen van het planken dek er naar gestreefd heeft de onvlakheid te beperken.

Het komt mij voor, dat uit dit geval niet de conclusie getrokken zal mogen worden, dat losse steenstortingen in plaats van steenstapelingen bij ons niet in aanmerking zouden komen, terwijl aan het inspoelen van de steenmassa in ons regenachtige klimaat niet die beteekenis moet worden toegeschreven als in de woestijnen van de westelijke Staten.

Wel verdient het natuurlijk aanbeveling om met

1.

4.

2.

3.

Foto 1. Debris-put.
Foto 2. San Gabriel 2 (waterzijde).
Foto 3. San Gabriel 2 (luchtzijde).
Foto 4. Big Dalton dam.

het aanbrengen van de afdichting aan de waterzijde te wachten tot eenigen tijd na de voltooiïng van het damlichaam. De in Amerika gebruikelijke haast is technisch moeilijk te verantwoorden. Ten slotte moge de aandacht gevestigd worden op *foto 3* van de luchtzijde van den dam genomen, welke voor Amerikaansche rockfill-dammen typeerend is. De bij ons gebruikelijke nette afwerking vergemakkelijkt de contrôle op zettingen in het damlichaam en moet op den leek een impressie van grootere soliditeit achter laten.

De bij den San Gabriel 1 dam ondervonden bezwaren zijn van geheel anderen aard en naar de meening van de betrokkenen, o.w. de sinds kort benoemde hoofdingenieur H o w e l l (thans hoofd van het Los Angeles Flood Control District, voordien bij de U. S. Reclamation Service), grootendeels te wijten aan de geringe soepelheid, die aan het werken met aannemers eigen is.

Het werk is gegund op een inschrijving, waarbij twee mogelijkheden voorzien waren, n.l. winning van den steen nabij den dam uit een nog te openen groeve of aanvoer van den steen over vrij grooten afstand uit een andere groeve, waarvan vaststond, dat deze in staat was voldoende materiaal te leveren, dat aan de gestelde eischen voldeed. Verder was voor den dam een zekere samenstelling t.a.v. de grootte van den te gebruiken steen voorgeschreven. De aannemer was bevoegd van sorteering van het in de steengroeve gewonnen materiaal af te zien, indien dit minder dan een zeker percentage „bruikbare" steenen bevatte. Bij de uitvoering bleek nu, dat het gesteente in de groeve tot op groote diepte veel sterker gescheurd was, dan men verwacht had, zoodat het percentage blokken van voldoende grootte bleef beneden dat, waarbij van den aannemer sorteering uit het gewonnen puin geëischt kon worden. Enorme hoeveelheden alleszins bruikbare steen (waarbij ik blokken van meer dan 1 m^3 zag) zijn daarom naar het stort i.p.v. naar den dam gereden. Door al dit verlies, waarvoor door den aanbesteder betaald moest worden, zou de dam reeds zeer duur worden. Niettemin was overgang tot de andere steengroeve niet doenlijk, daar de aannemer een betere neus gehad bleek te hebben dan de directie. Terwijl hem n.l. het werk gegund was op een laag bod bij verwerking van het materiaal uit de 1ste steengroeve, was ingeschreven voor een excessieven prijs, indien tot aanvoer over grooten afstand uit de andere groeve moest worden overgegaan. Onder deze omstandigheden was het niet mogelijk voor de directie om van het alternatief bod gebruik te maken en werd gezocht naar een oplossing, waarbij binnen het raam van de aangegane aannemingsovereenkomst het materiaal uit de nabij gelegen steengroeve wel gebruikt zou kunnen worden. De voorgestelde oplossing bestaat in een aanzienlijke verflauwing van de damtaluds (1 : 4 en 1 : 3) en verwerking van alle gewonnen puin en steen in den dam. Door proeven was aangetoond, dat dit puin met 10-tons sheepsfootrollers kan worden ingewalst tot een massa met een soortelijk gewicht van 150 lbs/cu ft. d.i. 2,4 of ongeveer hetzelfde als het oorspronkelijke gesteente; de mate van waterdichtheid is dan zeer groot. Het nieuwe ontwerp was bij mijn bezoek nog niet geheel gereed, terwijl ook de instemming van den stateengineer met de projectwijziging nog moest worden verworven. In afwachting daarvan is het werk voorloopig gestaakt. De rockfill was op dat oogenblik tot rivierbodemhoogte gevorderd, waarbij reeds een aanzienlijk deel van den daminhoud voltooid was. Alle steenaanvoer is geschied met groote trucks, welke 30 ton laadvermogen hebben en ook in Amerika zeer prijzig zijn ($ 14 000,— per stuk). Het gebruik wordt loonend door de hooge arbeidsloonen, welke op den San Gabriel dam minimum $ 4,— en gemiddeld $ 6,— per dag bedroegen.

Indien geen toestemming wordt verkregen voor projectwijziging, en mitsdien het werk definitief gestaakt wordt, zal aan den aannemer een aanzienlijk bedrag voor winstderving betaald moeten worden zonder dat het tot dusverre uitgevoerde werk eenige waarde krijgt. Men was dan ook van meening, dat bij werken,

welke een aanzienlijk technisch risico bevatten, het gebruik van de diensten van aannemers niet in het algemeen belang kan zijn, daar deze of het risico afwentelen op den opdrachtgever òf zich er dubbel en dwars voor laten betalen. Uitvoering in eigen beheer is dan veel goedkooper.

Pacoima dam.

Deze dam van het variable radius arch type was bij zijn voltooiing in 1927 met 400 ft. hoogte de hoogste ooit gebouwde dam.

Big Santa Anita dam.

Deze dam is van hetzelfde type als de vorige en 250 ft. hoog.

Big Dalton dam.

Deze dam was aanvankelijk ontworpen als multiple arch dam. Volgens W e g m a n n (8th ed. p 645) zou in plaats daarvan een rockfill-dam gebouwd zijn wegens onbevredigende draagkracht van den fundatiebodem. Dit is evenwel niet juist, de uitgevoerde dam is zooals aanvankelijk geprojecteerd als gewelfrijendam gebouwd, evenwel eerst, nadat aan het rockfill-project een begin van uitvoering was gegeven in den vorm van een betonmuur, welke op *foto 4* op den voorgrond zichtbaar is.

Devils Gate en Morris dam.

Deze dammen zijn van het conventioneele gewichtstype.

Puddingstone dam.

Dit is een aarden dam van 160 ft. grootste hoogte. Volgens W e g m a n n (8th ed. p. 647) is men met de uitvoering begonnen als semi-hydraulic-fill-dam. Na het door hem beschreven ongeval, dat overigens met de werkwijze niets uitstaande had, is klaarblijkelijk hiervan ten deele afgezien en het werk verder uitgevoerd als gewalste aarden dam met betonkern over een deel van de hoogte. De dam bestaat eigenlijk uit 3 afzonderlijke gedeelten.

De kleine dammen (Nos. 1 en 2) zijn geheel gewalst, de groote dam (No. 3) is gedeeltelijk gespoeld, overigens gewalst. Deze dam heeft op het waterzijdig talud een afdekking met betonplaten.

De Puddingstone Dam was bij zijn voltooiing in 1927 de hoogste gewalste aarden dam ter wereld (of op één na de hoogste, in verband met kleine verschillen in de opgegeven hoogten van dezen en den Swift dam).

De taludhelling aan de waterzijde is 1 : 2½ en 3½, aan de luchtzijde 1 : 2¼.

Op het oogenblik bestaat echter in Amerika onder druk van de openbare meening de neiging om flauwere taluds en tegelijkertijd een meer zorgvuldige uitvoeringswijze toe te passen.

Tabel 1.

Dam		Big Santa Anita	Big Dalton	Pudding-stone	Pacoima	Devils Gate	San Gabriel 1	San Gabriel 2
Type		Constant angle arch	Multiple arch	Earth-fill	Constant angle arch	Gravity arch	Rock-fill	Rock-fill
Height above streambed	ft.	225	146	138	365	100	300	260
„ „ foundation	ft.	230	171	159	372,4	140	—	—
Crest length	ft.	600	438	—	670	310	1 670	585
Width of Crest	ft.	8	5	35	10,4	—	30	18
Thickness of base	ft.	48	180	790	100	99	900	750
				at buttress				
Volume of excavation	cu. y.	74 875	83 513	41 200	97 000	—	1 856 000	437 200
„ „ dam	cu. y.	76 000	48 000	1 605 000	226 000	—	5 562 000	1 065 000
Freeboard:								
above highwater	ft.	3	3	7	5	4	—	—
„ spillway	ft.	12	8	12	65	—	—	—
Spillway length		—	68	140	—	120	—	—
„ capacity		1 666	2 580	7 500	—	—	—	25 000
Watershed	sq. mi.	10,80	4,31	33,48	27,86	—	203	40
Capacity of reservoir	acreft.	1 530	1 350	20 000	12 000	—	62 000	13 000
Area „ „	acres.	18,5	—	—	112	—	500	150
Estimated cost	$	1 2 08000	1 000 000	930 000	2 450 000	—	8 600 527*)	2 086 950

*) Contract price exclusive of materials cement & steel.

Dammen in de Coloradorivier.

Boulder dam.

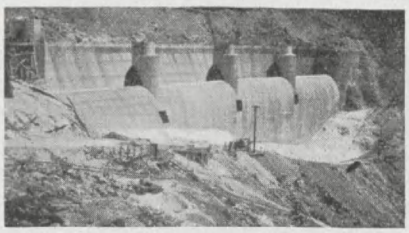
Een nadere beschrijving van deze grootsche schepping van de U. S. Reclamation Service moge in verband met de vele daarover verschenen publicaties achterwege blijven (zie *foto's 5, 6* en 7).

Bij mijn bezoek was de eigenlijke dam, ver vóór den geprojecteerden tijd, reeds voltooid. Het reservoir was voor 285 ft. gevuld, dus over ruim de halve hoogte, hetgeen overigens met slechts 4 van de uiteindelijke 30 millioen acreft. inhoud correspondeert.

Vermoedelijk zal de algeheele vulling meerdere jaren op zich laten wachten, terwijl de afvoeren dit jaar uitzonderlijk laag waren. De werkzaamheden aan krachtstation en overlaten hadden tengevolge van een staking slechts weinig voortgang. Sociaal is deze staking een merkwaardig verschijnsel, in aanmerking ne-

5.

6.



7.

Foto 5. Boulder Dam.
Foto 6. Idem, krachtwerk.
Foto 7. Idem, Nevada spillway.

mende dat het werk zijn voltooiing nadert, dat er in Amerika ca. 10 millioen werkloozen zijn, en dat de arbeidsvoorwaarden op het werk boven lof verheven zijn. Zoo bedroeg het minimum loon ca. $ 6, terwijl huisvesting e.d. voorbeeldig waren. O.m. worden de arbeidersbarakken kunstmatig gekoeld, een maatregel, die ook in treinen en hotels etc. in deze woestijnstreek thans algemeen wordt toegepast.

Parker dam.

Van een bezoek aan dezen — o.m. door zijn overmatige fundatiediepte van ca. 60 m beneden rivierbodem — merkwaardigen dam moest worden afgezien, omdat het werk wegens een typisch Amerikaansche reden gestaakt was. De staat Arizona, waarvan de Coloradorivier ter plaatse van den dam grensrivier is, en die reeds tevergeefs den bouw van den Boulder dam had aangevochten, heeft n.l. de grondwettigheid van de uitvoering van dit werk door het federale gouvernement betwist en in afwachting van de beslechting van het geschil door het hooggerechtshof tot staking der werkzaamheden gedwongen door het zenden van de gewapende macht. Men houdt in de Vereenigde Staten de fictie vol, dat de afzonderlijke Staten souverein zijn en slechts in enkele opzichten hun bevoegdheid door de federale constitutie hebben laten beperken. Verder kan iedere rechter de grondwettigheid van een willekeurigen wettelijken maatregel aanvechten, hetgeen dan weer aanleiding geeft tot een reeks processen in hoogere en hoogste instantie voor het geschil definitief is geregeld. Men meent in dit systeem den besten waarborg voor „liberty" te zien, en schijnt de schade aan het algemeen belang, die er veelal het gevolg van is, licht te tellen. Van een toenemende bevoegdheid en verantwoordelijkheid bij belangrijkere staatkundige colleges is geen sprake. Geen gemeente of provincie (county) kan een geldleening sluiten zonder voorafgaande toestemming van Koning Kiezer. Voor een goed begrip van hetgeen in Amerika tot stand komt, moet dan ook in het oog gehouden worden, dat altijd zeer sterk rekening gehouden moet worden met de publieke meening, ook waar het technische vraagstukken betreft. Instelling van een commissie van onderzoek, als de man in de straat meent, dat een werk niet deskundig wordt uitgevoerd, is niets bijzonders. In dit licht moet dan ook b.v. de „versterking" van den Mulholland Dam bij Los Angeles gezien worden.

Dammen bij Phoenix (Arizona).

(Salt River Project).

Het bevloeiingsgebied aan weerszijden van de Salt River, waarvan Phoenix het middelpunt vormt, is één van de eerste en meest succesvolle federale ondernemingen van deze soort, welke hun ontstaan te danken hebben aan Roosevelt's Reclamation Act. Het beslaat buiten de bevloeide stadsgebieden een oppervlak van 242 000 acres (98 000 ha) bouwland, terwijl bovendien ten deele voorzien wordt in de bevloeiing van 90 000 acres (36 400 ha) buiten het project gelegen land.

Watervoorziening. Deze heeft plaats uit de Salt River en de Verde River, terwijl bovendien ongeveer 170 pompstations aanwezig zijn, welke in staat stellen een belangrijk deel van het benoodigde bevloeiingswater aan het grondwater te onttrekken. Deze pompstations vervullen bovendien een belangrijke rol, doordat zij het grondwater op het gewenschte niveau houden en moerasvorming in de lage gedeelten van het bevloeiingsgebied voorkomen, zonder dat kostbare afwateringswerken noodig zijn.

De beide bovengenoemde rivieren hebben ieder een stroomgebied van ongeveer 6 000 sq. mi. (15 500 km^2) en vereenigen zich 4 mijl bovenstrooms van de prise d'eau, i.c. de Granite Reef Diversion Dam.

In de Salt River zijn 4 reservoirs gelegen, met name Roosevelt ($2020 \cdot 10^6$ m^3), Horse Mesa ($302 \cdot 10^6$ m^3), Mormon Flat ($78 \cdot 10^6$ m^3) en Stewart Mountain ($86 \cdot 10^6$ m^3) Reservoir. De hoogte en plaats van de drie laatstgenoemde dammen is zoodanig gekozen, dat een aaneensluitende reeks meren van 100 km lengte wordt verkregen met een gezamenlijke bergruimte van 2 660 millioen m^3. Zooals uit de opgegeven inhouden blijkt, wordt in de waterbehoefte voor irrigatie feitelijk door het Roosevelt reservoir voorzien. De waterverstrekking hiervoor heeft voornamelijk in den winter plaats. Teneinde de aanwezige waterkracht te kunnen benutten was de aanwezigheid van een tweede reservoir meer benedenstrooms noodig. Verder zijn er nog twee tusschen gelegen reservoirs, welke voor krachtopwekking dienen. Een daarvan is op kosten van de belanghebbende mijnindustrie gebouwd (in het nabij gelegen Globe wordt 40% van de Amerikaansche koperproductie gewonnen) en is met overloopwater van het Roosevelt reservoir ge-

vuld, welk water dus niet meer aan het reservoir onttrokken mag worden. Aan het einde van het bevloeiingsseizoen is de waterstand in het Roosevelt reservoir laag en de waterbehoefte van den landbouw gering. Voor de krachtopwekking is dus meer water noodig dan in het irrigatie gebied benoodigd wordt, welk meerder water dus na het passeeren van de beide waterkrachtreservoirs (Horse Mesa en Mormon Flat) weer in het Stewart Mountain Reservoir moet worden opgezameld. Buiten de 4 krachtstations bij deze dammen zijn er nog 4 andere, welke aanwezig verval in de bevloeiingsleidingen benutten. Het totaal vermogen bedraagt 115 000 pk; de calorische reserve is 60 000 pk.

In de Verde River zijn geen reservoirs gebouwd, zoodat debieten boven 4 000 cusecs (113 m^3/sec) onbenut wegloopen.

De lengte van hoofd- en secundaire leidingen bedraagt 1 325 mijl, waarvan slechts 30 mijl van een bekleeding is voorzien. Treffend is ook het primitieve karakter van de (meest houten) tertiaire verdeelwerken en inlaten, te meer daar voor het water betaald wordt naar de verstrekte hoeveelheid.

Geschiedenis van het project. Een groot deel van het bevloeiingsgebied werd in vóórhistorischen tijd in cultuur gebracht; talrijke overblijfselen van oude bevloeiingssystemen en dorpen zijn nog aanwezig.

De eerste irrigatie door blanken begon in 1867 en omstreeks 1900 was ongeveer 150 000 acre in cultuur gebracht, belangrijk meer dan zonder reservoirs mogelijk geacht moest worden. In 1904 werd een contract gesloten met de U. S. Reclamation Service voor den bouw van den Roosevelt Dam. Deze werd in 1906 begonnen en in 1911 voltooid. Ook de verdere werken werden van Gouvernementswege uitgevoerd. In 1917 werd het project in exploitatie overgedragen aan de Salt River Valley Water User's Association, een lichaam van publiekrechtelijk karakter (waterschap). Tusschen 1922 en 1930 werd de waterberging door vergrooting van het Roosevelt reservoir en bouw van de drie andere dammen met 650 000 acre ft. (803 000 000 m^3) vergroot; het waterkracht-vermogen steeg daarbij met 85 000 pk. Na 1917 zijn verder tot stand gekomen:

de electrificatie van het bevloeiingsgebied;
het systeem van irrigatie- en drainagepompen;
werken voor bandjir-bescherming etc.

In het geheel is in dit project $ 31 000 000 belegd; voor irrigatie- en waterkracht elk ongeveer evenveel. De grondprijzen waren vóór 1930 ongeveer $ 150 tot $ 300 per acre, enkele bijzonder geschikte stukken $ 400 en meer. Nu zijn de prijzen ongeveer een derde lager (in goud uitgedrukt dus feitelijk 60%).

Klimaat en gewassen. Het klimaat is semitropisch; gemiddelde hoogte boven zee 1 200 ft. (360 m); gemiddelde regenval (40 jaar) is 7,5″ of 190 mm. De zomers zijn zeer droog en warm (tot 120° F.), welke laatste factor het bezoek niet veraangenaamde. De meeste gewassen worden in den winter geteeld, n.l. 80% van het oppervlak. Van vorst wordt niet veel last ondervonden.

De belangrijkste gewassen zijn achtereenvolgens katoen, alfalfa (voor veevoer) en graan. Verder groenten en vruchten. Ook is er een belangrijke melkveeteelt.

Binnen het bevloeiingsgebied wordt een bevolking van 150 000 zielen aangetroffen, waarvan de helft in Phoenix en ongeveer 55 000 op het platteland wonen.

S. R. V. W. U. A. De Salt River Valley Water Users" Association is een *corporatie,* georganiseerd in 1903 volgens de wetten van den staat Arizona.

Het aantal leden bedroeg in 1935 ca. 15 000, waarvan ongeveer de helft eigenaars van kleine stukken grond, de andere helft bezitters van 2 tot 160 acres (1 à 65 ha).

Doel van de corporatie was gebruik te maken van de mogelijkheden geschapen door de Reclamation Act van 1902. De Association heeft de wettelijke bevoegdheid tot het aangaan van een eerste hypothekaire leening op het grondbezit van zijn leden en kon op grond daarvan in 1904 een contract sluiten met het gouvernement van de Vereenigde Staten, waarbij het laatste zich verbond de benoodigde waterwerken aan te leggen, terwijl de kosten op langen termijn door de Association zouden worden terugbetaald.

Bij de overdracht in 1917 bedroeg het nog niet afbetaalde deel van de aanlegkosten $ 10 000 000 waarvan sindsdien $ 7 000 000.— is afgelost.

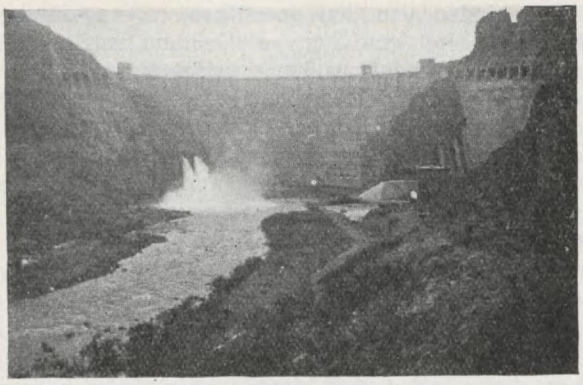
Onderhoudswerk. Hiervoor werd gebruik gemaakt van mobiele onderhoudsploegen. Deze centraliseering is mogelijk door gebruik van automobielen en doordat het dirigeeren van de ploeg naar een bepaald punt in het bevloeiingsgebied zeer eenvoudig is; heel Amerika is, niet alleen in de steden, maar ook op het platteland volgens het bekende dambordsysteem verdeeld. Erfscheidingen, secundaire wegen, kleine irrigatie-leidingen volgen alle de oorspronkelijk voor landmeetkundige doeleinden ingestelde verdeellijnen. Alleen spoor- en hoofdwegen, hoofdkanalen e.d. worden in overeenstemming met de tranches getraceerd. Bij elke wegkruising worden in dit gebied de coördinaten van dat punt t.o.v. Gila & Salt River Meridian en Gila & Salt River Base Line vermeld, zoodat men deze slechts hoeft op te geven om de onderhoudsploeg zonder moeite het punt te laten vinden, waar zijn aanwezigheid noodig is.

Voor het ruwe werk wordt veel gebruik gemaakt van de diensten van Indianen en Mexicanen, die veel goedkooper zijn dan Amerikaansche arbeiders ($ 1,20 dagloon).

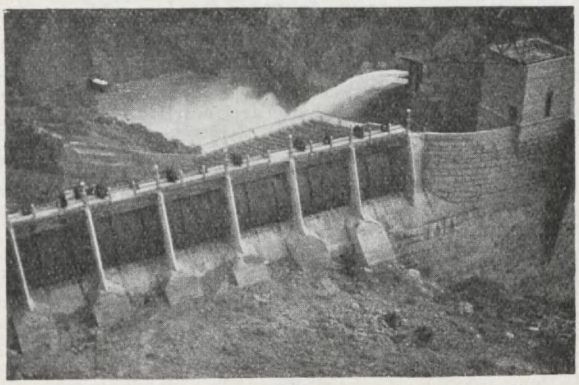
De debietmeting geschiedt met verschillende soorten eenvoudige meetschotten, zoowel met volkomen als met onvolkomen overval; het debiet wordt n.l. bepaald met behulp van het instrument van Peirce-Clausen, dat de waterdiepte op het meetschot en de stroomsnelheid (Pitot-buis) meet; de breedte van het meetschot moet natuurlijk bekend zijn.

Beschrijving der bezichtigde dammen.

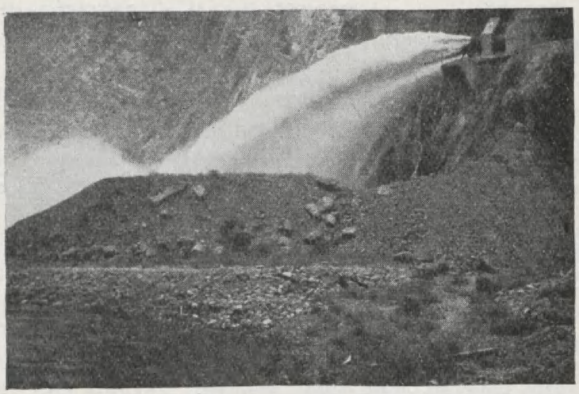
Het voornaamste reservoir wordt als gezegd gevormd door den Roosevelt dam, zie *foto 8.* Dit is een dam van het gewichts-type, met een gebogen as en een kruinslengte van 1 125 ft. De grootste hoogte



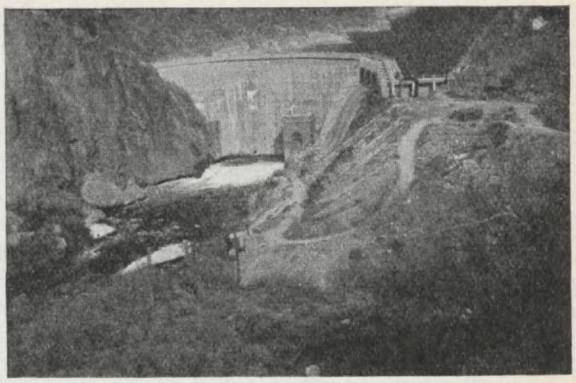
8.



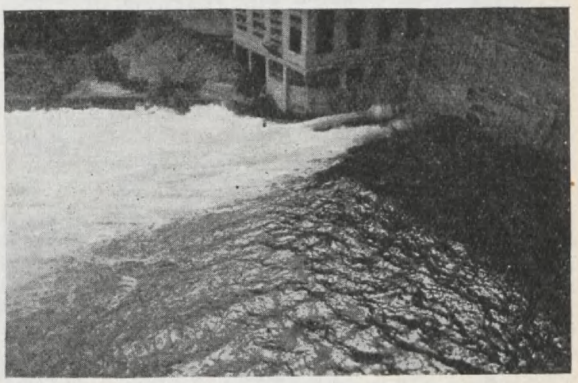
9.



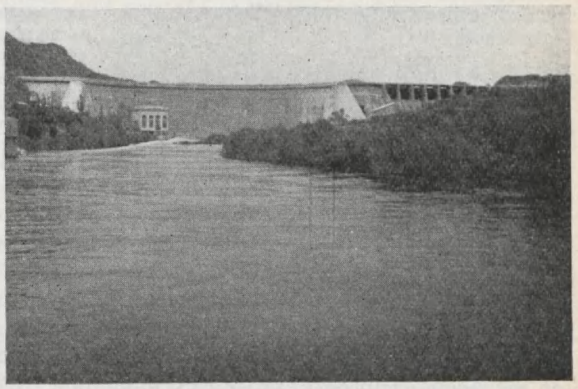
10.



11.



12.



13.

Foto 8. Roosevelt dam.
Foto 9. Idem, overlaat.
Foto 10. Idem, aftapping.

Foto 11. Mormon Flat dam.
Foto 12. Stewart Mountain dam.
Foto 13. Idem.

bedraagt 284 ft. In tegenstelling met de latere dammen, die van beton zijn, is de Roosevelt dam gebouwd van breuksteenmetselwerk De bouwtijd bedroeg 5 jaar (1906—1911); in 1923 werd de reservoirinhoud vergroot door het aanbrengen van een beweegbare waterkeering (segmentschuiven) op de beide overlaten. Een andere wijziging van recenten datum betreft de aftapmiddelen. Men heeft n.l. aan het eind van de bedrijfsaftappingen butterfly-gates (tolkleppen) aangebracht. Men schijnt er tegenwoordig geen bezwaar in te zien om dit type van klep te gebruiken als regelafsluiter, indien slechts het afgetapte debiet onmiddellijk daarna een vrije straal kan vormen. Niettemin gaf de met de exploitatie belaste ingenieur te kennen, het debiet bij voorkeur te regelen door verandering in het aantal op volle kracht werkende aftapbuizen. Op de *foto's 9* en *10* is duidelijk te zien, dat met butterfly-gates niet zoo'n fraaie gladde straal wordt verkregen als bij een needle-valve, ondanks dat in dit geval de klep geheel geopend was.

Horse Mesa en Mormon Flat dam.

Beide zijn van het „variable radius arch" type. De hoogte bedraagt resp. 305 en 229 ft. De overlaten zijn van het zelfde type als bij den Roosevelt dam. Voor kort is twijfel gerezen, of de overlaat in den Horse Mesa dam wel voldoende capaciteit heeft in verband met de ongunstige toestrooming naar de segmentschuiven, waarvan de as een scherpen hoek vormt met de as van het voorkanaal. Deze vrees werd door een modelproef in het laboratorium van de Reclamation Service in Denver bevestigd. Verdere bezwaren tegen den bestaanden toestand zijn, dat het aan den damvoet gelegen krachtstation hinder ondervindt van

stuifwater van den rechteroverlaat, terwijl het over den linkeroverlaat stroomende water den toegang tot deze centrale afsnijdt. Tot een beslissing inzake de vereischte kostbare verbouwing was men bij mijn bezoek in Denver nog niet gekomen.

Foto 11 geeft een gezicht op den Mormon Flat dam.

Stewart Mountain dam.

Deze is eveneens van het variable radius arch type, maar wegens het ontbreken van een zoo geschikte damsituatie als bij de beide vorige dammen rusten de beide einden van den gewelfboog tegen „landhoofden" van het gewichtstype. De dam is 212 ft. hoog. Bij het werken van den overlaat zijn door het ontbreken van een bekleed afvoerkanaal vrij omvangrijke uitspoelingen opgetreden. Het gevolg daarvan is een verhooging van den rivierbodem benedendams geweest, waardoor de uitmondingen van de bedrijfsaftappingen gedeeltelijk onder water zijn gekomen. Niettemin werken deze needle-valves ook bij klein debiet zeer rustig (zie ook de *foto's 12* en *13*).

Tabel 2.

Dam		Roosevelt	Horse Mesa	Mormon Flat	Stewart Mountain
Bouwjaar		1906—1911	1924—1927	1923—1925	1928—1930
Type		gravity arched rubble	variable radius arch concrete	variable radius arch concrete	variable radius arch & gravity concrete
Lengte	ft.	1 125	784	623	1 260
Overlaat	ft.	402	264	263	400
Hoogte	ft.	284	305	229	212
Dikte	ft.	184	57	20	—
Kruinsbreedte	ft.	16	8	8	—
Reservoir					
Capaciteit	acreft.	1 637 300	245 000	63 200	70 000
Oppervlak	acres	18 300	2 600	1 000	1 300
Stroomgebied	sq.mi.	5 760	110	160	100
Overlaat capaciteit	sec.ft.	150 000	150 000	150 000	150 000
Waterkracht	hp.	24 000	43 000	10 000	17 500
Id. verval	ft.	112–228	266	147	116
Daminhoud	cu.y.	343 000	147 000	43 000	122 000
Zeehoogte (damkruin)	ft.	2 146	1 920	1 671	1 535
Kosten	$	5 442 000 (1927)	4 237 000 (1927)	1 559 000 (1927)	2 515 000 (1930)

Steel Faced dams.

Ik had in Denver het genoegen Col. Herbert S. Crocker te ontmoeten, past-pres A. S. C. E. en consulting engineer, die een sterk voorstander is van het gebruik van staal voor afdichting van dammen i.p.v. de veelal toegepaste betonslabbe. Voorbeelden van toepassing zijn de Penrose-Rosemont dam, 100 ft. hoog, in Colorado Springs (Colo), voltooid in 1932 en de El Vado Dam, 170 ft. hoog, in het Middele Rio Grande Conservancy District (New Mexico). Een tweetal andere dammen worden thans door de American Bridge Company (Columbia Steel Cy) te San Francisco uitgevoerd.

Col. Crocker deelde mij mede, dat bij den El Vado dam last is ondervonden van uitplooien van de staalplaat in verticalen zin, onder invloed van temperatuurswisselingen. Men zal dus behalve uitzetvoegen, die horizontale uitzetting mogelijk maken, ook moeten rekenen op het aanbrengen van verstijvingsribben loodrecht op de damas. Bij den tegenwoordigen stand van de laschtechniek is plaatselijk doorroesten makkelijk te verhelpen door opzetten van een lap. Niettemin is aan het succes van dit systeem van afdichting, het droge, het roesten niet bevorderende woestijnklimaat waarschijnlijk niet vreemd. Voor een vochtig warm tropisch klimaat durfde ook Col. Crocker het gebruik van staal niet direct aan te bevelen. N.m.m. ware het gebruik van koperstaal of een andere roestbestendige staalsoort te overwegen.

Dammen bij Denver (Colorado).

Hier werden een viertal dammen bezichtigd, en wel de Castlewood Dam, het Platte Cañon Reservoir, het Marston Reservoir en de Cherry Creek Flood Control Dam (Kenwood Dam).

De Castlewooddam.

Deze dam werd in 1890 gebouwd voor bevloeiingsdoeleinden. Het is een typisch voorbeeld, hoe een werk, dat uitgevoerd is onder negatie van de meest elementaire eischen van behoorlijk ontwerp en goede uitvoering, niettemin tientallen jaren bevredigende diensten kan bewijzen tot plotseling een samenloop van omstandigheden een krachtproef ten gevolge heeft, die een eind aan zijn bestaan maakt.

De Castlewood Dam is door een weinig kapitaalkrachtige boerengemeenschap uitgevoerd als gemetselde dam van het gewone, in doorsnede driehoekige type. Teneinde echter op de kosten te besparen is een driehoekige kern van steenstapeling (Trocken Mauer, dry masonry) gemaakt, zoodat slechts de buitenzijden van het metselwerk een mortelvulling in de voegen hebben. De dam is bijna niet ingekast in den uit verweerden zandsteen bestaanden en weinig gunstigen fundatiebodem. De dam was ongeveer 60 ft. hoog, had een kruinsbreedte van 8 ft. en een lengte van 600 ft. Een overlaat ter lengte van 100 ft. was op den dam aangebracht. De veiligheid van het werk werd

al spoedig na den bouw betwijfeld, o.m. wegens tweemaal dreigende onderloopschheid (blow-out), zoodat in 1899 overgegaan werd tot het aanbrengen van een aarden aanvulling aan de bovenstroomsche zijde van den dam, onder talud van de kruin van den gemetselden dam naar den rivierbodem.

Deze toestand bleef bestaan tot 3 Augustus 1933 toen, tengevolge van hoogen regenval in het 165 sq. mi. (427 km^2) groote stroomgebied, de waterstand in het reservoir steeg tot 5 ft. boven den overlaat. Vermoedelijk is hierdoor de dam ontgrond en daarna doorgebroken. Het damgedeelte op den linkeroever is blijven staan. Ter plaatse van de doorbraak is de rivierbodem meerdere meters diep beneden de oude damfundeering uitgeschuurd. De reservoirinhoud, welke bij volpeil 3 434 acreft (4 225 000 m^3) bedroeg was bij de doorbraak ongeveer 6 000 acreft (7 400 000 m^3).

Het maximum debiet, dat in Denver geconstateerd werd, bedroeg 16 000 cusecs (485 m^3/sec). De aangerichte schade was groot, over tal van km benedendams was het dal volkomen schoongeveegd en nog in 1935 van alle vegetatie ontdaan. Voor herstelling van den dam, welke op een typografisch zeer gunstig punt gelegen was, en waarvan een aantal boerenbedrijven afhankelijk was, ontbreken den betrokkenen de middelen.

Platte Cañon en Marston reservoir.

Beide reservoirs met resp. 1 120 000 en 24 400 000 m^3 inhoud zijn gevormd door aarden dammen en dienen voor de drinkwatervoorziening van Denver. Een eigen stroomgebied ontbreekt. Bij beide dammen is onderloopschheid opgetreden, welke door cementinjecties tot ongevaarlijke proporties teruggebracht is.

Cherry Creek dam.

Deze dam is gelegen ten Zuid-Oosten van Denver op geringen afstand (6 mijl) van de stad.

De Cherry Creek, gewoonlijk een onbeteekenend riviertje, kan soms zeer groote debieten afvoeren en heeft nog dit jaar bij zijn loop door de stad veel schade aangericht. De grootste bekende afvoer is 15 000 cusecs (425 m^3/sec), terwijl bij het ontwerp van den dam gerekend is op 17 000 cusecs, zonder dat de retentie in rekening gebracht is. Teneinde herhaling te voorkomen werd tot bouw van een reservoir besloten. De Cherry Creek dam munt niet uit door bijzondere grootte, doch is interessant als voor Amerikaansche bouwpractijk typeerend voorbeeld; de lengte van den dam is 3 600 ft. (1 100 m), de grootste hoogte 49 ft. (ca. 15 m), terwijl de daminhoud 687 170 cu.y. (525 000 m^3) bedraagt. Hoewel het werk valt onder de bepalingen van de Federal Emergency Administration of Public Works, dus als werkverschaffing bedoeld is, in verband waarmee maximum werktijden (30 uur per week) en minimum loonen [1]) zijn voorgeschreven, treft de ver doorgevoerde mechaniseering der werkzaamheden. Economisch liggen de redenen voor de hand. Arbeidsmachines zijn in de U. S. A. veel goedkooper dan bij ons; voor vrachtauto's is het prijsverschil ongeveer 50% van de bij ons in Indië geldende prijzen, en voor andere machines is het verschil wellicht nog grooter; daarentegen is handenarbeid veel duurder. Per man-uur gerekend betalen wij ongeveer 1/40 of 1/50 van de Amerikaansche loonen.

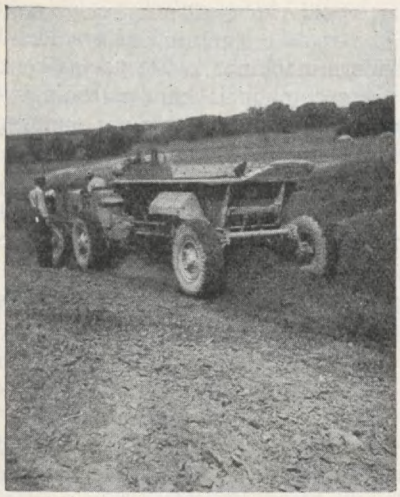
Zelfs al stelt men de prestatie van den Amerikaanschen werkman op het 2- of 3-voud van een Inlander, dan is de verhouding voor mechaniseering van den arbeid in Indië nog ongeveer 30 × zoo ongunstig.

Voor de bedrijfskosten geldt n.l. dezelfde toestand als voor de aanschaffingskosten. De op de Cherry Creek Dam gebruikte bulldozer gebruikt 5½ gallon benzine per uur, d.i. meer dan 20 liter. In Amerika zijn de benzineprijzen laag, in het algemeen 4 tot 8 cent (Ned.) per liter incl. accijns. Terwijl dus de brandstof voor een bulldozer in Amerika ongeveer evenveel kost als het uurloon van één tot twee werklieden is bij ons de toestand zoo, dat dit werktuig evenveel aan benzine kost als een macht van 250 koelies aan loon. Dit ligt ten deele aan den exhorbitanten benzineaccijns, maar ook aan de merkwaardige prijspolitiek der oliemaatschappijen, die de in Ned.-Indië gewonnen olie goedkooper aan de markt brengen naar mate zij verder van de bron (en dichter bij den concurrent) zijn. Ook bij een meer normalen benzineprijs (in Noord-Europa betaalt men vrijwel overal 10 à 12 cent per liter, dus de helft van den Indischen prijs) zouden de bedrijfskosten voor onze verhoudingen prohibitief zijn.

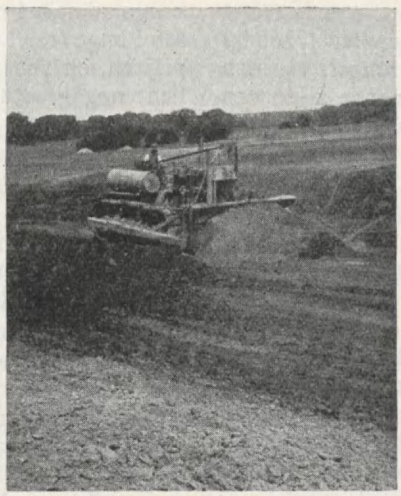
Het probleem heeft ook een socialen kant, Amerika produceert zelf zijn werktuigen, zoodat het gebruik daarvan in laatste instantie voor de werkloosheid niet van belang is, doch zuiver een vraag van efficiency is. Machines zijn als het ware gecondenseerde arbeidskracht. Het zoeken naar de meest doelmatige werkwijze, welke i.c. in totaal de minste arbeidskracht vordert, kan uit een oogpunt van werkverschaffingspolitiek moeilijk bestreden worden, waar het niet aangaat een minder doelmatige werkwijze te volgen alleen om meer menschen aan het werk te zetten. Dit zou een verwisseling van doelstelling en middel zijn. Bij ons is de oplossing van de vraag minder eenvoudig, omdat machines gecondenseerde arbeidskracht van buitenlanders vormen en het niet onverschillig is of onze werkverschaffing aan eigen onderdanen of aan anderen ten goede komt. Hier zou dus aan minder economische werkwijzen op sociale gronden de voorkeur gegeven kunnen worden. Zooals uit het voorgaande blijkt, zijn de verhoudingen bij ons voor gemechaniseerde werkwijzen echter weinig gunstig, zoodat verwacht mag worden, dat overname van Amerikaansche werkmethoden voorloopig in Indië wel uitgesloten zal zijn. De vraag zal evenwel onder het oog gezien moeten worden, in hoeverre het mogelijk is, de met machines berijkbare resultaten te benaderen. Men stelt n.l. aan de kwaliteit van het werk bij aarden dammen in Amerika steeds hoogere eischen, welke met andere middelen wellicht niet te verwezenlijken zijn, afgezien daarvan, dat in bepaalde gevallen tot gemechaniseerde werkwijzen, als b.v. spoelen, overgegaan *moet* worden.

Voor den Cherry Creek Dam werd een kleiige grondsoort gebruikt, waarvan 83% door de 200-mazen zeef

1) In dit geval voor:
unskilled labour $ 0,62^5 per uur.
semi-skilled labour $ 0,80 per uur.
skilled labour $ 1,25 per uur.

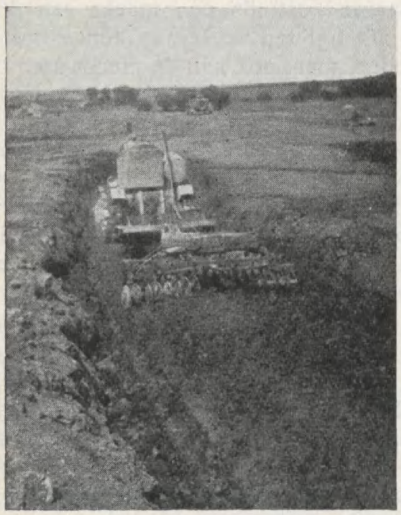


14.



15.

16.



17.

18.

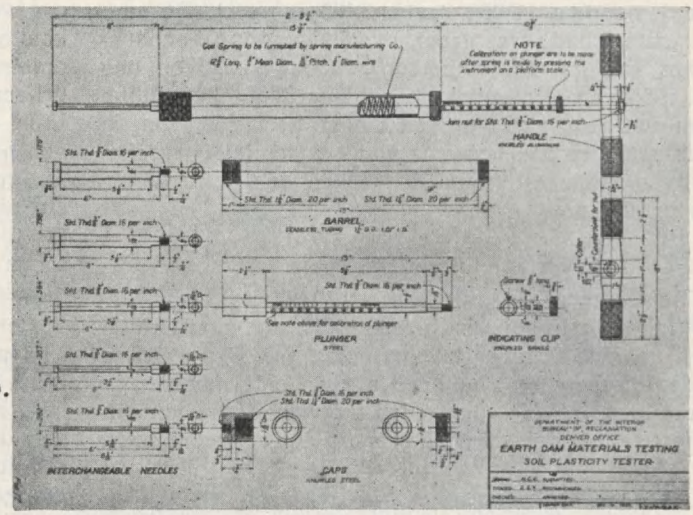


Foto 14. Onderlosser *Foto 15. Bulldozer.* *Foto 16. Roadgrader.*
Foto 17. Dix-cultivator *Foto 18. Soil plasticity tester.*

ging. Het natuurlijke watergehalte was zeer gering, wat in een sterke stofplaag tot uiting kwam. Het materiaal werd in groote vrachtauto's met onderlosinrichtingen aangevoerd (zie *foto 14*). Het werd daarna met een zoogenaamde bulldozer (*foto 15*) uitgespreid in dunne lagen (4 à 6″). Hiervoor werd in de kerninkassing van den dam ook een roadgrader (*foto 16*) gebruikt. Toevoeging van water en contrôle van de verdichting geschiedden overeenkomstig de theorie van Proctor, waarover later nader. Walsen was vrijwel niet noodig. Het veelvuldig berijden met zwaar materiaal bracht de vereischte verdichting grootendeels reeds tot stand. Alvorens een nieuwe laag op te brengen werd het bovenvlak van de oude laag ruw gemaakt door een tractor, die een gewone gladde wals en een disc-cultivator (schijfeg) trok, zie *foto 17*. Bij gebruik van een stugger meer grind bevattend dammateriaal (grind was hier niet aanwezig) wordt de grondverdichting verkregen met walsen, welke met noppen bezet zijn (sheepsfootrollers). Door opvoeren van het gewicht tot 10 ton (San Gabriel 1) kan men zelfs rotspuin tot een waterdichte massa ineenwalsen. De hier beschreven werkwijze wordt thans in Amerika algemeen toegepast. Decauvillespoor is onbekend, zonder dat men mij daarvoor steekhoudende argumenten kon mededeelen. Ook gebruikt men algemeen door tractors getrokken walsen i.p.v. stoomwalsen, welke verschillende nadeelen hebben (meer bediening, brandstof en voedingwater niet zoo makkelijk verkrijgbaar als benzine, en meer kans op blijven steken).

Grondverdichting en bouwcontrôle volgens Proctor.

Grondverdichting. De door R. R. Proctor in *Engineering News Record* van 31 Augustus en 7 — 21 en 28 September 1933 ontvouwde inzichten zijn thans in Amerika algemeen aanvaard en worden b.v. ook door de U. S. Reclamation Service toegepast. Een korte samenvatting is daarom op zijn plaats.

Allereerst heeft Proctor gewezen op den samenhang tusschen de met een bepaalde hoeveelheid arbeid bereikbare verdichting van den grond en het vochtgehalte. Daaruit volgt direct, dat het van belang is om den grond te verwerken met *dat* vochtgehalte,

waarbij van de voorgenomen hoeveelheid wals- of stamparbeid het meeste resultaat — d.w.z. de sterkste verdichting — te verwachten is. Hoe zwaarder men walst, hoe lager dit voordeeligste vochtgehalte ligt. Een zoo sterk mogelijke verdichting van het dammateriaal is om verschillende redenen van belang:

1e. minder zetting van den dam;
2e. grooter waterdichtheid;
3e. minder neiging tot verweeken, bij verzadiging met water, aangezien het poriënvolume kleiner is en dus niet zooveel water opgenomen kan worden.

Proctor neemt daarbij aan, dat bij verzadiging met water geen zwellen van den grond optreedt. Met de verdichting zou men dan de later mogelijke wateropname en daardoor de neiging tot afschuiven kunnen controleeren. Het komt mij voor, dat deze conclusie uit zijn proefmateriaal op zijn minst voorbarig is en vermoedelijk niet houdbaar. Onze beruchte schuifkleien zwellen wel degelijk bij verzadiging met water! Toch zal een invloed van sterke verdichting op de later mogelijke wateropname wel aanwezig zijn. De practische waarde van de verdichtingscontrôle is onbetwijfelbaar. Proctor toonde proefondervindelijk aan, dat elk van de onderzochte 200 grondmonsters bij aanwending van een constante hoeveelheid verdichtingsarbeid een maximum resultaat aanwees bij één enkel vochtgehalte. Men kan het s.g. van grond zonder water als functie van het vochtgehalte grafisch weergeven, den verdichtingsarbeid in alle gevallen constant nemende. Er is dan een duidelijk maximum, terwijl aan weerskanten daarvan telkens twee punten van de curve op gelijke hoogte liggen. Een te droge grondsoort laat zich door stampen verdichten tot hetzelfde soortelijk gewicht, dat bij bepaald (te hoog) vochtgehalte met evenveel werk bereikbaar is. Daar het poriëngehalte gelijk is, zal in beide gevallen bij verzadiging met water een even sterke verweeking plaats hebben, alhoewel in het eerste geval de grond veel minder plastisch was dan in het tweede. Anderzijds laat een, een *weinig te natte* grond zich tot een lager poriëngehalte ineenpersen als bij dezelfde bewerking bij *veel te laag* vochtgehalte mogelijk is, terwijl in dat laatste geval het resultaat schijnbaar beter is, omdat de grond minder plastisch is en de dam dus veel harder gewalst lijkt.

Men dient, en dit is een zeer belangrijke conclusie, het resultaat van de grondbewerking niet te beoordeelen naar de plasticiteit van den grond maar naar het poriëngehalte.

De meeste grondsoorten schijnen niet te zwellen bij wateropname. Door verdichting bij het gunstigste vochtgehalte kan men dan de later mogelijke vochtopname aanzienlijk beperken en daardoor een zeer gunstigen invloed uitoefenen op de mogelijke verweeking.

Een toepassing van het bovenstaande in Indië zal nog op menige moeilijkheid stuiten. Alles gaat goed zoolang de grond van nature te droog is, zoodat voor het bereiken van het gunstigste resultaat water toegevoegd moet worden. Wat nu als de grond te nat is, zooals bij ons wel dikwijls zal voorkomen?

Een andere moeilijkheid is de genoegzame verdichting van den grond, in Amerika het gezamenlijk resultaat van berijden met zware vrachtauto's, rupstractors en zware walsen met noppen. De beide eerste groepen vallen bij ons uit om economische redenen en sheepsfootrollers zullen wij wel niet kunnen gebruiken wegens te sterk aangroeien. Zelfs vlakke walsen geven daarmee al last. Ik geloof trouwens niet dat de gewone stoomwals zich leent voor ombouw met „schaapspooten". De eenige oplossing is dan dat wij minder hooge eischen stellen aan de grondverdichting.

Bouwcontrôle. Zooals uit het voorgaande blijkt, dient voortdurend op het werk gecontroleerd te worden, hoe groot het vochtgehalte en het ruimtegewicht van den gewalsten grond is, het eerste teneinde na te gaan, of de grond werkelijk met het meest gewenschte vochtgehalte verwerkt wordt, en het laatste ter contrôle, of met het vastgestelde aantal walsgangen de bedoelde grondverdichting inderdaad bereikt is. De bepaling van het vochtgehalte geschiedt door indampen bij 250°F. van een monster van bekend gewicht. Het ruimtegewicht van den verdichten grond wordt bepaald door in den dam een gat te graven van 8″ (20,3 cm) diameter en 12″ (30,5 cm) diepte, en den uitgegraven grond te wegen; bovendien wordt het volume van het gat nog gecontroleerd door vullen met los droog zand van bekend volumegewicht.

Aangezien deze methode voor een veelvuldige contrôle niet geëigend is, beperkt men zich voor de normale doorloopende contrôle tot de bepaling van vochtgehalte en plasticiteit. De plasticiteit hangt af van vochtgehalte en verdichting, en wordt gemeten met een zgn. plasticity-needle, een stang met verdichten kop en 0,1□″ eindoppervlak (0,65 cm²), welke met een snelheid van ½″ per seconde in den grond wordt gedrukt. De indringingsweerstand in lbs. per sq. inch is maat voor de plasticiteit. In wezen is deze proef dezelfde als de in het laboratorium te Semarang gebruikte met den Zweedschen valkegel, echter voor de bouwpractijk zeker meer geëigend. Het is derhalve gewenscht een exemplaar (eventueel meerdere) overeenkomstig bijgaande werkteekening (*foto 18*) te doen vervaardigen.

De dichtheid van den grond dient ook bepaald te worden bij metingen van de doorlaatbaarheid in het laboratorium. De plasticity-needle kan daar evenzeer dienst doen. Het toestel in Semarang voor de meting van de doorlaatbaarheid en samendrukbaarheid van grond kan, wanneer het aantal onderzoekingen grooter wordt dan thans, worden aangevuld met een serie apparaten van het type Proctor, welke ook door de U. S. Reclamation Service in Denver worden gebruikt en inderdaad zeer handig zijn.

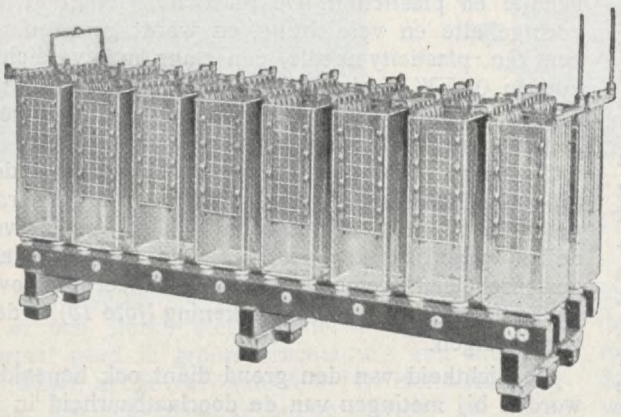
Volgens Proctor zou een grondsoort, die na verdichting en opvolgende verzadiging met water een indringingsweerstand van meer dan 300 lbs. heeft voor gebruik in een dam met de gebruikelijke taludhellingen geschikt zijn. De proef met de plasticity-needle zou dus de plaats kunnen innemen van de meting van den schuifweerstand. Het komt mij voor, dat de toepasbaarheid van dit overigens zeer handige werktuig hiermee overschat wordt. Het is voor de standzekerheid van den dam in het geheel niet onverschil-

lig, of de hooge indringingsweerstand is ontstaan uit een hooge wrijvingscoëfficiënt of een hooge cohaesie. De mogelijke taludhelling hangt bovendien nog af van de damhoogte en s.g. van den grond. N.m.m. geeft de methode van Proctor dus alleen aan, hoe een bepaalde grondsoort met de minste kosten tot de meeste bruikbaarheid verwerkt kan worden (dit is trouwens al belangrijk genoeg); taludhelling en stabiliteitsberekening is een tweede probleem. Proctor was van meening, dat een verder onderzoek overbodig is, o.m. omdat de openbare meening zich toch zou verzetten tegen de dan vermoedelijk mogelijk blijkende stijlere taluds, en omdat hij klaarblijkelijk vasthoudt aan het denkbeeld, dat de indringingsweerstand een maat is voor de stabiliteit. Ook zijn inzicht, dat de ontegenzeggelijk bij goede grondbewerking bereikbare waterdichtheid van het damlichaam een drainage aan den teen overbodig maakt, kan ik niet deelen. Zijn vrees voor te sterke verkorting van de weglengte onder den dam door het aanbrengen van een drain, iets waartegen uiteraard gewaakt moet worden, is trouwens met het eerste argument in strijd. Gevaar voor onderloopschheid ontstaat niet door te korte weglengte, maar door te groote uittreesnelheid, en juist deze laatste wordt door een goede drainage tot ongevaarlijke proporties teruggebracht.

Laboratoria.

Zooals terloops vermeld is, bezocht ik het waterloopkundig laboratorium in de Reclamation Service te Denver, evenals het laboratorium van de Californische Universiteit in Los Angeles. De inrichting kwam overeen met de elders gebruikelijke. Daar de behandelde problemen veelal overeenkomen met die, welke zich bij ons voordoen, zou het gewenscht zijn in meerdere mate dan tot dusverre is geschied, kennis te nemen van de in Amerika verrichte onderzoekingen. Een abonnement op „Current hydraulic laboratory research in the U. S.", uitgave van het U. S. Department of Commerce, Washington D. C., zou daarom voor de Indische bibliotheken aan te bevelen zijn.

Het laboratorium voor grondonderzoek van de Reclamation Service in Denver hield zich op met de bepaling van schuifweerstand, doorlaatbaarheid, consolidatie en verdichting, s.g. en korrelanalyse. Voor de meting van den schuifweerstand waren eenige apparaten aanwezig, waarbij één zeer groot (schuifvlak 30 × 30 cm); de opgedane ervaringen liepen parallel met die bij ons. Voor de doorlaatbaarheids- en verdichtingsmetingen werden de toestellen van Proctor gebezigd. De korrelanalyse geschiedde op de gebruikelijke wijze met zeven en met een hydrometer (Bouyoucos). Het deed mij genoegen te vernemen, dat men de bepaling van de Atterberg'sche cijfers had gestaakt, wegens het ontbreken van aantoonbare beteekenis.



Wist U ....

Dat in Mendalan (Oost-Java) een A.F.A. STATIONNAIRE BATTERIJ staat, die sedert 1927 onafgebroken in bedrijf is en wekelijks driemaal wordt geladen?

Dat van deze batterij nog geen platen werden vernieuwd en Dat dit ook in 1936 nog niet noodig zal zijn?

Dat dit voor een **A.F.A. STATIONNAIRE BATTERIJ *NORMAAL*** is en Dat daarom de A. F. A. BATTERIJEN in het gebruik het meest economisch zijn?

ALLEEN-VERTEGENWOORDIGSTER
N. T. M. „RADIO-HOLLAND" N.V.
TANDJONG PRIOK

Eigen kantoren te
WELTEVREDEN - SOERABAIA - BANDOENG