6e JAARGANG
NUMMER 3

MAART
1939

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. W. Holleman,
ir. F. M. Ch. Berkhout.

Commissie van Redactie:
Voorzitter: prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh;
Leden: ir. G. Meesters,
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: Nauwkeurige berekening van de plooispanning van hoekstalen, zoowel voor het elastische als voor het plastische gebied, door prof. ir. P. P. Bijlaard. — Berekening van de knikspanning van gekoppelde profielen volgens een nieuwe methode, door prof. ir. P. P. Bijlaard. — De hodografische afbeelding als hulpmiddel bij de oplossing van het phreatisch randwaardeprobleem, door prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh (slot). — *Berichten van allerlei aard. — Ontvangen geschriften. — Boekbespreking. — Personalia. — Koninklijk Instituut van Ingenieurs:* Bestuursmededeelingen.

Nauwkeurige berekening van de plooispanning van hoekstalen, zoowel voor het elastische als voor het plastische gebied

door

prof. ir. P. P. BIJLAARD.

1. Inleiding.

Bij hoekstalen (*fig. 1*) zal bij een voldoend groote verhouding b/h een uitplooien van de flenzen mogelijk zijn, alvorens het profiel als geheel uitknikt [1]). Vooral bij dunwandige profielen, zooals bijv. in den vliegtuigbouw gebruikt worden, zal een bezwijken door plooien maatgevend kunnen zijn.

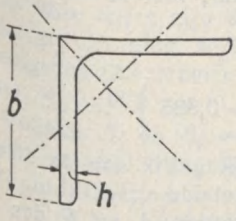


Fig. 1.

Zooals in mijn vorig artikel [2]) in het kort werd vermeld, kan volgens mijn theorie voor het plastische plooien van platen nu ook de plooispanning in het plastische gebied, dus voor boven de elasticiteitsgrens gelegen plooispanningen, op juiste wijze bekend worden, hetgeen hieronder gedaan zal worden.

Hierbij wordt er dan tevens mee rekening gehouden dat in werkelijkheid de lijn $A...A$ bij het plooien niet geheel recht zal blijven, zoodat men, door daar, zooals gebruikelijk [1]), $w = 0$ te denken, iets te hooge plooispanningen vindt. Er wordt dan een eenvoudige berekeningsmethode ontwikkeld, waarbij deze verbuiging in rekening wordt gebracht. Deze nieuwe methode kan ook bij andere stabiliteitsberekeningen met voordeel worden toegepast. Om de nauwkeurigheid van deze berekeningswijze na te gaan, wordt voor hetzelfde geval ook de exacte plooivoorwaarde voor het plastische gebied, die het elastische gebied als bijzonder geval insluit, afgeleid. Tenslotte worden eenvoudige gebruiksformules voor hoekstalen uit St. 37 gegeven.

2. Berekening van de plooispanning in het plastische gebied.

De plooispanning in het plastische gebied kan voor dit geval, evenals voor het elastische gebied [1]),

1) Hartmann. Knickung, Kippung, Beulung, p. 168, fig. 128.
2) Bijlaard. Exacte berekening voor het plooien van de wanden van de in den bruggenbouw gebruikelijke profielen. *De Ingenieur in Ned.-Indië,* No. 2 (1939).

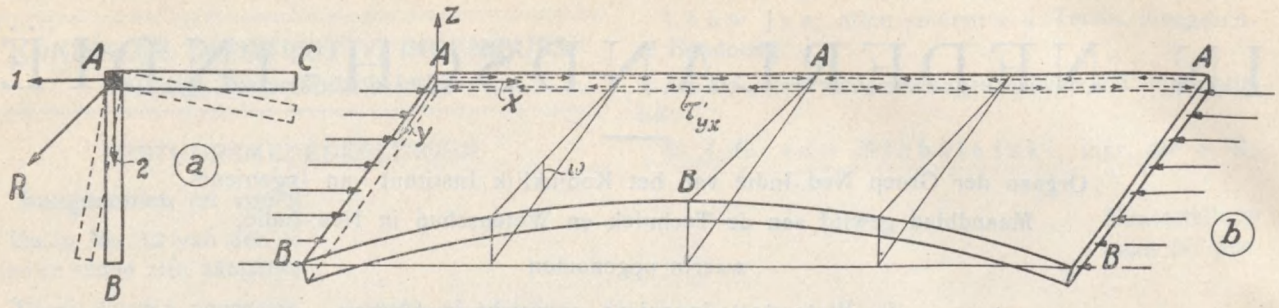


Fig. 2.

het eenvoudigst berekend worden met de energiemethode.

Bij gelijkzijdige hoekstalen zullen de flenzen bij een uitplooien van de dwarsdoorsnede volgens *fig. 2a*, als aan de randen $y = 0$ vrij opgelegd beschouwd kunnen worden, daar beide flenzen, althans in het elastische gebied, bij vrije oplegging gelijktijdig zouden uitplooien, dus elkaars hoekverdraaiing $\frac{\partial w}{\partial y}$ niet zullen verhinderen.

We beschouwen de uitplooiende flens *AB* in *fig. 2b*. De flensbreedte is *b*, de (halve) plooilengte is *a*. Bij recht blijvenden rand *A...A* kan het doorbuigingsvlak van een flens voldoende nauwkeurig worden aangegeven door de functie:

$$w = K\,y\,\sin\frac{\pi x}{a} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

waarbij dus de doorsneden *AB* van de plaat recht worden gedacht [1]).

De door de uitwendige spanningen $\sigma_x = \sigma_P$ verrichte arbeid is [3]):

$$A_u = \tfrac{1}{2}\int\int h\,\sigma_P \left(\frac{\partial w}{\partial x}\right)^2 dx\,dy \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

De buigingsenergie voor de flens is, bij geheel plastisch vervormd gedachte flens, volgens mijn theorie over het plastisch plooien [4]):

$$A_i = \tfrac{1}{2}EI\int\int\left\{A\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\right)^2 + (B+C)\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + D\left(\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}\right)^2 + 4F\left(\frac{\partial^2 w}{\partial x\,\partial y}\right)^2\right\} dx\,dy \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

waarin *A*, *B*, *C*, *D* en *F* functies zijn van den elasticiteitsmodulus *E*, den contractiecoëfficiënt *m*, $\operatorname{tg}\varphi = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_p}$ en *e*. Hierbij is $\varepsilon_p = \frac{e\sigma}{E}$ de bij de plooispanning optredende plastische specifieke verkorting.

De voorwaarde voor plooien is nu:

$$A_i = A_u \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Invulling van *w* volgens (1) in (2) geeft:

$$A_u = \frac{h\sigma_P}{2}\int_0^a\int_0^b K^2\frac{\pi^2}{a^2}y^2\cos^2\frac{\pi x}{a}\,dx\,dy =$$

$$= \frac{1}{12}h\sigma_P K^2\frac{\pi^2}{a^2}a\,b^3.$$

Invulling van *w* in (3) geeft:

$$A_i = \frac{EI}{2}\int_0^a\int_0^b\left\{AK^2\frac{\pi^4}{a^4}y^2\sin^2\frac{\pi x}{a} + 4FK^2\frac{\pi^2}{a^2}\cos^2\frac{\pi x}{a}\right\}dx\,dy =$$

$$= \frac{1}{12}EIK^2\frac{\pi^2}{a^2}\left(A\frac{\pi^2}{a^2}ab^3 + 12\,Fab\right).$$

De voorwaarde (4) geeft dan de plooispanning:

$$\sigma_P = \frac{EI}{h}\left(A\frac{\pi^2}{a^2} + F\frac{12}{b^2}\right).$$

Daar $I = \frac{h^3}{12}$ is hiervoor te schrijven:

$$\sigma_P = E\left(\frac{h}{b}\right)^2\left(A\frac{\pi^2}{12}\frac{b^2}{a^2} + F\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Hieruit is direct te zien dat σ_P inderdaad een minimum wordt als *a* gelijk aan de totale staaflengte *l* wordt gekozen, dus bij plooien in één (halve) golf, daar σ_P des te kleiner wordt naarmate *a* grooter wordt.

In het elastische gebied is $A = \frac{m^2}{m^2-1}$ en $F = \frac{m}{2(m+1)}$ [4]), zoodat aldaar, met $m = \frac{10}{3}$, (5) overgaat in:

$$\sigma_E = E\left(\frac{h}{b}\right)^2\left(0{,}904\frac{b^2}{a^2} + 0{,}385\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Vergelijking (6) is natuurlijk gelijk aan de direct voor het elastische gebied afgeleide vergelijking [1]).

In het plastische gebied worden *A* en *F* des te kleiner naarmate de plooispanning de vloeigrens nadert. *A* is een ingewikkelde functie [5]). Wanneer,

3) Zie bijv. Hartmann. l. c. p. 156.

4) Bijlaard. A theory of plastic stability and its application to thin plates of structural steel. *Proceedings Koninklijke Nederlandsche Akademie van Wetenschappen.* No. 7 (1938).

5) Bijlaard. A theory of plastic buckling with its application to geophysics. *Proceedings Koninklijke Akademie van Wetenschappen.* No. 5 (1938).

zooals hier, de tweede hoofdplooispanning nul is ($\beta = 0$, $\eta = 1$), wordt ze belangrijk eenvoudiger, n.l.:

$$A = \frac{m^2 \left\{ E + (3e + 4) \operatorname{tg} \varphi \right\}}{m\,(5m + 3em - 4)\,E + (4m^2 + 3em^2 - 4) \operatorname{tg} \varphi} \quad \ldots\ldots\ldots (7)$$

Voor F werd daarentegen een zeer eenvoudige uitdrukking gevonden, n.l. [5]):

$$F = \frac{m}{2m + 3em + 2} \quad \ldots\ldots\ldots (8)$$

Uit de betrekking tusschen de knikspanning σ_K en de slankheid $\lambda = \frac{l}{i}$ van *staven,* zooals die voor vloeistaal (St. 37) door de Duitsche Voorschriften (Vorschriften für Eisenbauwerke) is vastgelegd (*fig. 4*), kan op grond van de vergelijking $\sigma_K = \frac{\pi^2 T}{\lambda^2}$ en de voor rechthoekige doorsneden geldende betrekking $T = \frac{4 E E_t}{(\sqrt{E} + \sqrt{E_t})^2}$, de grootte van den totalen vormveranderingsmodulus $E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ voor het daaraan ten grondslag liggende σ, ε-diagram bij elke willekeurige spanning berekend worden, zooals ook reeds door anderen werd gedaan. Ter berekening van de waarden $\operatorname{tg} \varphi = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_p}$ en e moeten we nog een stap verder gaan. We kunnen schrijven, als ε_e de elastische specifieke verkorting voorstelt:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_p} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon - d\varepsilon_e} = \frac{1}{\frac{d\varepsilon}{d\sigma} - \frac{d\varepsilon_e}{d\sigma}} = \frac{1}{\frac{1}{E_t} - \frac{1}{E}} =$$

$$= \frac{E E_t}{E - E_t} \quad \ldots\ldots\ldots (9)$$

Daar $\varepsilon_p = \frac{e\sigma}{E}$ gesteld is, is verder:

$$e = \frac{E}{\sigma} \varepsilon_p = \frac{E}{\sigma} \int \frac{d\varepsilon_p}{d\sigma} d\sigma = \frac{E}{\sigma} \int \frac{d\sigma}{\operatorname{tg} \varphi} =$$

$$= \frac{E}{\sigma} \Sigma \frac{\Delta\sigma}{\operatorname{tg} \varphi} \quad \ldots\ldots\ldots (10)$$

Op deze wijze zijn dus $\operatorname{tg} \varphi$ en e voor elke willekeurige spanning te berekenen. Even beneden de vloeigrens (2,4 t/cm²) vind ik bijv. $\operatorname{tg} \varphi = 0{,}294\ E$ en $e = 0{,}1675$.

Volgens (7) en (8) wordt dan gevonden: $A = 0{,}421$ en $F = 0{,}322$. Vergelijking (5) gaat dan over in:

$$\sigma_P = E \left(\frac{h}{b}\right)^2 \left(0{,}346 \frac{b^2}{a^2} + 0{,}322 \right) \quad \ldots\ldots\ldots (11)$$

Uit (6) en (11) is te zien, dat de plooispanning een minimum wordt, als a maximum wordt, dus als de plooilengte a gelijk aan de staaflengte is. Daar a steeds groot is ten opzichte van b, zullen de termen $0{,}904 \frac{b^2}{a^2}$ en $0{,}346 \frac{b^2}{a^2}$ in resp. (6) en (11) slechts een geringen invloed hebben. Is bijv. $a = 20\ b$, dan worden deze termen resp. 0,002 en 0,001 en zijn dus ten opzichte van de andere termen, resp. 0,385 en 0,322, te verwaarloozen. Volgens (5) is dus voor de plooispanning in het algemeen te schrijven:

$$\sigma_P = E F \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

In (5) heeft de term $A \frac{\pi^2}{12} \frac{b^2}{a^2}$ betrekking op den door de verbuiging van de flenzen gegeven weerstand, terwijl de term F betrekking heeft op den door de verwringing van de plaat ontstaanden weerstand. Door den eersten term te verwaarloozen denken we a oneindig groot te zijn ten opzichte van b. De verbuiging van de flens in de X-richting, aangeduid door den vorm $\frac{\partial^2 w}{\partial x^2}$, is dan nul, dus ook de door de contractie veroorzaakte verbuiging in Y-richting, aangeduid door $\frac{\partial^2 w}{\partial y^2}$. Daar de uitbuigingsvorm $w = Y \sin \frac{\pi x}{a}$, waarin Y een functie van y alleen is, aan de differentiaalvergelijking van de plaat en aan de randvoorwaarden voor $x = 0$ en $x = a$ voldoet en $\frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0$ is, zoodat de functie Y gelijk aan $K y$ is, is dus de aangenomen uitbuigingsvorm volgens (1) voor dit geval ($a = \infty$) inderdaad exact juist, evenals in het elastische gebied [1]). Ook onze vergelijking (12) is dus exact juist.

De weerstand van de flens tegen plooien wordt dus practisch geheel geleverd door de in de bij $y = 0$ gelegen vlakken erop uitgeoefende schuifspanningen. In *fig. 2b* zijn de wringspanningen τ'_{yx} schematisch aangegeven. Merkwaardig is hierbij, dat in vergelijking (12) voor het plastische gebied de coëfficiënt F wordt aangegeven door den in (8) gegeven vorm, waarin de hellingshoek $\operatorname{tg} \varphi = \frac{d\sigma}{d\varepsilon_p}$ van het σ, ε_p-diagram niet voorkomt. Dit is een gevolg van het feit dat door de op de aanwezige lijnspanning $\sigma_x = \sigma_P$ gesuperponeerde oneindig kleine schuifspanningen $\tau'_{xy} = -\tau'_{yx}$ de aequivalente lijnspanning σ_q, die volgens de plasticiteitsvoorwaarde van de begrensde gedaanteveranderingsarbeid gelijk is aan:

$$\sigma_q = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x \sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau^2} \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

niet vergroot wordt. Immers oorspronkelijk is $\sigma_x = \sigma_P$, $\sigma_y = 0$ en $\tau = 0$. Door de gesuperponeerde oneindig kleine schuifspanningen τ'_{xy} wordt:

$$d\sigma_q = \frac{\partial \sigma_q}{\partial \tau} \tau'_{xy} = \frac{3\tau}{\sigma_q} \tau'_{xy} = 0.$$

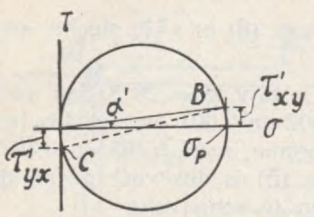


Fig. 3.

Dit geldt niet speciaal wanneer de gedaanteveranderingsarbeid voor de plastische vervorming maatgevend is, maar geldt onafhankelijk van de plasticiteitsvoorwaarde, dus bijv. ook als de maximum schuifspanning maatgevend zou zijn voor de plastische vervorming. Worden de drukspanningen naar rechts uitgezet dan wordt de spanningstoestand vóór het plooien aangegeven door den getrokken spanningscirkel in *fig. 3*. Bij het plooien worden nu in de hoofdspanningsvlakken oneindig kleine schuifspanningen $\tau'_{xy} = -\tau'_{yx}$ gesuperponeerd, zoodat dan de oorspronkelijke hoofdvlakken door de beeldpunten B en C worden aangegeven. De spanningstoestand wordt nu aangegeven door de door de punten B en C getrokken cirkel, waarvan de snijpunten met de σ-as de nieuwe hoofdspanningsvlakken voorstellen. Daar echter τ'_{xy} en τ'_{yx} oneindig klein zijn, zal de omtrek van den nieuwen spanningscirkel slechts op een afstand buiten den oorspronkelijken cirkel liggen, die oneindig klein van de tweede orde is, zoodat ook de hoofdspanningen slechts veranderen met bedragen die oneindig klein van de tweede orde zijn. Onafhankelijk van de geldende plasticiteitsvoorwaarde zal dus ook de aequivalente lijnspanning σ_q slechts een wijziging ondergaan, die oneindig klein van de tweede orde is. Door deze oorzaak kunnen dus tengevolge van de oneindig kleine schuifspanningen τ'_{xy} slechts hoekverdraaiingen γ'_{xy} ontstaan, die oneindig klein van de tweede orde, dus te verwaarloozen zijn.

Alleen blijkt uit *fig. 3* dat de hoofdspanningsvlakken over een hoek α' draaien en dit veroorzaakt oneindig kleine hoekverdraaiingen γ'_{xy}. Vóór het plooien was de plastische vervormingsmodulus E_p, daar $\varepsilon_p = \frac{\sigma}{E_p} = \frac{e\sigma}{E}$ werd gesteld, $E_p = \frac{E}{e}$ en door de oneindig kleine vervormingen bij het plooien wordt E_p niet gewijzigd. De plastische glijdingsmodulus $G_p = \frac{m}{2(m+1)} E_p$ is dus, daar bij de plastische vervorming $m = 2$ is, gelijk aan $G_p = \frac{E_p}{3} = \frac{E}{3e}$. Zooals we reeds eerder hebben afgeleid [5]), wordt daardoor de door de schuifspanningen τ'_{yx} gegeven hoekverdraaiing:

$$\gamma'_{xy} = \frac{\tau'_{xy}}{G} + \frac{\tau'_{xy}}{G_p} = \left\{ \frac{2(m+1)}{m} + 3e \right\} \frac{\tau'_{xy}}{E} = \frac{2m + 3em + 2}{mE} \tau'_{xy}$$

of:

$$\tau'_{xy} = \frac{mE}{2m + 2 + 3em} \gamma'_{xy} = EF\gamma'_{xy} \quad \ldots\ldots\ldots\ (14)$$

waarin dus F de reeds in vergelijking (8) vermelde waarde heeft en dezelfde coëfficiënt is, die in (3) en de daaruit afgeleide vergelijkingen voorkomt [4]).

Bij de afleiding van (**14**) werd aangenomen, dat voor de reeds aanwezige lijnspanning σ_P en de daarop gesuperponeerde schuifspanningen τ'_{xy} dezelfde plastische vervormingsmodulus E_p geldt, dus dat de plastische vervorming alleen bepaald wordt door den op een bepaald moment heerschenden spanningstoestand, onafhankelijk van de wijze waarop deze werd bereikt, dus dat de plastische vervorming bijv. dezelfde is als wanneer de normaalspanningen $\sigma_x = \sigma_P$ en de schuifspanningen τ'_{xy} gelijktijdig van nul waren aangegroeid, dus dat het materiaal zich gedraagt als een zoogenaamd lichaam van Hencky. Nu zouden bij vloeistaal volgens proeven van Hohenemser en Prager [6]), waarbij buizen, na door trek tot de vloeigrens te zijn belast, bij constant gehouden rek gewrongen werden, voorafgegane „vrije" vormveranderingen, dat zijn vormveranderingen, waarbij de componenten van den spanningsdeviator evenredig zijn met die van den vervormingsdeviator, de bij verdere belasting optredende plastische vervormingen niet beïnvloeden, wat dus in het hierboven behandelde geval erop zou neerkomen, dat in vergelijking (**14**) $e = 0$ zou moeten worden gesteld, wat dus, daar ook in het elastische gebied $e = 0$ is, wil zeggen, dat het materiaal zich onder de op een normaalspanning σ gesuperponeerde oneindig kleine schuifspanningen τ geheel elastisch gedraagt. Dit is bij de proeven van Hohenemser en Prager ook inderdaad het geval, maar tot nu toe heeft men er niet aan gedacht hieruit de voor het plooien van platen volgende consequenties te trekken. Zooals ik elders [4]), waar ook nog andere wijzen van vervorming beschouwd werden, nader uiteenzette, is het, waar de bedoelde proeven alleen bij de vloeigrens genomen werden, voorloopig veiliger e niet nul te stellen, daar ook in dat geval de weerstand tegen plooien van op druk belaste platen bij verschillende randvoorwaarden in het plastische gebied nog veel grooter is dan tot nu toe werd aangenomen en dit juist voornamelijk door den grooten weerstand tegen verwringing.

Een bijzonderheid bij dit geval is ook nog dat, als tenminste e niet nul wordt gesteld, de geheele doorsnede plastisch vervormt, daar door de gesuperponeerde schuifspanningen τ'_{xy} nergens ontlasting optreedt. In dit geval is dus de werkelijke plooispanning σ_K gelijk aan die bij geheel plastisch vervormd gedachte plaat, σ_P. In verband met het bovenstaande en ook op grond van andere overwegingen is het echter zeker voldoende veilig ook voor dit geval met de reeds in dit tijdschrift [2]) gegeven algemeene formule:

$$\sigma_K = \tfrac{1}{4}\sigma_E + \tfrac{3}{4}\sigma_P \quad \ldots\ldots\ldots\ (15)$$

te rekenen, waarin σ_E de plooispanning bij geheel elastisch vervormd gedachte plaat voorstelt.

Op grond van de bovenstaande beschouwingen kan nu berekend worden, hoe groot bij een bepaalde

6) Hohenemser en Prager. Beitrag zur Mechanik des bildsamen Verhaltens von Flussstahl. *Zeitschrift für angew. Mathematik und Mechanik.* p. 1 (1932).

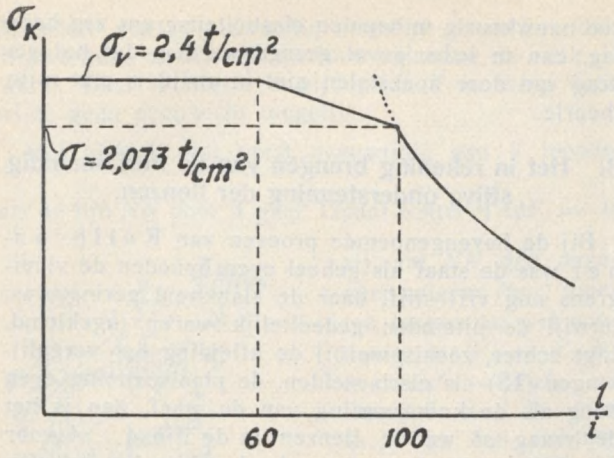


Fig. 4.

staafslankheid $\frac{l}{i}$ de verhouding $\frac{b}{h}$ hoogstens mag zijn, opdat de flenzen van het hoekstaal niet uitplooien vóór de staaf als geheel uitknikt. Is $\frac{l}{i}$ kleiner dan 60, dan ligt volgens de Duitsche Voorschriften bij St. 37 de knikspanning bij de vloeigrens $\sigma_v = 2{,}4$ t/cm² (*fig. 4*). Met de hierboven gegeven waarden van F in het elastische gebied, n.l. $F = \frac{m}{2(m+1)} = \frac{G}{E} =$ $= 0{,}385$ en in het plastische gebied even beneden de vloeigrens, n.l. $F = 0{,}322$, volgt uit (**15**) en (**12**):

$$\sigma_K = \frac{0{,}385 + 3 \cdot 0{,}322}{4} E \left(\frac{h}{b}\right)^2 = 0{,}338\, E \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots (16)$$

De voorwaarde $\sigma_K = \sigma_v = 2{,}4$ t/cm² leidt dan met $E = 2\,100$ t/cm² tot de verhouding $\frac{b}{h} = 17{,}2$ (*fig. 5*) [7]). Hoewel bij de vloeigrens ($\operatorname{tg} \varphi = 0$) de weerstand tegen plooien niet nul zal zijn [5]), kan voor de berekening worden aangenomen dat dit wel het geval is, zoodat voor $\frac{b}{h} < 17{,}2$ ook $\sigma_K = \sigma_v$ wordt gesteld.

Is $\frac{l}{i}$ grooter dan 100, dan knikt de staaf in het elastische gebied en is de knikspanning van de staaf $\frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$. Gelijkstelling aan deze waarde van de plooispanning in het elastische gebied, n.l.:

$$\sigma_E = E F \left(\frac{h}{b}\right)^2 = 0{,}385\, E \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (17)$$

geeft de verhouding $\frac{b}{h} = 0{,}197 \frac{l}{i}$. Bij de evenredigheidsgrens, die volgens *fig. 4* bereikt wordt bij $\frac{l}{i} = 100$, en die dus bij $\sigma = \frac{\pi^2 E}{100^2} = 2{,}073$ t/cm² is aangenomen, zal het hoekstaal plooien als $\frac{b}{h} = 19{,}7$ is, zooals in *fig. 5* is aangegeven.

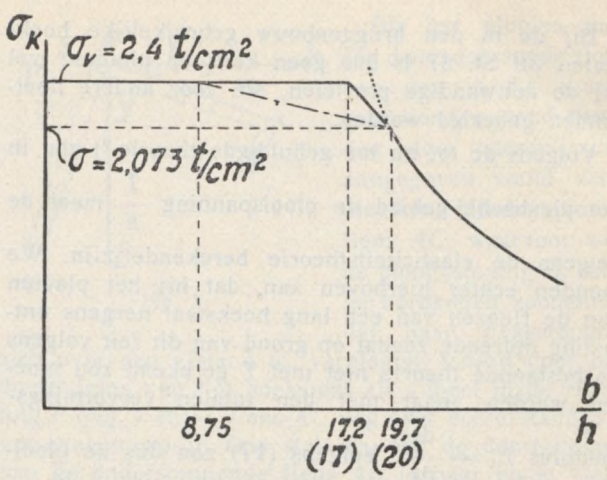


Fig. 5.

Het ligt voor de hand de plooispanning in het plastische gebied rechtlijnig verloopend te denken met $\frac{b}{h}$ (*fig. 5*). Worden de bij de slankheden 60 en 100 behoorende verhoudingen $\frac{b}{h}$ resp. tot 17 en 20 afgerond, dan is gemakkelijk af te leiden, dat voor tusschen 60 en 100 gelegen slankheden $\frac{b}{h}$ hoogstens $12{,}5 + 0{,}075 \frac{l}{i}$ mag zijn.

Duidelijk is uit *fig. 4* en *5* te zien, dat, terwijl bij staven de knikspanning in het plastische gebied sterk van de volgens de elasticiteitstheorie berekende knikspanning volgens Euler (gestippelde lijn in *fig. 4*) afwijkt, dit met de plooispanning geenszins het geval is (*fig. 5*).

Recapituleerende luidt dus de voorwaarde:

$$\left.\begin{array}{lll} \text{voor } \frac{l}{i} \geqslant 100: & \frac{b}{h} \leqslant 0{,}2 \frac{l}{i} & \\ \text{voor } 100 > \frac{l}{i} > 60: & \frac{b}{h} \leqslant 12{,}5 + 0{,}075 \frac{l}{i} & \\ \text{voor } \frac{l}{i} \leqslant 60: & \frac{b}{h} \leqslant 17 & \end{array}\right\} \ldots. (18)$$

De voorwaarde voor het elastische gebied $\left(\frac{l}{i} \geqslant 100\right)$ is dezelfde, die reeds door Bleich werd berekend [8]).

7) De voorwaarde $\sigma_P = 0{,}322\, E \left(\frac{h}{b}\right)^2 = \sigma_v$ zou geven: $\frac{b}{h} = 16{,}8$, zoodat beide voorwaarden tot de tot eenheden afgeronde verhouding $\frac{b}{h} = 17$ leiden.

8) Bleich. Theorie und Berechnung der eisernen Brücken. p. 239.

Bij de in den bruggenbouw gebruikelijke hoekstalen uit St. 37 is dus geen kans op plooien, wel bij de dunwandige profielen, die voor andere doeleinden gebezigd worden.

Volgens de tot nu toe gehuldigde theorie [9]) zou in het plastische gebied de plooispanning $\frac{T}{E}$ maal de volgens de elasticiteitstheorie berekende zijn. We toonden echter hierboven aan, dat bij het plooien van de flenzen van een lang hoekstaal nergens ontlasting optreedt, zoodat op grond van dit feit volgens de bestaande theorie niet met T gerekend zou moeten worden, maar met den totalen vervormingsmodulus $E_t = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$. Volgens (**17**) zou dus de plooispanning in het plastische gebied worden:

$$\sigma_K = \frac{E_t}{E}\sigma_E = 0{,}385\, E_t \left(\frac{h}{b}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (19)$$

Zooals hierboven reeds werd opgemerkt is E_t uit het verband tusschen knikspanning en staafslankheid te berekenen. Even beneden de vloeigrens is $E_t = 477$ t/cm^2 $= 0{,}227\, E$. De voorwaarde, dat σ_K volgens (**19**) gelijk aan de vloeispanning $\sigma_v = 2{,}4$ t/cm^2 moet zijn, leidt dan tot de voorwaarde: $\frac{b}{h} = 8{,}75$, zoodat σ_K in het plastische gebied volgens de streep-stiplijn in *fig. 5* zou verloopen. De gewone normaalprofielen, waarvoor $\frac{b}{h}$ maximaal ongeveer 12 wordt, zouden dus reeds beneden de vloeigrens moeten plooien.

Volgens proeven van Kollbrunner [10]) met hoekstalen, waarvoor σ_v resp. 3,316 t/cm^2 en 3,334 t/cm^2 was en de evenredigheidsgrens bij 3,280 t/cm^2 lag, plooiden hoekstalen met $\frac{b}{h} = 16$ bij spanningen van resp. 3,275 t/cm^2 en 3,334 t/cm^2, dus practisch bij de vloeigrens. Daar voor deze hoekstalen $E = 2\,150$ t/cm^2 was, leidt onze voorwaarde $\sigma_K = \sigma_v = 3{,}3$ t/cm^2 bij gebruikmaking van (**16**) hier tot de verhouding $\frac{b}{h} = 14{,}8$. Met $e = 0$ geeft de conditie $\sigma_K = \sigma_v$ de verhouding $\frac{b}{h} = 15{,}7$. Met de meer nauwkeurige waarde van σ_K volgens (**15**), (**6**) en (**5**), vindt men, daar hier $\frac{a}{b} = 10$ was, resp. $\frac{b}{h} = 15{,}0$ en 16,0. Hoewel het σ, ε-diagram van het materiaal niet precies bekend is en de overigens niet zoo nauwkeurig te bepalen elasticiteitsgrens erg hoog lag, kan in ieder geval gezegd worden, dat het gedrag van deze hoekstalen niet in strijd is met mijn theorie.

9) Zie de in noot 4 van mijn artikel in No. 2 van dit tijdschrift (1939) geciteerde literatuur.

10) Kollbrunner. Das Ausbeulen des auf Druck beanspruchten freistehenden Winkels. *Mitteilungen aus dem Institut für Baustatik* a.d. Eidg. Techn. Hochschule in Zürich.

3. Het in rekening brengen van de niet oneindig stijve ondersteuning der flenzen.

Bij de bovengenoemde proeven van Kollbrunner was de staaf als geheel even beneden de vloeigrens nog vrij stijf, daar de slankheid gering was, terwijl de uiteinden gedeeltelijk waren ingeklemd. Ligt echter, zooals we bij de afleiding der vergelijkingen (**18**) als eisch stelden, de plooispanning even hoog als de knikspanning van de staaf, dan is het de vraag of we de flenzen in de lijn *A... A* voor $y = 0$ (*fig. 2b*) als vast opgelegd mogen beschouwen bij het plooien, zooals dit in de literatuur tot nu toe steeds werd gedaan [1]) [11]).

Denken we ons in de lijn *A... A* een zeer stijve staaf *A* geplaatst, waarvan de doorsnede in *fig. 2a* door het zwart gemaakte vierkantje is aangegeven (een staaf met een zeer groote E dus), dan zou de uitplooiende flens *AB* daarop wringspanningen uitoefenen, die tegengesteld gericht zijn aan de in *fig. 2b* geteekende wringspanning τ'_{yx} en ook nog verticale schuifspanningen τ'_{yz}. Door deze spanningen τ'_{yx} en τ'_{yz} zou de staaf *A* dus een belasting ondervinden met het zelfde effect als een fictieve dwarsbelasting in de richting van de in *fig. 2a* aangegeven pijl *1*. Evenzoo zouden op de staaf *A* door de flens *AC* spanningen worden uitgeoefend, die hetzelfde effect hebben als een in de richting van pijl *2* werkende dwarsbelasting. Het resultaat zou dus zijn een fictieve belasting in de richting *R*. Daar die staaf *A* er echter niet is, zal deze belasting nu op het hoekstaal zelf werken en dus een doorbuiging daarvan veroorzaken.

Om een idee te krijgen van den invloed hiervan op de grootte van de plooispanning, vonden we de volgende berekeningswijze, die ook voor andere stabiliteitsberekeningen met voordeel zal kunnen worden toegepast.

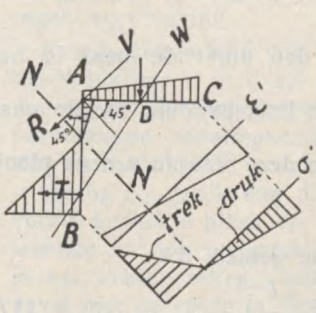


Fig. 6.

Stel dat een hoekstaal door de volgens pijl *R* gerichte fictieve belasting ook in de richting *R* zou doorbuigen. Als de plooispanning in het plastische gebied ligt zouden daarbij de extra specifieke rekken ε' en extra spanningen σ' volgens *fig. 6* verloopen, daar links van de rotatieas *NN* van de doorsnede, waar ontlasting optreedt, de gewone E geldt en rechts, waar extra belasting ontstaat, de totale vervormingsmodulus $E_t < E$. De resultante van de extra spanningen in flens *AB*, een trekkracht, zou daarbij ongeveer door punt *T* gaan en de resultante van de extra spanningen in flens *AC*, een drukkracht, door *D*.

11) Timoshenko. Theory of elastic stability. p. 340.

Hierdoor zou het inwendig moment M_i in het vlak W werken, terwijl de fictieve belasting in vlak V werkt. Daar W niet evenwijdig aan V is, is op deze wijze geen evenwicht mogelijk.

Het vlak W zal eerst evenwijdig aan V loopen als de lijn NN door A gaat. Opdat echter $\int \sigma dF = 0$ zij, zal NN dan ongeveer volgens *fig. 7* moeten loopen en wel zoodanig, dat $\sigma'_t = \sigma'_d$ is, dus $E\varepsilon'_t = E_t\varepsilon'_d$ is. Doordat nu de lijn $A...A$ in een richting P loodrecht op NN zal doorbuigen, dus flens AB meer zal doorbuigen dan AC, zal de richting R van de belasting weer iets veranderen, maar dit wordt verder buiten beschouwing gelaten. Bij A is de extra rek ε' nu nul. De flens AB vervormt elastisch, de flens AC plastisch, waaraan door de door het plooien ontstaande wringspanningen niets veranderd wordt [12]). De elastisch vervormde flens AB wordt dus door de plastisch vervormende flens AC ondersteund en omgekeerd. De stijfheid tegen doorbuiging in haar eigen vlak van flens AC is het eenvoudigst als volgt te berekenen.

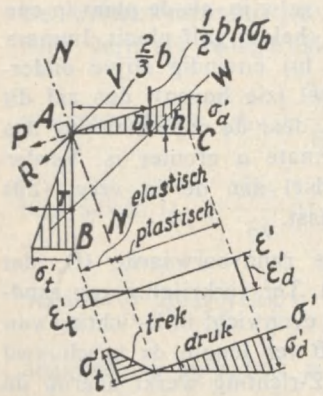


Fig. 7.

Stel $\sigma'_d = \sigma'_t = \sigma_b$. Dan is het in het vlak van AC werkende inwendige moment M_i volgens *fig. 7* gelijk aan:

$$M_i = \tfrac{2}{3}b\,D = \tfrac{2}{3}b \cdot \tfrac{1}{2}b\,h\sigma_b = \tfrac{1}{3}b^2\,h\sigma_b \quad \ldots\ldots\ldots (20)$$

Hierbij ondergaan de dwarsdoorsneden van deze flens een specifieke hoekverdraaiing:

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon'_d}{b} = \frac{\sigma_b}{E_t\,b} \quad \ldots\ldots\ldots (21)$$

Combinatie van (20) en (21) geeft:

$$M_i = \tfrac{1}{3}b^2\,h\,\frac{E_t\,b}{\rho} = \frac{E_t}{\rho}\,\frac{b^3\,h}{3} = \frac{E_t\,\bar{I}}{\rho} \quad \ldots\ldots\ldots (22)$$

met:

$$\bar{I} = \tfrac{1}{3}b^3\,h \quad \ldots\ldots\ldots (23)$$

$\bar{I}$ kan dus als het traagheidsmoment van de flens AC worden beschouwd. Evenzoo is voor flens AB:

$$M_i = \frac{E\bar{I}}{\rho} \quad \ldots\ldots\ldots (24)$$

We kunnen nu beginnen met een vroeger door ons gebezigde methode toe te passen [13]), welke in het onderhavige geval leidt tot de volgende redeneering.

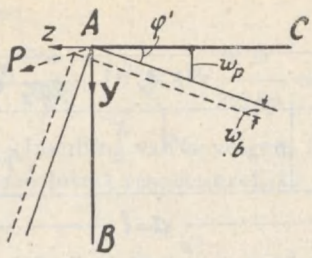


Fig. 8.

Bij het plooien zal een dwarsdoorsnede zich van den in *fig. 8* dik geteekenden stand naar den door streeplijnen aangegeven stand verplaatsen. Hierbij plooit flens AC, waarvoor we de plooispanning σ_B zullen berekenen, zoodanig, dat haar zwaartepunt zich over een afstand w_p verplaatst, terwijl door de doorbuiging van het hoekstaal als geheel in de richting P (*fig. 7* en *8*), flens AC nog over een afstand w_b verschoven wordt. Dus stelt w_b ook de doorbuiging van de ondersteunende flens AB in haar eigen vlak voor.

Door deze doorbuiging w_b zal in flens AB volgens (24) een inwendig moment $M_i = \frac{E\bar{I}}{\rho} = -EI\frac{d^2 w_b}{dx^2}$ ontstaan. Bij de doorbuiging w_p — zoowel als w_b — ontstaat ook nog een zeer klein inwendig moment in de flens AC, dat wel in rekening gebracht kan worden, maar wegens den zeer geringen invloed — vergelijk den term $A\frac{\pi^2}{12}\frac{b^2}{a^2}$ in de vergelijking (5) — voor de overzichtelijkheid buiten beschouwing zal worden gelaten. De in een vlak evenwijdig aan AB werkende componente M_B van het uitwendige moment wordt echter door de doorbuiging w_p, waarbij het zwaartepunt van de geheele dwarsdoorsnede van het hoekstaal zich verplaatst, wel vergroot.

De doorsnede van het hoekstaal wordt O genoemd. Aangenomen kan worden, dat de beide flenzen elkaar bij de verdraaiing φ' (*fig. 8*) niet hinderen. De componente M_B van het uitwendige moment zal nu door de verbuigingen w_p en w_b resp. $\frac{1}{2}O\,\sigma_B\,w_p$ en $O\,\sigma_B\,w_b$ bedragen, zoodat, daar het inwendige moment M_i in AB daaraan gelijk moet zijn:

$$O\,\sigma_B\,(\tfrac{1}{2}w_p + w_b) = -E\bar{I}\frac{d^2 w_b}{dx^2} \quad \ldots\ldots\ldots (25)$$

Worden w_p en w_b gedacht sinusvormig te verloopen, dan zal $\frac{d^2 w_b}{dx^2} = -\frac{\pi^2}{l^2}w_b$ zijn, zoodat als aan (25) voor een willekeurige dwarsdoorsnede voldaan wordt, ook voor elke andere dwarsdoorsnede $M_i = M_B$ zal zijn. Het minimum traagheidsmoment van de staaf is, daar hierbij ongeveer de hoogte $\frac{b}{\sqrt{2}}$ en de breedte $2h\sqrt{2}$ is, gelijk aan $I_k = \frac{1}{12}\left(\frac{b}{\sqrt{2}}\right)^3 \cdot 2h\sqrt{2} = \frac{1}{12}b^3\,h$, zoodat $\bar{I} = 4I_k$ is. Voor (25) is dus te schrijven:

$$O\,\sigma_B\,(\tfrac{1}{2}w_p + w_b) = 4EI_k\frac{\pi^2}{l^2}w_b = 4\,O\,\sigma_H\,w_b \quad \ldots\ldots\ldots (26)$$

12) Verg. Bijlaard. l.c. noot 5.

13) Bijlaard. Knikzekerheid van den bovenrand van open wandbruggen. *De Ingenieur*. No. 4 (1932), noot 2.

Bijlaard. Knikzekerheid van door koppelplaten verbonden profielen. *De Ingenieur*. No. 7 (1933).

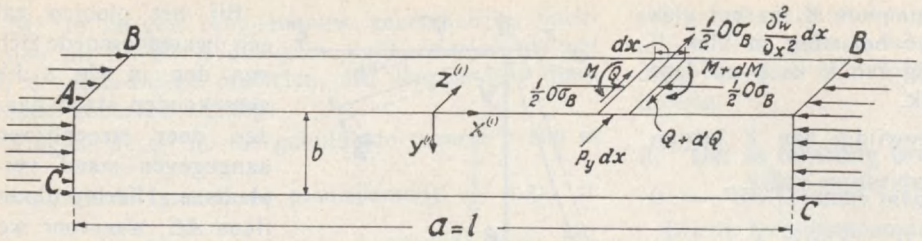


Fig. 9.

waarin σ_H dus de knikspanning volgens Euler van het hoekstaal voorstelt.

We moeten nu, om w_b en w_p te kunnen elimineeren, nog een stap verder gaan dan vroeger. Hiertoe merken we op dat, als w_b nul was, de in het langsvlak $A...A$ op flens AC werkende spanningen (in *fig. 2b* ten deele voor flens AB aangegeven) een moment zouden leveren, dat het uitwendige moment $\frac{1}{2} O \sigma_K w_p$ op deze flens in evenwicht zou houden, als σ_K de plooispanning bij oneindig stijve ondersteuning in de lijn $A...A$ voorstelt. Nu w_b niet nul is, zullen bij de verbuiging w_p, die bij de werkelijke plooispanning σ_B optreedt, de langs $A...A$ werkende spanningen dus ook ongeveer een tegenwerkend moment $\frac{1}{2} O \sigma_K w_p$ leveren, met dien verstande, dat ter berekening van σ_K gebruik wordt gemaakt van de bij de werkelijke plooispanning σ_B behoorende coëfficiënten F en A. Het nu op de flens AC werkende uitwendige moment $\frac{1}{2} O \sigma_B (w_p + w_b)$ zal bij het plooien gelijk zijn aan dat tegenwerkend moment, dus:

$$\tfrac{1}{2} O \sigma_B (w_p + w_b) = \tfrac{1}{2} O \sigma_K w_p \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (27)$$

Eliminatie van w_p en w_b uit (26) en (27) leidt tot de eenvoudige formule:

$$\sigma_B = 4\sigma_H + \sigma_K - \sqrt{(4\sigma_H)^2 + \sigma_K{}^2} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (28)$$

Deze formule geldt, zooals direct valt in te zien, ook voor de plooispanning voor flens AB, als daarin $\sigma_H = \dfrac{\pi^2 E_t I_k}{O l^2}$ wordt gesteld en σ_K voor het elastische gebied wordt berekend.

Ten einde eventueel de nauwkeurigheid van deze formule na te kunnen gaan zal σ_B ook exact berekend worden.

4. Exacte berekening van de plooispanning in het plastische gebied, rekening houdend met de niet oneindig stijve ondersteuning der flenzen.

We beschouwen het plooien van flens AC (*fig. 9*) en gaan uit van de door ons gevonden differentiaalvergelijking [2) 4)]:

$$EI \left\{ A \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + (B + C + 4F) \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + D \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right\} + h \sigma_B \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \quad \ldots\ldots \quad (29)$$

met de voor scharnierende uiteinden geldende oplossing [2) 4)]:

$$w = (C_1 \cosh \alpha_1 y + C_2 \sinh \alpha_1 y + C_3 \cos \alpha_2 y + C_4 \sin \alpha_2 y) \cos \frac{\pi x}{a} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (30)$$

waarbij we, evenals in het vorige hoofdstuk, gebruik zullen maken van de wetenschap, dat σ_B minimum zal zijn, als de plaat in een (halve) golf plooit. Immers bij oneindig stijve ondersteuning was dit het geval (zie boven), dus zal dit ook zoo zijn in ons geval, daar de ondersteuning des te slapper zal zijn, naarmate a grooter is. Verder hebben we ons assenstelsel aan de in verg. (29) gebruikte notaties aangepast.

Voor $y = 0$ geldt als randvoorwaarde (I), dat $M_y = 0$ (zie hoofdstuk 3). Ter verkrijging van randvoorwaarde (II) wordt het evenwicht in Z-richting van een deeltje van flens AB ter lengte dx beschouwd (*fig. 9*). In de positieve Z-richting werkt daarop de door de flens AC gegeven oplegdruk $p_y dx$ en de resultante van de door de doorbuiging w (in Z-richting) over een hoek $-\dfrac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx$ ten opzichte van elkaar gedraaide drukkrachten $\frac{1}{2} O \sigma_B$. In negatieve Z-richting werkt het verschil dQ tusschen de dwarskrachten, zoodat de evenwichtsvoorwaarde luidt:

$$dQ = p_y dx - \tfrac{1}{2} O \sigma_B \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} dx \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (31)$$

Daar flens AC geheel plastisch vervormt (*fig. 7*) wordt de eerste randvoorwaarde, daar $C = B$ is [5)]:

$$B \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \quad \text{(voor } y = 0) \quad \ldots\ldots\ldots \quad \text{(I)}$$

Flens AB vervormt geheel elastisch (*fig. 7*) en werkt als een balk met een traagheidsmoment $\bar{I} = \frac{1}{3} b^3 h$ (hoofdstuk 3). Volgens *fig. 9* is $Q = -\dfrac{dM}{dx}$, zoodat $dQ = -\dfrac{d^2 M}{dx^2} dx = E\bar{I} \dfrac{d^4 w}{dx^4} dx = E\bar{I} \dfrac{\partial^4 w}{\partial x^4} dx$.

De door een plaat geleverde aequivalente oplegdruk p_y, waarin ook de invloed van de wringspanningen t_{yx} verdisconteerd is, bestaat, zooals bekend, uit de combinatie van de eigenlijke dwarskracht D_y en den door de werking van de wringspanningen ont-

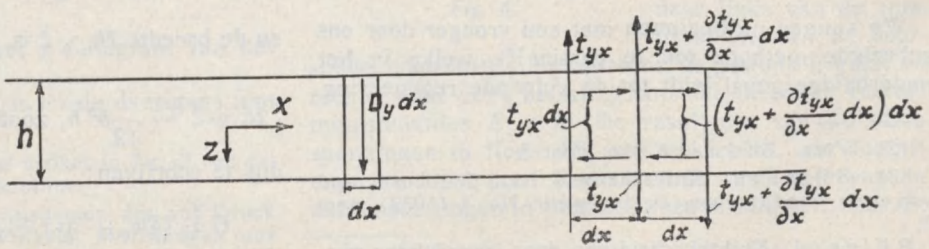


Fig. 10.

staan te denken aequivalenten oplegdruk $\frac{\partial t_{yx}}{\partial x}$ [14]).

Worden de wringmomenten in de vroeger [5]) als positief aangenomen richting geteekend, dan zullen ze dus volgens *fig. 10* op onzen balk AB werken, waar ook de door D_y gegeven oplegdruk is aangegeven. De wringmomenten $t_{yx}dx$ zijn te vervangen door twee verticale oplegdrukken t_{yx} op afstand dx, de wringmomenten $\left(t_{yx} + \frac{\partial t_{yx}}{\partial x} dx \right) dx$, door twee oplegdrukken $t_{yx} + \frac{\partial t_{yx}}{\partial x} dx$ op afstand dx, etc., zoodat negatieve oplegdrukken $\frac{\partial t_{yx}}{\partial x} dx$ overschieten. De aequivalente oplegdruk p_y is dus gelijk aan:

$$p_y = D_y - \frac{\partial t_{yx}}{\partial x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (32)$$

Het teeken van $\frac{\partial t_{yx}}{\partial x}$ moest n.l. even nagegaan worden, daar bijv. Hartmann [15]) met een plusteeken werkt.

Invulling van de voor het plastische gebied voor D_y en t_{yx} gevonden vormen [5]) levert:

$$p_y = -EI \left\{ D \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (B + 4F) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} \right\} \ldots\ldots (33)$$

Voorwaarde (**31**) levert dus als tweede randvoorwaarde voor $y = 0$:

$$EI \frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + EI \left\{ D \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (B + 4F) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \, dy} \right\} + \\ + \tfrac{1}{2} O \sigma_B \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} = 0 \text{ (voor } y = 0) \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ (II)}$$

Voor $y = b$ moet zoowel M_y als p_y nul zijn, wat de twee andere randvoorwaarden geeft, die dus luiden:

$$B \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + D \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} = 0 \text{ (voor } y = b) \ldots\ldots\ldots\ldots \text{ (III)}$$

en:

$$D \frac{\partial^3 w}{\partial y^3} + (B + 4F) \frac{\partial^3 w}{\partial x^2 \partial y} = 0 \text{ (voor } y = b) \ldots\ldots \text{ (IV)}$$

Invulling van w volgens (**30**) in de 4 randvoorwaarden levert respectievelijk:

$$\left.\begin{array}{l} -B(C_1 + C_3)\frac{\pi^2}{a^2} + D(C_1\alpha_1^2 - C_3\alpha_2^2) = 0 \\ EI(C_1 + C_3)\frac{\pi^4}{a^4} + EI\Big\{ D(C_2\alpha_1^3 - C_4\alpha_2^3) - \\ \qquad - (B + 4F)(C_2\alpha_1 + C_4\alpha_2)\frac{\pi^2}{a^2} \Big\} - \\ \qquad - \tfrac{1}{2} O \sigma_B (C_1 + C_3)\frac{\pi^2}{a^2} = 0 \\ -B(C_1 \cosh \alpha_1 b + C_2 \sinh \alpha_1 b + C_3 \cos \alpha_2 b + \\ + C_4 \sin \alpha_2 b)\frac{\pi^2}{a^2} + D(C_1\alpha_1^2 \cosh \alpha_1 b + \\ + C_2\alpha_1^2 \sinh \alpha_1 b - C_3\alpha_2^2 \cos \alpha_2 b - \\ - C_4\alpha_2^2 \sin \alpha_2 b) = 0 \\ D(C_1\alpha_1^3 \sinh \alpha_1 b + C_2\alpha_1^3 \cosh \alpha_1 b + \\ + C_3\alpha_2^3 \sin \alpha_2 b - C_4\alpha_2^3 \cos \alpha_2 b) - \\ - (B + 4F)(C_1\alpha_1 \sinh \alpha_1 b + C_2\alpha_1 \cosh \alpha_1 b - \\ - C_3\alpha_2 \sin \alpha_2 b + C_4\alpha_2 \cos \alpha_2 b)\frac{\pi^2}{a^2} = 0 \end{array}\right\} \quad (34)$$

In (**30**) was [2]) [4]):

$$\alpha_{1.2} = \sqrt{\pm G\lambda^2 + \sqrt{H\lambda^4 + K\lambda^2\varphi^2}} \ldots\ldots (35)$$

waarin, daar in ons geval het aantal halve golven $p' = 1$ is:

$$\lambda = \frac{\pi}{a} \text{ en } \varphi^2 = \frac{h\sigma_B}{EI} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (36)$$

Verder is [2]):

$$G = \frac{B + 2F}{D}, \; H = \frac{(B + 2F)^2 - AD}{D^2} \text{ en } K = \frac{1}{D} \\ \ldots\ldots\ldots (37)$$

De vergelijkingen (**34**) zijn nu als volgt te schrijven:

$$\left.\begin{array}{llll} qC_1 & & -rC_3 & = 0 \\ sC_1 & + \alpha_1 r C_2 & + sC_3 & - \alpha_2 q C_4 = 0 \\ (q \cosh \alpha_1 b)C_1 & + (q \sinh \alpha_1 b)C_2 & - (r \cos \alpha_2 b)C_3 & - (r \sin \alpha_2 b)C_4 = 0 \\ (\alpha_1 r \sinh \alpha_1 b)C_1 & + (\alpha_1 r \cosh \alpha_1 b)C_2 & + (\alpha_2 q \sin \alpha_2 b)C_3 & - (\alpha_2 q \cos \alpha_2 b)C_4 = 0 \end{array}\right\} \ldots. (38)$$

14) Timoshenko. Theory of elastic stability. p. 300.
15) Hartmann. l.c. p. 154.

waarin mede in verband met (**35**), (**36**) en (**37**) voorts geldt:

$$
\left.\begin{aligned}
q &= -B\frac{\pi^2}{a^2} + D\alpha_1^2 = D\alpha_1^2 - B\lambda^2 .\\
r &= B\frac{\pi^2}{a^2} + D\alpha_2^2 = D\alpha_2^2 + B\lambda^2 .\\
\alpha_2 q &= D\alpha_2^3 + (B+4F)\,\alpha_2\frac{\pi^2}{a^2} =\\
&= \alpha_2\Big\{ D(\alpha_1^2 - 2G\lambda^2) +\\
&\quad + (B+4F)\lambda^2 \Big\} = \alpha_2 (D\alpha_1^2 - B\lambda^2).\\
\alpha_1 r &= D\alpha_1^3 - (B+4F)\,\alpha_1\frac{\pi^2}{a^2} =\\
&= \alpha_1 (D\alpha_2^2 + B\lambda^2).\\
s &= \frac{1}{EI}\left(EI\frac{\pi^4}{a^4} - \tfrac{1}{2} O\,\sigma_B \frac{\pi^2}{a^2}\right) =\\
&= \frac{\pi^2 0}{EI\,a^2}(4\sigma_H - \tfrac{1}{2}\sigma_B).
\end{aligned}\right\} \quad \ldots (39)
$$

De herleiding van s volgt, daar $a = l$ is, uit vergelijking (26).

De constanten C_1 tot en met C_4 kunnen alleen van nul verschillende waarden hebben, zoodat werkelijk plooiing optreedt, als de noemerdeterminant $\triangle$ van het door (38) gegeven systeem van homogene vergelijkingen nul is.

De vergelijking $\triangle = 0$ geeft de plooivoorwaarde voor flens AC:

$$
\left.\begin{aligned}
\phi(\sigma_B) = {} & \alpha_2 q^2 s (q+r) \sinh \alpha_1 b \cos \alpha_2 b -\\
& - \alpha_1 r^2 s (q+r) \cosh \alpha_1 b \sin \alpha_2 b +\\
& + (\alpha_1^2 r^4 - \alpha_2^2 q^4) \sinh \alpha_1 b \sin \alpha_2 b -\\
& - 2\alpha_1\alpha_2 q^2 r^2 (\cosh \alpha_1 b \cos \alpha_2 b -\\
& - 1) = 0
\end{aligned}\right\} \quad \ldots (40)
$$

Dezelfde voorwaarde geldt voor flens AB, wanneer alle waarden, behalve s (wegens σ_H), slechts voor het elastische gebied berekend worden. De waarde σ_H in s is dan (zie hoofdstuk 3):

$$
\sigma_H = \frac{\pi^2 E_t I_k}{O\,a^2} \quad \ldots\ldots (41)
$$

Verder geldt dus voor het plooien van flens AB (elastische gebied) [4] [2]):

$$
B = \frac{m}{m^2-1},\ D = \frac{m^2}{m^2-1},\ G = 1,\ H = 0,
$$

$$
K = \frac{m^2-1}{m^2} \quad \ldots\ldots (42)
$$

zoodat volgens (35) en (39):

$$
\left.\begin{aligned}
\alpha_{1.2} &= \sqrt{\pm\lambda^2 + \lambda\sqrt{\frac{h\sigma_B}{N}}}\\
q &= \frac{m^2}{m^2-1}\left(\alpha_1^2 - \frac{\lambda^2}{m}\right)\\
r &= \frac{m^2}{m^2-1}\left(\alpha_2^2 + \frac{\lambda^2}{m}\right)
\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (43)
$$

waarin $N = \dfrac{m^2}{m^2-1} EI$ en $I = \dfrac{h^3}{12}$

Ligt de plooispanning σ_B van het hoekstaal beneden de elasticiteitsgrens dan geldt dus ook (40), als daarin α_1, α_2, q en r volgens (43) worden ingevuld, terwijl dan s volgens (39) is in te vullen. Voor het elastische gebied moeten deze vergelijkingen identiek zijn met die voor het door C h w a l l a[16]) onderzochte geval van een plaat, die aan weerszijden op liggers is opgelegd met resp. stijfheden tegen buiging en wringing van B_1, B_2 en D_1, D_2 en doorsneden F_1, F_2, als daarin $B_1 = F_1 = D_1 = D_2 = 0$ wordt gesteld, waarbij dus in ons geval $B_2 = EI$, $F_2 = \frac{1}{2} O$ en het aantal (halve) golven $p = 1$ is, hetgeen bij omwerking inderdaad het geval blijkt te zijn.

Ter contrôle van de in hoofdstuk 3 afgeleide eenvoudige formule (28) werd de plooispanning berekend voor een dunwandig hoekstaal met $a = l = 100$ cm, $b = 5$ cm en $h = 0{,}25$ cm.

Daar $\dfrac{b}{h} = 20$, plooit het hoekstaal in het elastische gebied. Volgens (6) wordt de plooispanning bij oneindig stijve ondersteuning $\sigma_K = 0{,}387\ E\left(\dfrac{h}{b}\right)^2 = 0{,}000968\ E$. Het kleinste traagheidsmoment $I_k = \dfrac{1}{12} b^3 h$ terwijl het oppervlak $O = 2\,b\,h$, zoodat $i^2 = \dfrac{b^2}{24}$ en $\dfrac{l}{i} = \dfrac{100}{5}\sqrt{24} = 98$ en dus de term $4\sigma_H$ in (28) gelijk is aan $4\dfrac{\pi^2 E}{98^2} = 0{,}004112\ E$. Volgens (28) wordt nu $\sigma_B = 0{,}000856\ E$.

In (40) en (43) is alles bekend behalve σ_B. Door probeeren blijkt dat $\phi(\sigma_B) = 0$ wordt voor $\sigma_B = 0{,}000875\ E$. De nauwkeurigheid van (28) is dus bevredigend, terwijl men aan den veiligen kant blijft.

5. Afleiding van gebruiksformules.

Met behulp van (28) kunnen nu de in hoofdstuk 2 berekende formules (18) gecorrigeerd worden.

We eischen dus, dat de plooispanning σ_B van de flenzen gelijk is aan de knikspanning van het hoekstaal $\sigma_{KH} = \dfrac{\pi^2 T I_K}{Ol^2} = \dfrac{\pi^2 T}{\left(\dfrac{l}{i}\right)^2}$. Ligt deze knikspanning in het elastische gebied, dan is ze dus gelijk aan σ_H in (28). Wordt in (28) nu $\sigma_B = \sigma_H$ gesteld, dan volgt daaruit na omwerking:

$$
\sigma_K = \frac{7}{6}\sigma_H = \frac{7}{6}\sigma_{KH} \quad \ldots\ldots (44)
$$

waarin dan σ_K de plooispanning bij oneindig stijve ondersteuning voorstelt. In het elastische gebied wordt σ_K bepaald door (17). Invulling daarvan in (44)

16) C h w a l l a. Das allgemeine Stabilitätsproblem der gedrückten, durch Randwinkel verstärkten, Platte. *Ingenieur Archiv* (1934).

geeft, daar hierin dan $\sigma_{KH} = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{l}{i}\right)^2}$ is:

$$\frac{b}{h} = 0{,}183\,\frac{l}{i} \quad \ldots\ldots (45)$$

Heeft het hoekstaal een slankheid van 60, zoodat σ_{KH} gelijk aan de vloeigrens $\sigma_V = 2{,}4$ t/cm² is, dan zal, als we eerst het plooien van flens AC beschouwen, in (28) $\sigma_H = \frac{\pi^2 E I_k}{Ol^2}$ zijn, dus $\sigma_H = \frac{E}{T}\,\sigma_{KH}$, terwijl volgens onzen eisch $\sigma_B = \sigma_{KH}$ is. Invulling van deze waarden in (28) geeft:

$$\sigma_K = \frac{8 - \frac{T}{E}}{8 - 2\,\frac{T}{E}}\,\sigma_{KH} \quad \ldots\ldots (46)$$

Bij de vloeigrens is (zie boven) $T = 875$ t/cm², zoodat, met $E = 2\,100$ t/cm², uit (46) volgt:

$$\sigma_K = 1{,}058\,\sigma_{KH} = 2{,}539 \text{ t/cm}^2 \quad \ldots\ldots (47)$$

Daar voor de bepaling van σ_K met de waarde van F bij de vloeigrens gerekend moet worden, dus $F = 0{,}322$, is volgens (12), daar de flens AC geheel plastisch vervormt, $\sigma_K = 0{,}322\,E\left(\frac{h}{b}\right)^2$. Invulling daarvan in (47) geeft:

$$\frac{b}{h} = 16{,}3 \quad \ldots\ldots (48)$$

Voor het plooien van flens AB is $\sigma_H = \frac{E_t}{T}\,\sigma_{KH}$ te stellen en eveneens $\sigma_B = \sigma_{KH}$. Uit (28) volgt dan:

$$\sigma_K = \frac{8 - \frac{T}{E_t}}{8 - 2\,\frac{T}{E_t}}\,\sigma_{KH} \quad \ldots\ldots (49)$$

Bij de vloeigrens is $E_t = 477$ t/cm², zoodat uit (49) volgt:

$$\sigma_K = 1{,}422\,\sigma_{KH} = 3{,}413 \text{ t/cm}^2 \quad \ldots\ldots (50)$$

Hierbij is σ_K nu voor het elastische gebied, dus volgens (17) te berekenen, zoodat nu volgens (50):

$$\frac{b}{h} = 15{,}4 \quad \ldots\ldots (51)$$

Flens AC zal flens AB dus eenigszins ondersteunen, waardoor de te eischen verhouding $\frac{b}{h}$ tusschen die volgens (48) en (51) zal liggen. We zullen echter rekenen met $\frac{b}{h} = 15{,}5$.

Op gelijke wijze als in hoofdstuk 2 vinden we nu, dat opdat de flenzen niet plooien voordat het hoekstaal als geheel knikt, de volgende voorwaarden zijn te stellen:

$$\left.\begin{array}{lll} \text{voor } \frac{l}{i} \geqslant 100: & & \frac{b}{h} \leqslant 0{,}18\,\frac{l}{i} \\ \text{voor } 100 > \frac{l}{i} > 60: & & \frac{b}{h} \leqslant 12 + 0{,}06\,\frac{l}{i} \\ \text{voor } \frac{l}{i} \leqslant 60: & & \frac{b}{h} \leqslant 15{,}5 \end{array}\right\} \quad \ldots\ldots (52)$$

De letter i stelt hier dus den kleinsten traagheidsstraal van het hoekstaal voor.

Hoewel bij $\frac{l}{i} < 60$ de ondersteuning van de flenzen stijver wordt, worden hier voor $\frac{b}{h}$ geen grootere waarden gegeven dan voor $\frac{l}{i} = 60$, omdat dit onlogisch zou zijn wegens het feit, dat hier de knikzekerheid kleiner wordt genomen, dus de toegelaten knikspanning grooter is dan bij $\frac{l}{i} = 60$.

Berekening van de knikspanning van gekoppelde profielen volgens een nieuwe methode

door

prof. ir. P. P. BIJLAARD.

De in hoofdstuk 3 van het voorafgaande artikel ontwikkelde methode maakt bijv. een zeer eenvoudige berekening van de knikspanning van door koppelplaten verbonden staafprofielen (*fig. 1*) mogelijk.

De koppelplaten kunnen oneindig stijf worden gedacht.

Zouden de velden niet schranken, dus zou geen vormverandering door dwarskracht optreden (*fig. 1b*), dan zou de knikspanning gelijk zijn aan:

$$\sigma_M = \frac{P_M}{F} = \frac{\pi^2 T}{\lambda_v^2} \quad \ldots\ldots (1)$$

als λ_v de slankheid $\frac{l}{i_v}$ van het volle profiel voorstelt en i_v de traagheidsstraal voor knikken om de materiaalvrije as is. F is de dwarsdoorsnede van de geheele staaf. Het bij het sinusvormig knikken optredende inwendige moment is gelijk aan het uitwendige moment, dus:

$$M_{Mi} = P_M\,y_M = F\,\sigma_M\,y_M \quad \ldots\ldots (2)$$

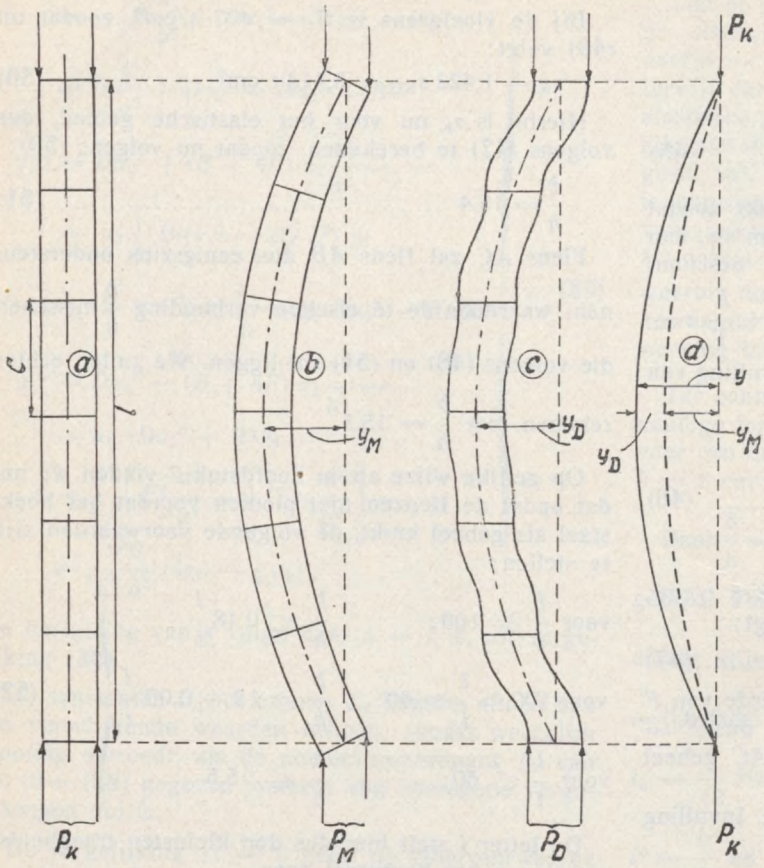


Fig. 1.

Zijn daarentegen de afzonderlijke profielen oneindig stijf tegen lengteverandering, maar niet tegen buiging, dan zal een uitknikken volgens *fig. 1c* optreden, waarbij dus de enkele profielen over de lengte c volgens *fig. 2* knikken, dus met een virtueele kniklengte c. De knikspanning is in dat geval:

$$\sigma_D = \frac{P_D}{F} = \frac{\pi^2 T}{\lambda_e^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

waarin λ_e de slankheid $\frac{c}{i_e}$ van het enkele profiel voorstelt. Het bij deze vervorming optredende inwendige moment is ook weer gelijk aan het uitwendige moment, dus volgens *fig. 1c*:

$$M_{Di} = P_D\, y_D = F\, \sigma_D\, y_D \quad \ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

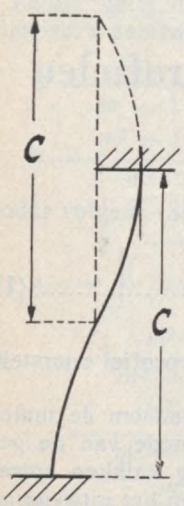


Fig. 2.

Denken we ons in *fig. 1b*, bij gelijkblijvend uitwendig moment $P_M\, y_M$, de stijfheid tegen schranking van de velden van oneindig af te nemen tot een zekere eindige grootte, dan zal daardoor een extra verbuiging y_D ontstaan (*fig. 1d*). Daar het inwendige moment hierbij gelijk aan $M_{Mi} = P_M\, y_M$ is gebleven, terwijl, bij gelijkblijvende uitwendige drukkracht, het uitwendige moment M_u door de grootere doorbuiging ook grooter zou worden, zal het evenwicht vereischen, dat de knikkracht hier kleiner wordt.

De gelijkheid van inwendig en uitwendig moment eischt n.l. dat:

$$M_{Mi} = M_u$$

$$\text{of } P_M\, y_M = P_K\, y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

Hierbij is dus ondersteld dat in *fig. 1d* y_M evenals in *fig. 1b* sinusvormig verloopt, want alleen dan zal $M_{Mi} = P_M\, y_M$ blijven en ook sinusvormig verloopen. Als nu ook $y = y_M + y_D$ sinusvormig verloopt, dus ook y_D, zal ook het uitwendige moment M_u sinusvormig verloopen, dus zal aan (5) in alle doorsneden kunnen worden voldaan.

Denken we nu op een dergelijke wijze in *fig. 1c*, bij gelijkblijvend inwendig moment $P_D\, y_D$, de stijfheid tegen lengteverandering van de enkele profielen van oneindig af te nemen tot een zeker eindig bedrag, dan zal daardoor een extra verbuiging y_M ontstaan (zie weer *fig. 1d*). Het inwendige moment blijft hierbij dus weer constant en gelijk aan $M_{Di} = P_D\, y_D$. Daar de doorbuiging grooter wordt zal, om M_u ook constant te houden, de knikkracht weer afnemen. Dus nu moet:

$$M_{Di} = M_u$$

$$\text{of } P_D\, y_D = P_K\, y \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

Uit (5) en (6) volgt nu respectievelijk:

$$y_M = \frac{P_K}{P_M}\, y \text{ en } y_D = \frac{P_K}{P_D}\, y$$

dus:

$$y = y_M + y_D = P_K \left(\frac{1}{P_M} + \frac{1}{P_D} \right) y =$$

$$= \sigma_K \left(\frac{1}{\sigma_M} + \frac{1}{\sigma_D} \right) y$$

zoodat volgens (1) en (3):

$$\sigma_K = \frac{1}{\frac{1}{\sigma_M} + \frac{1}{\sigma_D}} = \frac{1}{\frac{\lambda_v^2}{\pi^2 T} + \frac{\lambda_e^2}{\pi^2 T}} =$$

$$= \frac{\pi^2 T}{\lambda_v^2 + \lambda_e^2} = \frac{\pi^2 T}{\lambda_i^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

De knikspanning van de gekoppelde staaf is dus even groot als van een volle staaf met een slankheid:

$$\lambda_i = \sqrt{\lambda_v^2 + \lambda_e^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

Vergelijking (8) is de bekende formule van Engesser, die in de Duitsche Voorschriften voor de berekening van gekoppelde staven wordt aanbevolen en die tot nu toe op veel ingewikkelder wijze werd afgeleid.

De hodografische afbeelding als hulpmiddel bij de oplossing van het phreatisch randwaardeprobleem

door

prof. ir. C. G. J. VREEDENBURGH.

(Slot.)

III. Twee eenvoudige hodografische oplossingen.

1. DE PARABOLISCHE PHREATISCHE LIJN.

Men beschouwe wederom een aarden dam op een horizontalen ondoorlaatbaren grondslag. In het inwendige van den dam aan de luchtzijde bevinde zich echter een horizontale draineering (*fig. 28*). Het waterkeerend talud van den dam zij verder op zeer grooten afstand van de draineering gelegen, zoodat de watersnelheden ter plaatse van dit talud nul kunnen worden gesteld. Het beginpunt van de phreatische lijn (*c*) alsmede dat van de horizontale stroomlijn (*d*) kunnen dus op ∞ worden aangenomen.

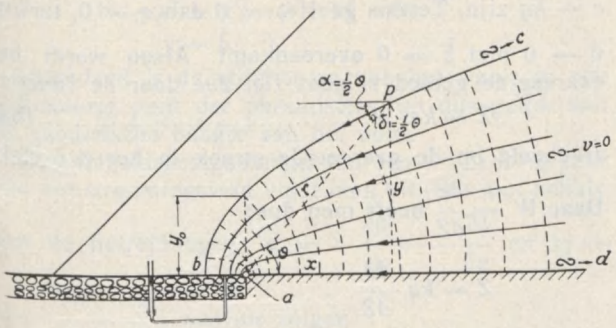


Fig. 28. Parabolisch stroombeeld.

Het kwelwater zal over een bepaalden afstand *ab* in de horizontale draineering uittreden, zoodat *ab* als een kwellijn kan worden beschouwd met een helling $\beta = 0$. De componente der watersnelheid langs *ab* is dus nul, zoodat het water hier in verticale richting uitstroomt. Alzoo is *ab* ook een potentiaallijn of lijn van gelijke stijghoogte van het stroomingsveld. Dit volgt natuurlijk ook dadelijk uit de overweging dat de stijghoogte van het water in ieder punt van *ab* dezelfde is, n.l. $h = 0$, althans wanneer de stijghoogten ten opzichte van den horizontalen grondslag worden gemeten (zie het stijgbuisje in *fig. 28*). De parameterwaarde van *ab* is dus $\phi = kh = 0$.

De vorm van de phreatische lijn *bc* is natuurlijk niet bekend. Wel weet men dat in ieder punt daarvan $v = k \cdot \sin\alpha$ wanneer α de plaatselijke helling is. De snelheid in *b* is dus $= k$.

Daar *ad* een stroomlijn is en *ab* een potentiaallijn, zullen zoowel de stroom- als potentiaallijnen in de buurt van *a* dicht op elkaar gedrongen zijn. In *a* zelf zal daarom de watersnelheid theoretisch oneindig groot moeten zijn.

De parameterwaarde van de stroomlijn langs den grondslag stelle men 0 en die der phreatische lijn *q*, zoodat *q* de afvoer is voor een dambreedte 1. Kiest men het coördinatenstelsel als in *fig. 29a* aangegeven, dan heeft men volgens (55) en (57) met $\phi = kh$:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= -\frac{\partial\phi}{\partial x} = -\frac{\partial\psi}{\partial y} \\ v_y &= -\frac{\partial\phi}{\partial y} = +\frac{\partial\psi}{\partial x} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (77)$$

Overeenkomstig het in het vorige hoofdstuk besprokene wordt de hodografische afbeelding van de begrenzingen van het stroomingsveld als in *fig. 29b* is aangegeven. In het bijzonder wordt de afbeelding $\frac{dZ}{dz}$ de aan de imaginaire as gespiegelde hodograaf.

Men zal gemakkelijk inzien dat de gearceerde strook in *fig. 29d* de afbeelding is op het ϕ, ψ-vlak van het gearceerde gebied in *fig. 29a*, met behulp van de functie $Z = f(z)$. De functie $f(z)$ is echter voorloopig nog onbekend. Slaagt men er nu in het gearceerde gebied in het V-vlak met behulp van een

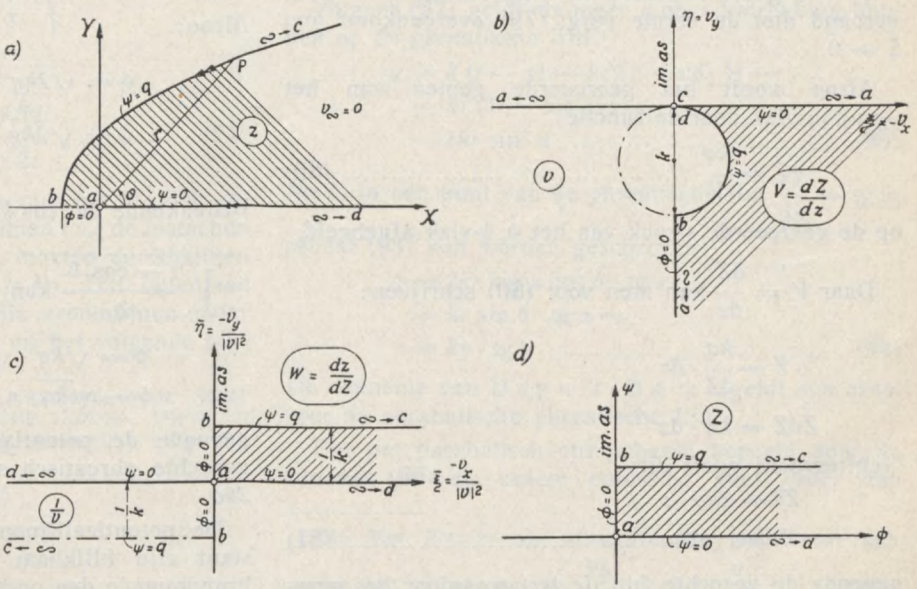


Fig. 29. Hodografische oplossing van het parabolisch stroombeeld.
a) b) d) met behulp van de gewone hodograaf; a) c) d) met behulp van de reciproke hodograaf.

bekende functie $Z = g_1(V) = g_1(\xi + i\eta)$ op dezelfde strook van *fig. 29d* af te beelden, dan kan $f(z)$ door integratie worden gevonden zooals uit het volgende moge blijken.

Uit het in *hoofdstuk I* behandelde over de afbeelding met reciproke stralen (verg. *fig. 7*) volgt dadelijk dat $g_1(V)$ den vorm $\frac{c}{V}$ moet hebben, waarbij c een nog nader te bepalen constante is.

Men vindt achtereenvolgens:

$$Z = \frac{c}{V} \quad \ldots\ldots\ldots\

gelijking wordt gevonden door in de tweede vergelijking van (86) aan ψ de parameterwaarde q toe te kennen alzoo:

$$q = \sqrt{kq} \cdot \sqrt{r - x} \quad \text{of wel:}$$

$$r - x = \frac{q}{k} \qquad \ldots\ldots (87)$$

Voor $x = 0$ wordt $r - x = y_o$, wanneer y_o voorstelt de ordinaat der phreatische lijn ter plaatse van het brandpunt, c.q. het beginpunt der horizontale draineering. Men vindt dus de volgende eenvoudige betrekking voor den afvoer:

$$q = k\, y_o \qquad \ldots\ldots (88)$$

Een potentiaallijn met een stijghoogte h wordt verkregen door in de eerste verg. (86) $\phi = kh$ te stellen. Men vindt:

$$r + x = \frac{k}{q} \cdot h^2 \qquad \ldots\ldots (89)$$

Voor het snijpunt van de potentiaallijn (89) met de phreatische lijn (87) geldt dat r en x aan beide vergelijkingen moeten voldoen, dus ook aan het product van beide. Men vindt:

$$r^2 - x^2 = y^2 = h^2 \quad \text{of wel:}$$

$$y = h$$

Inderdaad is de stijghoogte van het water in een willekeurig punt der phreatische lijn dus gelijk aan de geodetische hoogte van het punt.

De snelheidscomponenten van een willekeurig punt van het stroomingsveld vindt men uit (86) met behulp van de betrekkingen: $v_x = -\frac{\partial \phi}{\partial x} = -\frac{\partial \psi}{\partial y}$ en $v_y = -\frac{\partial \phi}{\partial y} = \frac{\partial \psi}{\partial x}$, waaruit volgen:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= -\frac{\sqrt{kq}}{2r} \cdot \sqrt{r + x} \\ v_y &= -\frac{\sqrt{kq}}{2r} \cdot \sqrt{r - x} \end{aligned}\right\} \qquad \ldots\ldots (90)$$

De totale snelheid wordt dus:

$$|v| = \sqrt{{v_x}^2 + {v_y}^2} = \frac{\sqrt{kq}}{\sqrt{2r}} \qquad \ldots\ldots (91)$$

De isotachen zijn dus cirkels met het middelpunt in het brandpunt en daar de isoklinen met de isotachen een orthogonaal stelsel vormen, moeten de isoklinen rechten door het brandpunt zijn [11]). Dat inderdaad een rechte door den oorsprong alle stroomlijnen onder eenzelfden hoek snijdt kan ook uit het volgende blijken. Voor een willekeurige stroomlijn geldt: $r - x = \text{constant} = a$.

Stelt men den scherpen hoek tusschen de raaklijn in een bepaald punt der stroomlijn en den voerstraal van dat punt $= \delta$ dan geldt:

$$\operatorname{tg} \delta = -\frac{r \cdot d\theta}{dr} \qquad \ldots\ldots (92)$$

Uit $r - x = r\,(1 - \cos\theta) = a$ volgt verder:

$$\cos\theta = 1 - \frac{a}{r};$$

$$-\sin\theta \frac{d\theta}{dr} = \frac{a}{r^2}.$$

Dus $\frac{d\theta}{dr} = -\frac{a}{r^2 \sin\theta} = -\frac{1 - \cos\theta}{r \cdot \sin\theta}$

Men vindt dus:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1 - \cos\theta}{\sin\theta} = \operatorname{tg} \tfrac{1}{2}\theta$$

$$\delta = \tfrac{1}{2}\theta$$

Een voerstraal in de richting θ snijdt dus alle stroomlijnen onder denzelfden hoek $\delta = \frac{1}{2}\theta$ [12]).

In een punt r, θ van de phreatische lijn geldt dus in verband met de tweede vergelijking (85):

$$q = \sqrt{2kq} \cdot r^{\frac{1}{2}} \cdot \sin\delta \qquad \ldots\ldots (93)$$

en daar de hoek α, dien de raaklijn aan de phreatische lijn met de horizontaal maakt, gelijk is aan $\theta - \delta = \delta$ kan (93) ook worden geschreven:

$$\sqrt{2r} = \frac{\sqrt{q}}{\sqrt{k} \cdot \sin\alpha}$$

Deze waarde gesubstitueerd in (91) geeft:

$$|v| = k \cdot \sin\alpha \qquad \ldots\ldots (92)$$

hetgeen in verband met (61) wederom de juistheid der gevonden phreatische lijn bevestigt.

Volgens (87) geldt wanneer r en x betrekking hebben op de phreatische lijn:

$$\begin{aligned} q &= k\,(r - x) = kr\,(1 - \cos\theta) = \\ &= kr\,(1 - \cos 2\alpha) = \\ &= 2kr \sin^2\alpha \end{aligned} \qquad \ldots\ldots (93)$$

Nu is in een punt van de phreatische lijn $\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg}\alpha$, zoodat (93) kan worden geschreven:

$$\begin{aligned} q &= 2kr \sin\alpha \cos\alpha \cdot \operatorname{tg}\alpha \\ &= kr \sin\theta \cdot \operatorname{tg}\alpha = \\ &= ky \cdot \operatorname{tg}\alpha \end{aligned} \qquad \ldots\ldots (94)$$

De aanname van D u p u i t - D a r c y geldt dus exact voor de parabolische phreatische lijn.

Dat het parabolisch stroombeeld bepaald door de functies (86) de exacte oplossing geeft voor den

---

11) Deze eigenschap geldt algemeen voor ieder stroombeeld bepaald door de functie $Z = z^n$. Uit $\phi = r^n \cos n\theta$ en $\psi = r^n \sin n\theta$ (verg. form. 28) volgt n.l.

$$v_r = -\frac{\partial \phi}{\partial r} = -nr^{n-1} \cdot \cos n\theta$$

$$v_{1r} = -\frac{1}{r}\frac{\partial \phi}{\partial \theta} = nr^{n-1} \cdot \sin n\theta$$

zoodat $v = n \cdot r^{n-1}$. De isotachen worden dus bepaald door $r = \text{constant}$.

12) Met $Z = z^n$ als afbeeldfunctie geldt voor een stroomlijn $r^n \cdot \sin n\theta = a$, $\frac{\partial \theta}{\partial r} = -\frac{a}{r^{n+1} \cdot \cos n\theta}$, zoodat $\operatorname{tg}\delta = \operatorname{tg} n\theta$ of wel $\delta = n\theta$.

phreatischen waterstroom door een homogenen aarden dam op ondoorlaatbaren ondergrond, met horizontale draineering van het achtertalud volgens *fig. 28*, werd reeds in 1929 door schrijver dezes gevonden en voor het ontwerpen van aarden dammen toegepast (lit. 8). Echter werd toen niet de bovengegeven rechtstreeksche afleiding met behulp van de hodograaf gevolgd, doch — min of meer toevallig — dadelijk van de functiee $Z = cz^{\frac{1}{2}}$ gebruik gemaakt.

Zooals men gemakkelijk kan aantoonen, geeft de algemeene afbeeldfunctie $Z = z^n$ alleen voor $n = \frac{1}{2}$ een phreatisch stroombeeld.

2. WEGZIJGING UIT EEN KANAAL.

In *fig. 30a* stelle de streeplijn *ab* de rechter helft voor van een symmetrisch kanaalprofiel, dat tot de horizontaal door *b* met water gevuld zij. Uit dit kanaal zal dan in den aarden bodem, die homogeen en naar beneden toe onbegrensd wordt verondersteld, water wegzijgen.

De *X*-as kieze men langs de symmetrieas van het kanaal (positief naar beneden) en de *Y*-as (imaginaire as) langs den waterspiegel. Daar de stijghoogten van af de *Y*-as in de positieve richting der *X*-as worden gemeten, ligt het hier voor de hand met $\phi = kh$:

$$\left.\begin{aligned} v_x &= \frac{\partial \phi}{\partial x} = \frac{\partial \psi}{\partial y} \\ v_y &= \frac{\partial \phi}{\partial y} = -\frac{\partial \psi}{\partial x} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (95)$$

te stellen overeenkomstig (**71**).

De streeplijn *ab* is blijkbaar een potentiaallijn met de parameterwaarde $\phi = 0$, terwijl de *X*-as evenals de phreatische lijn *bc*, stroomlijnen zijn. Aan de eerste geve men een parameterwaarde $\Psi = 0$ en aan de tweede een parameterwaarde $\Psi = q$.

Alzoo stelt *q* de waterhoeveelheid voor, die door de helft van het kanaal in den bodem wegzijgt voor een lengte 1 loodrecht op het teekenvlak. Het is duidelijk dat op zeer grooten afstand (theoretisch oneindig groot) beneden het kanaal een parallelstroom zal ontstaan met een snelheid *k* (hellingshoek phreatische lijn met de horizontaal $\alpha = 90°$). De reciproke hodograaf van *bc* wordt dus een horizontale lijn op een afstand $\frac{1}{k}$ beneden de imaginaire as η (*fig. 30b*). De vorm *ab* van het kanaalprofiel kieze men nu zoodanig, dat de reciproke hodograaf van *ab* in *fig. 30b* een kwartcirkel wordt met een straal $p < \frac{1}{k}$, terwijl het middelpunt op een afstand $\frac{1}{k}$ van den oorsprong op de reëele as ξ is gelegen. Nader zal dan moeten blijken of het kanaal met deze voorwaarde al dan niet een practisch bruikbaren vorm zal krijgen [13]).

In herinnering moge worden gebracht, dat de reciproke hodograaf in verband met (**95**) c.q. (**71**), door formule (**73**) wordt gegeven, zoodat voor de verkrijging van de afbeelding $W = \frac{dz}{dZ}$ de reciproke waarde der snelheid $\frac{1}{v}$ van uit den oorsprong in dezelfde richting moet worden uitgezet als *v* in het stroomingsveld van *fig. 30a*.

Voert men in plaats van $\xi = \frac{v_x}{|v|^2}$ een nieuwe complexe grootheid $\bar{\xi} = \frac{v_x}{|v|^2} - \frac{1}{k}$ in, dan krijgt men de verschoven reciproke hodograaf van *fig. 30c*, waarvan een punt nu wordt bepaald door:

$$U = \frac{dz}{dZ} - \frac{1}{k} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (96)$$

In *fig. 30d* stelt de gearceerde strook weer het gebied voor waardoor het stroomingsveld van *fig. 30a* door de voorloopig nog onbekende functie $Z = f(z)$

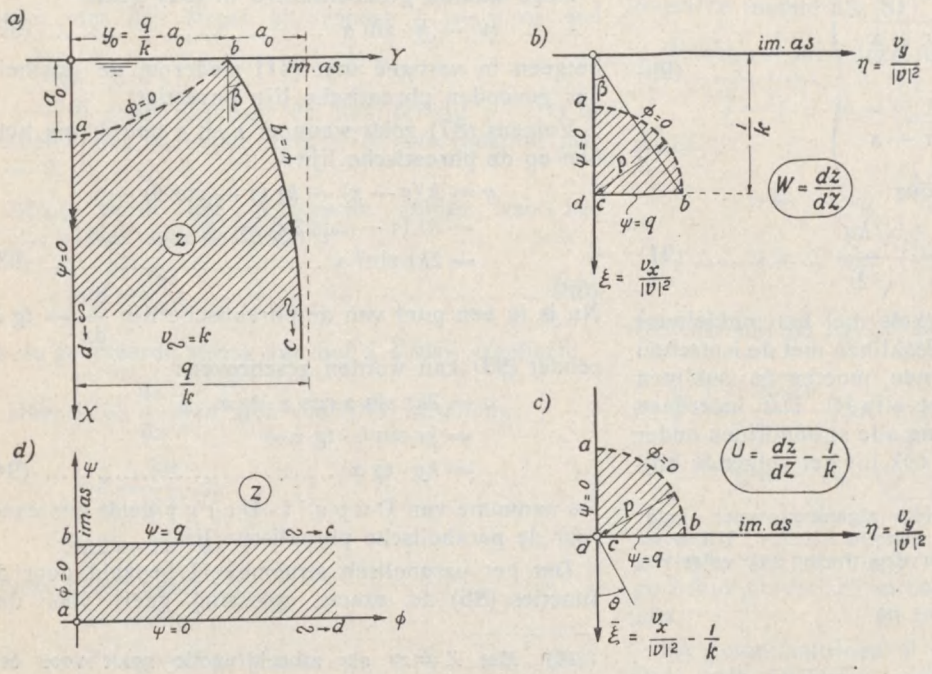


Fig. 30. Hodografische oplossing van de kwelstrooming uit een kanaal van omgekeerd trochoïdaal profiel.
b) = reciproke hodograaf (kwartcirkel).
c) = verschoven reciproke hodograaf.

13) Reeds thans moge worden medegedeeld, dat deze vorm een omgekeerde trochoïde zal blijken te zijn.

op het ϕ, ψ-vlak moet worden afgebeeld. Slaagt men er in een functie $Z = g(U)$ te vinden, waardoor het gearceerde gebied van *fig. 30c* op dezelfde strook van het ϕ, ψ-vlak wordt afgebeeld, zoo kan $f(z)$ door integratie worden bepaald.

Wederom blijkt het hodografisch gebied een intermediair te vormen om $f(z)$ te bepalen, hetgeen weer noodzakelijk is om de potentiaalfunctie ϕ en stroomfunctie ψ van den grondwaterstroom te kunnen vinden.

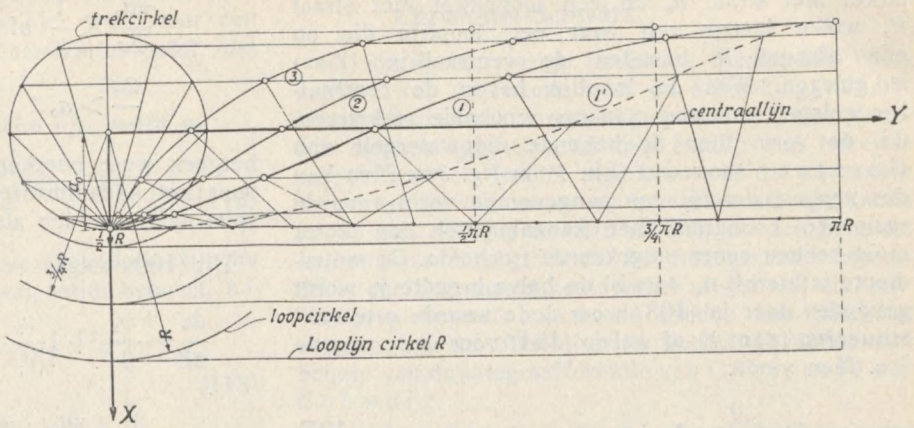


Fig. 31. 1, 2 en 3 zijn omgekeerde trochoïden met stralen van den loopcirkel resp. gelijk aan R, $\frac{3}{4}R$ en $\frac{1}{2}R$ (looplijn beneden de centraallijn). 1′ = gewone trochoïde (straal loopcirkel = R, looplijn boven de centraallijn).

Draait men *fig. 30c* een kwartslag links om, zoodat de imaginaire as gelijk georiënteerd komt te liggen met die van *fig. 30d*, zoo ziet men duidelijk de overeenkomst met *fig. 9b*, zoodat in verband met (25) de gezochte functie $Z = g(U)$ met twee nader te bepalen constanten a en b van den vorm:

$$Z = -a \ln(-bU) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (97)$$

moet zijn. Men kan dus schrijven:

$$Z = \phi + i\psi = -a \ln\left[br \cdot e^{i(\theta - \pi)}\right]$$

$$\left.\begin{aligned} \phi &= -a \ln(br) \\ \psi &= -a(\theta - \pi) \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (98)$$

Om het gearceerde gebied in het U-vlak op dat in het Z-vlak afgebeeld te krijgen moet de kwartcirkel $r = p$ in het U-vlak met $\phi = 0$ in het Z-vlak overeenkomen. Uit de eerste verg. (98) volgt dat daartoe $bp = 1$ moet zijn, zoodat $b = \frac{1}{p}$. Verder moet $r = 0$, $\phi = \infty$ opleveren, waaraan vanzelf wordt voldaan. De lijn $\theta = \pi$ in het U-vlak moet $\psi = 0$ opleveren, waaraan eveneens wordt voldaan zooals uit de tweede verg. (98) blijkt. Tenslotte moet $\theta = \frac{1}{2}\pi$ in het U-vlak $\psi = q$ in het Z-vlak geven. Uit de tweede verg. van (98) volgt dat dan de betrekking $q = \frac{1}{2}\pi a$ moet vervuld zijn, zoodat $a = \frac{2q}{\pi}$. Voert men een nieuwe constante a_o in zoodat $a_o = ap = \frac{2q}{\pi}p$ dan wordt dus (97):

$$Z = -\frac{2q}{\pi} \ln\left[-\frac{2q}{\pi a_o} U\right] \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (99)$$

Bedenkende dat $U = \frac{dz}{dZ} - \frac{1}{k}$ vindt men verder:

$$-\frac{2q}{\pi a_o} U = e^{-\frac{\pi Z}{2q}}$$

$$\frac{dz}{dZ} = \frac{1}{k} - \frac{\pi a_o}{2q} e^{-\frac{\pi Z}{2q}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (100)$$

$$z = \frac{Z}{k} + a_o e^{-\frac{\pi}{2q}Z} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (101)$$

waarmede wel is waar niet $Z = f(z)$ is verkregen maar z als functie van Z, doch uiteraard is dit van weinig beteekenis.

Verg. (101) nader uitwerkende vindt men:

$$x + iy = \frac{\phi + i\psi}{k} + a_o e^{-\frac{\pi}{2q}\phi}\left(\cos\frac{\pi}{2q}\psi - \right.$$

$$\left. - i \cdot \sin\frac{\pi}{2q}\psi\right)$$

zoodat:

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\phi}{k} + a_o e^{-\frac{\pi}{2q}\phi} \cdot \cos\frac{\pi}{2q}\psi \\ y &= \frac{\psi}{k} - a_o e^{-\frac{\pi}{2q}\phi} \cdot \sin\frac{\pi}{2q}\psi \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (102)$$

Hiermede is ook de vorm bekend van het kanaalprofiel dat overeenstemt met de aanname van den kwartcirkel voor de afbeelding van $\phi = 0$ in de reciproke hodograaf. Stelt men n.l. in (102) $\phi = 0$ zoo krijgt men:

$$\left.\begin{aligned} x &= a_o \cos\frac{\pi}{2q}\psi \\ y &= \frac{\psi}{k} - a_o \sin\frac{\pi}{2q}\psi \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (103)$$

Met $\frac{\pi}{2q}\psi = \omega$ en $\frac{2q}{\pi k} = R$ kan (103) ook worden geschreven:

$$\left.\begin{aligned} x &= a_o \cos\omega \\ y &= R\omega - a_o \sin\omega \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (104)$$

In *fig. 31* geeft lijn *1* de kromme welke door verg. (104) wordt voorgesteld, wanneer $R = \frac{15}{2\pi} a_o$. Ze is een verkorte cycloïde, voortgebracht door een trek-

cirkel met straal a_o en een loopcirkel met straal R, welke laatste rolt over een looplijn die op een afstand R beneden de centraallijn (Y-as) is gelegen. Was de looplijn boven de centraallijn gelegen, zoo zou men een trochoïde verkrijgen, d.i. de vorm dien de bekende diepwatergolf van Gerstner aanneemt (lijn *1'* in *fig. 31*). Men kan dus zeggen, dat bij den aangenomen vorm voor de reciproke hodograaf het kanaalprofiel den vorm moet hebben eener omgekeerde trochoïde. De waterdiepte is hierbij a_o, terwijl de halve breedte y_o wordt gevonden door in (**103**) woor ψ de waarde q te substitueeren (punt *b*) of wel in (**104**) voor ω de waarde $\frac{1}{2}\pi$. Men vindt:

$$y_o = \frac{q}{k} - a_o \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (105)$$

Daar $\frac{q}{k}$ blijkbaar voorstelt de halve breedte van den grondwaterstroom op een groote diepte beneden het kanaal, kan men dus zeggen dat de wegzijging in den bodem zich tenslotte uitstrekt over een afstand rechts en links van de waterspiegelbreedte, welke gelijk is aan de maximale waterdiepte van het kanaal. In *fig. 31* zijn bovendien nog omgekeerde trochoïden geteekend voor stralen van den loopcirkel welke resp. $\frac{3}{4}$ en $\frac{1}{2}$ bedragen van dien van kromme *1*. Wanneer $R = a_o$, is de kromme in de gewone cycloïde overgegaan.

De vergelijking der phreatische lijn krijgt men uit (**102**) door hierin $\phi = kx$ en $\psi = q$ te substitueeren. Men vindt:

$$y = \frac{q}{k} - a_o \cdot e^{-\frac{\pi k}{2q} \cdot x} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (106)$$

De hoek β dien de voerstraal van punt *b* in de reciproke hodograaf van *fig. 30b* met de reële as ξ maakt moet blijkbaar gelijk zijn aan den hoek dien de raaklijn aan de phreatische lijn in *b* met de x-richting maakt in *fig. 30a*.

Uit (**106**) vindt men:

$$\frac{dy}{dx} = a_o \cdot \frac{\pi k}{2q} \cdot e^{-\frac{\pi k}{2q} \cdot x}$$

hetgeen voor $x = 0$ wordt $\frac{\pi k}{2q} \cdot a_o$.

Alzoo heeft men:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\pi k}{2q} \cdot a_o = p : \frac{1}{k}$$

zoodat $p = \frac{\pi a_o}{2q}$, hetgeen in overeenstemming is met de vroegere gelijkstelling: $a_o = ap$ waarbij $a = \frac{2q}{\pi}$.

Daar bij de aanname der reciproke hodograaf van het kanaalprofiel werd verondersteld, dat $p < \frac{1}{k}$ beteekent dit dus dat:

$$\frac{\pi a_o}{2q} < \frac{1}{k} \quad \text{of wel:}$$

$$\frac{2q}{\pi k} > a_o$$

hetgeen weer neerkomt op $R > a_o$, d.w.z. dat men voor het kanaalprofiel de gewone cycloïde met de spits naar beneden als grensvorm uitschakelt.

Uit (**100**) volgt:

$$\frac{dz}{dZ} = \frac{v_x}{|v|^2} + i\frac{v_y}{|v|^2} = \frac{1}{k} - \frac{\pi a_o}{2q} e^{-\frac{\pi Z}{2q}} =$$

$$= \frac{1}{k} - \frac{\pi a_o}{2q} \cdot e^{-\frac{\pi \phi}{2q}} \left[\cos \frac{\pi}{2q} \psi - i \cdot \sin \frac{\pi}{2q} \psi \right]$$

zoodat:

$$\frac{v_x}{|v|^2} = \frac{1}{k} - \frac{\pi a_o}{2q} \cdot e^{-\frac{\pi \phi}{2q}} \cdot \cos \frac{\pi}{2q} \psi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (107)$$

Beschouwt men de phreatische lijn waarvoor $\psi = q$ en stelt men den hoek dien de snelheid in een punt der phreatische lijn maakt met de horizontaal $= \alpha$, zoo volgt uit (**107**): $\frac{\sin \alpha}{v} = \frac{1}{k}$ of

$$v = k \cdot \sin \alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (108)$$

zoodat inderdaad de phreatische lijn aan de bekende voorwaarde der sinusvormige snelheidsverdeeling voldoet.

Het bovengegeven resultaat werd ook door Hamel verkregen zonder gebruikmaking van de hodograaf (lit. 14, verg. ook lit. 5 blz. 98 e.v.).

Voorts werd er door hem op gewezen, dat in plaats van (**101**) meer algemeen ook de functie:

$$z = \frac{Z}{k} + \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot e^{-\frac{\pi}{2q}(2n+1)Z} \quad \ldots\ldots \quad (109)$$

een bruikbare waarde voor de phreatische lijn geeft (n = geheel getal). Men vindt dan in plaats van (**102**):

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\phi}{k} + \sum_{n=0}^{\infty} a_n e^{-\frac{\pi}{2q}(2n+1)\phi} \cdot \\ &\quad \cdot \cos \frac{\pi}{2q}(2n+1)\psi \\ y &= \frac{\psi}{k} - \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot e^{-\frac{\pi}{2q}(2n+1)\phi} \cdot \\ &\quad \cdot \sin \frac{\pi}{2q}(2n+1)\psi \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (110)$$

Overeenkomstig (**107**) heeft men dan:

$$\frac{v_x}{|v|^2} = \frac{1}{k} - \frac{\pi}{2q} \cdot \sum_{n=0}^{\infty} (2n+1)\, a_n \cdot e^{-\frac{\pi}{2q}(2n+1)\phi} \cdot$$

$$\cdot \cos \frac{\pi}{2q}(2n+1)\psi \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (111)$$

Men ziet dat voor $\psi = q$ alle termen achter het somteeken nul worden, zoodat ook hier weer voor den vrijen grondwaterspiegel de voorwaarde geldt, dat $v = k \cdot \sin \alpha$.

De vergelijking der phreatische lijn wordt nu:

$$y = \frac{q}{k} - \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \cdot a_n \cdot e^{-\frac{\pi k}{2q}(2n+1)x} \quad \ldots (112)$$

Het spreekt van zelf dat bij deze phreatische lijn nu een andere vorm van het kanaalprofiel behoort, n.l.

$$\left.\begin{aligned} x &= \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot \cos \frac{\pi}{2q}(2n+1)\psi \\ y &= \frac{\psi}{k} - \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot \sin \frac{\pi}{2q}(2n+1)\psi \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (113)$$

of wel met $\frac{\pi\psi}{2q} = \omega$ en $\frac{2q}{\pi k} = R$

$$\left.\begin{aligned} x &= \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot \cos (2n+1)\omega \\ y &= R\omega - \sum_{n=0}^{\infty} a_n \cdot \sin (2n+1)\omega \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (114)$$

Blijkbaar stelt (**114**) voor de superpositie van een oneindig aantal omgekeerde trochoïden met dezelfde centraallijn en straal van den loopcirkel, doch verschillende stralen en hoeksnelheden van den trekcirkel.

Door aan a_n en n verschillende waarden toe te kennen, met een overeenkomstig kleiner of grooter aantal termen van de reeks, kan men dus oplossingen verkrijgen voor verschillende symmetrische kanaalprofielen.

Is het profiel van het kanaal gegeven, zoo zal men den omtrek van dit profiel zoo goed mogelijk moeten benaderen met behulp van de formules (**113**) of (**114**). Blijkbaar moet met $\psi = 0$ of $\omega = 0$ de waterdiepte in het midden van het kanaal gelijk zijn aan $x_{\omega=0} = \Sigma a_n$, terwijl met $\psi = q$ of $\omega = \frac{1}{2}\pi$ de halve breedte van het kanaal gelijk wordt aan $y_{\omega=\frac{1}{2}\pi} = \frac{q}{k} - \Sigma (-1)^n \cdot a_n$.

Op deze wijze is het dus in principe mogelijk de potentiaaltheoretische oplossing voor de wegzijging uit een kanaal van symmetrischen doch overigens *willekeurigen* vorm, te benaderen met iedere gewenschte nauwkeurigheid.

Voor practische gevallen lijkt een benadering met behulp van drie of vier termen van de reeks alleszins voldoende

IV. Oplossing met behulp van de formule van Christoffel-Schwarz.

Bij de in het vorige hoofdstuk behandelde voorbeelden kon de functie voor de afbeelding van het hodografisch stroomingsbeeld op het ϕ, ψ-vlak dadelijk worden opgeschreven met behulp van bekende afbeeldfuncties. In het algemeen zal dit natuurlijk niet mogelijk zijn en zal de complexe afbeeldfunctie op de een of andere wijze moeten worden bepaald. In het bijzondere geval dat het hodografisch stroombeeld een begrenzing heeft welke uitsluitend uit rechte lijnen bestaat, m.a.w. de randen een polygoon vormen, kan de afbeeldfunctie worden gevonden met behulp van de integraalformule van Christoffel-Schwarz.

Met deze formule is het n.l. mogelijk de bovenste helft van een complex hulpvlak, bepaald door de $\zeta = \xi + i\eta$, af te beelden op den polygoon. Daar het verder niet moeilijk is bedoelde helft van het ζ-vlak af te beelden op het kwadratisch ϕ, ψ-vlak, kan door eliminatie van ζ de gezochte afbeeldfunctie van het polygonale hodografisch stroombeeld op het ϕ, ψ-vlak worden gevonden.

Laat in *fig. 32* de bovenste helft van het ζ-vlak moeten worden afgebeeld op het vlak van den driehoek in het z-vlak, waarvan de hoekpunten gegeven zijn door z_1, z_2 en z_3 en de hoeken door de buitenhoeken $\lambda_1 \cdot \pi$, $\lambda_2 \cdot \pi$ en $\lambda_3 \cdot \pi$. De afbeelding stelle men zich zoodanig voor, dat de ξ-as (van $-\infty$ tot $+\infty$) de omtrek van den driehoek zal moeten worden, terwijl ieder punt $\eta > 0$ (d.i. dus de bovenste helft van het ζ-vlak) zal worden afgebeeld in een bepaald punt binnen den driehoek. Men neme verder aan dat bijv. de punten ζ_1, ζ_2 en ζ_3 op de ξ-as zich zullen moeten afbeelden in de hoekpunten z_1, z_2, en z_3 van den driehoek. Men stelle:

$$\frac{d}{d\zeta}\left[\ln\left(\frac{dz}{d\zeta}\right)\right] = \frac{\lambda_1}{\zeta_1 - \zeta} + \frac{\lambda_2}{\zeta_2 - \zeta} + \frac{\lambda_3}{\zeta_3 - \zeta} \quad \ldots\ldots\ldots (115)$$

hetgeen na integratie wordt:

$$\ln\left(\frac{dz}{d\zeta}\right) = -\lambda_1 \cdot \ln(\zeta - \zeta_1) - \lambda_2 \cdot \ln(\zeta - \zeta_2) - \lambda_3 \cdot \ln(\zeta - \zeta_3)$$

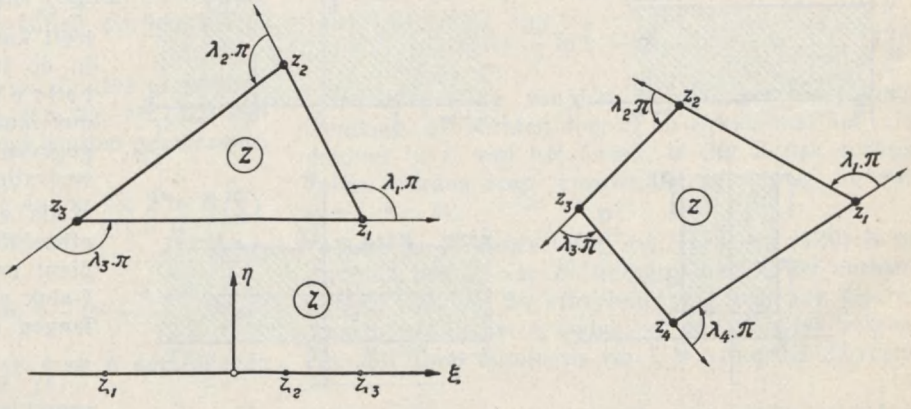


Fig. 32. Afbeelding van de bovenste helft van het ζ-vlak op een driehoek of een vierhoek in het z-vlak.

of wel:

$$\frac{dz}{d\zeta} = (\zeta - \zeta_1)^{-\lambda_1} \cdot (\zeta - \zeta_2)^{-\lambda_2} \cdot (\zeta - \zeta_3)^{-\lambda_3} \quad \ldots\ldots\ldots \textbf{(116)}$$

Beweegt men zich op de ξ-as van $-\infty$ naar $+\infty$, dan is het duidelijk dat het argument van $\zeta - \zeta_1$ gelijk is aan π als $\zeta < \zeta_1$, en gelijk wordt aan 0 als $\zeta > \zeta_1$. Evenzoo is arg $(\zeta - \zeta_2) = \pi$ als $\zeta < \zeta_2$ en $= 0$ als $\zeta > \zeta_2$, terwijl tenslotte arg $(\zeta - \zeta_3) = \pi$ als $\zeta < \zeta_3$ en $= 0$ als $\zeta > \zeta_3$.

Stelt men in het algemeen:

$$\zeta - \zeta_1 = r_1 e^{i\theta_1}, \quad \zeta - \zeta_2 = r_2 e^{i\theta_2}, \quad \zeta - \zeta_3 = r_3 e^{i\theta_3}$$

dan kan men in verband met **(116)** schrijven:

$$\arg \frac{dz}{d\zeta} = -(\theta_1\lambda_1 + \theta_2\lambda_2 + \theta_3\lambda_3) \quad \ldots\ldots\ldots \textbf{(117)}$$

Bedenkende dat voor een driehoek $\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 = 2$ heeft men dus dat

$$\arg \frac{dz}{d\zeta} = \begin{cases} -(\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3)\,\pi = -2\pi = 0 \\ \qquad\qquad \text{voor } \zeta < \zeta_1 \\ -(0 + \lambda_2 + \lambda_3)\,\pi = -(\lambda_2 + \\ \qquad + \lambda_3)\,\pi \text{ voor } \zeta_1 < \zeta < \zeta_2 \\ -(0 + 0 + \lambda_3)\,\pi = -\lambda_3\pi \\ \qquad\qquad \text{voor } \zeta_2 < \zeta < \zeta_3 \\ -(0 + 0 + 0)\,\pi = 0 \\ \qquad\qquad \text{voor } \zeta_3 < \zeta \end{cases} \ldots \textbf{(118)}$$

Beweegt men zich van af een bepaald punt ζ_0 op de negatieve ξ-as links van ζ_1 gelegen (*fig. 32*) op deze as naar rechts en volgt men de afbeelding z van dit punt in het x, y-vlak, zoo zal z ingevolge **(118)** zich rechtlijnig voortbewegen tot het punt ζ_1 op de ξ-as wordt bereikt. Wordt dit punt gepasseerd, dan zal de bewegingsrichting van z een hoek $\lambda_1 \cdot \pi$ linksom draaien en constant blijven tot ζ_2 wordt bereikt. Wordt ζ_2 gepasseerd dan draait de bewegingsrichting van z een hoek $\lambda_2 \cdot \pi$ verder linksom om dan constant te blijven tot ζ_3 wordt bereikt. Dan draait na passeering van dit punt de bewegingsrichting van z een hoek $\lambda_3 \cdot \pi$ linksom om dan dezelfde te blijven als ze oorspronkelijk was. Heeft men de ξ-as via $+\infty$ en $-\infty$ als een gesloten weg doorloopen tot weer het punt van uitgang ζ_0 is bereikt, dan zal in het z-vlak ook een gesloten figuur beschreven moeten zijn, die in dit geval blijkbaar een driehoek is met de buitenhoeken $\lambda_1 \cdot \pi$, $\lambda_2 \cdot \pi$ en $\lambda_3 \cdot \pi$. Men zal verder gemakkelijk inzien, dat de punten $\eta > 0$ in het inwendige van den driehoek zullen worden afgebeeld [14]).

Is een bepaalde driehoek gegeven met de buitenhoeken $\lambda_1 \cdot \pi$, $\lambda_2 \cdot \pi$ en $\lambda_3 \cdot \pi$, dan krijgt men met **(116)** bij eenmalig doorloopen van de ξ-as een driehoek welke gelijkvormig is met den gegevenen. Wil men de afbeelding precies met den gegeven driehoek laten samenvallen, dan zal in het algemeen nog een draaiing + verschuiving + gelijkvormige vergrooting of verkleining noodig zijn, hetgeen verkregen kan worden door in de afbeeldfunctie welke door integratie van **(116)** ontstaat, twee complexe constanten toe te voegen. De gezochte afbeeldfunctie wordt dus:

$$z = A \int \left[(\zeta - \zeta_1)^{-\lambda_1} \cdot (\zeta - \zeta_2)^{-\lambda_2} \cdot (\zeta - \zeta_3)^{-\lambda_3} \right] d\zeta + B \quad \ldots\ldots\ldots \textbf{(119)}$$

zijnde de formule van Christoffel-Schwarz voor de afbeelding van de bovenste helft van het ζ-vlak op een gegeven driehoek. Een soortgelijke formule geldt nu ook voor de afbeelding op een willekeurigen gesloten polygoon.

In het bijzonder geldt voor de afbeelding op een vierhoek (*fig. 32*):

$$z = A \int \left[(\zeta - \zeta_1)^{-\lambda_1} \cdot (\zeta - \zeta_2)^{-\lambda_2} \cdot (\zeta - \zeta_3)^{-\lambda_3} \cdot (\zeta - \zeta_4)^{-\lambda_4} \right] d\zeta + B \quad \ldots\ldots \textbf{(120)}$$

Als regel is men vrij in de keuze van de punten $\zeta_1, \zeta_2, \ldots\ldots$enz. op de ξ-as, welke overeenkomen met de hoekpunten van den polygoon en dan ligt het voor de hand deze punten zoo te kiezen, dat de integratie volgens **(120)** zoo eenvoudig mogelijk wordt. Geschikte plaatsen om deze punten op de ξ-as te kiezen kunnen bijv. zijn $\zeta = 0, \pm 1$ of wel $\pm \infty$. Wat de keuze $\zeta_i = \pm \infty$ betreft kan nog worden opgemerkt, dat in de integraalformule van Christoffel-Schwarz de termen met oneindig groote ζ-waarden der gegeven punten op de ξ-as blijkbaar wegvallen.

Als eenvoudig voorbeeld moge de afbeeldfunctie worden bepaald welke dient om de bovenste helft van het ζ-vlak af te beelden op den oneindig langen rechthoek van *fig. 33a*. Men

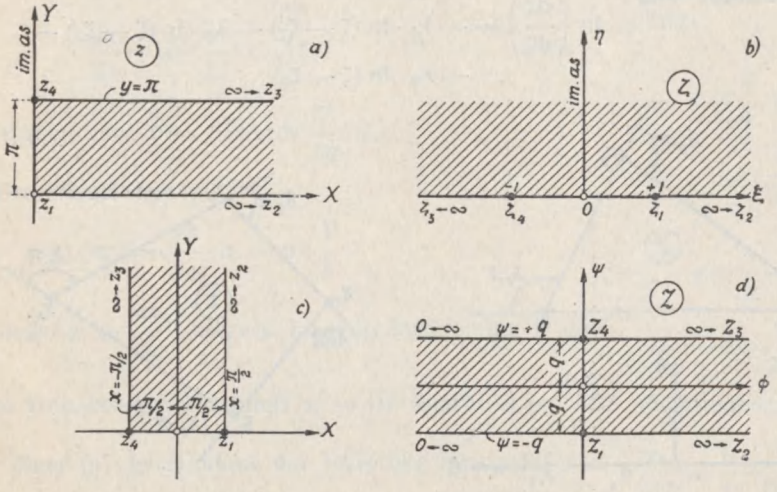


Fig. 33. Afbeelding van de bovenste helft van het ζ-vlak b) resp. op een horizontale en een verticale strook in het z-vlak a) en c), alsmede op een horizontale strook in het Z-vlak d).

14) De hier gegeven elementaire uiteenzetting is ontleend aan lit. 2, hoofdstuk 5. Voor een meer exacte behandeling kan worden verwezen naar lit. 1, hoofdstuk XX.

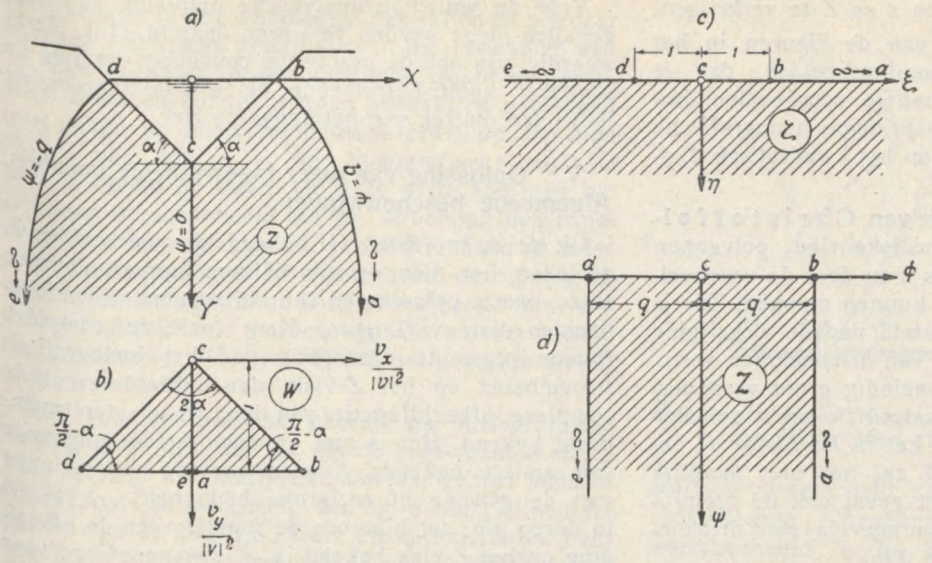


Fig. 34. Kwelstroom uit een kanaal van driehoekigen vorm. b) = reciproke hodograaf. Het W-vlak wordt via het ζ-vlak afgebeeld op het Z-vlak.

kieze $\zeta_1 = +1$, $\zeta_2 = +\infty$, $\zeta_3 = -\infty$ en $\zeta_4 = -1$ (*fig. 33b*). Daar in verband met het zoo juist opgemerkte de termen met ζ_2 en ζ_3 in (**120**) wegvallen en verder $\lambda_1 = \lambda_4 = \frac{1}{2}$ krijgt men:

$$z = A \int \frac{d\zeta}{\sqrt{\zeta^2 - 1}} + B = A \operatorname{bg\,cosh} \zeta + B \ldots \quad (121)$$

Daar bg cosh 1 = 0 en bg cosh (— 1) = πi [15]) heeft men, daar $\zeta = +1$ zich in $z_1 = 0$ en $\zeta_4 = -1$ zich in $z_4 = \pi i$ moet afbeelden, de volgende voorwaardenvergelijkingen voor de bepaling van A en B:

$$0 = A \cdot 0 + B$$
$$\pi i = A \cdot \pi i + B$$

zoodat $A = 1$ en $B = 0$.

De afbeeldfunctie (**121**) wordt dus:

$$z = \operatorname{bg\,cosh} \zeta \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (122)$$

Uit het in hoofdstuk I besprokene (**50** en **51**) volgt dus dat de afbeelding van de bovenste helft van het ζ-vlak in *fig. 33b* op den rechthoek (strook) van *fig. 33a* zoodanig zal geschieden, dat confocale hyperbolen en ellipsen (verg. *fig. 20*) in het ξ, η-vlak, rechten zullen worden resp. evenwijdig aan de X-as en evenwijdig aan de Y-as, terwijl rechten evenwijdig aan de ξ-as en η-as krommen zullen worden, als in *fig. 17* zijn geteekend.

Wenscht men het halfvlak van *fig. 33b* af te beelden op den rechthoek (strook) van *fig. 33c*, dan kan de integraal (**121**) beter als volgt worden geschreven:

$$z = A \int \frac{d\zeta}{i\sqrt{1 - \zeta^2}} + B = -Ai \cdot \operatorname{bg\,sin} \zeta + B$$

$$\ldots\ldots\ldots \quad (123)$$

Daar bg sin 1 $= \frac{\pi}{2}$ en bg sin (— 1) $= -\frac{\pi}{2}$ heeft men thans voor de bepaling van A en B de volgende vergelijkingen:

$$\frac{\pi}{2} = -Ai \cdot \frac{\pi}{2} + B$$

$$-\frac{\pi}{2} = -Ai \cdot -\frac{\pi}{2} + B$$

waaruit volgt $A = i$ en $B = 0$.

De afbeeldfunctie wordt thans:

$$z = \operatorname{bg} \sin \zeta \ldots\ldots\ldots \quad (124)$$

De afbeelding van het halfvlak geschiedt nu zoodanig, dat confocale ellipsen en hyperbolen in het ζ-vlak (zie *fig. 18*) rechten zullen worden in het z-vlak resp. evenwijdig aan de X- en Y-as, terwijl rechten evenwijdig aan de ξ-as en η-as krommen zullen worden als in *fig. 14* voorgesteld.

Wenscht men tenslotte het ζ-halfvlak bijv. ook af te beelden op het kwadratisch φ, ψ-vlak, zoodat $O\zeta_4\zeta_3$ een stroomlijn $\psi = +q$ wordt en $O\zeta_1\zeta_2$ een stroomlijn $\psi = -q$ (*fig. 33b* en *d*), zoo kan men het gearceerde gebied van *fig. 33d* beschouwen als een rechthoek, waarvan de hoekpunten links (beide op $-\infty$ gelegen) met het *zelfde* punt $\zeta = 0$ van het ζ-vlak overeenkomen, terwijl de beide hoekpunten rechts (op $+\infty$ in het Z-vlak gelegen) resp. met $\zeta_2 = +\infty$ en $\zeta_3 = -\infty$ in het ζ-vlak overeenkomen. De formule van Christoffel-Schwarz geeft dan voor de gezochte afbeeldfunctie:

$$Z = C \int \frac{d\zeta}{\zeta} + D = C \cdot \ln \zeta + D \ldots\ldots\ldots \quad (125)$$

Bedenkende dat ln 1 = 0 en ln (— 1) = πi [16]) worden de voorwaardevergelijkingen voor de bepaling van C en D:

$$-qi = C \cdot 0 + D$$
$$qi = C \cdot \pi i + D$$

zoodat $D = -qi$ en $C = \frac{2q}{\pi}$.

De afbeeldfunctie wordt dus:

$$Z = \frac{2q}{\pi} \ln \zeta - qi \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (126)$$

De afbeelding van het halfvlak geschiedt thans zoodanig, dat rechten door O en cirkels met het middelpunt in O van het ζ-vlak, in het Z-vlak rechten zullen worden resp. evenwijdig aan de φ- en ψ-as (verg. *fig. 8*).

Door de formules (**122**) c.q. (**124**) en (**126**) is nu dus met behulp van de hulpgrootheid ζ het verband gelegd tusschen de afbeelding van resp. de *figuren 33a* en *33c* in het x, y-vlak, op het φ, ψ-vlak volgens *fig. 33d*. Door eliminatie van ζ is natuurlijk de recht-

15) $\cosh \pi i = \frac{1}{2}(e^{i\pi} + e^{-i\pi}) = \cos \pi = -1$.

16) $e^{i\pi} = \cos \pi + i \cdot \sin \pi = -1$, zoodat $\ln(-1) = \pi i$.

streeksche betrekking tusschen z en Z te verkrijgen.

Denkt men in de plaats van de figuren in het x, y-vlak hodografische stroomingsbeelden, dan is door de bovengegeven eenvoudige voorbeelden duidelijk geworden, hoe men in principe hodografische polygonen via het ζ-halfvlak op het kwadratisch ϕ, ψ-vlak kan afbeelden.

De integratie van de formule van Christoffel-Schwarz verloopt bij willekeurige polygonen echter niet zoo eenvoudig, als men door de voorbeelden van *fig. 33* wellicht zou kunnen meenen. Zoo is in *fig. 34a* het geval voorgesteld van de wegzijging in den bodem uit een kanaal van driehoekigen vorm. De gronddikte is wederom oneindig groot verondersteld, terwijl voor den doorlaatcoëfficiënt k gemakshalve 1 is aangenomen. Met het in *hoofdstuk II* besprokene over de hodograaf zal het niet moeilijk zijn om in te zien, dat in dit geval ook de reciproke hodograaf van het stroomingsveld een driehoekigen vorm moet hebben (*fig. 34b*).

Het W-vlak moet nu via het ζ-vlak op het Z-vlak worden afgebeeld, waarbij de gearceerde gedeelten met elkaar overeenkomen. Kiest men de hoekpunten van den driehoek der rhg. afbeelding als in *fig. 34c* is aangegeven, dan wordt de functie voor de afbeelding van het halve ζ-vlak, in (**119**) resp. substitueerende:

$$\zeta_1 = +1, \quad \lambda_1 = 1 - \frac{\frac{1}{2}\pi - \alpha}{\pi} = \frac{1}{2} + \frac{\alpha}{\pi}$$

$$\zeta_2 = 0, \quad \lambda_2 = 1 - \frac{2\alpha}{\pi}$$

$$\zeta_3 = -1, \quad \lambda_3 = 1 - \frac{\frac{1}{2}\pi - \alpha}{\pi} = \frac{1}{2} + \frac{\alpha}{\pi}$$

terwijl $z = W$:

$$W = A \int \zeta^{\frac{2\alpha}{\pi} - 1} \cdot (\zeta^2 - 1)^{-(\frac{\alpha}{\pi} + \frac{1}{2})} \, d\zeta + B \quad \ldots\ldots\ldots (127)$$

Voor de afbeelding van het halve ζ-vlak op het Z-vlak kan overeenkomstig (**123**) worden geschreven:

$$Z = C \operatorname{bg} \cdot \sin \zeta + D \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (128)$$

De berekening der integraal (**127**) geschiedt het best met behulp van de leer der gammafunctie.

Komt in het hodografisch stroombeeld nog een karakteristiek punt voor, waarvan in *fig. 35* een voorbeeld is gegeven, dan wordt de uitwerking van de integraal van Christoffel-Schwarz natuurlijk nog gecompliceerder.

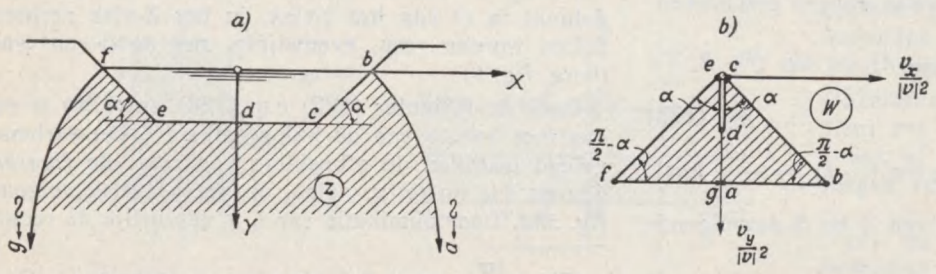


Fig. 35. Kwelstroom uit een kanaal van trapeziumvormig profiel. b) = reciproke hodograaf met karakteristiek punt.

Voor de volledige analytische oplossing van deze gevallen moge worden verwezen naar lit. (13). Merkwaardig zijn ook de practische conclusies waartoe de schrijver komt betreffende de snelheidsverdeeling langs den omtrek van het kanaalprofiel.

V. Oplossing van meer ingewikkelde gevallen. Algemeene beschouwingen.

Uit de in *hoofdstuk III* behandelde voorbeelden is gebleken, hoe men, op min of meer opportunistische wijze, exacte oplossingen van phreatische stroomingsbeelden kan verkrijgen. Kent men de complexe functie voor de afbeelding van het hodografisch stroombeeld op het Z-vlak, dan is hierdoor ook de complexe afbeeldfunctie van het grondwaterstroombeeld bekend. Het is niet onmogelijk, dat uitgaande van andere bekende figuren voor de begrenzingen van de gewone of reciproke hodograaf — bekend in dezen zin, dat hiervoor de functie voor de afbeelding op het Z-vlak bekend is — men meerdere voor de practijk belangrijke oplossingen kan vinden.

Is de hodograaf begrensd door uitsluitend rechte lijnen, of kan zij tot een dergelijke figuur worden getransformeerd, dan kan zooals in *hoofdstuk IV* werd uiteengezet de functie voor de afbeelding op het Z-vlak analytisch worden gevonden met behulp van de formule van Christoffel-Schwarz, zij het ook dat hierbij het hodografisch stroombeeld eerst op de helft van een hulpvlak moet worden afgebeeld. De uitwerking der hierbij optredende integralen is echter reeds voor eenvoudige gevallen vrij bewerkelijk (zie ook lit. 12).

Heeft men te doen met een stroomingsgeval als in *fig. 21* is voorgesteld, dan is ook de methode met behulp van de formule van Christoffel-Schwarz niet toe te passen, omdat de begrenzingen van de hodograaf niet meer uitsluitend uit rechte lijnen bestaan.

In *hoofdstuk II* werd er reeds op gewezen dat men het hodografisch stroombeeld als een nieuwe grondwaterstrooming kan beschouwen met dezelfde parameterwaarden voor de nieuwe stroom- en potentiaallijnen als die van het gezochte grondwaterstroombeeld. In ieder punt van den rand van het hodografisch stroombeeld is verder de richting der hg. ψ- en ϕ-lijnen bekend, ook voor de kwellijn. Denkt men voor de hodografische snelheden — d.z. de snelheden van het hodografisch stroombeeld als nieuwe strooming opgevat — het isotachen- en isoklinenbeeld geteekend, dan zijn de parameterwaarden der isoklinen op de hodograafbegrenzingen bekend en daardoor ook in alle punten binnen het hodografisch stroombeeld. Men kan dit ook inzien door het volgende experiment. Men neme een geleidende plaat waarvan de randvorm gelijkvormig is met dien van het hodografisch stroombeeld. Brengt men nu aan den rand electrische potentialen aan, overeenkomende met

de richtingen der hg. snelheden, dan zullen de hierdoor ontstane electrische potentialen in het inwendige van de plaat blijkbaar de hodografische isoklinen geven. Deze isoklinen kunnen worden bepaald en geteekend (met gelijke parameterverschillen) terwijl de isotachen (lijnen van gelijke *ln* der hodografische snelheid daar loodrecht op staan. Op deze wijze zou men het isoklinen-isotachenbeeld der hg. strooming dus experimenteel kunnen bepalen. Doordat thans in ieder punt van het hodografisch stroombeeld de richting en grootte der hodografische snelheden bekend zijn, kan dit stroombeeld zelf worden bepaald en met behulp van de formules (**75**) en (**76**) ook het gezochte grondwaterstroombeeld.

Het voordeel van het gebruik der hodografische afbeelding is blijkbaar dit, dat de begrenzingen daarvan, op het karakteristiek punt na, geheel bepaald zijn evenals de richtingen der hg. ψ- en ϕ-lijnen ter plaatse van de kwellijn. Waar dit karakteristiek punt is gelegen is niet tevoren aan te geven. Wel kan men het ergens *aannemen*, waarmede dan een zeker grondwaterstroombeeld is vastgelegd, dat bijv. bij den dam van *fig. 21* wordt bepaald door de hoogteligging van den waterspiegel ter plaatse van het waterkeerend talud. Door variatie van de ligging van het karakteristieke punt krijgt men dan verschillende oplossingen behoorende bij verschillende waterspiegelhoogten.

De analytische oplossing van het hodografisch stroombeeld met willekeurige randbegrenzingen, met behulp van de integraalformules van Cauchy en Poisson, is reeds in eenvoudige gevallen zeer bewerkelijk. Zoo kan bijv. worden verwezen naar het rekenvoorbeeld van Hamel, dat een dam betreft met verticaal voor- en achtervlak, gelegen op een ondoorlaatbaren ondergrond (lit. 10 en 11). Als phreatische lijn werd door hem gevonden de getrokken lijn *AD* in *fig. 36*.

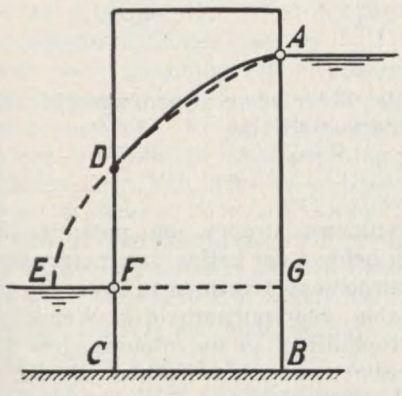


Fig. 36. Phreatische lijn volgens Hamel met basisparabool (F = = brandpunt).

In verband met evenbedoelde moeilijkheden hebben Weinig en Shields hun toevlucht genomen tot de grafische oplossing met diagonaalcontrôle (lit. 15). Eerst werd het isoklinen-isotachenbeeld geconstrueerd van het hodografisch stroombeeld en daarna met behulp van de formules (**74**) het hodografisch stroombeeld zelf. Door het optreden van verschillende singuliere punten in het isoklinen-isotachenbeeld is de grafische oplossing daarvan echter niet zoo eenvoudig. Met eenige ervaring zal het misschien wel mogelijk zijn om het hodografisch stroombeeld rechtstreeks grafisch op te lossen met inachtname van de richtingen der hg. ϕ- en ψ-lijnen ter plaatse van de randen. En tenslotte zou men natuurlijk ook het hodografisch stroombeeld geheel achterwege kunnen laten en, onder aanname van verschillende waarschijnlijke vormen voor de phreatische lijn, aan de hand eener grafische oplossing onderzoeken welke der aangenomen phreatische lijnen aan de daaraan te stellen voorwaarden voldoet. Heeft men een dergelijke lijn gevonden, zoo is hiermede tevens de oplossing van het gezochte stroombeeld verkregen, omdat het phreatisch probleem eenduidig is, alzoo bij gegeven randvoorwaarden slechts één oplossing bestaat. Bij deze „probeermethode" is het uiteraard van groot belang tevoren over een approximatieve aanwijzing te beschikken omtrent den vorm en de ligging der phreatische lijn. Nu is in zeer vele gevallen de phreatische lijn volgens het parabolisch stroombeeld hiervoor zeer geschikt, zooals uit de *figuren 36* t/m *38* moge blijken. Met een getrokken lijn zijn resp. aangegeven, in *fig. 36* de door Hamel langs analytischen weg gevonden phreatische lijn, in *fig. 37* die welke door Weinig en Shields werd gevonden door grafische oplossing met behulp van de hodograaf, terwijl de phreatische lijnen van *fig. 38* door A. Casagrande werden gevonden door middel van rechtstreeksche grafische oplossing met behulp van de probeermethode (lit. 16). Tevens zijn in de *figuren 36* t/m *38* met een streeplijn parabolische lijnen geteekend. In *fig. 36* gaat de parabool door *A*, terwijl het snijpunt *F* van den benedenwaterspiegel met het verticale achtertalud het brandpunt is. In *fig. 37* is de voet *C* van het achtertalud het brandpunt, terwijl de parabool gaat door een punt *A'*, dat $\frac{1}{3}$ van het abscissenverschil der punten *A* en *B* rechts van *A* is gelegen ($AA' = \frac{1}{3} H \cdot \cot \gamma$). In *fig. 38a, b* en *c*, is *C* het brandpunt der parabolen, terwijl op eenigen afstand van het punt *D*, parabool en phreatische lijn nauwkeurig samenvallen.

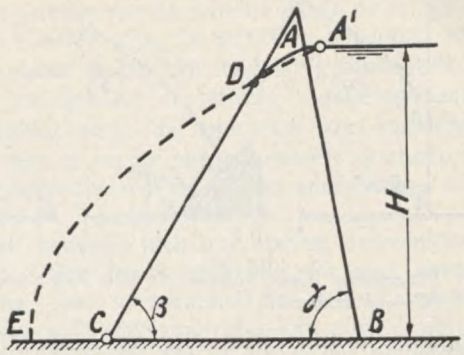


Fig. 37. Phreatische lijn volgens Weinig en Shields met basisparabool. (C = brandpunt, $AA' = \frac{1}{3} H \cdot \cot \gamma$).

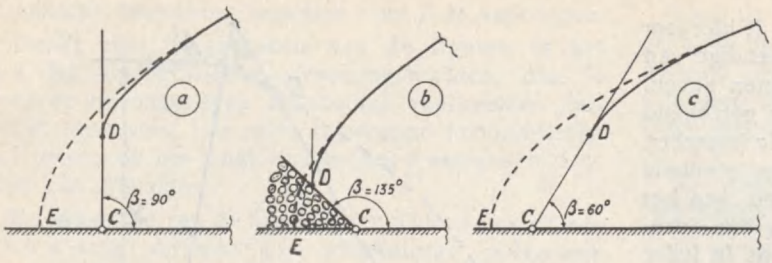


Fig. 38. Phreatische lijnen volgens A. Casagrande met basisparabolen (C = brandpunt).

De phreatische lijn volgens *fig. 38c* geeft blijkbaar een toestand weer in de buurt van een kwellijn als ook bij den dam van *fig. 21* aanwezig is. De in *fig. 21* geteekende streep-lijn *A'KT* is een parabool met het brandpunt in *C* en gaande door *A'*, waarbij $AA' = \frac{1}{3} H \cdot \cot \gamma$.

Ook andere onderzoekingen hebben geleerd, dat bij aarden dammen van normalen vorm op ondoorlaatbaren ondergrond de aldus getrokken parabolische phreatische lijn (*basisparabool*) althans op eenigen afstand van het punt van intrede (*A*) en van uittrede (*D*) een zeer goede benadering geeft van de juiste phreatische lijn. Natuurlijk dient bij genoemde punten rekening gehouden te worden met het feit, dat de phreatische lijn bij *A* in een richting loodrecht op het voortalud moet intreden. Hier zal dus over een korten afstand een overgangskromme naar de parabool moeten worden getrokken. Verder zal wanneer $\beta \leqslant 90°$ is, de phreatische lijn rakend aan het achtertalud moeten uittreden en wanneer $\beta > 90°$ — zooals in *fig. 38b* — volgens een verticale raaklijn, zoodat ook hier overgangskrommen zullen ontstaan. Wenscht men echter bij het ontwerpen van een aarden dam snel een aanwijzing te verkrijgen omtrent de algemeene ligging der phreatische lijn, zoo kunnen natuurlijk bedoelde afwijkingen worden verwaarloosd en kan men zonder meer de op de aangegeven wijze geteekende basisparabool als voorloopige phreatische lijn aanhouden. Merkwaardig is, hoe zelfs bij den driehoekigen stuwmuur volgens *fig. 37* de basisparabool een vrij juiste benadering geeft van de werkelijk optredende phreatische lijn. Het geval van *fig. 36* kan worden beschouwd als de superpositie van een muur van rechthoekigen vorm op ondoorlaatbaren grondslag *FG* zonder achterwater, met daaronder een parallelstroom door het gebied *BGFC*. Daarom is het begrijpelijk dat, in verband met het boven opgemerkte, de parabool met het brandpunt in *F* een goede benadering der juiste phreatische lijn zal moeten geven. Op deze wijze beschouwd kan dit geval dus worden ondergebracht bij die van de *figuren 37* en *38*.

Resumeerende kan men dus zeggen, dat voor een dam of muur op ondoorlaatbaren grondslag de parabool met het brandpunt in het voetpunt der kwellijn van het achtertalud (c.q. het beginpunt der draineering) en gaande door een punt dat $\frac{1}{3} H \cdot \cot \gamma$ rechts van het werkelijk intreepunt der phreatische lijn is gelegen (*H* is de hoogte van den te keeren waterspiegel boven den ondoorlaatbaren grondslag en γ de helling van het voortalud) een goede benadering geeft voor de algemeene ligging der phreatische lijn. Ligt de dam op doorlaatbaren grondslag, dan zal de phreatische lijn als regel lager komen te liggen, zoodat de gegeven benadering in ieder geval aan den veiligen kant zal zijn.

Dat de parabolische phreatische lijn op de aangegeven wijze geteekend voor het ontwerpen van aarden dammen een waardevol hulpmiddel is, werd reeds in 1929 te Bandoeng gevonden. Door A. Casagrande werd hierop nogmaals de aandacht gevestigd, terwijl meer nauwkeurige voorschriften worden gegeven voor de aan te brengen correcties bij het in- en uittreepunt (lit. 16).

Ook bij gebruikmaking van de hodografische afbeelding voor de oplossing van het stroomingsveld verdient het aanbeveling tevoren dit stroomingsveld ongeveer te schetsen, waarbij eveneens de parabolische phreatische lijn als eerste benadering goede diensten kan bewijzen.

Tot dusver werd alleen homogeen isotrope grond in beschouwing genomen. Is de doorlaatbaarheid van den grond homogeen anisotroop, dan kan het stroomingsveld, zooals bekend is, door een eenvoudige transformatie tot een potentiaalstrooming worden teruggebracht. Dit volgt onmiddellijk uit de differentiaalvergelijking van Versluis (lit. 17) die voor een vlakke strooming den volgenden vorm aanneemt:

$$k_1 \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} + k_2 \frac{\partial^2 h}{\partial y^2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (129)$$

wanneer k_1 en k_2 de hoofddoorlaatcoëfficiënten zijn en de *X*- en *Y*-as evenwijdig aan de hoofddoorlaatrichtingen worden gekozen. Voert men n.l. nieuwe coördinaten in zoodat:

$$x' = \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_1}} \cdot x \quad \text{en} \quad y' = \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_2}} \cdot y \quad \ldots\ldots\ldots \quad (130)$$

waarbij k_o een *willekeurige* doorlaatbaarheid is, dan vindt men door substitutie van:

$$x = \frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_o}} \cdot x' \quad \text{en} \quad y = \frac{\sqrt{k_2}}{\sqrt{k_o}} \cdot y' \quad \ldots\ldots\ldots \quad (131)$$

in (**129**) dat het nieuwe stroomingsveld voldoet aan de volgende vergelijking:

$$\frac{\partial^2 h}{\partial x'^2} + \frac{\partial^2 h}{\partial y'^2} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (132)$$

alzoo de nieuwe stroom- en potentiaallijnen (de laatste met behoud der zelfde parameterwaarden) een potentiaalstroombeeld vormen in isotropen grond met een bepaalde doorlaatbaarheid k. Wenscht men dat ook de stroomlijnen in het nieuwe stroombeeld dezelfde parameterwaarden hebben als in het oorspronkelijke stroombeeld, m.a.w. dat door overeenkomstige stroombuizen dezelfde waterhoeveelheid blijft vloeien, zoo moet men $k = \sqrt{k_1 k_2}$ kiezen, hetgeen als volgt gemakkelijk kan worden ingezien.

Door twee loodrecht op elkaar staande vlakteëlementjes dx en dy stroomde eerst een waterhoeveelheid:

$$\mathrm{d}q = \mathrm{d}y \cdot k_1 \frac{\partial h}{\partial x} + \mathrm{d}x \cdot k_2 \frac{\partial h}{\partial y} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (133)$$

terwijl in het getransformeerde stroombeeld door de

overeenkomstige vlakteëlementjes dx' en dy' vloeit:

$$dq' = dy' \cdot k \frac{\partial h}{\partial x'} + dx' \cdot k \frac{\partial h}{\partial y'} =$$

$$= k \left[dy' \cdot \frac{\partial h}{\partial x'} + dx' \cdot \frac{\partial h}{\partial y'} \right] \quad \ldots\ldots\ldots \textbf{(134)}$$

Substitueert men in verg. **(133)** voor $dy = \frac{\sqrt{k_2}}{\sqrt{k_o}} \cdot dy'$,

$\partial y = \frac{\sqrt{k_2}}{\sqrt{k_o}} \cdot \partial y'$, $dx = \frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_o}} dx'$ en $\partial x = \frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_o}} \cdot \partial x'$,

zoo vindt men:

$$dq = \frac{\sqrt{k_2}}{\sqrt{k_o}} dy' \cdot k_1 \cdot \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_1}} \cdot \frac{\partial h}{\partial x'} + \frac{\sqrt{k_1}}{\sqrt{k_o}} dx' \cdot k_2 \cdot \frac{\sqrt{k_o}}{\sqrt{k_2}} \cdot$$

$$\cdot \frac{\partial h}{\partial y'} = \sqrt{k_1 k_2} \left[dy' \cdot \frac{\partial h}{\partial x'} + dx' \cdot \frac{\partial h}{\partial y'} \right] \quad \ldots. \textbf{(135)}$$

Men ziet dat $dq' = dq$ wordt, wanneer $k = \sqrt{k_1 k_2}$. Belangrijk hierbij is, dat dit resultaat onafhankelijk is van k_o. Het oorspronkelijke stroombeeld dient slechts zoodanig te worden getransformeerd (samengedrukt of uitgerekt), dat de richtingsellips [17]) een cirkel is geworden, doch de *straal van dien cirkel kan willekeurig worden gekozen.*

Voor het getransformeerde stroombeeld gelden nu alle beschouwingen voor potentiaalstroomingen. Is de oplossing verkregen, dan vindt men door terugtransformatie met behulp van de betrekkingen **(131)** het gezochte stroombeeld in den anisotropen grond. Stroom- en potentiaallijnen staan zooals bekend is dan niet meer loodrecht op elkaar, maar zijn in ieder punt aan elkaar toegevoegd in de richtingsellips. *In het bijzonder moet er hierbij op worden gewezen, dat men bij aarden dammen als regel te doen heeft met anisotropen grond, waarbij de doorlaatbaarheid in horizontale richting zeer vele malen grooter kan zijn dan in verticale richting* [18]). Verwaarloozing van dit feit bij de oplossing van het stroomingsveld kan tot zeer verkeerde resultaten voeren.

Heeft men twee stroomingsvelden door grond met verschillende anisotropie (bijv. het eerste gebied met hoofddoorlaatbaarheden k_1 en k_2 en het tweede k_3 en k_4) en een willekeurige scheidingslijn s tusschen beide gebieden, dan kan men ieder gebied cirkelvormig transformeeren door uittrekking of samendrukking van de betrekkelijke richtingsellipsen volgens hun asrichtingen. Deze ellipsen behoeven niet evenwijdig georiënteerd te zijn. Geeft men het eerste gebied een aequivalente doorlaatbaarheid $\varkappa_1 = \sqrt{k_1 k_2}$ en aan het tweede $\varkappa_2 = \sqrt{k_3 k_4}$, dan zijn beide gebieden omgezet in twee potentiaalstroomingen door *isotropen* grond met verschillende doorlaatbaarheden $\varkappa_1$ en $\varkappa_2$. In ieder gebied zal nu, met inachtname der randvoorwaarden, het potentiaalstroombeeld moeten worden gevonden. Beide gebieden zijn thans echter van elkaar afhankelijk in dezen zin, dat in overeenkomstige punten van de scheidingslijn de stijghoogten dezelfde moeten zijn. In gevallen als deze, waarbij men te doen heeft met onderling afhankelijke gebieden, worden de analytische oplossingsmethoden zoo gecompliceerd, dat men wel zijn toevlucht zal moeten nemen tot de experimenteele methode, waarbij de electrische wel de meeste aanbeveling verdient (lit. 20).

Hierbij bedenke men nog, dat na de transformatie van ieder der beide gebieden tot een potentiaalstrooming, de oorspronkelijke scheidingslijn s — welke van willekeurigen vorm kan zijn — als grenslijn van het eerste gebied vervormd zal worden tot een kromme s_1 en als grenslijn van het tweede gebied tot een kromme s_2, welke krommen in het algemeen *niet* gelijkvormig behoeven te zijn en ook door variatie van k_o c.q. gecombineerd met draaiingen der stroombeelden, niet tot samenvallen kunnen worden gebracht. Wel kan men er voor zorgen dat s_1 en s_2 dezelfde (ontwikkelde) lengte verkrijgen en daarna de stroombeelden zoodanig ten opzichte van elkaar verschuiven, dat s_1 en s_2 zoo dicht mogelijk bij elkaar komen te liggen.

Aan de voorwaarde van de gelijkheid der stijghoogten in overeenkomstige punten der scheidingslijn kan electrisch gemakkelijk worden voldaan, door het aanbrengen eener electrische *koppeling.* Met de ongelijkheid der aequivalente doorlaatcoëfficiënten kan zooals bekend is gemakkelijk rekening worden gehouden door de dikte van het geleidend electroliet (vloeistoflaag) in beide gebieden in dezelfde verhouding te varieeren.

De phreatische lijn kan men uitvoeren als een flexibele begrenzing, die men zoodanig kan varieeren tot deze begrenzing aan de phreatische voorwaarden voldoet (lit. 20). Is bovendien een kwellijn aanwezig, dan zal men er natuurlijk ook voor moeten zorgen, dat hier aan de randvoorwaarden wordt voldaan.

Het is duidelijk, dat in gecompliceerde gevallen als boven bedoeld, ook het hodografisch stroombeeld een zeer gecompliceerd karakter zal vertoonen. Als contrôlemiddel voor de juistheid van het experimenteel gevonden potentiaalstroombeeld — de hodografische ϕ- en ψ-lijnen moeten n.l. ook een orthogonaal stelsel vormen — dan wel voor het verkrijgen van een duidelijk beeld der plaatselijke snelheden in het stroomingsveld, kan de hodografische afbeelding echter nog goede diensten bewijzen.

Bandoeng, Augustus 1938.

17) Dit is een ellips waarvan de assen zich verhouden als $\sqrt{k_1}$ en $\sqrt{k_2}$ en georiënteerd zijn volgens de hoofddoorlaatrichtingen van den anisotropen grond (lit. 18).

18) Zie ook lit. 16 blz. 151 en 152.

Literatuur.

1. Forsyth, Theory of functions of a complex variable, Cambridge 1893.
2. Lewent, Konforme Abbildung, Leipzig/Berlin 1912.
3. Prášil, Technische Hydromechanik, Berlin 1926.
4. Lamb, Lehrbuch der Hydrodynamik, 2. Auflage, Leipzig/Berlin 1931.
5. Dachler, Grundwasserströmung, Wien 1936.
6. Vreedenburgh, „Conforme afbeelding en de grafische oplossing van vlakke potentiaalstroomingsbeelden", *De Ing. in N.-I.* 1934 — No. 3.
7. F. K. Th. van Iterson, „Eenige theoretische beschouwingen over kwel", *De Ingenieur*, 1916 — No. 33.

8. Vreedenburgh, „Over de vlakke stationnaire waterstrooming door een homogene grondmassa, onder aanname van twee stelsels confocale parabolen als stroom- en potentiaallijnen", T. H. Bandoeng, Febr. 1929. Zie ook: „De parabolische potentiaalstrooming in aarden dammen", *De Ing. in N.-I.* 1937 — No. 12, blz. II. 163.

9. De Vos, „Eenige beschouwingen omtrent de verweekingslijn in aarden dammen", *De Waterstaats-Ingenieur* 1929 — No. 11, blz. 342 — 345. Zie ook: 1er Congrès des grands barrages, Scandinavië 1933. Vol. IV Question 2b, blz. 63 — 113 en blz. 217 — 230.

10. Hamel, „Über Grundwasserströmung", *Z.A.M.M.* 1934 — Heft 3.

11. Hamel und Günther, „Numerische Durchrechnung zu der Abhandlung über Grundwasserströmung", *Z. A. M. M.* 1935 — Heft 5.

12. Wedernikow, „Sur la solution du problème à deux dimensions du courant stationnaire des eaux souterraines à surface libre", Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences, Paris 1936 — Tome 202, blz. 1155 — 1157.

13. Wedernikow, „Über die Sickerung und Grundwasserbewegung mit freier Oberfläche", *Z.A.M.M.* 1937 — Heft 3.

14. Hamel, „Über die Versickerung von Wasser aus Kanälen in tiefen Grund", *Z. A. M. M.* 1938 — Heft 1.

15. Weinig und Shields, „Grafisches Verfahren zur Ermittlung der Sickerströmung durch Staudämme", *Wasserkraft und Wasserwirtschaft* 1936 — Heft 18.

16. A. Casagrande, „Seepage through dams", *Journal of the New England Waterworks Association*, June 1937.

17. Versluis. „De onbepaalde vergelijking der permanente beweging van het grondwater", *Verhandelingen Geologisch Mijnbouwkundig Genootschap voor Nederland en Koloniën*, Geologische Serie deel I, 1915.

18. Vreedenburgh, „On the steady flow of water percolating through soils with homogeneous anisotropic permeability", Proceedings International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Cambridge Mass. 1936, Vol. I blz. 222 e.v. Zie ook: „De parallelstrooming door grond bestaande uit evenwijdige regelmatig afwisselende lagen van verschillende dikte en doorlaatbaarheid", *De Ing. in N.-I.* 1937 — No. 8.

19. Vreedenburgh, „The phreatic boundary-value problem", Handelingen Achtste Ned. Ind. Nat. Wet. Congres, Soerabaja 1938.

20. Bax Stevens, „Electrical determination of the line of seepage and the flow net of a groundwater flow through joint regions with different anisotropy", Handelingen Achtste Ned.-Ind. Nat. Wet. Congres, Soerabaja 1938. Zie ook *De Ing. in N.-I.* 1938 — No. 9 blz. I. 205.

BERICHTEN VAN ALLERLEI AARD.

Octrooien.

De ondervolgende octrooiaanvragen zijn 16 Januari 1939 o.m. openbaar gemaakt. Onder de aandacht van belanghebbenden wordt gebracht, dat aan den Octrooiraad te 's-Gravenhage te richten bezwaarschriften tegen de verleening van octrooi, en verzoekschriften tot het verkrijgen van een recht als voorgebruiker of tot vermelding van een naam van den uitvinder in het octrooi, bij het Kantoor voor den Industrieelen Eigendom (Dept. van Justitie) te Batavia-C. kunnen worden ingediend, onder aanteekening, dat tegen de verleende octrooien niet anders kan worden opgekomen dan door een vordering tot nietigverklaring of opeisching bij de gewone rechters in Nederland.

De termijn voor het indienen van bezwaar- en/of verzoekschriften loopt voor de navolgende octrooien af op:

16 Mei 1939.

No. 70367 Ned. kl. 12d. 25a. J. C. Morell, te Chicago: Werkwijze ter bereiding van structuurlooze, geactiveerde kool.

No. 80427 Ned. kl. 5a. 23. J. A. Zublin, te Los Angeles, U. S. A.: Boorgereedschap voor draaiend boren, waarbij een of meer freesdragers draaibaar op een schacht en freezen of dergelijke snijwerktuigen draaibaar op die(n) drager(s) zijn aangebracht.

No. 81546 Ned. kl. 71a. 7a. Yasyjiro Higashiyama, te Semarang: Sandaal.

No. 81624 Ned. kl. 29a. 2b. R. H. Milburn, te Parnell, Auckland en H. G. Milburn, te Remuera, Auckland, Nieuw Zeeland: Werkwijze en machine voor het winnen van vezels uit vezelhoudende bladeren van bijvoorbeeld Phormium Tenax.

No. 81802 Ned. kl. 5a. 18. Société de Prospection Electrique, Procédés Schlumberger, te Parijs: Inrichting voor het bepalen van de ligging van aardlagen, die door een boorgat worden doorsneden.

No. 84453 Ned. kl. 45e. 20b. H. J. van der Meer, te Bandoeng: Werkwijze voor het afscheiden van de stelen uit droge thee en sorteer-inrichting geschikt voor het uitvoeren van deze werkwijze.

No. 84781 Ned. kl. 29a. 2. Werkspoor N. V., te Amsterdam en H. Goedkoop, te Lho Soekon, Atjeh: Inrichting voor het vervoeren van vezelhoudende bladeren of andere plantendeelen naar een bewerkingsmachine, bijv. een zwingelmachine.

No. 84719 Ned. kl. 21a. „Sodeco", Soc. des Compteurs de Genève, Genève: Bij een abonné op te stellen gesprekkenteller met twee telwerken, waarvan er een in den nulstand teruggesteld kan worden.

No. 80024 Ned. kl. 47f. N. V. „Eternit", Amsterdam: Pijpverbinding, waarbij een aan beide einden conische mof over de beide pijpeinden grijpt en pakkingen van buigzame rubber tusschen deze mof en conische aandrukvlakken van op de mof schroefbare klemringen liggen, en pakkingring voor deze pijpverbinding.

No 74647 Ned. kl. 72c. Rheinmetall-Borsig A.G., Düsseldorf-Derendorf: Door een bedding ondersteund stuk geschut met vast op de bedding aangebrachte middenpivotaffuit, alsmede een daaraan ten behoeve van het vervoer te bevestigen verrijdbaar onderstel op twee raderen.

No 79834 Ned. kl. 84c. N. V. Beton- en Aannemingsbedrijf Systeem „No-wood", Amsterdam: Werkwijze voor het maken van een betonnen fundeeringssloof op palen en daarbij toe te passen jukken.

No 80635 Ned. kl. 84c. W. Bron, Haarlem: Werkwijze voor het inheien van een houten paal met een gedeeltelijk hierop geschoven betonnen buis en met behulp van een in deze buis geplaatsten heistempel.

No 79171 Ned. kl. 84c. G. Hallinger, Gelsenkirchen. Duitschland: Werkwijze voor het maken van een tunnel onder water en tusschen langsdamwanden.

ONTVANGEN GESCHRIFTEN.

The Examination of some Tinned Foods of Historic Interest. Publicatie van de International Tin Research and Development Council, No. 85.

Het eerste voedsel in blik.

In deze zoo juist verschenen publicatie wordt een nieuw licht geworpen op den oorsprong en de eerste producten van de conservenindustrie. Het rapport is een overdruk van het verslag, dat door prof. J. C. Drummond en eenige anderen voor de Society of Chemical Industry werd uitgebracht.

Een aantal blikjes gevuld met vleesch en groenten, welke berustten in het Royal Services Museum en het National Maritime Museum te Londen, werden geopend en de inhoud werd aan een chemisch en bacteriologisch onderzoek onderworpen. Twee der blikjes, het eene kalfsvleesch en het andere wortelen bevattende, maakten deel uit van de uitrusting van Sir Edward Parry, den poolonderzoeker, bij zijn beroemde expedities in 1824. Bij opening bleek de inhoud van beide nog in een staat te verkeeren, welken men met het woord perfect zou kunnen aanduiden. De rapporten van de verschillende analysen worden volledig in het verslag gegeven, tezamen met foto's van de blikjes zelf.

In het eerste deel van het werkje wordt in het kort de ontdekking van het conserveeringsproces door Nicholas Appert in Frankrijk beschreven, alsmede de daarop volgende toepassing van blikken bussen, inplaats van Appert's breekbare glazen potten, door den bekenden Engelschen ingenieur Bryan Donkin. Deze behaalde hiermede zooveel succes, dat zeven jaar later Donkin's conservenfabriek te Bermondsey, de eerste ter wereld, de Engelsche marine kon voorzien van tienduizenden groote blikken voor expedities naar Australië en het poolgebied.

Het verslag werpt een interessant licht op eenige der theorieën, welke destijds ter verklaring van het conserveeringsproces werden opgesteld. Tevens wordt het onderzoek beschreven van eenige bussen met gedroogde groente, welke ten tijde van den Krimoorlog voor het Engelsche leger werden ingemaakt.

W. E. Hoare, B. Sc.:

Calculation of the Area of Basis Metal Exposed at Discontinuities in the Tin Coating of Tinplate.

Publicatie van de International Tin Research and Development Council, No. 86.

De oppervlakte van poriën in blik.

In een der laatste afleveringen van het *Philosophical Magazine* geeft W. E. Hoare een methode voor de berekening van de totale oppervlakte van het basismateriaal, dat door de poriën in de tinlaag op blik onbedekt wordt gelaten. Dit verslag is thans uitgegeven als publicatie no. 86 van de Intern. Tin Research and Development Council. De berekening is gebaseerd op de resultaten van een experimenteel onderzoek naar den invloed van de dikte van de tinlaag op de poreusiteit, en op een theorie omtrent de minimum grootte, welke een niet-reactief oppervlakje moet hebben om een normale porie te doen ontstaan. De beschreven methode is vooral van waarde voor het corrosie-onderzoek van blik.

Bovenstaande publicaties zijn voor belangstellenden kosteloos verkrijgbaar bij het Statistisch Bureau van de Council, Prinsessegracht 21, 's-Gravenhage.

Voorlopig Verslag van de Commissie voor het Onderzoek van Gewapend Metselwerk.

Mededeling No. 17 van het Centraal Instituut voor Materiaalonderzoek te 's-Gravenhage.

Het verslag is voor het grootste deel gewijd aan de uitkomsten van corrosieproeven, terwijl voorts ook het onderwerp der mechanische beproeving werd onderzocht. Als voorloopige conclusie der commissie moge worden aangehaald, dat voor binnenwerk onder normale omstandigheden gewapend metselwerk met staal zonder walshuid kan worden toegepast zonder voor de duurzaamheid te moeten vreezen. Ten aanzien van mogelijke verdere toepassing zullen de resultaten van de voortgezette proeven afgewacht moeten worden.

Deze Mededeeling is door storting van *f* 1,— op postrekening No. 164188 van het Centraal Instituut voor Materiaalonderzoek franco voor belangstellenden verkrijgbaar (adres: Prinsessegracht 23, 's-Gravenhage).

BOEKBESPREKING.

Prof. Dr. H. Bremekamp, Partiëele differentiaalvergelijkingen (met toepassingen).

Formaat: $16 \times 24\frac{1}{2}$ cm^2, 227 blz.

Uitgave P. Noordhoff N. V., Groningen-Batavia 1939.

Prijs f 4,90, geb. *f* 5,75.

Het boek, dat als No. XX van Noordhoff's Verzameling van wiskundige werken werd uitgegeven, is ontstaan door den wensch om den Delftschen studenten, die het college over partiëele differentiaalvergelijkingen volgen, een leidraad bij die studie te geven.

Bedoeld college is te Delft zoo ingericht, dat de belangrijkste mathematische hulpmiddelen voor den physicus en den ingenieur, voor zoover ze niet in afzonderlijke colleges behandeld worden, aldaar ter sprake komen. Dit verklaart dat in het boek verschillende zaken besproken worden, die eigenlijk niet door den titel gedekt worden, zooals Fourier-analyse, functies van Bessel en bolfuncties, terwijl de functietheorie, vectorvelden en de operatorische rekenwijze buiten beschouwing werden gelaten.

In de hoofdstukken I t/m VI worden de vergelijkingen van de eerste en tweede orde behandeld alsmede eenige eenvoudige existentiebewijzen. De volgende dertien hoofdstukken geven naast de vergelijking van Laplace en de potentiaaltheorie, de golfvergelijking enz., verschillende toepassingen zocals de beweging van een gasmassa in een buis, de vrije trillingen van een gespannen vlies en vraagstukken over warmtegeleiding in twee en drie dimensies.

Ook voor den ingenieur, voor wien de wiskunde en haar methoden slechts hulpmiddel blijven en die aan de studie van dat vak slechts een beperkten tijd kan wijden, is het helder geschreven boek van groote waarde om zich snel te oriënteeren dan wel verschillende onderwerpen na te slaan.

Vr.

PERSONALIA.

Ir. M. Valkenburg, hoofd v. d. afd. Waterstaat v. h. Dept. v. V. & W., is wegens 6-jar. dienst 8 md. verlof n. Europa verleend, ing. 20 Mei 1939.

Ir. L. G. Gerrits, ingr. bij 's Lands Wat. te Benkoelen is overgepl. naar Medan.

Ir. J. P. de Geus, ingr. b. d. afd. Havenwezen v. h. Dept. v. V. & W. te Bandoeng, is overgepl. naar Batavia-C. (toegev. a. d. Dir. v. d. Haven Tg. Priok).

Ir. A. B. Delmaar, t.w. ingr. 2de kl. bij 's Lands Wat., is benoemd tot ingr. 2de kl. en overgepl. v. h. hoofdkant. v. d. Wat. dienst der Prov. M.-Java te Semarang naar Pekalongan (toegevoegd a. d. sectie-ingr. v. d. sectie Tjomal v. d. Wat. afd. Pemali-Tjomal).

Ir. J. H. Spenkelink, daggr. bij 's Lands Wat. te Koetaradja, is tijd. bel. m. d. waarn. v. d. betr. v. ingr. 2de kl.

Ir. M. Soetedjo, sectie-ingr. v. d. sectie Blora v. d. Wat. afd. Serang, is toegev. a. h. Hoofd v. d. Wat. afd. Pemali-Tjomal, standpl. Malahajoe, en belast met de volt. v. d. bouw v. d. wadoek Malahajoe c.a.

Ir. F. L. H. N. Perié, werkz. op het Hoofdk. v. d. Wat. afd. Serang te Semarang, is werkz. gest. als sectie-ingr. v. d. sectie Blora v. d. genoemde Wat. afd.

Ir. Lie Kok Gwan, maandgr. op het Hoofdk. v. d. Wat. Afd. Serajoe te Poerworedjo, is ing. 4 Januari 1939 overgepl. n. h. Hoofdk. v. d. Wat. afd. Serang te Semarang.

Ir. G. F. Berg, Hoofd v. Tractie, Materieel en Werkpl. der S. S., is wegens 8-jar. dienst 10 md. verlof n. Europa verleend, ing. 27 Juni 1939.

Ir. F. Moomstra, ingr. 2de kl. op maandg. b. d. S. S., is overgepl. v. d. Expl. der Westerlijnen (Expl. kant. Batavia-Benedenstad) n. h. Hoofdk. (Bureau v. Weg en Werken) te Bandoeng.

Ir. J. Th. Noes, ambt. v. buitenl. verl. teruggek., is weder ben. tot ingr. b. d. S. S.

Ir. E. J. A. Corsmit is aangest. als ingr. 2de kl. op maandg. b. d. S. S. en gepl. b. d. Expl. der Westerlijnen (Inspectie I), standpl. Batavia.

Irs. Ph. Huisman en J. Salm, ingrs. b. d. B. P. M., zijn na aank. v. Europ. verlof gepl. te Pangkalan Brandan resp. Rantau.

Ir. W. J. Nijeveld, ingr. b. d. B. P. M., is te Rantau gepl. (v. Balikpapan).

Ir. H. A. M. v. d. Dungen, idem, is overgepl. v. Rantau naar Perlak.

Dr. R. D. Dawson en ir. A. I. Ratner v.d. B. P. M., zijn overgepl. v. Pangkalan Brandan naar Tjepoe.

KONINKLIJK INSTITUUT VAN INGENIEURS, Groep Ned.-Indië.

BESTUURSMEDEDEELINGEN.

Jaarvergadering.

Het ligt in de bedoeling de jaarlijksche algemeene vergadering op 22 April a.s. te doen houden te Batavia.

Het bestuur van Kring I is er in geslaagd, daaraan een aantrekkelijk programma te verbinden; de bijzonderheden daarover zullen per afzonderlijke circulaire aan de leden worden bekend gemaakt.

Hoewel het Groepsbestuur getracht heeft den datum der vergadering te vervroegen is het niet mogelijk geweest aan den daaromtrent op de vorige vergadering geuiten wensch tegemoet te komen.

Aangenomen en voorgestelde nieuwe leden.

De in No. 1 van dezen jaargang voorgestelde nieuwe leden zijn aangenomen. Thans worden voorgesteld als *gewoon lid:*

Ir. J. D. de Lind van Wijngaarden, leeraar aan de Koningin Wilhelmina School te Batavia-C.;

Ir. J. A. P. A. Schermer, ingenieur bij de N. V. NEDAM te Batavia-C.;

Ir. W. A. Wiemans, ingenieur bij 's Lands Waterstaat te Poerwokerto;

en als *junior-lid:*

Ir. H. J. Schoemaker, tijd. werkz. bij het Dept. v. V. en W. te Bandoeng.

Als *gewoon lid* werd wederom ingeschreven het voormalig lid:

Ir. A. Fermont, firmant Ingrs. & Arch. Bureau Fermont-Cuypers te Batavia-C.

Eventueele bezwaren tegen deze candidaatstelling worden vóór ultimo April a.s. ingewacht bij den Secretaris, Bragaweg 38, Bandoeng.

HANDELSFIRMA vraagt

voor haar Civiel Technische Afdeeling een **CIVIEL-INGENIEUR,** bij voorkeur met eenige jaren Hollandsch en Indisch praktijk.

Brieven onder No. I. 25, Reclamebureau „Kolff", Batavia-C.

6e JAARGANG
NUMMER 3

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

MAART
1939

II. BOUW- EN WATERBOUWKUNDE.

INHOUD: Het „Provinciaal Waterreglement Oost-Java" (1ste vervolg), door ir. W. Lammers.

Het „Provinciaal Waterreglement Oost-Java"

door

ir. W. LAMMERS,

Hoofd van den Provincialen Waterstaat van Oost-Java.

(1ste Vervolg.)

INHOUD.

HOOFDSTUK I. *Definities en benamingen.*
Artikel 1. Definities en benamingen.

HOOFDSTUK II. *Vrij gebruik van openbare wateren.*
Artikel 2. Voorzieningen tegen beschadiging van openbare wateren bij vrij gebruik daarvan.
Artikel 3. Voorschriften bij gebruik van water ter bestrijding van brand of ander groot gemeen gevaar.

HOOFDSTUK III. *Gebruik van openbare wateren voor de bevloeiing van aanplantingen op bevolkingsgronden.*
Artikel 4. Het voeren van water van een stroom- of bevloeiingsgebied in een ander.
Artikel 5. Omschrijving taak en werkwijze van de Irrigatiecommissies.
Artikel 6. Registratie van gronden, welke aanspraak hebben op bevloeiingswater.
Artikel 7. Omzetting van droge in bevloeide gronden; beperking van bevloeid oppervlak.
Artikel 8. Bevloeiing van tegalvelden, wooneerven en tuinen.
Artikel 9. Cultuurplannen.
Artikel 10. Maatregelen bij bijzondere waterschaarschte.
Artikel 11. Afkoop van waterrechten.
Artikel 12. Beschikbaarstelling van water, met mechanische middelen verkregen.
Artikel 13. Compensatie bij onwettige onttrekking van bevloeiingswater.

HOOFDSTUK IV. *Algemeene bepalingen betreffende de waterverdeeling en waterverstrekking.*
Artikel 14. Indeeling bevloeiingsjaar in bevloeiingsperioden.
Artikel 15. Algemeene voorschriften voor de waterverdeeling.
Artikel 16. Verbodsbepaling t.a.v. de waterverdeeling.
Artikel 17. Wijze van behandeling van klachten inzake de waterverdeeling.
Artikel 18. Beurtbevloeiingen bij de waterverdeeling.
Artikel 19. Afwijkingen normale waterverdeeling.
Artikel 20. Te treffen maatregelen bij waterverdeeling bij dijkdoorbraken enz.
Artikel 21. Gegevens betreffende maalrietaanplantingen.
Artikel 22. Omschrijving waterverstrekking.
Artikel 23. Regeling der taak van uit de bevolking gekozen personen.
Artikel 24. Nadere regeling betreffende uit de bevolking gekozen personen.
Artikel 25. Waterverstrekking aan maalrietaanplantingen.
Artikel 26. Bijzondere regelingen nopens de waterverdeeling en waterverstrekking.

HOOFDSTUK V. *Waterverdeeling en -verstrekking tijdens de Westmoessonbevloeiing.*
Artikel 27. Welke gewassen gedurende de Westmoessonbevloeiing aanspraak hebben op bevloeiingswater.
Artikel 28. Waterbehoefte aanplantingen gedurende de Westmoessonbevloeiing.
Artikel 29. Vaststelling van data voor Westmoessonbevloeiing en voor cultuurplannen gedurende deze periode.

HOOFDSTUK VI. *Waterverdeeling en -verstrekking tijdens de Oostmoessonbevloeiing.*
Artikel 30. Welke gewassen gedurende den Oostmoesson aanspraak hebben op bevloeiingswater.
Artikel 31. Waterbehoefte aanplantingen gedurende de Oostmoessonbevloeiing.
Artikel 32. Vaststelling van data voor Oostmoessonbevloeiing en voor cultuurplannen gedurende die periode.
Artikel 33. Wanneer gelijktijdige en wanneer gescheiden verstrekking wordt toegepast.
Artikel 34. Voorschriften voor gescheiden verstrekking (urenregeling, etmalenregeling).

Artikel 35.	Voorschriften voor waterverstrekking aan ondernemingsrietaanplantingen.
Artikel 36.	Cultuurplan voor geregelde gadoe-aanplantingen en wijze van behandeling van gadoe-aanvragen.
HOOFDSTUK VII.	*Gebruik van openbare wateren voor doorspoeling van Inlandsche nederzettingen op bevolkingsgronden en voor huishoudelijke doeleinden in die nederzettingen.*
Artikel 37.	Regeling wateronttrekking voor doorspoeling van Inlandsche nederzettingen enz.
HOOFDSTUK VIII.	*Gebruik van openbare wateren en aanleg van werken krachtens vergunning.*
Artikel 38.	Gevallen van wateronttrekking aan openbare wateren krachtens vergunning.
Artikel 39.	Onttrekking van water voor rioleerings- en doorspoelingsdoeleinden voor Stadsgemeenten en Regentschappen.
Artikel 40.	Het met mechanische middelen loozen van water in openbare wateren.
Artikel 41.	Het onttrekken van water aan den bodem op een diepte van 15 m en minder voor bevloeiingsdoeleinden (aanvulling art. 28 A.W.R.).
Artikel 42.	Het loozen van vaste stoffen en verontreinigde vloeistoffen in openbare wateren.
Artikel 43.	Het winnen van voortbrengselen uit openbare wateren.
Artikel 44.	Het aanleggen van werken aan, in, over, onder of langs openbare wateren.
HOOFDSTUK IX	*Aanleg, instandhouding, onderhoud en bescherming van openbare wateren.*
Artikel 45.	Aanwijzing openbare wateren met daarin gelegen werken, in onderhoud bij de Provincie.
Artikel 46.	Drooglegging en schouwing van bevloeiingsstelsels.
Artikel 47.	Rooilijnen openbare wateren.
Artikel 48.	Wat verstaan moet worden onder gedeeltelijke vernieuwing.
Artikel 49.	Dispensatie van de in art. 47 opgenomen verbodsbepalingen.
Artikel 50.	Verbodsbepaling voor het betreden van waterwerken door vee.
Artikel 51.	Aanleg van tertiaire aan- en afvoerleidingen met daarin gelegen kunstwerken.
Artikel 52.	Wie verplicht zijn tot het onderhoud van tertiaire leidingen.
Artikel 53.	Voortdurend en periodiek onderhoud van tertiaire leidingen.
Artikel 54.	Staking van watertoevoer bij onvoldoende onderhoud van tertiaire leidingen.
Artikel 55.	Beperking doorkappingen van dijken van tertiaire leidingen.
Artikel 56.	Verbod aanleg van tertiaire werken zonder vergunning.
Artikel 57.	Aanwijzing plaatsen van ringgoten langs leidingen.
Artikel 58.	Ongebruikt laten van strook langs leidingen.
Artikel 59.	Verbodsbepalingen ter bescherming van openbare wateren.
HOOFDSTUK X.	*Slotbepalingen.*
Artikel 60.	Uitvoeringsvoorschriften A.W.R. en P.W.R.
Artikel 61.	Toezicht op naleving A.W.R. en P.W.R.
Artikel 62.	Nakoming van verplichtingen.
Artikel 63.	Inwerkingtreding P.W.R.

„PROVINCIAAL WATERREGLEMENT OOST-JAVA".

HOOFDSTUK I.

Definities en benamingen.

Artikel 1 (Art. 1 A.W.R.).

Onverminderd de in artikel 1 van het „Algemeen Waterreglement 1936" (verder in deze verordening aangeduid met de afkorting A.W.R.) vermelde definities en benamingen, wordt in dit Reglement verstaan onder:

a. Openbare wateren:
de openbare wateren, als bedoeld in artikel 1 van het A.W.R., welke in beheer zijn bij de Provincie Oost-Java.

b. Bevloeiingsstelsel:
een bevloeiingsstelsel, als bedoeld in artikel 1 van het A.W.R., dat in beheer is bij de Provincie Oost-Java.

c. Bevloeiingsgebied:
een complex van gronden, die met elkaar in direct bevloeiingsverband staan, doordat elk deel van dat complex bevloeid kan worden met hetzelfde bevloeiingswater.

d. Westmoessonbevloeiing:
de cultuurperiode van den Westmoessonpadiaanplant der bevolking.

e. Oostmoessonbevloeiing:
de cultuurperiode van de Oostmoessongewassen der bevolking.

f. Verstrekkingsgemiddelde:
de waterhoeveelheid per bouw of per ha en per secunde, welke gevonden wordt door voor een bepaald gebied de beschikbare hoeveelheid water in liters per secunde te deelen door de som van de producten der relatieve oppervlakken van de bevloeiingsvakken van dat gebied met hunne respectieve terreincoëfficiënten.

g. Relatief oppervlak:
het product van het oppervlak met den coëfficiënt der waterbehoefte van het gewas.

h. Coëfficiënt der waterbehoefte van een gewas:
de coëfficiënt, aangevende de verhouding van de waterbehoefte van dit gewas t.o.v. de waterbehoefte van het gewas, die bij de waterverdeeling en -verstrekking als eenheid is aangenomen.

i. Terreincoëfficiënt:
de coëfficiënt, aangevende de verhouding van de waterbehoefte bij een zekere bodem- of terreingesteldheid t.o.v. de waterbehoefte bij een bodem- of terreingesteldheid, welke als norm wordt aangenomen.

j. Beurtregeling:
een regeling, waarbij om beurten aan eindvakken of aan groepen daarvan water wordt toegemeten.

k. Gescheiden verstrekking:
een regeling, waarbij om beurten aan verschillende gewassen in eenzelfde eindvak water wordt verstrekt.

l. Werken:
alle voorzieningen van welken aard en tot welk doel ook, aan, in, over, onder of langs openbare wateren.

m. Plaatselijke irrigatiecommissie:
commissie van advies in irrigatieaangelegenheden voor een Regentschap.

n. Kweekrietaanplantingen:
vrije rietaanplantingen van suikerondernemingen, bepaaldelijk aangelegd voor de winning van plantmateriaal (stekken).

o. Het College van Gedeputeerden:
het College van Gedeputeerden van den Provincialen Raad van Oost-Java.

p. H.P.W.:
Hoofd van den Provincialen Waterstaat van Oost-Java.

q. Irrigatiehoofd:
Hoofd van een irrigatie-ressort van den Provincialen Waterstaat.

r. Districtshoofd:
Hoofd van een district van den Provincialen Waterstaat, belast met irrigatiebeheer.

s. Sectie-ingenieur:
Ingenieur, belast met het beheer van een irrigatiesectie, zijnde een onderdeel van een irrigatie-ressort of van een district met irrigatiebemoeienis.

t. Sectie-opzichter:
Hoofdopzichter of Opzichter, belast met het beheer van een irrigatie-subsectie, zijnde een onderdeel van een irrigatiesectie.

Toelichting artikel 1.

In dit Reglement worden de op elkaar volgende bevloeiingsperioden aangeduid met de benamingen „Westmoessonbevloeiing" en „Oostmoessonbevloeiing".

Daardoor worden misverstanden voorkomen ten aanzien van perioden, welke den overgang vormen van den Westmoesson naar den Oostmoesson en omgekeerd (kenteringsperioden).

Voorts is een onderscheid gemaakt tusschen regelingen, waarbij aan eindvakken van bevloeiing of groepen daarvan onderling om beurten water wordt verstrekt, welke beurtregelingen worden genoemd en regelingen binnen die eindvakken tusschen verschillende gewassen onderling. Deze laatste regelingen worden in dit Reglement aangeduid met „gescheiden verstrekking".

De irrigatie-ressorten zijn de Irrigatie-afdeeling Brantas, de Irrigatie-afdeeling Pekalen-Sampean en de sectie Madioen. In het Ie en IVe district (t.w. wat het Ie district betreft, de residentie Soerabaja, gelegen buiten de I.A.B. benevens de residentie Bodjonegoro, en wat het IVe district betreft, de residentie Madoera) is het Districtshoofd met de irrigatie belast.

HOOFDSTUK II.

Vrij gebruik van openbare wateren.

Artikel 2 (Art. 2 A.W.R.).

(1) Ter voorkoming van verandering of beschadiging van bedijkte riviergedeelten, of van tot een bevloeiingsstelsel behoorende leidingen, welke in beheer zijn bij de Provincie, kunnen door den betrokken sectie-opzichter in overleg met het betrokken districtshoofd van het Binnenlandsch Bestuur plaatsen in of aan die riviergedeelten of leidingen worden aangewezen voor het baden en drenken van vee. Deze plaatsen worden aangeduid door borden of andere kenteekenen van een door of namens het College van Gedeputeerden vast te stellen model.

(2) Wanneer een aanwijzing als bedoeld in het eerste lid van dit artikel heeft plaats gehad, is het verboden elders dan op de daarvoor aangewezen plaatsen in de betrokken bedijkte riviergedeelten en/of leidingen vee te baden of te drenken.

Toelichting artikel 2.

In artikel 2 zijn beperkende bepalingen opgenomen, welke in acht genomen moeten worden bij het gebruik van bepaalde openbare wateren of gedeelten daarvan ten behoeve van het baden en drenken van vee.

Het ligt voorshands in de bedoeling deze beperkingen alleen toe te passen op bij de Provincie in geregeld onderhoud zijnde leidingen.

De provinciale verordening ddo. 29 October 1934, waarin deze materie werd geregeld, komt na de inwerkingtreding van dit Reglement te vervallen.

Wat betreft de winning van zand, grint en dergelijke wordt verwezen naar artikel 43 van dit Reglement.

Artikel 3 (Art. 3 A.W.R).

Ingeval van brand of van ander groot gemeen gevaar is het betrokken irrigatiepersoneel verplicht op eerste aanzegging van het bevoegd gezag den watertoevoer zooveel mogelijk te concentreeren of af te leiden ter bestrijding van dat gevaar.

Toelichting artikel 3.

Tot het bevoegd gezag worden gerekend de plaatselijke overheidsorganen van het Bestuur, van de Politie, van de Brandweer en van den Waterstaat.

Teneinde die organen in de gelegenheid te stellen zoo spoedig mogelijk doeltreffende maatregelen te nemen, is het gewenscht dat zij voor de daarvoor in aanmerking komende bebouwde centra in het bezit zijn van een instructie van het irrigatiepersoneel, welke voor zoover noodig o.m. een situatieteekening van alle voor de bestrijding van het gevaar in aanmerking komende leidingen met de daarin voorkomende kunstwerken moet bevatten, benevens een opgave van de capaciteit dier leidingen.

HOOFDSTUK III.

Gebruik van openbare wateren voor de bevloeiing van aanplantingen op bevolkingsgronden.

Artikel 4 (Art. 15 A.W.R.).

(1) Met inachtneming van het bepaalde in artikel 15 van het A.W.R. kan, teneinde het beschikbare bevloeiingswater zooveel mogelijk economisch te benutten, waar zulks mogelijk is zonder benadeeling van den gebruikelijken aanplant in een gebied, dan wel indien zulks ter verbetering van den algemeenen bevloeiingstoestand noodig wordt geacht, uit dat stroom- of bevloeiingsgebied water in een ander stroom- of bevloeiingsgebied worden gevoerd ter verbetering van den bevloeiingstoestand in dit laatste gebied.

(2) De vaststelling van dezen maatregel geschiedt bij besluit van het College van Gedeputeerden na overleg met de plaatselijke irrigatiecommissie(s).

(3) In geval van dijkdoorbraken of rampen van hoogerhand kan de sectie-ingenieur onder nadere goedkeuring van het betrokken Irrigatie- of Districtshoofd, ter voorkoming van mislukking van den aanplant, water aan het getroffen bevloeiingsgebied uit een ander bevloeiingsgebied voeren, zoodanig, dat een gelijkelijk slagen van alle op bevloeiingswater aanspraak hebbende aanplantingen in beide gebieden verwacht mag worden.

Toelichting artikel 4.

In artikel 15 van het A.W.R. wordt de mogelijkheid geopend om voor een gelijkelijk slagen van alle op bevloeiingswater aanspraak hebbende aanplantingen water van het eene stroom- of bevloeiingsgebied in het andere te voeren.

Gemeend wordt, dat niet alleen dan aan een stroom- of bevloeiingsgebied water mag worden onttrokken ten behoeve van een ander stroom- of bevloeiingsgebied als er in het eerste gebied meer water aanwezig is, dan economisch kan worden benut in dat gebied, doch ook indien zulks niet het geval is doch de verbetering van den algemeenen bevloeiingstoestand dezen maatregel wettigt.

Het spreekt vanzelf, dat daarbij bestaande rechten en aanspraken in acht genomen zullen worden.

Dat het gebied, waaraan het water onttrokken wordt, in tijden van waterschaarschte preferente aanspraken houdt op het bevloeiingswater, spreekt vanzelf.

Het derde lid voorziet in gevallen van rampen van hoogerhand en niet in blijvende maatregelen.

Artikel 5 (Art. 8 A.W.R.).

(1) De plaatselijke irrigatiecommissies hebben voorzoover niet reeds in het A.W.R. en dit Reglement omschreven, tot taak, om op algemeene of bijzondere uitnoodiging van het College van Gedeputeerden dan wel van den Gouverneur, de door dezen aan te wijzen organen van den Lande, de Provincie, de zelfstandige gemeenschappen en de desa's in haar gebied te dienen van advies onder meer omtrent de volgorde, naar hunne noodzakelijkheid, van de voorstellen tot aanleg of verbetering van bevloeiingswerken.

(2) Bovendien kunnen zij zich op eigen initiatief met voorstellen wenden tot het College van Gedeputeerden of andere gezaghebbenden.

(3) Wanneer dringende voorzieningen het wenschelijk maken, kan door de met het irrigatiebeheer belaste ambtenaren worden gehandeld zonder vooraf het advies der irrigatiecommissie te vragen. Hiervan zal echter onverwijld mededeeling worden gedaan aan het H.P.W. en aan den voorzitter der betrokken commissie.

(4) Bij de instelling der plaatselijke irrigatiecommissie(s) geeft het College van Gedeputeerden nadere voorschriften omtrent hare werkwijze.

Toelichting artikel 5.

In het A.W.R. is het inwinnen van het advies der betrokken irrigatiecommissie(s) voorgeschreven in de artikelen 8 lid (1) jo. 7, 13 en 26; in het Provinciaal Waterreglement is zulks bovendien voorgeschreven in de artikelen 4(2), 6(2), 7(4), 8(1), 9(5), 10, 11(1) en (3), 18(1), 19, 20(3), 26, 27(2), 29(1), 32(1), 33(2), 36(1) en (3) en 46.

De instelling der plaatselijke irrigatie-commissies is een uitvloeisel van het Regeeringsrondschrijven van 26 Januari 1920 No. 274/III.B., vervat in de Bijbladen 9372, 9639 en 10820, terwijl in Bijblad 12645 een nadere regeling wordt getroffen in verband met de bestuursreorganisatie op Java en Madoera.

Ter voorkoming van misverstanden omtrent de taak der plaatselijke irrigatiecommissies, welke uitsluitend adviseerende instanties zijn, is in artikel 8 van het A.W.R. en in artikel 5 lid (1) van dit Reglement tot uitdrukking gebracht, in welke irrigatieaangelegenheden het inschakelen van deze commissies verplichtend is gesteld.

Het spreekt welhaast van zelf, dat de waterverdeeling en waterverstrekking, waarmede het irrigatie-personeel regelmatig belast is, als regel buiten de bemoeienis dier commissies valt.

Omtrent alle wijzigingen in bestaande waterregelingen, dan wel omtrent nieuw in te voeren waterregelingen zullen deze commissies echter wel gehoord moeten worden.

Inzake omzetting van droge gronden in sawahs, het verleenen van watervergunningen, het invoeren van cultuurplannen, het vaststellen van bevloeiingsdata als bedoeld in artikel 29 en 32 van dit Reglement, zullen de commissies bijvoorbeeld eveneens moeten worden gehoord.

Overigens zullen door het College van Gedeputeerden bij de instelling der irrigatiecommissies voorschriften worden gegeven omtrent hare werkwijze.

Artikel 6 (Art. 7 en 9 A.W.R.).

(1) De Irrigatie- of Districtshoofden houden ieder voor zijn ressort een register aan, waarin desa- en bevloeiingsgebiedsgewijs de gronden zijn opgenomen, waarvoor aanspraak bestaat op bevloeiingswater voor daarop geteelde waterbehoevende aanplantingen en voor de grondbewerking ter voorbereiding van die aanplantingen, zulks naar de volgende onderscheiding:

a. gronden met geregelde aanspraak (over het geheele jaar), zijnde gronden, waarvoor t.b.v. vorenbedoelde aanplantingen en derzelver voorbereiding het geheele jaar voldoende bevloeiingswater beschikbaar is;

b. gronden met aanspraak in bepaalde gedeelten van het jaar, zijnde gronden, welke als gevolg van onvoldoende beschikbaar water om beurten alleen gedurende de Westmoessonbevloeiing of alleen gedurende de Oostmoessonbevloeiing water krijgen; gronden, welke geen volledige aanspraak hebben op bevloeiingswater, doch slechts

voor bevloeiing in aanmerking komen indien er een overmaat van water beschikbaar is; en voorts gronden, welke als regel wegens bandjirbezwaar gedurende de Westmoessonbevloeiing onbeplantbaar zijn;

c. gronden met aanspraak bij hooge waterstanden of onder bepaalde omstandigheden, zijnde gronden welke alleen bij bandjirs of hooge rivierstanden bevloeid kunnen worden.

(2) De in het vorige lid bedoelde registers worden, na ingewonnen advies van de betrokken irrigatiecommissie, door of namens het College van Gedeputeerden bij besluit vastgesteld. Herziening dier registers geschiedt op gelijke wijze.

De registers zullen op door het College van Gedeputeerden te bepalen wijze ter inzage van belanghebbenden worden gelegd.

Toelichting artikel 6.

Voor een doelmatig waterbeheer zijn deze registers onmisbaar, aangezien zij de fundamenteele gegevens bevatten voor de waterverdeeling en waterverstrekking.

Ter nadere aanduiding kunnen, waar zulks noodig mocht blijken, bovendien kaarten worden samengesteld, waarop de juiste ligging der geregistreerde gronden is aangegeven.

De gegevens omtrent de oppervlakken der bevolkingsgronden worden ontleend aan de landrenteregisters.

Het is noodzakelijk, dat, ter voorkoming dat door den dienst der Landrente gronden in een groep of klasse worden ondergebracht, welke niet in overeenstemming is met den werkelijken bevloeiingstoestand dier gronden, nauw contact bestaat tusschen de irrigatie-diensten en den dienst der Landelijke inkomsten. Hiernaar wordt bij voortduring gestreefd.

Artikel 7 (Art. 13 A.W.R.).

(1) Het omzetten van droge gronden in bevloeide gronden of omgekeerd geschiedt niet dan krachtens vergunning van het College van Gedeputeerden of van een door dit College aan te wijzen Waterstaatsambtenaar.

(2) Van deze omzetting wordt tijdig aanteekening gehouden in de in het vorig artikel bedoelde registers.

(3) Gebieden, waarin de beschikbare waterhoeveelheid reeds ternauwernood toereikend is voor de bevloeiing der op water aanspraak makende gronden in dat gebied, kunnen door het College van Gedeputeerden voor verdere uitbreiding van bevloeiing worden gesloten.

(4) Beslissingen ter uitvoering van het eerste en derde lid van dit artikel worden niet genomen dan na raadpleging van de betrokken irrigatiecommissie(s) en belanghebbenden.

Toelichting artikel 7.

Hoewel aan het omzetten van bevloeide gronden in droge gronden in het algemeen uit een irrigatiebelang geen bezwaren zullen zijn verbonden, wordt het toch wenschelijk geacht dergelijke omzettingen in de irrigatiecommissie te behandelen, aangezien ook inkrimping van het bevloeid oppervlak op de waterverdeeling van invloed kan zijn.

Evenals het Brantasbevloeiingsgebied voor omzetting van droge in bevloeide gronden, in verband met het steeds grooter wordende watergebrek gesloten is, moet de mogelijkheid onder de oogen gezien worden dat zulk een sluiting ook voor andere gebieden in Oost-Java noodig kan zijn.

Artikel 8 (Art. 9, lid 1, A.W.R.).

(1) Aan aanplantingen op tegalvelden, woonerven, tuinen en soortgelijke gronden, wordt niet dan in de in het tweede lid van dit artikel genoemde uitzonderingsgevallen en krachtens een besluit van het College van Gedeputeerden of van een door dat College aan te wijzen Waterstaatsambtenaar, de plaatselijke irrigatiecommissie gehoord, bevloeiingswater verstrekt.

(2) De in het eerste lid bedoelde uitzonderingsgevallen zijn:

a. gevallen, waarin krachtens bestaande rechten en aanspraken, bevloeiingswater wordt verstrekt;

b. gevallen, waarin voor het kweeken door de bevolking van vruchten, groenten, bloemen en andere gewassen water kan worden afgestaan zonder bestaande aanplantingen met aanspraak op bevloeiingswater te schaden.

(3) Van de in lid (1) bedoelde vergunningen worden registers aangehouden.

Toelichting artikel 8.

De gevallen, bedoeld in lid (2) sub a van dit artikel, komen o.a. voor in de residentie Madioen, waar krachtens het aldaar vigeerende waterreglement aan tegalgronden, woonerven en soortgelijke gronden, van tijd tot tijd water wordt verstrekt, indien er een overmaat van water aanwezig is.

Gemeend wordt, dat het onbillijk zou wezen om met deze aanspraken geen rekening te houden.

Onder de in lid (2) sub b bedoelde gevallen worden gerekend de uitgebreide aanplantingen van djeroekboomen op erven van Inlanders in de residentie Malang, welke een voorname bron van inkomsten voor de bevolking opleveren.

Het is gebleken, dat erfbevloeiing voor de voedselproductie van groote waarde is. Waar de debieten zulks toelaten (bijv. Patjal- en Baroe-gebied) zal van het in lid (2) sub b bepaalde eveneens gebruik gemaakt worden.

Artikel 9 (Art. 7 sub b en 10 A.W.R.)

(1) Op den voet van de artikelen 7 sub b en 10 van het A. W. R. worden in bevloeiingsgebieden, waarin de beschikbare hoeveelheid bevloeiingswater niet toereikend is om de bevolking vrij te laten in de keuze van hare gewassen en de oppervlakken, welke daarmede worden beplant en in de tijdstippen waarmede met de voorbereiding en het planten dezer gewassen wordt begonnes, benevens voor de bevloeiingsgebieden, waarin uit overwegingen van landbouwtechnischen aard een nadere regeling der bevolkingscultures noodzakelijk wordt geacht, zooveel mogelijk cultuurplannen vastgesteld.

(2) De inrichting van een cultuurplan moet zooveel mogelijk zoodanig zijn, dat de verstrekking van water aan de in het cultuurplan opgenomen gronden volledig beheerscht kan worden.

(3) De vaststelling der tijdstippen van waterverstrekking aan gronden, waarvoor een cultuurplan is vastgesteld, geschiedt op den voet van de artikelen 29 en 32 van dit Reglement.

(4) De indeeling naar den tijd zal voor golonganregelingen geschieden in perioden van tenminste een week.

(5) De vaststelling van een cultuurplan geschiedt door of namens het College van Gedeputeerden na raadpleging der betrokken irrigatiecommissies.

(6) Ook waar geen cultuurplannen zijn vastgesteld, heeft de regeling van den maalrietaanplant in het betreffend besluit van den Directeur van Binnenlandsch-Bestuur ten aanzien van wateraanspraken dezelfde gevolgen, alsof die regeling in een vastgesteld cultuurplan was opgenomen.

Toelichting artikel 9.

In het 1e lid van dit artikel zijn de gevallen genoemd, waarvoor vaststelling van cultuurplannen noodig wordt geoordeeld.

Voorbeelden van cultuurplannen, welke noodig zijn in verband met de beschikbare hoeveelheid bevloeiingswater zijn o.a. de gadoeregelingen gedurende de Oostmoesson-bevloeiing als bedoeld in art. 36 van dit Reglement en de z.g. golongan-regelingen voor de Westmoesson-padiaanplantingen. Bij een golongan-regeling met vaste golongans worden de gronden gegroepeerd in „golongans", waarin op vooraf vastgestelde tijdstippen met den aanplant mag worden begonnen. Het aantal golongans en de intervallen van waterverstrekking worden in hoofdzaak beheerscht door het verloop der beschikbare bevloeiingsdebieten.

Gevallen, waarin cultuurplannen noodig zijn uit overwegingen van landbouw-technischen aard, doen zich o.m. voor in gebieden met intensieve suikercultuur.

Voor deze cultures is het namelijk van groot belang, dat de gronden, welke bestemd zijn om met maalriet te worden beplant, zoo vroeg mogelijk in het jaar beschikbaar komen. Aan deze gronden (glanggangans, lemekgronden) kan, indien daartoe de noodzaak bestaat, daarvan geen schadelijke invloeden voor de bevolkingsaanplantingen zijn te verwachten, en een golonganregeling met vaste golongans niet kan dan wel niet behoeft te worden toegepast, voor de Westmoesson-padiaanplantingen, welke aan den maalrietaanplant voorafgaan, ten aanzien van het tijdstip van aanvang voorrang worden verleend boven de overige gronden (dongkellan- en lanjahgronden).

Voorts moet de mogelijkheid worden opengehouden om, wanneer t.z.t. terzake voldoende zekerheid zal zijn verkregen, met het oog op boordergevaar, de Westmoesson-padiaanplantingen in bepaalde complexen in te deelen, waarin met een bepaald tijdsinterval met de aanplantingen wordt begonnen.

Tot het vaststellen van cultuurplannen, waarin behalve de tijdstippen, waarop bepaalde gewassen zullen worden geplant, ook oppervlak en ligging dier aanplantingen zijn vastgesteld, dient uiteraard niet te worden overgegaan, anders dan na zorgvuldige bestudeering van cultuur- en debietgegevens over een voldoend aantal jaren.

Aangezien het overtreden van een vastgesteld cultuurplan niet strafbaar kan worden gesteld, althans indien zulks niet gepaard gaat met onrechtmatige wateronttrekking, verdient het aanbeveling om alleen in volledig technisch bevloeide gebieden en voor zoover de behoefte daaraan is gebleken tot het instellen van golonganregelingen over te gaan, en bij een golonganregeling met vaste golongans de golongans samen te stellen uit afgeronde eindvakken (tertiaire vakken), teneinde althans door de beheersching van den watertoevoer de nakoming van cultuurplannen zooveel mogelijk te bevorderen.

De practijk, opgedaan met de ingevolge Staatsblad 1903 No. 269 in Demak toegepaste golonganregeling, waarbij onderdeelen van tertiaire vakken in de golongans waren opgenomen, heeft uitgewezen dat het practisch ondoenlijk is om aan een dergelijke regeling de hand te houden, aangezien men den watertoevoer naar de verschillende golongans niet volledig in de hand had en daardoor het watergebruik niet vermocht te beteugelen.

Het strafbaar stellen van overtredingen aldaar heeft in de practijk tot zeer ongewenschte toestanden aanleiding gegeven en heeft ten slotte geleid tot intrekking van genoemde regeling.

De meest gebruikelijke tijdsintervallen bij de golonganregeling zijn perioden van 2 weken.

Bekorting dezer perioden tot minder dan een week wordt uit practische overwegingen ongewenscht geacht.

Ingevolge artikel 10 lid (3) A.W.R. vormen vastgestelde cultuurplannen den grondslag voor de waterverdeeling en waterverstrekking. Wordt dus in een gebied, waarvoor een gadoecultuurplan is vastgesteld, gadoe geplant boven het vastgesteld oppervlak of op andere gronden dan volgens het cultuurplan vastgesteld, dan worden aan die aanplantingen geen aanspraken op het voor geregelde gadoe benoodigde bevloeiingswater toegekend, doch worden zij bij de waterverdeeling en -verstrekking geacht alleen op water als voor polowidjo aanspraak te hebben.

Ad lid (5). In de uitvoeringsvoorschriften zal nader worden geregeld voor welke gevallen cultuurplannen zullen worden vastgesteld resp. door het College van Gedeputeerden of door bepaald aangewezen irrigatie-ambtenaren.

Ingevolge lid (6) van dit artikel heeft een maalrietaanplant boven het bij concessiebesluit vastgestelde maximum in het geheel geen aanspraak op bevloeiingswater.

Artikel 10 (Art. 20 A.W.R.).

Met inachtneming van het bepaalde in artikel 20 A.W.R. kan door of namens het College van Gedeputeerden in tijden van bijzondere waterschaarschte, na overleg met de betrokken irrigatiecommissie:

a. tot behoud van de te velde staande aanplantingen, zoolang dit noodig wordt geoordeeld, het water worden onthouden aan gronden, waarop een aanplant wordt voorbereid;

b. worden beslist aan welken staanden aanplant het water eventueel geheel onthouden zal worden en of en zoo ja op welke wijze voor door dezen maatregel berokkende schade compensatie bij de bevloeiing zal worden verleend, dan wel schadeloosstelling tusschen belanghebbenden onderling zal plaats hebben, een en ander na overleg met den Resident en belanghebbenden.

Toelichting artikel 10.

Door toevoeging van sub b wordt de mogelijkheid van algeheele wateronthouding aan te velde staande gewassen geopend, benevens de mogelijkheid van compensatie in den vorm van bevloeiing op andere tijdstippen dan wel in den vorm van schadeloosstellingen tusschen de belanghebbende waterverbruikers onderling.

Het kan economisch noodzakelijk zijn tot redding van een aanplant, die nog kans van slagen heeft, een toch reeds verloren aanplant alle water te onthouden.

Artikel 11 (Art. 21 A.W.R.).

(1) Afkoop van waterrechten van op bevloeiingswater aanspraak hebbende bevolkingsgronden kan door het College van Gedeputeerden, nadat alle belanghebbenden zijn gehoord, worden toegestaan, wanneer overwegende belangen van openbaar nut zulks noodig maken. De Resident regelt in overleg met de betrokken irrigatiecommissie en met de belangheb-

bende bevolking waar, in welke mate en op welke wijze de schadeloosstelling door den betrokken watergebruiker aan die bevolking zal plaats hebben.

(2) Op waterafkoop, als bedoeld onder artikel 10, sub b van dit Reglement is de tweede zin van het vorige lid van overeenkomstige toepassing.

(3) Door of namens het College van Gedeputeerden kan worden toegestaan dat, op verzoek van de belanghebbende ondernemingen en gehoord de irrigatiecommissie, ten behoeve van de kweekbedden voor bepaalde Westmoesson-padiaanplantingen water wordt gebruikt, dat bestemd is voor de besproeiing van suikerrietvelden.

(4) Overigens wordt bij de waterverdeeling en waterverstrekking geen rekening gehouden met afspraken tusschen belanghebbende bezitters van gronden onderling dan wel tusschen bevolking en derden, welke afwijken van de door den irrigatiedienst op den voet van dit Reglement vastgestelde wijze van waterverdeeling en -verstrekking.

Toelichting artikel 11.

Het geval kan zich voordoen, dat ten behoeve van drinkwaterleidingen voor groote bevolkingscentra water moet worden onttrokken aan openbare wateren en dat daardoor voor op bevloeiingswater aanspraak hebbende bevolkingsgronden geen water meer beschikbaar is. De belanghebbende grondbezitters zullen uiteraard met dezen maatregel moeten instemmen en alsdan op een voor hen zoo billijk mogelijke wijze schadeloos worden gesteld.

Verder is gedacht aan de gevallen, waarin door de suikercultuur prijs wordt gesteld op vervroeging van den Westmoesson-padiaanplant op die gronden, welke na den padioogst bestemd zijn voor maalrietaanplantingen en voor welke gronden de suikerondernemers genegen zijn een gedeelte van het water, bestemd voor hunne maalrietaanplantingen, af te staan ten behoeve van de kweekbedden der Westmoesson-aanplantingen.

Echter wordt geen rekening gehouden met afspraken tusschen grondbezitters onderling om in afwijking van de door den irrigatiedienst vastgestelde waterverdeeling en waterverstrekking, water aan bepaalde aanplantingen te onthouden ten behoeve van andere waterbehoevende gewassen.

Artikel 12 (Art. 22 A.W.R.).

(1) Als regel zal water, verkregen op den voet van artikel 28 van het A.W.R. of dat met mechanische middelen wordt opgevoerd krachtens eene op den voet van artikel 26 A.W.R. verleende vergunning, vervoerd worden door middel van uitsluitend daarvoor bestemde leidingen, welke op aanwijzing van den irrigatiedienst door en op kosten van de belanghebbenden worden aangelegd en onderhouden.

(2) Is het op de in het vorige lid omschreven wijze verkregen water bestemd voor bevloeiingsdoeleinden, dan zijn voor dat watergebruik de in of krachtens het A.W.R. en dit Reglement vastgestelde bepalingen en voorschriften van kracht.

(3) Waar het gebruik van eigen leidingen om bepaalde redenen van bevloeiings-technischen aard niet mogelijk is of ongewenscht wordt geacht, een en ander ter beoordeeling van het Irrigatie- of Districtshoofd, kan het in het eerste lid van dit artikel bedoeld water geleid worden in een openbaar water en met inachtneming der waterverliezen op een lagergelegen plaats ter beschikking van den betrokken vergunninghouder worden gesteld.

(4) Waar zulks in het belang eener ongestoorde waterverdeeling noodig wordt geacht, kan door of namens het College van Gedeputeerden bepaald worden dat het met bijzondere middelen verkregen water, dat geleid wordt in een openbare bevloeiingsleiding, bestemd wordt voor de verbetering van den algemeenen bevloeiingstoestand in het betrekkelijke gebied van die leiding, terwijl de vergunninghouder bovendien verplicht kan worden om ter voorkoming dat de waterverdeeling herhaaldelijk gewijzigd zou moeten worden in de perioden van het jaar, waarin hij ten eigen behoeve water opvoert, gedurende het geheele etmaal door water op te voeren zonder eenigerlei vergoeding.

Toelichting artikel 12.

Het vervoeren van water, dat volgens de in dit artikel omschreven wijze wordt verkregen, door middel van afzonderlijke leidingen, wordt in de practijk meestal toegepast en geeft in het algemeen geen aanleiding tot moeilijkheden.

Wordt dit water benut voor bevloeiingsdoeleinden, dan zal in het belang van een doelmatig waterbeheer dit watergebruik onderworpen moeten zijn aan de bepalingen en voorschriften van het A.W.R. en van dit Reglement. Zoo is gebleken, dat het noodig is het watergebruik in de tuinen tot de daguren te beperken, hetgeen ook in de pompvergunningen pleegt te worden opgenomen. Het spreekt vanzelf, dat in de uitvoeringsvoorschriften ruimte gelaten zal worden om watertoevoer door pompen mogelijk te maken na den datum, waarop de normale waterverstrekking aan de maalrietaanplanting is beëindigd.

In sommige gevallen leent de terreingesteldheid zich echter niet tot het aanleggen van eigen leidingen en wordt het water alsdan in een rivier of bevloeiingsleiding gevoerd, en meer benedenstrooms hetzij met mechanische middelen, hetzij door middel van een aftapping ter beschikking gesteld van den vergunninghouder.

Voor de gevallen, waarin met mechanische middelen opgevoerd water in een bevloeiingsleiding wordt gebracht en het reserveeren van een met inachtneming der waterverliezen bepaalde waterhoeveelheid ten bate van den vergunninghouder op de waterverdeeling een storenden invloed heeft, wordt bepaald dat de debietsvermeerdering als gevolg van het toegevoegde water niet voor den vergunninghouder alleen, doch ten algemeenen nutte in het betrekkelijk bevloeiingsgebied wordt aangewend.

In dit geval kan bovendien, ter voorkoming dat de waterverdeeling herhaaldelijk gewijzigd zou moeten worden als gevolg van een telkenmale onderbroken watertoevoer, de vergunninghouder verplicht worden om niet alleen gedurende de uren, dat de vergunninghouder het water voor eigen doeleinden noodig heeft, doch gedurende het geheele etmaal door water te blijven opvoeren zonder daarvoor op eenigerlei vergoeding aanspraak te kunnen maken.

Deze verplichting geldt vanzelfsprekend slechts gedurende de periode, waarin de vergunninghouder ten eigen bate gebruik maakt van zijn vergunning.

Zou een dergelijke verplichting eventueel worden opgelegd buiten die periode, dan zou de vergunninghouder daarvoor uiteraard wel aanspraak hebben op een vergoeding.

Artikel 13 (Art. 24 A.W.R.).

(1) Op den voet van artikel 24 lid (2) van het A.W.R. is het Irrigatie- of Districtshoofd bevoegd om de verstrekking van het bevloeiingswater zoo te rege-

len, dat het nadeel, hetwelk door onrechtmatige wateronttrekking is berokkend, zooveel mogelijk wordt gecompenseerd.

(2) Van dezen compensatie-maatregel worden de betrokkenen zoo spoedig mogelijk in kennis gesteld.

Toelichting artikel 13.

Aangezien het gebruik van bevloeiingswater op zich zelf niet strafbaar gesteld kan worden, is in artikel 24 A.W.R. de nadruk gelegd op de onrechtmatige wateronttrekking.

Onrechtmatige wateronttrekking kan uiteraard alleen bij de waterverstrekking (binnen het tertiaire vak) plaats hebben, aangezien de waterverdeeling (tusschen de vakken onderling) geheel in handen is van het irrigatiepersoneel.

Onrechtmatige wateronttrekking heeft binnen het tertiaire vak bijv. plaats, indien, met afwijking van een vastgesteld cultuurplan, een ingestelde beurtbevloeiing of urenregeling, het water op de velden of in de riettuinen wordt geleid uit de bevloeiingsleidingen.

De betrokken suikerondernemers zijn verplicht er zelf voor te waken, dat over de volgens artikel 35 van dit Reglement verplicht gestelde tuinschotten niet meer bevloeiingswater stroomt, dan volgens de waterbons voor den betreffenden tuin is toegestaan.

HOOFDSTUK IV.

Algemeene bepalingen betreffende de waterverdeeling en waterverstrekking.

Artikel 14.

(1) Met betrekking tot de waterverdeeling en waterverstrekking wordt het bevloeiingsjaar onderverdeeld in twee aaneengesloten perioden, namelijk die der Westmoessonbevloeiing en die der Oostmoessonbevloeiing.

(2) Gedurende de Westmoessonbevloeiing wordt de padiaanplant der bevolking als hoofdgewas beschouwd, terwijl gedurende de Oostmoessonbevloeiing de tweede gewassen (polowidjo) der bevolking als hoofdgewas worden aangemerkt, onverminderd het in artikel 30 van dit Reglement bepaalde.

Toelichting artikel 14.

De begrippen Westmoesson- en Oostmoessonbevloeiing zijn om bevloeiings-technische redenen ingevoerd, aangezien voor die perioden in verband met de daarin tot stand te brengen hoofdgewassen der bevolking inderdaad de begin- en einddata kunnen worden vastgesteld.

Het gebruik van zinsneden in oude reglementen als: „tegen den tijd, dat de Westmoesson begint" (art. 10 van de waterregeling voor de Residentie Soerabaja) of van „het tijdstip waarop de Westmoesson wordt geacht in te gaan" (oud-ontwerp A.W.R. art. 24) wordt daardoor overbodig.

Voor de vaststelling van de aanvangsdata dezer periode, zie de artikelen 29 en 32 van dit Reglement.

Artikel 15 (Art. 16 A.W.R.).

(1) De waterverdeeling omvat de voorbereiding en de uitvoering van de verdeeling van het beschikbare bevloeiingswater over en uit de hoofd- en secundaire aanvoerleidingen in een bevloeiingsgebied.

(2) Het Irrigatie- of Districtshoofd draagt zorg voor de verzameling en rangschikking van de voor de waterverdeeling benoodigde gegevens volgens door het H.P.W. voor te schrijven wijze.

(3) Het Irrigatie- of Districtshoofd draagt zorg voor een juiste waterverdeeling volgens de desbetreffende bepalingen in dit Reglement, vast te stellen voor bepaalde perioden, nopens den duur waarvan voor de verschillende gebieden het H.P.W. voorschriften geeft.

(4) Voornoemd Irrigatie- of Districtshoofd wordt in zijn taak bijgestaan door Sectie-ingenieurs, sectie-opzichters, mantri's waterbeheer en irrigatiebeambten.

Artikel 16 (Art. 16 A.W.R.).

Het is aan anderen dan het daartoe bevoegd irrigatie-personeel verboden:

a. de waterverdeeling te wijzigen of te doen wijzigen;
b. het bevloeiingswater in een eindvak van bevloeiing te voeren of zulks te laten doen, op andere wijze dan door het Irrigatie- of Districtshoofd is vastgesteld.

Artikel 17 (Art. 16 A.W.R.).

Klachten over de waterverdeeling worden, c.q. door tusschenkomst van het lager irrigatiepersoneel, in eerste instantie voorgebracht bij den betrokken sectie-opzichter, die verder volgens instructie van het Irrigatie- of Districtshoofd handelt.

Door tusschenkomst van den Sectie-ingenieur wordt het Irrigatiehoofd ingelicht omtrent de voorgebrachte klachten inzake de waterverdeeling en de terzake getroffen voorzieningen.

Artikel 18 (Art. 16 A.W.R.).

(1) Indien de beschikbare hoeveelheid bevloeiingswater niet toereikend voor een gelijktijdige waterverstrekking in het geheele bevloeiingsgebied pleegt te zijn, wordt voor zoover mogelijk door het Irrigatie- of Districtshoofd, na advies van de betrokken irrigatiecommissie, voor dat gebied op den voet van artikel 16 A.W.R. en overigens rekening houdend met den looptijd van het water een beurtregeling dan wel een gescheiden verstrekking ontworpen en bij besluit vastgesteld.

(2) De datum, waarop een regeling als bedoeld in het vorige lid zal ingaan, wordt bij besluit vastgesteld door den Sectie-ingenieur.

De betrokken waterverbruikers worden ten minste vijf dagen voor dien datum met dit besluit in kennis gesteld.

Toelichting artikel 18.

De in dit artikel voorgeschreven werkwijze bevordert een vlotten gang van zaken: de eventueel toe te passen beurtregelingen zelve worden voor ieder gebiedsdeel vastgesteld door het Irrigatie- of Districtshoofd na advies van de betrokken irrigatiecommissie, terwijl spoedshalve aan den Sectie-ingenieur de bepaling van het tijdstip van ingang der voorgeschreven regeling — zoomede de detailuitvoering — het best kan worden overgelaten, voor het geval de ach-

teruitgang der debieten dit werkelijk noodig maakt. Alleen op deze wijze is voldoende aanpassing aan den werkelijken toestand in ieder jaar te bereiken.

Artikel 19 (Art. 16 A.W.R.).

Voor het geval een of meer eindvakken van bevloeiing wat betreft den toestand der cultures in bijzondere omstandigheden verkeeren, kan aan die eindvakken, na ingewonnen advies van de plaatselijke irrigatiecommissie, tijdelijk meer of minder water worden toegevoerd, indien zulks mogelijk is zonder benadeeling van de overige aanplantingen.

Toelichting artikel 19.

In tegenstelling met de in artikel 10 van dit Reglement bedoelde gevallen, kan zich onder overigens normale bevloeiingstoestanden het geval voordoen dat dezelfde cultures in verschillende eindvakken van bevloeiing, wegens den stand der cultures, een sterk afwijkende waterbehoefte hebben.

De bepaling in dit artikel maakt het mogelijk om in dit geval af te wijken van de normale waterverdeeling, waarbij in het algemeen met gemiddelde waterbehoefte rekening kan worden gehouden.

Artikel 20 (Art. 16 A.W.R.).

(1) Ingeval van dijkdoorbraken of van onvoorzien onklaar raken van irrigatiewerken is het Irrigatie- of Districtshoofd bevoegd om ter beperking van de schadelijke gevolgen daarvan den watertoevoer naar den waterloop, waarin bedoelde omstandigheden zich hebben voorgedaan, tijdelijk te verminderen of te staken.

(2) Hij geeft hiervan onmiddellijk kennis aan de betrokken irrigatiecommissie en aan het College van Gedeputeerden door tusschenkomst van het H.P.W.

(3) Na het herstellen van die doorbraak of van die irrigatiewerken kan, indien de beschikbare tijd dit toelaat, na ingewonnen advies van de plaatselijke irrigatiecommissie, aan de eindvakken, welke tijdelijk minder water hebben ontvangen dan volgens de normale waterverdeeling het geval zou geweest zijn, dan wel tijdelijk geheel van water verstoken zijn geweest, zoo noodig tijdelijk meer water ter compensatie worden toegevoerd.

Artikel 21 (Art. 16 A.W.R.).

(1) De suikerondernemingen zijn verplicht telken jare voor een door het H.P.W. te bepalen datum en op een door dit Diensthoofd aan te geven wijze aan het betrokken Irrigatie- of Districtshoofd een opgave te verstrekken van de in dat jaar aan te leggen maalriet- en kweekriet-aanplantingen.

(2) Deze opgave dient de bruto-oppervlakken der riettuinen desagewijs en bevloeiingsgebiedsgewijs te bevatten.

Toelichting artikel 21.

Het spreekt vanzelf, dat de in het eerste lid bedoelde datum eerst kan worden opgegeven, nadat de Regeering de productie-vergunningen over het betrokken jaar heeft vastgesteld.

Artikel 22 (Art. 17 A.W.R.).

De waterverstrekking omvat de onderverdeeling van het aan een eindvak van bevloeiing toegevoerde water over de tertiaire leidingen en de verdere distributie daaruit over de gronden en aanplantingen binnen dat eindvak.

Toelichting artikel 22.

In tegenstelling met de waterverdeeling, waarbij uiteraard niet anders dan met gemiddelde waterbehoeftecijfers kan worden rekening gehouden, geschiedt de waterverstrekking naar de oogenblikkelijke behoefte der aanplantingen en wordt dus ook rekening gehouden met de waterbehoefte gedurende de verschillende cultuurperioden van een aanplant (grondbewerking, aanplant, rijping, droging) en met de omstandigheden, waarin de aanplantingen verkeeren (ziekten, regenval, enz.).

Artikel 23 (Art. 17 A.W.R.).

(1) Voor zoover de taak der in artikel 17 lid (3) A.W.R. bedoelde personen niet reeds elders in dit Reglement of het A.W.R. is omschreven, omvat zij o.m. de gezamenlijke regeling van de onderverdeeling van het water over de tot eenzelfde eindvak van bevloeiing behoorende desagebieden en een eventueel noodige giliran [1]) tusschen deze gebieden, terwijl de onderverdeeling van het water over die aanplantingen binnen de desa-gebieden zelve wordt overgelaten aan elk dier personen afzonderlijk, al dan niet in samenwerking of overeenstemming met het desahoofd of desabestuur, al deze werkzaamheden onder toezicht van het districtshoofd van het Binnenlandsch-Bestuur.

(2) Bij hunne taakverrichting volgen zij de hun eventueel door of namens den mantri-waterbeheer gegeven technische aanwijzingen.

Artikel 24 (Art. 17 A.W.R.).

(1) Bij de uitvoering van hun taak gedragen de in het vorige artikel bedoelde personen zich naar de instructies, door den betrokken Regent in overleg met het betrokken Irrigatie- of Districtshoofd gegeven.

(2) Wanneer meerbedoelde personen ongeschikt zijn voor de vervulling van hun taak, wordt op door den Regent aan te geven wijze voor vervanging zorg gedragen.

Toelichting artikelen 23 en 24.

Het streven moet er op gericht zijn om de belanghebbende bevolking zooveel mogelijk op te wekken tot zelfwerkzaamheid op irrigatiegebied.

Voorshands zal die zelfwerkzaamheid echter beperkt moeten blijven tot de bemoeienis met de waterverdeeling binnen de grenzen van een eindvak van bevloeiing, de z.g. waterverstrekking als omschreven in artikel 22.

Opzettelijk is in dit Reglement het instituut van z.g. kringbesturen, zooals die voorkomen in de reglementen voor Madioen en Kediri, niet imperatief voorgeschreven, hoewel een eventueele invoering van dit instituut geenszins uitgesloten is, zoodra dit inderdaad levensvatbaarheid blijkt te bezitten.

De ondervinding, zoowel in Madioen als in Kediri opgedaan, heeft namelijk uitgewezen, dat van de werking dezer kringbesturen in de practijk niets is terechtgekomen en dat de leiding dier besturen in werkelijkheid bleek te berusten bij den irrigatiemandoer instede van bij het kringhoofd.

Uit practische overwegingen beperkt zich dit Reglement daarom tot het stellen van eenige regelen

1) beurtbevloeiing binnen het tertiaire vak.

betreffende de taak en werkwijze van de „oeloe-oeloes" of „oetjengs", vertegenwoordigers uit de landbouwers der desa's, waarvan het nut in de practijk wel bewezen is.

Ad art. 24 lid (2). De sectie-ingenieur is de deskundige, die de ongeschiktheid kan constateeren.

Het stellen van regelen omtrent de door de belanghebbenden aan vorenbedoelde personen verschuldigde vergoedingen is niet wel mogelijk in dit Reglement. Veelal toch wordt de hier bedoelde taak vervuld door desabestuursleden, wier inkomsten op den voet van artikel 3 I.G.O. worden geregeld. Ook worden wel door de ingelanden vrijwillige bijdragen voor de werkzaamheden der „oeloe-oeloes" („oetjengs" enz.) gegeven, hetzij uit de desa-kas of wel op andere wijze.

Hierbij zij aangeteekend, dat zij als desa-beambten in de practijk steeds vrij zijn van desa-diensten.

Artikel 25 (Art. 17 A.W.R.).

De waterverstrekking als bedoeld in artikel 17 lid (2) A.W.R. geschiedt door het irrigatiepersoneel volgens de bepalingen van dit Reglement en overigens volgens door het College van Gedeputeerden vast te stellen voorschriften.

Toelichting artikel 25.

Ingevolge het bepaalde in artikel 17 lid (2) van het A.W.R. geschiedt de waterverstrekking aan maalrietaanplantingen uit tertiaire leidingen door het met het beheer van het betrokken bevloeiingsstelsel belast gezag i.c. het irrigatiepersoneel.

De waterverstrekking als bedoeld in artikel 17 lid (5) A.W.R. geschiedt zooveel mogelijk volgens de bepalingen van dit Reglement en de door het College van Gedeputeerden krachtens dit artikel vast te stellen voorschriften.

Artikel 26.

Voor een bepaald bevloeiingsgebied of een gedeelte daarvan kunnen door of namens het College van Gedeputeerden, na ingewonnen advies van de betrokken irrigatie-commissies, bijzondere plaatselijke regelingen worden vastgesteld nopens de waterverdeeling en waterverstrekking, met inachtneming van de terzake in dit Reglement en het A.W.R. neergelegde beginselen.

Toelichting artikel 26.

Ten einde het treffen van bijzondere regelingen van meer permanent karakter voor bepaalde bevloeiingsgebieden mogelijk te maken, wordt het noodig geoordeeld daarin in dit Reglement te voorzien.

Gedacht wordt b.v. aan de instelling van meer permanente beurtregelingen tusschen gronden behoorende tot eenzelfde bevloeiingsgebied, waarin onvoldoende water beschikbaar is om als regel alle gronden gelijktijdig van bevloeiingswater te voorzien (vide artikel 6 lid (1) sub b van dit Reglement) en voorts aan de instelling van z.g. „waterkringen" in niet technisch bevloeide gebieden.

In technisch bevloeide gebieden worden de eindvakken van bevloeiing (tertiaire vakken) als waterkringen aangemerkt.

Mede kunnen op grond van dit artikel t.z.t. de noodige wijzigingen, aanvullingen of vervangingen plaatshebben van de bestaande, krachtens artikel III van St. 1936 No. 489 gehandhaafde plaatselijke regelingen.

HOOFDSTUK V.

Waterverdeeling en -verstrekking tijdens de Westmoessonbevloeiing.

Artikel 27 (Art. 18 A.W.R.).

(1) Onverminderd het bepaalde in artikel 18 lid (1) A.W.R. hebben gedurende de Westmoessonbevloeiing bij voorkeur aanspraak op bevloeiingswater:

a. de kweekbedden voor de Westmoesson-padiaanplantingen, benevens de voorbereiding daarvan;
b. de zoetwatervischvijvers der Inlandsche bevolking voorzoover daarvoor vergunning is verleend;
c. geregelde (gesanctionneerde) padigadoeaanplantingen voorzoover die nog waterbehoevend zijn.

(2) Het betrokken Irrigatie- of Districtshoofd stelt na ingewonnen advies van de betrokken irrigatiecommissie vast of de gevallen, bedoeld in artikel 18 lid (2) van het A.W.R. zich voordoen, en stelt de data vast waarna geen water meer aan de aanplantingen en gewassen, bedoeld in dat artikellid, wordt verstrekt.

(3) De vaststelling der in het vorige lid bedoelde data geschiedt bij besluit, waarvan afschriften worden toegezonden aan het College van Gedeputeerden, den betrokken Resident, het H.P.W., de(n) betrokken Regent(en), het Hoofd van den Landbouwvoorlichtingsdienst, de betrokken irrigatiecommissie(s) en aan de daarvoor aangewezen instanties van het Suikersyndicaat.

Toelichting artikel 27.

In artikel 18 A.W.R. en in artikel 27 lid 1 van dit Reglement zijn de aanplantingen genoemd, welke gedurende deze bevloeiingsperiode preferente wateraanspraken hebben.

Ter voorkoming van oneconomisch watergebruik is nochtans de mogelijkheid geopend om ook aan andere nog te velde staande gewassen bevloeiingswater te verstrekken en wel indien naar het oordeel van het Irrigatie- of Districtshoofd meer bevloeiingswater beschikbaar is dan optimaal benoodigd is voor de preferente gewassen.

Is zulks niet het geval, dan kan toch nog in bijzondere gevallen aan andere aanplantingen water worden verstrekt indien wateronthouding tot misgewas aanleiding zou geven.

De beoordeeling van de noodzakelijkheid van waterverstrekking aan z.g. noodlijdende aanplantingen wordt overgelaten aan het betrokken Irrigatie- of Districtshoofd na terzake ingewonnen advies van de plaatselijke irrigatiecommissie.

Artikel 28 (Art. 16 A.W.R.).

(1) De waterbehoefte van verschillende gewassen gedurende de Westmoessonbevloeiing, of de coëfficiënten der waterbehoefte dier gewassen zal (zullen) door het College van Gedeputeerden worden vastgesteld zooveel mogelijk op grond van de door het Landbouwkundig Instituut van het Algemeen Proefstation van den Landbouw daartoe te verstrekken gegevens, betrekking hebbende op het optimum en minimum watergebruik, gebaseerd op een onafgebroken verstrekkingsduur van 24 uur.

(2) Wordt aan bepaalde aanplantingen gedurende minder dan 24 uren water verstrekt, dan worden de door het College van Gedeputeerden vastgestelde verhoudingscijfers herleid in evenredigheid tot den korteren verstrekkingsduur.

(3) De waterverdeeling geschiedt met inachtneming van het bepaalde in artikel 16 lid (1) van het A.W.R. naar evenredigheid van de met deze coëfficiënten berekende relatieve oppervlakken.

Toelichting artikel 28.

Dit artikel legt Gedeputeerden den plicht op verhoudingscijfers vast te stellen, waarmede bij de waterverdeeling tijdens de Westmoessonbevloeiing rekening gehouden dient te worden.

De door het College vast te stellen verhoudingscijfers blijven uiteraard slechts van kracht totdat uit op wetenschappelijken grondslag uitgevoerde bevloeiingsproeven zal zijn gebleken, dat deze verhoudingscijfers minder juist zijn en dus door betere moeten worden vervangen.

Artikel 29 (Art. 7 A.W.R.).

(1) Ieder jaar stelt het Irrigatie- of Districtshoofd na ingewonnen advies van de plaatselijke irrigatiecommissies tijdig voor elk bevloeiingsgebied afzonderlijk of voor onderdeelen daarvan dan wel voor groepen van bevloeiingsgebieden, de data vast, waarop de Westmoessonbevloeiing zal aanvangen en waarop dus ook met de verstrekking van bevloeiingswater voor de voorbereiding der Westmoessonpadiaanplantingen in die gebieden zal worden begonnen.

(2) Bij de vaststelling van deze data wordt zooveel mogelijk rekening gehouden met de belangen van den staanden aanplant, met den waterrijkdom van en den normalen regenval in het betrekkelijke gebied, alsmede met het moesson-verloop.

(3) Waar cultuurplannen voor de Westmoessonbevloeiing zijn vastgesteld worden bovendien door het Irrigatie- of Districtshoofd de voor die plannen benoodigde data vastgesteld.

(4) Bij onverwachte wijzigingen in de beschikbare debieten is het Irrigatie- of Districtshoofd bevoegd bovenbedoelde data te wijzigen en geeft hij hiervan onverwijld kennis aan het H.P.W., de betrokken irrigatiecommissie en aan belanghebbenden.

Toelichting artikel 29.

De in dit artikel bedoelde aanvangsdata der Westmoessonbevloeiing worden voor ieder bevloeiingsgebied of voor elk onderdeel daarvan afzonderlijk, dan wel voor meerdere bevloeiingsgebieden gezamenlijk, zooveel mogelijk zoodanig vastgesteld, dat met inachtneming van de waterbehoefte der nog te velde staande aanplantingen (voor zoover betreft gadoeaanplantingen uiteraard alleen de geregelde), den normalen regenval en de onder normale omstandigheden beschikbare debieten, de cultures der preferente Westmoessonaanplantingen een normaal verloop kunnen hebben.

Hoewel geregelde gadoeaanplantingen niet gerekend kunnen worden tot de z.g. preferente Westmoessonaanplantingen, wordt bij de vaststelling der cultuurplannen aan deze aanplantingen stilzwijgend een normaal cultuurverloop gewaarborgd en zal dus ook voorzoover deze aanplantingen nog waterbehoevend zijn daaraan het benoodigde water niet onthouden mogen worden.

Voor de gebieden, waarin golonganregelingen van kracht zijn, zullen tevens de begindata voor iedere golongan afzonderlijk moeten worden vastgesteld.

HOOFDSTUK VI.

Waterverdeeling en -verstrekking gedurende de Oostmoessonbevloeiing.

Artikel 30 (Art. 19 A.W.R.).

(1) Onverminderd het bepaalde in artikel 19 A. W. R. hebben gedurende de Oostmoessonbevloeiing aanspraak op geregelde verstrekking van bevloeiingswater:

a. de kweekbedden voor Westmoessonpadiaanplantingen en de voorbereiding daarvan, voorzoover zulks noodig is in verband met voor die aanplantingen vastgestelde cultuurdata;
b. de kweekbedden voor z.g. vervroegde Westmoessonaanplantingen, deze aanplantingen zelve en de voorbereiding daarvan.

(2) Geregelde gadoeaanplantingen, bedoeld onder a en b van artikel 11 A. W. R., gaan bij de waterverstrekking voor bij alle overige Oostmoessonaanplantingen.

(3) Behoudens het bepaalde in artikel 4 lid (2) van het A. W. R. wordt de aanplant van padigadoe op andere dan bevolkingsgronden slechts van het voor den geregelden padigadoeaanplant benoodigde water voorzien, indien deze vanwege het College van Gedeputeerden onder dien geregelden aanplant is gebracht.

Toelichting artikel 30.

In artikel 19 A.W.R. en in lid 1 van artikel 30 van dit Reglement worden de aanplantingen vermeld met inbegrip van hare voorbereiding, welke gedurende deze bevloeiingsperiode aanspraak hebben op geregelde verstrekking van bevloeiingswater.

Volgens de Memorie van Toelichting bij het A. W.R. moeten onder de in artikel 19 lid (2) sub c van het A.W.R. bedoelde gewassen mede begrepen worden aanplantingen, door ondernemers geplant op van de Inlandsche bevolking gehuurde gronden, zooals b.v. van kweekriet, tabak, uien, cassave enz.

Hoewel geen zuivere Oostmoessonaanplantingen zijnde, zal gedurende de Oostmoessonbevloeiing toch rekening gehouden moeten worden met de waterverstrekking aan de z.g. vooruitgeschoven Westmoessonpadiaanplantingen, waarvan de kweekbedden reeds in September moeten worden aangelegd en die veelal onmisbaar zijn, omdat in den Westmoesson onvoldoende water is om allen padi-aanplant tijdig in den grond te brengen.

Tot deze aanplantingen behooren o.a. de „ansegansawahs" in de residentie Malang en de „padiawal" in de residentie Bodjonegoro.

Ook op de sub a bedoelde kweekbedden van normale Westmoessonaanplantingen zal reeds gedurende Oostmoessonbevloeiing gerekend moeten worden, aangezien zulks noodig is in verband met de voor deze aanplantingen vastgestelde cultuurdata.

In tijden van onvoorzien tekort aan bevloeiingswater vindt toepassing art. 20 A.W.R.

Van de Oostmoessonaanplantingen gaan ingevolge lid (2) de in artikel 11 sub a en b A.W.R. bedoelde geregelde gadoeaanplantingen vóór, wijl deze als het hoofdgewas der bevolking moeten worden beschouwd, zoodat deze aanplantingen zonder meer in het cultuurplan worden opgenomen, in tegenstelling met de gadoeaanplantingen bedoeld in artikel 11 A.W.R. sub c, d en e, welke alleen worden toegestaan als er, na inrekeningbrenging van de ondernemingsriet- en polowidjoaanplantingen, nog voldoende bevloeiingswater beschikbaar is.

Ingevolge artikel 19 lid (3) van het A.W.R. mag aan ongeregelde gadoeaanplantingen het meer dan voor polowidjo benoodigde water niet worden onthouden, indien voor de sub a en b bedoelde aanplantingen meer water beschikbaar is dan optimaal daarvoor benoodigd.

In lid (3) wordt de bestaande practijk gesanctionneerd.

Artikel 31 (Art. 16 A.W.R.).

(1) De waterbehoefte van verschillende gewassen gedurende de Oostmoessonbevloeiing, of de coëfficiënten der waterbehoefte dier gewassen zal (zullen) door het College van Gedeputeerden worden vastgesteld zooveel mogelijk op grond van de door het Landbouwkundig Instituut van het Algemeen Proefstation van den Landbouw daartoe te verstrekken gegevens, betrekking hebbend op het optimum en minimum watergebruik, gebaseerd op een onafgebroken verstrekkingsduur van 24 uur.

(2) Wordt aan bepaalde aanplantingen gedurende minder dan 24 uur water verstrekt, dan worden de door het College van Gedeputeerden vastgestelde verhoudingscijfers herleid in evenredigheid tot den korteren verstrekkingsduur.

(3) De waterverdeeling geschiedt met inachtneming van het bepaalde in artikel 16 lid (1) van het A. W. R. naar evenredigheid van de met deze coëfficiënten berekende relatieve oppervlakken der aanplantingen.

Toelichting artikel 31.

Het komt alleszins gewenscht voor, dat ter bepaling van de werkelijke waterbehoeften van verschillende aanplantingen geleidelijk practijkproeven worden gedaan door den Landbouwvoorlichtingsdienst in overleg met de Irrigatiediensten.

Artikel 32 (Art. 7 A.W.R.).

(1) Telkenjare stelt het Irrigatie- of Districtshoofd na ingewonnen advies van de irrigatiecommissie voor elk bevloeiingsgebied afzonderlijk of gedeelten daarvan dan wel voor groepen van bevloeiingsgebieden tijdig de data vast, waarop de Westmoessonbevloeiing als geëindigd moet worden beschouwd en de Oostmoessonbevloeiing zal aanvangen. Hierbij zal rekening worden gehouden met den stand der Westmoessonpadiaanplantingen.

(2) Waar cultuurplannen voor de Oostmoessonbevloeiing zijn vastgesteld, worden bovendien de voor die plannen benoodigde data geregeld.

(3) De vaststelling van deze data geschiedt bij besluit, waarvan afschriften worden toegezonden aan het College van Gedeputeerden, den betrokken Resident, het H. P. W., de(n) betrokken Regent(en), het Hoofd van den Landbouwvoorlichtingsdienst, de betrokken irrigatiecommissie(s) en aan de daarvoor aangewezen instanties van het Suikersyndicaat.

Toelichting artikel 32.

De in dit artikel bedoelde cultuurdata zullen uiteraard zoo tijdig mogelijk aan de belanghebbenden worden bekendgesteld.

Artikel 33 (Art. 12 en 17 A.W.R.).

(1) Zoolang gedurende de Oostmoessonbevloeiing voldoende water beschikbaar is, hebben de bevolkingsaanplantingen en de maalrietaanplantingen overdag aanspraak op gelijktijdige waterverstrekking. Aan de maalrietaanplantingen en zooveel mogelijk ook aan kweekrietaanplantingen, wordt in dit geval, met inachtneming van het in artikel 31 van dit Reglement bepaalde, alleen overdag water verstrekt en wel op zijn vroegst van 's morgens 6 uur tot uiterlijk 's middags 5 uur.

De waterverdeeling wordt alsdan op deze gelijktijdige verstrekking ingesteld.

(2) Is daarentegen de beschikbare hoeveelheid water niet meer toereikend voor een gelijktijdige verstrekking als omschreven in lid (1) van dit artikel, dan wordt, met inachtneming van het bepaalde in artikel 12 lid (1) en van artikel 17 van het A. W. R. door of namens het Irrigatie- of Districtshoofd, na ingewonnen advies van de betrokken irrigatiecommissie, een gescheiden verstrekking ingesteld, zooals omschreven in het volgend artikel.

De waterverdeeling wordt alsdan op deze gescheiden verstrekking ingesteld.

Artikel 34 (Art. 12 A.W.R.).

(1) De in het vorige artikel bedoelde gescheiden verstrekking kan zijn een z.g. „urenregeling" of een z.g. „etmalenregeling".

(2) Onder urenregeling wordt verstaan een regeling, waarbij hetzij gedurende iederen dag hetzij gedurende een bepaald aantal dagen per week, al het beschikbare water overdag gedurende een vastgesteld aantal uren achtereen aan de maalrietaanplantingen en zoo eenigszins mogelijk ook aan de bevolkingsrietaanplantingen en de kweekrietaanplantingen wordt verstrekt en gedurende de andere dagen en uren aan de overige bevolkingsaanplantingen.

Voor zoover de watervoorziening van hoogwaardige bevolkingsaanplantingen gedurende de nachturen overwegende bezwaren met zich mede brengt, zal, waar zulks mogelijk is, ook voor deze gewassen overdag water worden verstrekt.

(3) De urenregeling wordt toegepast waar geen gelegenheid bestaat om het 's nachts beschikbare water op te vangen teneinde het overdag te gebruiken.

(4) De vaststelling van het aantal dagen en uren van waterverstrekking voor bepaalde aanplantingen in een bevloeiingsgebied geschiedt met inachtneming van het bepaalde in artikel 16 lid (1) A. W. R. naar verhouding van het relatieve oppervlak dier aanplantingen tot het totaal relatief oppervlak der aanplantingen in dat gebied, met dien verstande dat als regel met de afsluiting van den watertoevoer naar de riettuinen op een zoodanig tijdstip wordt aangevangen, dat het water om 3 uur 's middags kan worden toegelaten tot den meest nabijgelegen bevolkingsaanplant, behoudens het in lid (2) van artikel 12 van het A. W. R. omschreven uitzonderingsgeval.

(5) Onder etmalenregeling wordt verstaan een regeling, waarbij gedurende een of meer etmalen achtereen al het beschikbare water om beurten aan de maalrietaanplantingen en bevolkingsaanplantingen wordt verstrekt.

(6) De etmalenregeling wordt toegepast in gebieden, waar z.g. kringwadoeks aanwezig en in gebruik zijn en een urenregeling als omschreven in lid (2) t/m (4) niet goed mogelijk wordt geacht.

(7) De vaststelling van het aantal etmalen geschiedt naar verhouding van het relatieve oppervlak der maalrietaanplantingen tot dat der bevolkingsaanplantingen.

(8) De waterverstrekking aan de bevolkingsaanplantingen en de maalrietaanplantingen wordt bij een gescheiden verstrekking zooveel eerder gestaakt, als noodig is voor den tijdigen toevoer onderscheidenlijk naar de maalrietaanplantingen en de bevolkingsaanplantingen.

Toelichting artikelen 33 en 34.

In artikel 33 wordt onderscheid gemaakt tusschen de z.g. gelijktijdige verstrekking en de gescheiden verstrekking aan bevolkings- en maalrietaanplantingen van eenzelfde bevloeiingsvak.

In de beginmaanden van de Oostmoessonbevloeiing (Mei, Juni, Juli) is meestal zooveel water beschikbaar, dat gelijktijdig aan alle aanplantingen naar behoefte water kan worden verstrekt.

Aangezien een verstrekking gedurende de avond- en nachturen aan maalrietaanplantingen — dit geldt ook voor de kweekrietaanplantingen — voor de ondernemers overwegende bezwaren zou opleveren en bovendien het toezicht op het watergebruik voor die aanplantingen practisch onmogelijk zou wezen, is er bij de gelijktijdige verstrekking op gerekend, dat aan die aanplantingen alleen gedurende de daguren en wel op zijn vroegst van 6 uur 's morgens tot uiterlijk 5 uur 's middags water wordt verstrekt.

Gedurende die periode kan ook overdag aan de bevolkingsaanplantingen water worden verstrekt, terwijl het nachtwater als regel gebruikt wordt voor de bevloeiing van sawahs, welke bevloeiing, eenmaal geregeld zijnde, weinig toezicht meer vereischt.

In de maand Augustus nemen de debieten veelal in die mate af, dat instelling eener z.g. gescheiden regeling noodzakelijk wordt, welke alsdan hetzij een „urenregeling", hetzij een „etmalenregeling" kan zijn. De urenregeling is feitelijk niet anders dan een z.g. dag- en nachtregeling zooals in de toelichting bij artikel 12 van het A.W.R. beschreven.

Voor gebieden waar geen kringwadoeks aanwezig zijn, waarin het nachtwater kan worden opgezameld en tegelijk met het dagwater over de aanplantingen kan worden verdeeld, is de urenregeling de meest geëigende.

Zoowel in de residentie Madioen als in het gebied der Irrigatie Afdeeling Brantas werd deze urenregeling reeds sedert jaren toegepast en heeft aldaar zeer bevredigend gewerkt.

Het groote voordeel dier regeling is, dat iedere belanghebbende partij zeker is van den watertoevoer gedurende de vastgestelde tijden en dat in verband daarmede het toezicht op de waterverstrekking kan worden beperkt.

Uit bovenvermelde overwegingen wordt ook bij de urenregeling alleen gedurende de daguren water verstrekt aan ondernemingsrietaanplantingen.

In bevloeiingsgebieden waar wel kringwadoeks bestaan kan een z.g. etmalenregeling worden ingesteld, waarbij eveneens om beurten al het water nu eens aan de ondernemingsrietaanplantingen, dan weer aan de bevolkingsaanplantingen wordt verstrekt.

Voorts kan het voorkomen, dat ook voor de bewadoekte gebieden aan een urenregeling de voorkeur wordt gegeven dan wel aan een combinatie van beide.

Overigens zal de keuze der toe te passen gescheiden verstrekking en de detailleering daarvan van plaatselijke omstandigheden afhankelijk gesteld en dus aan de betrokken gezaghebbenden overgelaten moeten worden.

Ingevolge artikel 12 van het A.W.R. zal zoo eenigszins mogelijk ook aan de bevolkingsrietaanplantingen (uiteraard geldt hetzelfde voor de kweekrietaanplantingen) gedurende de daguren water worden verstrekt. Voorts zal ernaar gestreefd worden om ook aan andere hoogwaardige bevolkingsgewassen als uien e.a. overdag water te verstrekken. De wijze, waarop aan deze belangen zal worden tegemoet gekomen, kan in verband met de plaatselijk zeer uiteenloopende omstandigheden in dit Reglement niet in details worden geregeld. Het College van Gedeputeerden zal echter voor de handhaving van dit beginsel zorgdragen. De uitwerking voor bijzondere gevallen zal aan de hand van ervaringskennis door de Irrigatiediensten in overleg met de irrigatiecommissies moeten geschieden.

Artikel 35 (Art. 17 A.W.R.).

(1) De waterverstrekking aan maalriet- en kweekrietaanplantingen uit tertiaire leidingen geschiedt alleen ingevolge schriftelijke aanvragen van of namens den ondernemer, gericht aan den betrokken sectieopzichter, zoomede onder meting van den watertoevoer.

(2) De in het vorige lid bedoelde meting geschiedt op door het Irrigatie- of Districtshoofd te geven aanwijzingen en onder zijnerzijdsche contrôle door middel van voor elken tuin geplaatste tijdelijke meetinrichtingen, welke door en op kosten van den ondernemer ten genoegen van voornoemd Hoofd worden aangemerkt, opgesteld en onderhouden.

(3) Ontbreekt voor eenigen tuin de voorgeschreven meetinrichting, dan kan de watertoevoer naar dien tuin onmiddellijk worden gestaakt.

(4) Van de verplichting tot het plaatsen van tijdelijke meetinrichtingen, als bedoeld in lid (2) van dit artikel kan door het Irrigatie- of Districtshoofd in bijzondere gevallen ontheffing worden verleend.

Artikel 36 (Art. 7 en 11 A.W.R.).

(1) Op den voet van artikel 7 sub c van het A. W. R. en met inachtneming van het bepaalde in artikel 9 van dit Reglement worden telkenjare door of namens het College van Gedeputeerden na ingewonnen advies van de plaatselijke irrigatiecommissie en belanghebbenden cultuurplannen vastgesteld voor de geregelde padigadoeaanplantingen.

(2) De wijze van behandeling der gadoe-aanvragen van de Inlandsche bevolking en van erfpachters geschiedt volgens door het College van Gedeputeerden vast te stellen richtlijnen.

(3) Ten behoeve van de in het eerste lid van dit artikel bedoelde cultuurplannen worden door of namens het Irrigatie- of Districtshoofd na ingewonnen advies der plaatselijke irrigatiecommissie voor ieder bevloeiingsgebied telkenjare vastgesteld:

a. de totale oppervlakken der geregelde gadoeaanplantingen, gesplitst in de categorieën a t/m e

als bedoeld in artikel 11 van het A.W.R. en gegroepeerd naar de bevloeiingsgebieden, de Regentschappen, districten, onderdistricten en desa's, waarin die aanplantingen zijn gelegen;

b. de data, behoudens uitzonderingsgevallen, waarna voor de bewerking der kweekbedden geen bevloeiingswater meer wordt verstrekt;

c. de data, behoudens uitzonderingsgevallen, waarna voor de grondbewerking der sawahs geen bevloeiingswater meer wordt verstrekt.

(4) Van de gronden, bedoeld onder a en d van artikel 11 van het A. W. R., worden registers aangelegd volgens een door of namens het College van Gedeputeerden vast te stellen model.

Toelichting artikel 36.

Dit artikel bevat voorschriften voor de cultuurplannen der z.g. geregelde gadoeaanplantingen.

In artikel 11 van het A.W.R. is de volgorde van voorkeur van de diverse gadoeaanplantingen aangegeven.

In verband met de belangen der overige op wateraanspraak makende Oostmocssonaanplantingen wordt het van het hoogste belang geacht dat de geregelde gadoeaanplantingen zoo tijdig in den grond worden gebracht, dat deze gedurende de meest waterarme maanden aan het einde der Oostmoessonbevloeiing practisch niet meer waterbehoevend zijn.

Meende men aanvankelijk te kunnen volstaan met het instellen van de data bedoeld in lid (3) sub b van dit artikel, in de practijk bleek alras dat met het bewerken der sawahs zelve zoodanig getreuzeld werd, dat de gadoeaanplant toch nog een ongewenschte vertraging ondervond.

Het is in de practijk gebleken, dat het bevolkingsbelang eischt, behalve aan een einddatum voor kweekbedaanleg, ook aan een einddatum voor de sawahbewerking vast te houden.

(Slot volgt).

BERICHT AAN INZENDERS.

Het al dan niet opnemen van bijdragen staat uitsluitend ter beoordeeling van de Redactie.

Plaatsing van bijdragen in een bepaalde aflevering kan in het algemeen slechts worden verzekerd, wanneer men minstens één maand *voor* de maand, waarin de betreffende aflevering verschijnt, daartoe bij de inzending van de bijdragen het verzoek doet.

Inzenders ontvangen kosteloos 5 exemplaren van de aflevering, waarin hun artikel verschijnt.

Overdrukken zijn tegen vergoeding van de kosten te verkrijgen, indien daartoe bij inzending van de kopij het verzoek wordt gedaan.

Tekst. Men gelieve den tekst der kopij, indien eenigszins mogelijk, duidelijk getypt in *tweevoud* in te zenden, met het papier slechts aan één zijde beschreven, losbladig c.q. licht gehecht. Inzenders worden verzocht een kort resumé van den inhoud hunner bijdrage aan den tekst van het artikel te doen voorafgaan, terwijl deze tekst zoo weinig mogelijk doorhalingen, omzettingen enz. dient te bevatten. Voor de onderbrenging van figuren in den tekst ware de *plaats* daarvan reeds op duidelijke wijze in of naast den tekst aan te geven.

Foto's en teekeningen. Foto's, teekeningen en calques moeten als losse bijlagen bij de inzending worden overgelegd (in enkelvoud). Terugzending van dit illustratiemateriaal geschiedt alleen op verzoek.

Daar de reproductie van foto's en teekeningen vrij kostbaar is, is de Redactie veelal verplicht naar beperking op dit gebied te streven. Ten einde zoo min mogelijk teleurstelling te wekken wordt iederen inzender verzocht te willen bedenken, dat vele teekeningen zeer goed verkleind kunnen worden, wanneer hiermede slechts met de bijschriften, lijndikten, arceeringswijdte enz. rekening wordt gehouden. Men geve zich er daarom rekenschap van, hoe klein de teekening in het tijdschrift ongeveer zal moeten worden en regele daarnaar de grootte der letters, de lijndikten enz.

De schaal moet in verband met de verkleining steeds *grafisch* worden aangegeven.

Onderschriften worden steeds gezet. Men schrijve deze dus niet op de teekening, doch voege ze op een afzonderlijk blad papier bij. Het wordt zeer op prijs gesteld, wanneer *alle* figuren van onderschriften worden voorzien.

Origineele foto's geven in den regel aanmerkelijk fraaiere reproducties dan gedrukte afbeeldingen. De teekeningen moeten vervaardigd zijn in dekkend zwarte lijnen; blauwe lijnen in het bijzonder mogen niet voorkomen. Indien calques worden ingezonden, moeten deze eveneens in dekkend zwart of vermiljoen zijn geteekend en ook slechts aan één zijde zijn bewerkt.

Voor reproductie in kleurendruk moet voor elke kleur een zeer nauwkeurige calque worden gezonden. De kosten van reproductie stijgen evenredig met het aantal kleuruittreksels; platen in meerkleurendruk worden dan ook slechts bij uitzondering opgenomen.

Honorarium. Het honorarium bedraagt voor oorspronkelijke bijdragen *f* 3,—, voor vertalingen *f* 1,50 à *f* 2,— per tijdschriftkolom.

Verslagen van lezingen, tabellen, foto's en teekeningen worden niet gehonoreerd.

De Redactie kan van bovenstaande normen afwijken. Voorts kan in gevallen, dat de kosten van reproductie van foto's en teekeningen buiten verhouding hoog worden, een deel dier kosten ten laste van den inzender worden gebracht, met dien verstande, dat deze kosten tot geen hooger bedrag in rekening zullen worden gebracht dan het honorarium bedraagt.

EEN
WETENSCHAPPELIJKE GOUVERNEMENTS-INSTELLING IN NEDERLANDSCH-INDIË
vraagt een **INGENIEUR** liefst technoloog met bedrijfservaring en aanleg voor wetenschappelijk werk om leiding aan een afdeeling te geven. Bezoldiging volgens schaal 66 B. B. L.-1938.

Brieven onder No. I. 26, Reclamebureau „Kolff", Batavia-C.

6e JAARGANG
NUMMER 3

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

MAART
1939

III. ELECTROTECHNIEK EN WERKTUIGBOUW.

INHOUD: Ontwerp van een gekoppelde horizontaal-seismograaf met electrische registratie ten behoeve van het meten van horizontale brugslingeringen, door ir. W. J. van der Eb. — Over het onderzoek en onderhoud van autobatterijen, door Dipl. Ing. C. G. D. Ihle. — De electrificatie van de Wieringermeer, door Ing. D. W. Sparnaay.

Ontwerp van een gekoppelde horizontaal-seismograaf met electrische registratie ten behoeve van het meten van horizontale brugslingeringen

door

ir. W. J. VAN DER EB,

Ingenieur bij het Dienstvak Weg en Werken der S. S., Afdeeling Constructie en Bruggen te Bandoeng.

Korte inhoud.

De enkelvoudige horizontaal-seismograaf met directe registratie is minder geschikt voor het opnemen van horizontale brugslingeringen, omdat elastische vervormingen (tengevolge van de mobiele belasting) van het brugdeel waaraan het instrument bevestigd is een ontstelling van het instrument geven welke de opgeteekende slingering danig vervormen. Voorts is de methode van directe registratie bij het meten van brugslingeringen, welke in den regel zeer hevig zijn, volkomen onbruikbaar. De in dit artikel beschreven gekoppelde horizontaal-seismograaf beoogt de genoemde ongunstige factoren te verbeteren en geeft tevens een vergrooting van het bruikbare deel van de resonantiekromme. Een beschrijving van dit instrument, zijn afmetingen en de bepaling van zijn karakteristieken besluiten het artikel.

In het artikel „Eenige trillingsproblemen in den bruggenbouw" (zie *De Ingenieur in Ned.-Indië* no. 6 — 1936) gaf steller dezes op het eind een korte beschrijving van een zelf geconstrueerde seismograaf, welke gebruikt werd voor horizontale trillingsmetingen aan het Tjikoembang-viaduct in de buurt van Sasaksaät. Het instrument berustte op het principe van den slinger met scheef gestelde as, zulks ter bereiking van een grooten eigentrillingstijd. Deze vorm nu, evenals trouwens alle enkelvoudige seismograafvormen, heeft het nadeel dat een lichte verstelling van het onderstel (in dit geval tevens een verdraaiing van de scheef gestelde as veroorzakend) de nullijn van de opgeteekende slingering belangrijk van plaats doet veranderen. Is bijv. het instrument op een rand van een vakwerkbrug geplaatst vlak bij een dwarsdrager (zulks om de eigentrillingen van de vakwerkstaaf niet mede in het diagram opgenomen te krijgen) zoo krijgt deze rand een hoekverdraaiing doordat hij, stijf aan den dwarsdrager verbonden zijnde, door dezen getordeerd wordt. Deze omstandigheid veroorzaakt een verstelling van de scheefgestelde as, met het bekende resultaat. Passeert nu een proeflocomotief de brug met een groote snelheid, dan is de periode van de nullijn-verschuiving slechts zeer kort en is practisch niet van een normale brugtrilling te onderscheiden, met als gevolg een zeer vertrokken diagram, dat niets gemeen heeft met het werkelijke trillingsbeeld. Een ander bezwaar is o.a. nog het feit dat het opteekeningstoestel zich ook op de brug bevindt en hevig meetrilt, zoodat een goed diagram, vooral bij groote treinsnelheden, zeer moeilijk te verkrijgen is. Al deze redenen zijn aanleiding geweest tot het uitdenken van een systeem waarbij genoemde bezwaren geëlimineerd zijn. Alvorens echter hiertoe over te gaan willen wij eerst in het kort het principe van de enkelvoudige seismograaf nagaan, waarbij afgezien wordt van invloeden die een verstelling van de scheeve as veroorzaken. Het principe van de enkelvoudige seismograaf berust op dat van een tragen slinger. Als bewegingsvergelijking van de trage massa (zie *fig. 1*) verkrijgen wij:

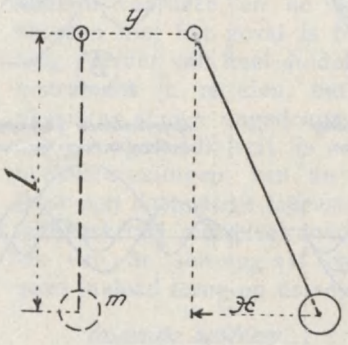


Fig. 1.

$$ml\frac{d^2(y+x)}{dt^2}+kl\frac{dx}{dt}+mgx=0$$

of ook:

$$\frac{d^2x}{dt^2}+2n\frac{dx}{dt}+p^2x=-\frac{d^2y}{dt^2},\ \text{waarin dus}$$

$$2n=\frac{k}{m}\quad\text{en}\quad p^2=\frac{g}{l}.$$

De dwingende trilling y wordt in den regel veroorzaakt door de som van meerdere periodische bewegingen, met verschillende periode en amplitude. Zij is algemeen dus voor te stellen door een Fourier-sche reeks en wel:

$$y = \Sigma\, y_n \sin (w_n t + \varphi_n)$$

waarmee dus de differentiaalvergelijking wordt:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2n\frac{dx}{dt} + p^2x = \Sigma\, y_n w_n^2 \sin (w_n t + \varphi_n)$$

De oplossing van deze vergelijking luidt:

$$x = e^{-nt}(C_1 \sin p_1 t + C_2 \cos p_1 t) + \\ + \Sigma\, C_n \sin (w_n t + \theta_n)$$

Hierin beteekent:

$$p_1 = \sqrt{p^2 - n^2}$$

$$C_n = \frac{w_n^2}{\sqrt{(p^2 - w_n^2)^2 + 4n^2 w_n^2}} \quad y_n = C'_n\, y_n$$

en $$\theta_n = \varphi_n + \text{bg tg}\frac{-2w_n n}{p^2 - w_n^2} = \varphi_n + \varphi'_n$$

De functie $C_n' = \dfrac{w_n^2}{\sqrt{(p^2 - w_n^2)^2 + 4n^2 w_n^2}}$ stelt de z.g. resonantiekromme voor, terwijl de hoek $\varphi_n' = \text{bg tg}\dfrac{-2w_n n}{p^2 - w_n^2}$ de z.g. phaseverschuivingshoek is. De uitkomst wil dus met andere woorden zeggen dat de dwingende trilling (de te meten trilling dus)

$$y = \Sigma\, y_n \sin (w_n t + \varphi_n)$$

wordt weergegeven door de gedwongen trilling:

$$y = \Sigma\, C'_n\, y_n \sin (w_n t + \varphi_n + \varphi'_n)$$

nadat de eigentrillingen van het apparaat zijn weggestorven. Het gunstigst blijkt de z.g. half-aperiodische demping te zijn. Zij is vrij sterk, zoodat de eigentrillingen snel weggedempt worden, terwijl de constanten C_1 en C_2 in den regel zeer klein zijn. Verder is de vergrootingsfactor C_n' van $w_n = 0$ tot $w_n = \frac{1}{4}\, p$ practisch gelijk één, terwijl de phaseverschuivingshoek tusschen $w_n = 0$ en $w_n = p$ vrijwel rechtlijnig verloopt vanaf $\varphi_n' = 0°$ tot $\varphi_n' = 90°$. Dit laatste echter geeft bij onderfrequentie-apparaten, zooals bijv. de seismograaf, geen bepaald voordeel, zooals dit wel het geval is (het rechtlijnige verloop n.l.) bij de overfrequentie-apparaten. *Fig. 2a* en *b* maken een en ander duidelijk. *Fig. 2b* geeft de harmonische analyse weer bij een onderfrequentie-apparaat en *fig. 2a* hetzelfde voor een overfrequentie-apparaat, in de onderstelling dat φ_n' zuiver rechtlijnig verloopt en dat $C_n' = 1$ over het geheele gebied van $w_n = 0$ tot $w_n = p$ (c.q. $\dfrac{1}{w_n} = 0$ tot $\dfrac{1}{w_n} = \dfrac{1}{p}$).

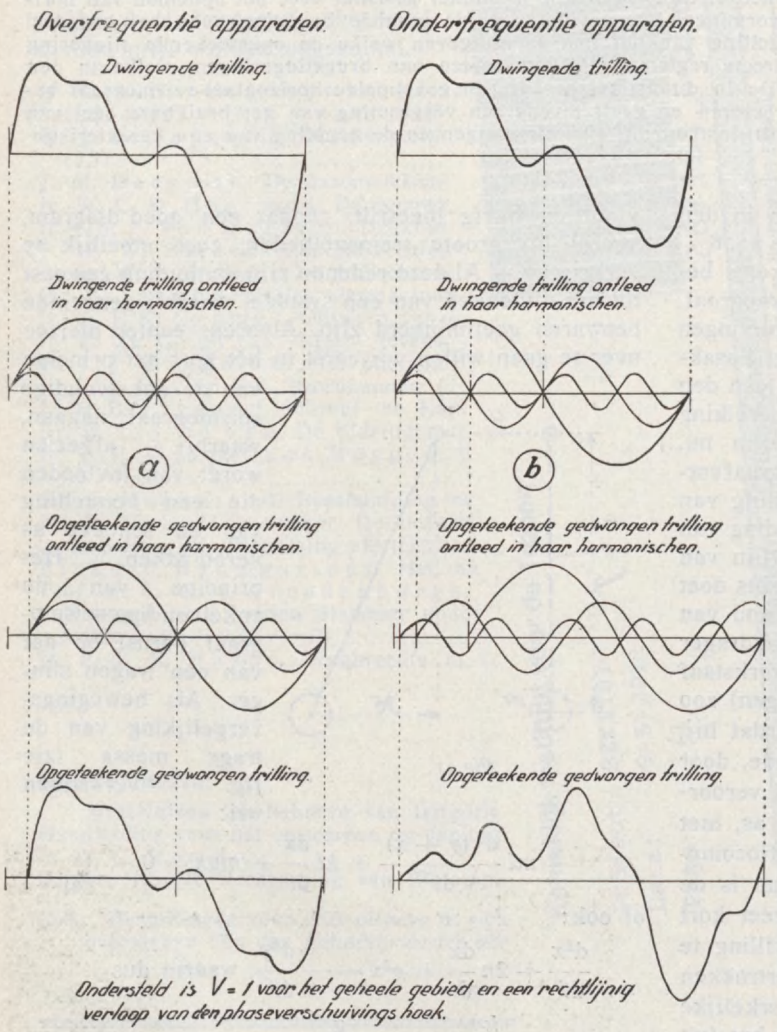


Fig. 2.

Dat $C_n' = 1$ voor het heele aangegeven gebied is practisch natuurlijk nooit te verkrijgen, zoodat feitelijk een correctie had moeten plaats vinden, doch ter wille van de duidelijkheid is dit niet gebeurd. Het karakteristieke verschil tusschen over- en onderfrequentie-apparaten ligt in de beteekenis van de abscissenschaal zoowel van resonantiekromme als van de phaseverschuivingskromme. Is bijv. de abscissenschaal voor de onderfrequentie-apparaten w_n, dan is zij voor de overfrequentie-apparaten $\dfrac{1}{w_n}$. De vormen van de diverse krommen zijn echter verder exact aan elkaar gelijk. Onder deze omstandigheden is de analyse in de *fig. 2a* en *2b* verder duidelijk. Hieruit ziet men dat bij de overfrequentie-apparaten de dwingende trilling, als gevolg van het rechtlijnig verloop van den phaseverschuivingshoek, onvervormd doch slechts een weinig in tijd verschoven wordt weergegeven, bij de onderfrequentie-apparaten de weergave echter vervormd is. Bij weglaten van de demping wordt dit euvel wel verholpen voor zoover het betrekking heeft op de phaseverschuiving, (immers dan is $\varphi_n' = 0$), waartegenover echter de veel ongunstiger resonantiekromme staat, die van $w_n = 0$

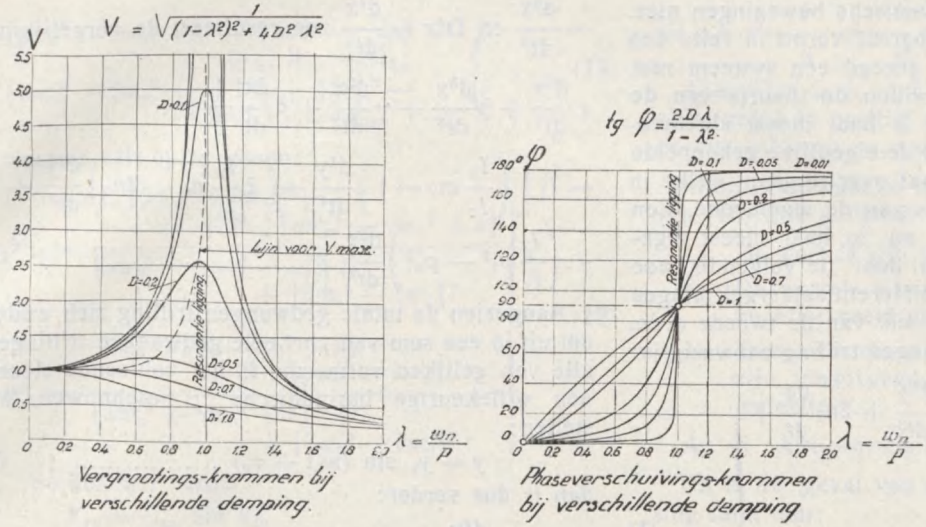


Fig. 3.

af direct begint te stijgen. De weergave blijft dan toch vervormd en harmonische analyse blijft onvermijdelijk, waarbij voorts nog komt, dat de eigentrilling van het instrument voortdurend aanwezig blijft. Waar echter de eigentrillingstijd van het instrument vrij groot is, zoo is deze eigentrilling vrij gemakkelijk in het diagram te onderkennen en daaruit te elimineeren. Zij vormt zelfs een soort aanknoopingspunt voor de harmonische analyse. Het feit van de aanwezigheid van de eigentrilling bij ongedempte onderfrequentie-apparaten is dus van geringe beteekenis te noemen, vormt feitelijk zelfs geheel geen bezwaar. Bij de overfrequentie-apparaten is dus de toestand veel gunstiger. Aangezien n.l. van 0 tot $\frac{1}{4}$ van de resonantieligging de resonantiekromme een vergrooting geeft, welke practisch gelijk één is en voorts de phaseverschuivingshoek practisch rechtlijnig verloopt, zoo blijkt daaruit dat deze overfrequentie-apparaten binnen dit gebied de dwingende trilling practisch onvervormd weergeven.

Zooals dus duidelijk is gemaakt, ontkomt men bij onderfrequentie-apparaten niet aan een harmonische analyse. In het hieronder te behandelen systeem lukt het, vele ongunstige factoren te elimineeren. Wordt het apparaat ongedempt gebruikt, dan wordt de ongunstige factor, die een gevolg is van een plotselinge hoekverdraaiing, zooals boven is beschreven, geëlimineerd. Door de doelmatige keuze van de diverse instrumentafmetingen lukt het C_n' practisch gelijk 1 te krijgen van $w_n = 0$ tot $w_n = \frac{1}{2}$ p (met hoogsten $2\frac{1}{2}\%$ fout), hetgeen een belangrijke uitbreiding beteekent van het bruikbare gebied. De phaseverschuivingshoek is daarentegen niet = 0 te krijgen. Zooals echter gemakkelijk valt in te zien is het een groot voordeel om de ordinaten van de diverse harmonischen niet te behoeven te vergrooten of te verkleinen. De correctie van den phaseverschuivingshoek is grafisch eenvoudiger door te voeren indien gebruik gemaakt wordt van doorschijnend papier. Toepassing van demping kan dezelfde resultaten geven, echter gaat dan het voordeel verloren dat het instrument onafhankelijk is van de hoekverdraaiing van de plaats van bevestiging, immers wordt juist door deze demping de slinger tòch door die hoekverdraaiing meegetrokken.

Het bedoelde systeem is in *fig. 4* weergegeven. Het bestaat uit een astatischen pendel, welke bevestigd is op een zeer tragen physischen slinger. Volledigheidshalve is het instrument toch van demping voorzien (welke echter uitgeschakeld kan worden) en wel kan de astatische pendel tot halve aperiodiciteit en de physische slinger tot aperiodiciteit (het grensgeval) gedempt worden. De demping geschiedt electromagnetisch door middel van wervelstroomen die een demping geven, welke nauwkeurig evenredig met de snelheid te stellen is. De opteekening van het diagram geschiedt echter niet mechanisch doch electrisch via een tragen ongeveer half-aperiodisch gedempten electrischen trillingskring waarin zich een oscillograaf bevindt, die zooals bekend de trillingen fotografisch kan opteekenen. De oscillograaf is als een zeer hoogwaardig dynamisch overfrequentie-apparaat te beschouwen, dat, indien de juiste half-aperiodische demping is toegepast, zooals boven is uitgelegd, de dwingende trillingen onvervormd weergeeft. De oscillograaf hoeft dus niet in de hieronder te geven mathematische beschouwingen te worden opgenomen. Tevens is het groote voordeel bereikt, dat het registratie-apparaat trillingsvrij op het land kan opgesteld worden, zoodat eigentrillingen daarvan als gevolg van de hevige brugtrillingen zich niet kunnen voordoen en de diagrammen beïnvloeden, hetgeen niet het geval is bij mechanische opteekening. Verder valt heel duidelijk uit den aard van het instrument in te zien, dat het systeem (mits de physische slinger ongedempt is en het apparaat doelmatig opgesteld) vrij is van den invloed van de hoekverdraaiingen van de plaats van bevestiging. Door een doelmatige toepassing van den electrischen trillingskring (met electronenbuizen) kan deze geheel los van de seismograaf werken, d.w.z. hij oefent geen invloed terug op de seismograaf en wijzigt zoo-

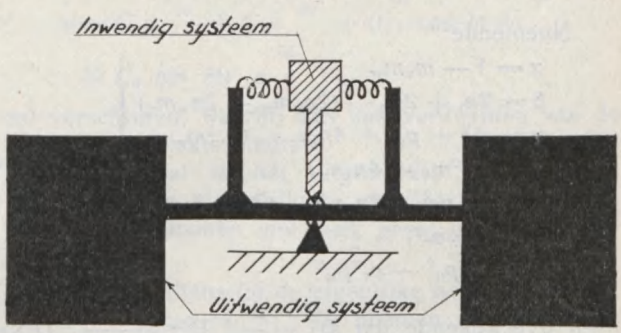


Fig. 4. Schematische voorstelling van het systeem.

doende de opgeteekende seismische bewegingen niet. De bovenomschreven seismograaf vormt in feite een gekoppeld systeem, anders gezegd een systeem met twee vrijheidsgraden. We willen de theorie van de gekoppelde trillingen eerst in haar meest algemeenen vorm geven, alvorens tot de eigenlijke gekoppelde trilling van dezen seismograaf over te gaan, welke in feite een bijzondere vorm is van de algemeene. Een gekoppelde trilling wordt nu in haar meest algemeenen vorm weergegeven door de volgende twee simultane gewone lineaire differentiaalvergelijkingen met constante coëfficiënten, elk van de tweede orde. Zij luiden, indien een gedwongen trilling aanwezig is:

$$\left.\begin{aligned} &\frac{d^2x}{dt^2} + 2n_i\frac{dx}{dt} + p_i^2x + m_v\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2n_v\frac{d\varphi}{dt} + \\ &\quad + p_v^2\varphi = -I_1\frac{d^2y}{dt^2} \\ &\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2n_u\frac{d\varphi}{dt} + p_w^2\varphi + m_w\frac{d^2x}{dt^2} + \\ &\quad + 2n_w\frac{dx}{dt} + p_w^2x = -I_2\frac{d^2y}{dt^2} \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (1)$$

Voor (1) kan volgens de symbolische methode ook geschreven worden:

$$\left.\begin{aligned} &[D^2 + 2n_iD + p_i^2]\,x + [m_vD^2 + 2n_vD + \\ &\quad + p_v^2]\,\varphi = T_1 \\ &[m_wD^2 + 2n_wD + p_w^2]\,x + [D^2 + 2n_uD + \\ &\quad + p_u^2]\,\varphi = T_2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots. (2)$$

Wij interesseeren ons bijv. alleen voor de beweging x. De differentiaalvergelijking voor x resulteert door (2) symbolisch naar x op te lossen

$$[D^2 + 2n_iD + p_i^2]\cdot[D^2 + 2n_uD + p_u^2]\,x - [m_wD^2 + 2n_wD + p_w^2]\cdot[m_vD^2 + 2n_vD + p_v^2]\,x = [D^2 + 2n_uD + p_u^2]\,T_1 - [m_vD^2 + 2n_vD + p_v^2]\,T_2$$

of uitgewerkt:

$$[D^4 + (2n_i + 2n_u)\,D^3 + (p_i^2 + p_u^2 + 4n_in_u)\,D^2 + (2n_ip_u^2 + 2n_up_i^2)\,D + p_i^2p_u^2]\,x - [m_vm_wD^4 + (2n_vm_w + 2n_wm_v)\,D^3 + (p_v^2m_w + p_w^2m_v + 4n_vn_w)\,D^2 + (2n_vp_w^2 + 2n_wp_v^2)\,D + p_v^2p_w^2]\,x = -I_1[D^2 + 2n_uD + p_u^2]\frac{d^2y}{dt^2} + I_2[m_vD^2 + 2n_vD + p_v^2]\frac{d^2y}{dt^2} \quad \ldots\ldots (3)$$

Noemende:

$$\left.\begin{aligned} \alpha &= 1 - m_vm_w \\ \beta &= 2n_i + 2n_u - (2n_vm_w + 2n_wm_v) \\ \gamma &= p_i^2 + p_u^2 + 4n_in_u - (p_v^2m_w + \\ &\quad + p_w^2m_v + 4n_vn_w) \\ \delta &= 2n_ip_u^2 + 2n_up_i^2 - (2n_vp_w^2 + \\ &\quad + 2n_wp_v^2) \\ \varepsilon &= p_i^2p_u^2 - p_v^2p_w^2 \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots (4)$$

en overwegende dat $Dx = \frac{dx}{dt}$, $D^2x = \frac{d^2x}{dt^2}$, $D^3x = \frac{d^3x}{dt^3}$ en $D^4x = \frac{d^4x}{dt^4}$ zoo resulteert de vergelijking:

$$\alpha\frac{d^4x}{dt^4} + \beta\frac{d^3x}{dt^3} + \gamma\frac{d^2x}{dt^2} + \delta\frac{dx}{dt} + \varepsilon = I_1\left[\left(\frac{I_2}{I_1}m_v - 1\right)\frac{d^4y}{dt^4} + \left(2\frac{I_2}{I_1}n_v - 2n_u\right)\frac{d^3y}{dt^3} + \left(\frac{I_2}{I_1}p_v^2 - p_u^2\right)\frac{d^2y}{dt^2}\right] \quad \ldots\ldots (5)$$

Aangezien de totale gedwongen trilling zich wederom uit in een som van partieele gedwongen trillingen, alle van gelijken vorm, zoo is het voldoende slechts één willekeurige harmonische te beschouwen. Wij stellen:

$$y = y_n \sin(w_nt + \varphi_n) \quad \ldots\ldots (6)$$

dan is dus verder:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -w_n^2y_n \sin(w_nt + \varphi_n)$$

$$\frac{d^3y}{dt^3} = -w_n^3y_n \cos(w_nt + \varphi_n)$$

$$\frac{d^4y}{dt^4} = +w_n^4y_n \sin(w_nt + \varphi_n)$$

De dwingende trilling krijgt dan den volgenden vorm:

$$I_1y_n\left[\left\{\left(\frac{I_2}{I_1}m_v - 1\right)w_n^4 - \left(\frac{I_2}{I_1}p_v^2 - p_u^2\right)w_n^2\right\}\sin(w_nt + \varphi_n) - \left(2\frac{I_2}{I_1}n_v - 2n_u\right)w_n^3\cos(w_nt + \varphi_n)\right] = \left[A_{1n}\sin(w_nt + \varphi_n) + B_{1n}\cos(w_nt + \varphi_n)\right]I_1y_n \quad \ldots\ldots (7)$$

Gesteld is dus:

$$A_{1n} = \left(\frac{I_2}{I_1}m_v - 1\right)w_n^4 - \left(\frac{I_2}{I_1}p_v^2 - p_u^2\right)w_n^2 \quad \ldots. (8)$$

$$B_{1n} = -\left(2\frac{I_2}{I_1}n_v - 2n_u\right)w_n^3$$

Verder noemt men I_1 de indicateurvergrooting voor x. Wij laten gemakshalve in de hier volgende afleidingen den factor I_1y_n weg, aangezien deze toch een constante waarde voorstelt. Met de gegeven afkortingen luidt de differentiaalvergelijking in x dus:

$$\alpha\frac{d^4x}{dt^4} + \beta\frac{d^3x}{dt^3} + \gamma\frac{d^2x}{dt^2} + \delta\frac{dx}{dt} + \varepsilon = A_{1n}\sin(w_nt + \varphi_n) + B_{1n}\cos(w_nt + \varphi_n) \quad \ldots\ldots (9)$$

Geheel analoog is de differentiaalvergelijking voor φ af te leiden, doch deze grootheid interesseert ons verder niet. De eigen oplossing voorloopig weglatend gaan wij na hoe de particuliere oplossing van (9) wordt. Zij verschijnt in den vorm:

$$x = V_{1n}\cos(w_nt + \varphi_n) + W_{1n}\sin(w_nt + \varphi_n) \quad \ldots\ldots (10)$$

De methode der onbepaalde coëfficiënten toepassende verkrijgen wij na substitutie van (10) en (9) de bestemmingsvergelijkingen voor V_{1n} en W_{1n}

$$\left.\begin{aligned}[\beta w_n^3 - \delta w_n]\, V_{1n} + [\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \\ + \varepsilon]\, W_{1n} = A_{1n} \\ [\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon]\, V_{1n} + [\beta w_n^3 - \\ - \delta w_n]\, V_{1n} = B_{1n}\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ (11)$$

waaruit valt op te lossen:

$$\left.\begin{aligned} V_{1n} &= \frac{A_{1n}[\beta w_n^3 - \delta w_n] + B_{1n}[\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon]}{[\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon]^2 + [\beta w_n^3 - \delta w_n]^2} \\ W_{1n} &= \frac{A_{1n}[\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon] - B_{1n}[\beta w_n^3 - \delta w_n]}{[\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon]^2 + [\beta w_n^3 - \delta w_n]^2}\end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots\ (12)$$

Stellen wij verder:

$$V_{1n} = C_{1n} \sin \theta_{1n}$$
$$W_{1n} = C_{1n} \cos \theta_{1n}$$

dan wordt de gedwongen trilling dus:

$$x = C_{1n} \sin (w_n t + \varphi_n + \theta_{1n})$$

waarin dan:

$$C_{1n} = \sqrt{V_{1n}^2 + W_{1n}^2} = \frac{\sqrt{A_{1n}^2 + B_{1n}^2}}{\sqrt{[\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon]^2 + [\beta w_n^3 - \delta w_n]^2}}$$

en

$$\theta_{1n} = \text{bgtg}\, \frac{A_{1n}[\beta w_n^3 - \delta w_n] + B_{1n}[\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon]}{A_{1n}[\alpha w_n^4 - \gamma w_n^2 + \varepsilon] - B_{1n}[\beta w_n^3 - \delta w_n]} \quad \ldots\ldots\ (14)$$

Wij komen thans aan de eigen oplossing. Deze kan zooals bekend is voorgesteld worden door de oplossing:

$$x = \Sigma C e^{r_n t} \quad \ldots\ldots\ (15)$$

Substitutie van (**15**) en (**9**) met 0 als rechter lid geeft de volgende karakteristieke vergelijking:

$$\alpha r_n^4 + \beta r_n^3 + \gamma r_n^2 + \delta r_n + \varepsilon = 0 \quad \ldots\ldots\ (16)$$

waaruit 4 wortels r_n resulteeren, zoodat de eigen oplossing verschijnt in den vorm:

$$x = C_1 e^{r_{1n} t} + C_2 e^{r_{2n} t} + C_3 e^{r_{3n} t} + C_4 e^{r_{4n} t} \quad \ldots\ldots\ (17)$$

Ter bepaling van de constanten $C_1 \ldots C_4$ geldt, dat voor $t = 0$ resp. $x = 0$,

$$\frac{dx}{dt} = 0,\ \varphi = 0 \text{ en } \frac{d\varphi}{dt} = 0 \quad \ldots\ldots\ (18)$$

Wij beschouwen thans (**16**) nader. Stel nu:

$$u = r_n + \frac{\beta}{4\alpha} \quad \ldots\ldots\ (19)$$

Substitutie van (**19**) in (**16**) levert de gereduceerde vergelijking:

$$a u^4 + b u^2 + c u + d = 0 \quad \ldots\ldots\ (20)$$

of ook $u^4 + pu^2 + qu + r = 0$

als n.l. $p = \frac{b}{a}$, $q = \frac{c}{a}$ en $r = \frac{d}{a}$.

Aangezien α, β, γ, δ en ε bij een stabiel systeem altijd reëel en positief zijn, zoo zijn ook a, b, c en d en dus ook p, q en r steeds reëel.

In dit geval kunnen zich ten aanzien van de wortels van (**16**) drie gevallen voordoen:

1) De wortels zijn alle reëel en negatief;
2) De wortels zijn alle toegevoegd complex met negatief reëel gedeelte;
3) Twee wortels zijn reëel en negatief en twee zijn toegevoegd complex met negatief reëel gedeelte.

Ad 1) Alle wortels u zijn reëel en negatief.

Dit is het geval van de zware demping. De oplossing luidt dan:

$$x = C_1 e^{-r_{1n} t} + C_2 e^{-r_{2n} t} + C_3 e^{-r_{3n} t} + C_4 e^{-r_{4n} t}$$

Het valt in te zien dat de eigen trillingen in dit geval zeer snel te verwaarloozen klein worden.

Ad 2) De wortels zijn alle imaginair.

Zij verschijnen in dit geval steeds in den vorm

$$u_1 = f + b_1 i,\ u_2 = f - b_1 i,\ u_3 = -f + b_2 i \text{ en } u_4 = -f - b_2 i$$

en dus:

$$r_{1n} = -\frac{\beta}{4\alpha} + f + b_1 i = -L_1 + b_1 i$$

$$r_{2n} = -\frac{\beta}{4\alpha} + f - b_1 i = -L_1 - b_1 i$$

$$r_{3n} = -\frac{\beta}{4\alpha} - f + b_2 i = -L_2 + b_2 i$$

$$r_{4n} = -\frac{\beta}{4\alpha} - f - b_2 i = -L_2 - b_2 i$$

In reëelen vorm wordt dan:

$$x = [C_1 \cos b_1 t + C_2 \sin b_1 t] \cdot e^{-L_1 t} + [C_3 \cos b_2 t + C_4 \sin b_2 t] \cdot e^{-L_2 t}$$

Ook deze eigentrilling verdwijnt en wel des te sneller naarmate L_1 en L_2 grooter zijn.

Ad 3) Twee wortels zijn reëel en twee wortels zijn toegevoegd complex.

Na het voorgaande is het duidelijk, dat in dit geval

$$x = C_1 e^{-r_{1n} t} + C_2 e^{-r_{2n} t} + (C_3 \cos bt + C_4 \sin bt) \cdot e^{-Lt}$$

zal verschijnen, waarbij dus ook verdwijnen van de eigentrilling plaats vindt.

Verderop zal in het uitgewerkte voorbeeld de karakteristieke vergelijking opgelost worden om nader aan te toonen met welk geval gerekend moet worden.

Wij komen thans tot de eigenlijke behandeling van het ontwerp (zie *fig.* 5). Wij noemen in het vervolg den astatischen pendel het *inwendige systeem* en den

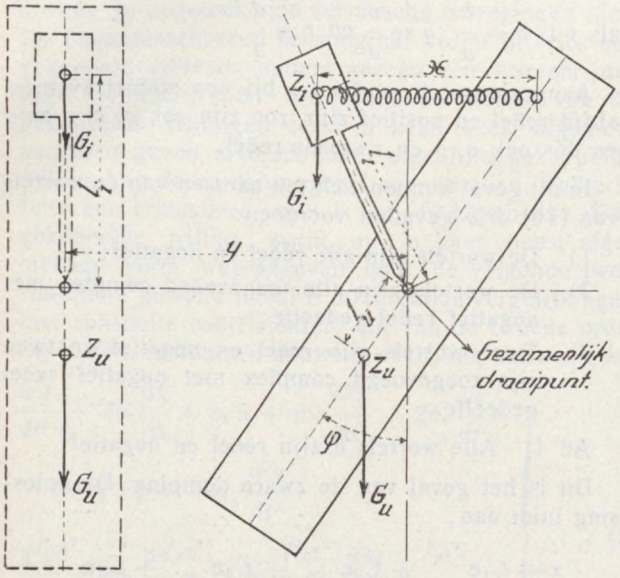


Fig. 5. Schema gekoppeld slingersysteem.

physischen slinger het *uitwendige systeem*. De differentiaalvergelijkingen voor het inwendige systeem opstellend verkrijgen wij volgens het principe van d'Alembert[1]).

1)
Inwendig systeem.

Volgens d'Alembert het moment om A op te schrijven, waarbij de massa-invloed tegengesteld te nemen is als statisch het geval zou zijn.

Massawerking: $-M_i\, l_i \dfrac{d^2(-y-x+\varphi\, l_1)}{dt^2} -$

$$- \theta_i \frac{d^2\left(\frac{x}{l_i}-\varphi\right)}{dt^2} = M_i\, l_i \frac{d^2(y+x)}{dt^2} - M_i\, l_i \frac{d^2\varphi}{dt^2} +$$

$$+ \frac{\theta_i}{l_i}\frac{d^2x}{dt^2} - \theta_i \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

Veerwerking: $cx - G_i(x - \varphi\, l_i) = (c - G_i)\, x + G_i\, l_i\, \varphi$

Dempingsinvloed: $k_i\, l_i \dfrac{dx}{dt}$.

Uitwendig systeem.

Massawerking: $-\left[M_u\, l_u \dfrac{d^2(-\varphi\, l_u - y)}{dt^2} - \theta_u \dfrac{d^2\varphi}{dt^2}\right] =$

$$= +(\theta_u + M_u\, l_u^2)\cdot\frac{d^2\varphi}{dt^2} + M_u\, l_u \frac{d^2y}{dt^2}$$

Veerwerking: $G_u\, l_u\, \varphi + cx$

Dempingsinvloed: $k_u\, l_u \dfrac{d\varphi}{dt} + k_i\, l_i \dfrac{dx}{dt}$

Hierin beteekenen dus:

M_i = massa inwendig systeem
θ_i = eigen traagheidsmoment inwendig systeem
l_i = slingerlengte inwendig systeem
G_i = gewicht inwendig systeem
c = veerconstante inwendig systeem
k_i = dempingsconstante inwendig systeem
M_u = massa uitwendig systeem
θ_u = eigen traagheidsmoment uitwendig systeem
l_u = slingerlengte uitwendig systeem
G_u = gewicht uitwendig systeem
k_u = dempingsconstante uitwendig systeem.

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2}\frac{dx}{dt} + \frac{(c-G_i)\, l_i}{\theta_i + M_i l_i^2}\, x -$$

$$- \frac{l_i(\theta_i + M_i l_i^2)}{\theta_i + M_i l_i^2}\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{G_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2}\,\varphi =$$

$$= - \frac{M_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2}\frac{d^2y}{dt^2}$$

of ook:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + 2n_i\frac{dx}{dt} + p_i^2 x + m_v\frac{d^2\varphi}{dt^2} + p_v^2\,\varphi = -I_1\frac{d^2y}{dt^2} \quad \ldots\ldots\ (21)$$

Hierin beteekent dus:

$$2n_i = \frac{k_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2}$$

$$p_i^2 = \frac{(c-G_i)\, l_i}{\theta_i + M_i l_i^2}$$

$$m_v = -l_i$$

$$p_v^2 = \frac{G_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2}$$

$$I_1 = \frac{M_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2}.$$

De tweede vergelijking voor het uitwendige systeem luidt:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \frac{k_u l'_u}{\theta_u + M_u l_u^2}\frac{d\varphi}{dt} + \frac{G_u l_u}{\theta_u + M_u l_u^2}\,\varphi +$$

$$+ \frac{k_i l_i}{\theta_u + M_u l_u^2}\frac{dx}{dt} + \frac{c}{\theta_u + M_u l_u^2}\, x =$$

$$= - \frac{M_u l_u}{\theta_u + M_u l_u^2}\frac{d^2y}{dt^2}$$

of ook:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + 2n_u\frac{d\varphi}{dt} + p_u^2\varphi + 2n_w\frac{dx}{dt} + p_w^2 x = -I_2\frac{d^2y}{dt^2} \quad \ldots\ldots\ (22)$$

Hierin beteekent dus:

$$2n_u = \frac{k_u l_u'}{\theta_u + M_u l_u^2} \qquad 2n_w = \frac{k_i l_i}{\theta_u + M_u l_u^2}$$

$$p_u^2 = \frac{G_u l_u}{\theta_u + M_u l_u^2} \qquad p_w^2 = \frac{c}{\theta_u + M_u l_u^2}$$

$$I_2 = \frac{M_u l_u}{\theta_u + M_u l_u^2} \quad \ldots\ldots\ ^{2})$$

2)
Het systeem moet echter ook aan een statische stabiliteitsvoorwaarde voldoen; immers geldt:

$$c\, x - G_i(x + \varphi\, l_i) = 0$$

of: $x = \dfrac{G_i\, l_i}{c - G_i}\,\varphi.$

Schrijven wij het moment om A op voor beide systemen, dan krijgen wij dus:

voor het inwendig systeem $cx = \dfrac{cG_i\, l_i}{c - G_i}\,\varphi$

voor het uitwendige systeem $G_u\, l_u \cdot \varphi$

Hieruit volgen dus de drie volgende mogelijkheden:

1). $G_u\, l_u = \dfrac{cG_i\, l_i}{c - G_i}$ (het systeem is indifferent)

(Vervolg noot zie volgende pag.).

Wij zien dus dat in dit systeem $n_v = 0$ en $m_v = 0$. In een verderop nog te bespreken ander type van in wendig systeem lukt het de koppeling van de twee systemen nog lossen te maken.

Zooals uit de constructieteekening (*fig. 10*) valt te zien, is het gewicht van den astatischen pendel (voor gedempt gebruik) opgebouwd uit twee gelamelleerd plaatijzeren kernen met een roodkoperen plaat in het midden en een roodkoperen dubbel U-vormige omhulling daaromheen, waarvan een gedeelte uit materiaal van hoogen electrischen weerstand bestaat. Dit systeem bevindt zich in een magnetisch veld, zoodat bij het heen en weer bewegen van het gewicht wervelstroomen worden opgewekt in de roodkoperen geleiders, die voor de demping zorgen

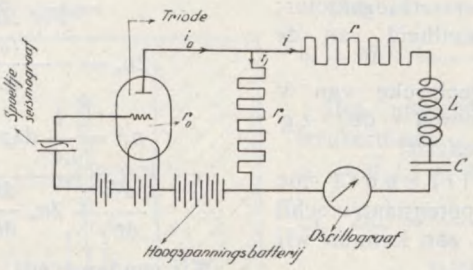


Fig. 6. Schakeling electr. systeem.

Spoeltje seismograaf n = 7000; l = 5 cm
Geval a) en b) Bl = 11600 Gauss
Geval c) Bl = 6260 Gauss
Philips triode no F 410
V = 10
r_o = 1250 Ohm
r = 926 Ohm
L = 296 Henry
C = 300 µFarad
Geval a) en b) r_1 = 738 Ohm
Geval c) r_1 = 2756 Ohm
Siemens oscillograaf no S_0 1 type 2.
Eigenfrequentie 12000 Hertz
Eigenweerstand 1 Ohm
Stroomconstante 5 milliampère.

welke evenredig is met de snelheid van het systeem. Deze gewichten kunnen naar believen uitgewisseld worden. Om de ijzeren kernen bevindt zich nog een draadspoeltje, waarin dus eveneens spanningen geïnduceerd worden. Dit spoeltje staat in verbinding met het rooster en den gloeidraad van een enkelroosterelectronenbuis. Wordt in den roosterkring nog een batterij gevoegd, die zorgt voor een voldoende negatieve roosterspanning, zoo ontstaan, zooals bekend mag verondersteld worden, in den roosterkring geen stroomen. Het spoeltje in den astatischen pendel zorgt dus uitsluitend voor een wisselspanning op het rooster, terwijl daarbij geen stroomen optreden in het spoeltje zelf. Er bestaat dus geen koppeling tusschen electrisch systeem en mechanisch systeem, wat een groot voordeel is. De anodekring, waarin dus de wisselspanning sterk vergroot is, zorgt voor de stroomontwikkeling welke door de oscillograaf heen geleid wordt, die voor de opteekening van het trillingsbeeld zorgt. De schakeling van het electrische systeem staat in *fig. 6* weergegeven en wij gaan bij de berekening van dit systeem uit van de bekende wet betreffende de rooster-electronenbuizen welke luidt:

Een enkelrooster-electronenbuis gedraagt zich met betrekking tot de wisselstroomverschijnselen geheel als een generator welke een EMK heeft gelijk $e_a = \frac{e_r}{D} = Ve_r$ met slechts een inwendigen Ohmschen weerstand groot $r_o = \frac{1}{SD} = \frac{V}{S}$ als e_r de roosterspanning voorstelt [3]).

Vervolg noot van pag. III 6.

2). $G_u l_u > \frac{cG_i l_i}{c - G_i}$ (het systeem is stabiel)

3). $G_u l_u < \frac{cG_i l_i}{c - G_i}$ (het systeem is labiel).

Dezelfde criteria kunnen eveneens ontleend worden aan de constante ε uit de karakteristieke vergelijking. Wordt n.l. ε negatief dan verschijnt één van de termen der eigen oplossing in den vorm Ce^{+rt}, hetgeen op een dynamische labiliteit wijst.

Wij hebben dus $\varepsilon \gtrless 0$

of ook $p_i^2 p_u^2 \gtrless p_v^2 p_w^2$

of ook

$$\frac{(c - G_i) l_i}{\theta_i + M_i l_i^2} \cdot \frac{G_u l_u}{\theta_u + M_u l_u^2} \gtrless \frac{G_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2} \cdot \frac{c}{\theta_u + M_u l_u^2}.$$

waaruit $G_u l_u \gtrless \frac{cG_i l_i}{c - G_i}$.

Ten aanzien van deze stabiliteitskwestie heeft steller een gedachtenwisseling gehad met ir. G. Gray, oud-Hoofd van het Javabedrijf der S. S. en op dit gebied bij uitstek deskundige. Om op te sporen of zich misschien ook dynamische labiliteiten (men denke bijv. aan de dynamische stabiliteit van een vaartuig; kapseizen!) zouden kunnen voordoen heeft ir. Gray het vraagstuk op algemeene wijze aangevat. Hij ging daarbij uit van de bewegingsvergelijking van Lagrange, kon tenslotte dezelfde differentiaalvergelijkingen daaruit afleiding en stelde tevens de algemeene stabiliteitsvoorwaarden (drie in aantal) op. Deze luiden:

1). $G_u l_u - G_i l_i > 0$

2). $\frac{c}{l_i} - \frac{G}{l_i} > 0$

3). $G_u l_u - \frac{cG_i l_i}{c - G_i} > 0$

Zooals valt in te zien zijn deze 3 voorwaarden in wezen statische voorwaarden.

Het systeem geeft, mits de uitwijkingen klein zijn (en deze worden in het instrument begrensd), dus geen aanleiding tot dynamische labiliteiten.

De mathematische afleiding door ir. Gray, welke zeer interessant is, is gebaseerd op een methode welke beschreven staat in het bekende werk van Whittaker: „Dynamics of particles and rigid bodies".

---

3) Mits in het rechtlijnige gedeelte van de karakteristiek gewerkt wordt en de juiste anodespanning en negatieve roosterspanning zijn aangebracht. De gelijkstroom vloeit door den weerstand r_1 naar de hoogspanningsbatterij terug.

Galitzin heeft op zijn bifilair pendel ook een electrische registreering toegepast. Hij gebruikte daarvoor een zeer gevoeligen draaispoelgalvanometer, welke direct gekoppeld werd aan het spoeltje in den pendel. Het behoeft wel geen betoog dat op deze wijze niet de uitwijking maar de snelheid van den pendel geregistreerd wordt.

Daarbij bestaat een koppeling tusschen electrisch en mechanisch gedeelte. Is het gewicht van den pendel zeer groot dan zal deze koppeling wel te verwaarloozen zijn. Bij kleine gewichten, zooals in het onderhavige geval, zou zij geenzins te verwaarloozen zijn. Als voordeel van de methode van Galitzin wordt de groote gevoeligheid genoemd. De groote kosten aan het fotografische materiaal zijn echter een nadeel. Dit laatste geeft bij ons instrument echter geen bezwaar daar het sterk intermitteerend benut wordt.

Hierin beteekent verder V = de versterkingsfactor;
S = de steilheid van de buis;
D = de reciproke van V ook wel de z.g. „Durchgriff".

Passen wij thans de wet van Kirchhoff toe op de punten A en B, waarbij het potentiaalverschil tusschen A en B k genoemd wordt, zoo kunnen wij opschrijven

$$i_o = i_1 + i$$

$$k = L\frac{di}{dt} + ri + \frac{1}{C}\int i\,dt$$

verder:

$$k = r_1 i_1 \text{ of ook } i_1 = \frac{k}{r_1}$$

eveneens:

$$k = e_a - r_o i_o = e_a - r_o i_1 - r_o i =$$

$$= e_a - \frac{r_o}{r_1}k - r_o i$$

$$\text{of ook } \frac{r_o + r_1}{r_1}k = e_a - r_o i$$

$$\text{dus } k = \frac{r_1}{r_o + r_1}e_a - \frac{r_o r_1}{r_o + r_1}i$$

Zoodat voor de keten waarin zich de oscillograaf bevindt geldt:

$$\frac{r_1}{r_o + r_1}e_a = L\frac{di}{dt} + \left(r + \frac{r_o r_1}{r_o + r_1}\right)i + \frac{1}{C}\int i\,dt$$

of na differentiatie:

$$\frac{r_1}{r_o + r_1}\frac{de_a}{dt} = L\frac{d^2i}{dt^2} + \left(r + \frac{r_o r_1}{r_o + r_1}\right)\frac{di}{dt} + \frac{1}{C}i \quad \ldots\ldots (23)$$

Wij weten verder dat $e_a = Ve_r$, dus $\frac{de_a}{dt} = V\frac{de_r}{dt}$

De roosterspanning wordt geleverd door de inductie in het spoeltje in den astatischen pendel. Hiervoor geldt:

$$e_r = -B\,n\,l\,v \cdot 10^{-8}$$

als B de magnetische inductie voorstelt, n het aantal windingen, l de geïnduceerde lengte per winding en v de snelheid van het systeem. Nu is $v = \frac{dx}{dt}$ en dus is:

$$e_r = -\frac{Bnl}{10^8}\frac{dx}{dt}$$

en dus:

$$\frac{de_a}{dt} = -\frac{BnlV}{10^8}\frac{d^2x}{dt^2}$$

Wordt nu verder gesteld:

$$I_e = \frac{BnlV}{10^8}\cdot\frac{r_1}{(r_o + r_1)L}$$

$$2n_e = \frac{r + \frac{r_o r_1}{r_o - r_1}}{L}$$

$$p_e^2 = \frac{1}{LC} \text{ dan gaat (23) over in:}$$

$$\frac{d^2i}{dt^2} + 2n_e\frac{di}{dt} + p_e^2 i = -I_e\frac{d^2x}{dt^2}$$

Wij vonden reeds:

$$x = C_{1n}\ \sin\ (w_n t + \varphi_n + \theta_{1n})$$

zoodat dus $\frac{d^2x}{dt^2} = -w_n^2\,C_{1n}\ \sin\ (w_n t + \varphi_n + \theta_{1n})$

waarmee de differentiaalvergelijking dus wordt:

$$\frac{d^2i}{dt^2} + 2n_e\frac{di}{dt} + p_e^2 i = w_n^2\,C_{1n}I_e\ \sin\ (w_n t + \varphi_n + \theta_{1n})$$

waarmee weer het bekende type differentiaalvergelijking is verkregen.

De eigentrilling die snel wegdempt buiten beschouwing latend vinden wij voor de gedwongen trilling:

$$i = C_{1n}\cdot C_{2n}\cdot I_e\ \sin\ (w_n t + \varphi_n + \theta_{1n} + \theta_{2n})$$

$$\text{waarin } C_{2n} = \frac{w_n^2}{\sqrt{p_e^2 - w_n^2)^2 + 4n_e^2 w_n^2}}$$

$$\theta_{2n} = \text{bg tg}\frac{-2n_e w_n}{p_e^2 - w_n^2} \quad \ldots\ldots [4])$$

De berekening van de electrische demping gebeurt als volgt:

$E = \frac{Blv}{10^8}$, waarin l de geïnduceerde lengte van den demper voorstelt.

Verder is $i = \frac{E}{r}$ als r den weerstand voorstelt van den wervelstroomdemper; dus is $EI = \frac{E^2}{r} = \frac{B^2l^2v^2}{10^{16}r}$

$$\text{Watt} = 10{,}2\,\frac{B^2l^2v^2}{10^{16}r}\ \text{kgcm/sec.}$$

Is k de dempingsconstante zoo is de door k verrichte arbeid geheel algemeen te stellen op kv kgcm/sec als v weer de snelheid is en dus is:

$kv = EI$ waarin dan $v = 1$ cm/sec te nemen is.

$$\text{of } k = \frac{10{,}2}{10^{16}}\frac{B^2l^2}{r}.$$

Alvorens echter tot de eigenlijke instrumentconstanten van het ontwerp te komen, zij nog gewezen op een ander mogelijk inwendig systeem. Dit is in *fig.* 7 weergegeven. Door doelmatige keuze van de afmetingen, de plaats van het draaipunt en de plaats waar de demping werkt, gelukt het koppeling met het uitwendig

4) Wij hebben hier dus feitelijk te doen met een electronenbuis met sterk veranderlijke steilheid. Deze steilheid toch varieert blijkens het bovenstaande met de frequentie van de dwingende trilling.

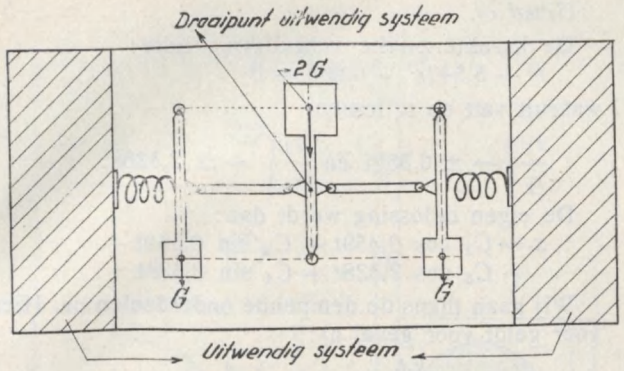


Fig. 7. Schema ander mogelijk inwendig systeem.

systeem zeer zwak te maken. Het is n.l. mogelijk om $m_v = 0$, $n_v = 0$, $m_w = 0$ en $n_w = 0$ te krijgen. Het voordeel hiervan is dat een nog vlakkere resonantiekromme C_{1n} te verkrijgen is. Nadeel is echter het groote aantal draaiende deelen. Wil men Coulomb sche wrijving vermijden, dan moeten deze scharnieren als kruisveerscharnieren worden uitgevoerd, die als het ware ieder voor zich telkens weer een deel opslorpen van de veerkracht van de eigenlijke veeren. Deze vallen dan ook zeer zwak uit. Aangezien de astatische pendel dit nadeel niet heeft, ja zelfs relatief veel sterkere veeren krijgt, doordat het gewicht tegenwerkt, en de resonantiekromme verder zeer bevredigend is, zullen we bovengenoemd systeem niet verder in beschouwing nemen doch ons aan den astatischen pendel houden.

Beschrijving van het instrument. (Zie *fig. 10*).

Het stelsel is dusdanig gekozen dat:

$T_i = 3$ sec en $T_u = 6$ sec, waarmee dus wordt:
$p_i = 2{,}094$ sec^{-1} en $p_i^2 = 4{,}386$ sec^{-2}
$p_u = 1{,}047$ sec^{-1} $p_u^2 = 1{,}097$ sec^{-2}

verder:

a) $n_i = 1{,}480$ dus $2n_i = 2{,}960$
b) $n_i = 1{,}675$ $2n_i = 3{,}350$
a) en b) $n_u = 1{,}047$ $2n_u = 2{,}094$

De afmetingen van het gewicht van het inwendige systeem bedragen $5 \times 5 \times 5$ cm en waarvan door het gemiddeld hooger soortelijk gewicht:
$G_i = 1$ kg terwijl $l_i = 15$ cm en dus ook $m_v = -l_i = -15$ cm.

Nu is $\theta_i = M_i r_i^2$ terwijl $r_i = \frac{1}{6}\, a\, \sqrt{6}$ als a de afmetingen van het vierkant zijn, dus $r_i = \frac{5}{6}\sqrt{6}$ cm $= 2{,}041$ cm.

Dan is dus $I_1 = \frac{M_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2} = \frac{l_i}{r_i^2 + l_i^2} = \frac{15^2}{2{,}041^2 + 15^2} = 0{,}982$.

Verder is dan:

$$p_v^2 = \frac{G_i l_i^2}{\theta_i + M_i l_i^2} = g\, I_1 = 981 \times 0{,}982 = 963{,}3 \text{ cm sec}^{-2}.$$

Ook is

$$\theta_i + M_i l_i^2 = \frac{1\,(2{,}041^2 + 15^2)}{981} = 0{,}234 \text{ kg cm sec}^2.$$

Het uitwendig systeem wordt dusdanig geconstrueerd dat:

$\theta_u + M_u l_u^2 = 250$ kg cm sec^2 en wordt dan vervolgens

a) $$2n_w = \frac{k_i l_i}{\theta_u + M_u l_u^2} = \frac{\theta_i + M_i l_i^2}{\theta_u + M_u l_u^2} \times \frac{2n_i}{l_i} = \frac{0{,}234 \times 2{,}960}{250 \times 15} = 0{,}000185 \text{ kg cm}^{-1} \text{ sec}$$

b) $$2n_w = \frac{0{,}234 \times 3{,}350}{250 \times 15} = 0{,}000209 \text{ kg cm}^{-1} \text{ sec}.$$

Nu is $p_i^2 = \frac{(c - G_1)\, l_i}{\theta_i + M_i l_i^2}$ of $4{,}386 = \frac{(c-1)\,15}{0{,}234}$

waaruit $c = 1{,}068$ kgcm/cm uitwijking.

Vervolgens dus:

$$p_w^2 = \frac{c}{\theta_u + M_u l_u^2} = \frac{1{,}068}{250} = 0{,}00427 \text{ cm}^{-1} \text{ sec}^{-2}$$ en ook

$$I_2 = \frac{M_u l_u}{\theta_u + M_u l_u^2} = \frac{p_u^2}{g} = \frac{1{,}097}{981} \text{ cm}^{-1}$$

Hiermee vinden wij voor:

Geval a)	Geval b)
$\alpha = 1$	$\alpha = 1$
$\beta = 5{,}057$	$\beta = 5{,}447$
$\gamma = 11{,}745$	$\gamma = 12{,}562$
$\delta = 12{,}253$	$\delta = 12{,}658$
$\varepsilon = 0{,}698$	$\varepsilon = 0{,}698$

Voor geval a) zoowel als voor geval b) geldt:
$A_{1n} = -1{,}017\ w_n^4 - 0{,}0017\ w_n^2$
$B_{1n} = 2{,}094\ w_n^3$

Voor het geval c) (het instrument ongedempt toegepast geldt dus dat $n_i = 0$ en $n_u = 0$ waarmee tevens $2n_w = 0$.

Geval c)
$\alpha = 1$
$\beta = 0$
$\gamma = 5{,}547$
$\delta = 0$
$\varepsilon = 0{,}698$
$A_{1n} = -1{,}017\ w_n^4 - 0{,}0017\ w_n^2$
$B_{1n} = 0$

In de onderstaande *tabel I* staan de ordinatenwaarden der resonantie- en phaseverschuivingskrommen weergegeven voor de gevallen a), b) en c) van af $T_n = 0$ sec tot $T_n = 2{,}5$ sec tot in drie decimalen nauwkeurig.

Tabel I.

T_n	W_n	Geval a)		Geval b)		Geval c)	
		C_{1n}	θ_{1n}	C_{1n}	θ_{1n}	C_{1n}	θ_{1n}
0,00	∞	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000
0,25	25,133	1,019	0,120	1,017	0,135	1,026	0,000
0,50	12,566	1,024	0,242	1,016	0,272	1,054	0,000
0,75	8,378	1,030	0,370	1,013	0,412	1,104	0,000
1,00	6,283	1,038	0,505	1,006	0,558	1,183	0,000
1,25	5,027	1,041	0,649	0,994	0,709	1,301	0,000
1,50	4,189	1,037	0,804	0,974	0,865	1,482	0,000
2,00	3,142	0,990	1,140	0,899	1,188	2,285	0,000
2,50	2,513	0,877	1,480	0,783	1,501	7,311	0,000

Wij gaan thans eerst de eigentrillingen van het instrument na.

Geval a).

De karakteristieke vergelijking hiervoor luidt:

$$r^4 + 5{,}057\, r^3 + 11{,}745\, r^2 + 12{,}253\, r + 0{,}698 = 0$$

Stel $r = u - \frac{5{,}057}{4} = u - 1{,}264$, dan resulteert de gereduceerde vergelijking:

$$u^4 + 2{,}155\, u^2 - 1{,}279\, u - 3{,}675 = 0.$$

Hieruit volgt de resolvente van Descartes:

$$t^3 + 4{,}310\, t^2 + 19{,}344\, t - 1{,}636 = 0.$$

Stel $t = z - \frac{4{,}310}{3}$, dan luidt de gereduceerde vergelijking van de resolvente:

$$z^3 + 13{,}152\, z - 23{,}396 = 0.$$

Een van de wortels hiervan luidt $z_1 = 1{,}515$ waarvan dan:

$$u_1 = -0{,}949; \quad u_2 = 1{,}229;$$

$$\left.\frac{u_3}{u_4}\right\} = -0{,}140 \pm 1{,}839i$$

en dus vervolgens

$$r_1 = -0{,}035; \quad r_2 = 2{,}203;$$

$$\left.\frac{r_3}{r_4}\right\} = -1{,}404 \pm 1{,}839i$$

De eigen oplossing luidt dan:

$$x = C_1 e^{-0{,}035t} + C_2 e^{-2{,}203t} + [C_3 \cos 1{,}839t + C_4 \sin 1{,}839t]\, e^{-1{,}404t}$$

Geval b).

De karakteristieke verg. luidt:

$$r^4 + 5{,}447 r^3 + 12{,}562 r^2 + 12{,}658 r + 0{,}698 = 0.$$

Op gelijksoortige wijze als in geval a) vallen hieruit op te lossen:

$$r_1 = -0{,}048; \quad r_2 = -2{,}334;$$

$$\left.\frac{r_3}{r_4}\right\} = -1{,}528 \pm 1{,}669i$$

De eigen oplossing luidt dus:

$$x = C_1 e^{-0{,}048t} + C_2 e^{-2{,}334t} + [C_3 \cos 1{,}669t + C_4 \sin 1{,}669t]\, e^{-1{,}528t}$$

Geval c).

De karakteristieke vergelijking luidt:

$$r^4 + 5{,}547 r^2 + 0{,}698 = 0$$

waaruit valt op te lossen:

$$\left.\frac{r_1}{r_2}\right\} = \pm 0{,}359i \text{ en } \left.\frac{r_3}{r_4}\right\} = \pm 2{,}328i.$$

De eigen oplossing wordt dan:

$$x = C_1 \cos 0{,}359t + C_2 \sin 0{,}359t + C_3 \cos 2{,}328t + C_4 \sin 2{,}328t.$$

Wij gaan thans de dempende onderdeelen na. Hiervoor geldt voor geval a):

$$2n_i = \frac{k_i l_i}{\theta_i + M_i l_i^2} = 2{,}960$$

waaruit valt op te lossen:

$$k_i = \frac{2n_i(\theta_i + M_i l_i^2)}{l_i} = \frac{2{,}960 \times 0{,}234}{15} = 0{,}0462 \text{ kg.}$$

In magnetisch opzicht geldt ten aanzien hiervan:

$$k_i = \frac{10{,}2}{10^{16}} \cdot \frac{B^2 l^2}{r}$$

waarin B de luchtinductie voorstelt, r de weerstand van den geleider waarin de wervelstroom wordt geïnduceerd en l de geïnduceerde lengte van dezen geleider. Nu is $l = 5$ cm. Voor B is benoodigd een waarde van 11 600 Gauss, zooals verderop zal blijken. Voor geval a) vinden we dan hiermede een benoodigden weerstand voor den wervelstroomgeleider uit:

$$0{,}0462 = \frac{10{,}2 \times 11\,600^2 \times 5^2}{10^{16} \cdot r}$$

Derhalve:

$$r = 74{,}24 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm}.$$

Voor geval b) wordt:

$$k_i = \frac{3{,}350 \times 0{,}234}{15} = 0{,}0523 \text{ kg cm}^{-1} \text{ sec}$$

en voorts hiermee:

$$0{,}0523 = \frac{10{,}2 \times 11\,600^2 \times 5^2}{10^{16} \cdot r}$$

of:

$$r = 65{,}62 \cdot 10^{-6} \text{ Ohm}.$$

Hieronder volgt de magnetiseeringskarakteristiek van het magneet-gestel (*tabel II*).

Tabel II.

Onderdeel	F in cm²	l in cm	Aantal ampèrewindingen bij een luchtinductie van: 500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000	7 500	8 000	8 500	9 000	9 500	10 000	10 500	11 000	11 500	12 000
Magneet-kern	9,8	15	0	0	0	3	7,2	10,7	12,2	13,8	15,3	17,0	19,2	21,6	23,9	26,1	28,5	31,1	34,1	37,7	42,3	47,4	53,6	59,7	67,2	80,9
Magneet-juk	12,0	12	0	0	0	0	2,9	5,4	7,9	9,2	10,2	11,2	12,2	13,2	14,8	16,2	17,8	19,2	20,6	22,2	23,8	25,6	27,6	29,4	33,0	36,0
Pool-schoenen	10,0	6	0	0	0	1,2	2,7	4,2	4,8	5,4	6,2	6,6	7,5	8,4	9,3	10,2	11,1	12,0	13,2	14,4	16,2	18,0	20,4	22,8	25,2	28,8
Lucht-spleet	10,0	1	400	800	1 200	1 600	2000	2 400	2800	3 200	3 600	4 000	4 400	4 800	5 200	5 600	6000	6 400	6800	7200	7600	8000	8 400	8 800	9200	9600
Anker-kern	7,3	5	0	0	0	0	0	5,2	5,8	7,5	8,9	10,2	11,6	13,1	15,2	17,8	21,1	25,3	30,9	37,6	45,0	59,0	76,5	111,1	175,3	252,6
Totaal aantal ampèrewindingen			400	800	1200	1604	2013	2426	2831	3236	3640	4045	4451	4856	5263	5670	6079	6488	6899	7312	7727	8150	8578	9023	9501	999

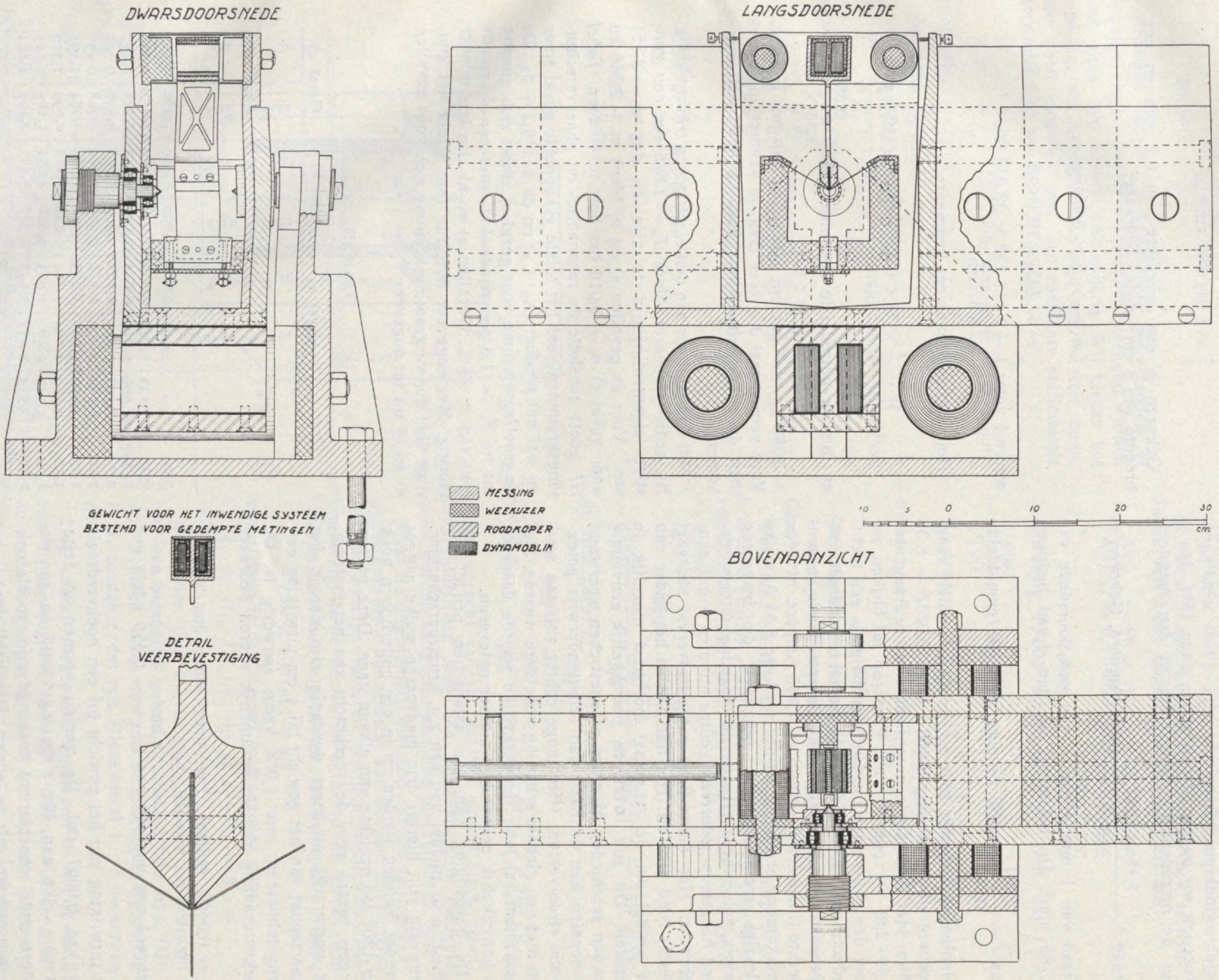


Fig. 10. Overzichtsteekening van het instrument.

Hieruit vinden we dat voor geval c), waarbij $B = 6\,260$ Gauss (zie verderop), benoodigd zijn 5 067 ampèrewindingen. Aanwezig zijn 2 600 windingen. Rekenen wij op een strooiing van circa 15% dan is dus de optredende stroomsterkte in den magneetdraad $i = \frac{1{,}15 \times 5067}{2600} = 2{,}241$ Ampère. Gekozen is draad van 1 mm diameter met een doorsnede van 0,785 mm². De belasting van den draad bedraagt dus $i = \frac{2{,}241}{0{,}785} = 2{,}85$ Ampère/mm². De gemiddelde windlengte bedraagt 13,9 cm, zoodat de totale magneetweerstand bedraagt 2 600 · 13,9 · 0,0232 = 8,39 Ohm. Het benoodigde potentiaalverval bedraagt dus 8,39 · 2,85 = rond 24 Volt. Verderop zal blijken dat voor den *gedempten* toestand benoodigd is een luchtinductie van 11 600 Gauss. Het aantal benoodigde ampèrewindingen bedraagt 9 600. De optredende stroomsterkte (inclusief strooiing) = 4,246 Ampère, hetgeen neerkomt op een belasting per mm² van 5,41 A, welke alleszins toelaatbaar is, aangezien de magneten weinig volumineus zijn en de belasting intermitteerend hoogstens gedurende eenige minuten wordt aangebracht. Het benoodigde potentiaalverval bedraagt hierbij rond 46 Volt. Het ligt niet in het kader van dit artikel om de strooiing zoo goed mogelijk te bepalen. Dit zou overigens betrekkelijk eenvoudig kunnen geschieden door den magnetischen weerstand te bepalen aan de hand van schattenderwijs geteekende strooivelden. Hier moge echter volstaan worden met een globale schatting voor deze waarde. Het experiment zal later de werkelijke waarde daarvoor op betrekkelijk eenvoudige manier opleveren.

De bevestiging van den astatischen pendel geschiedt door middel van een z.g. kruisveerscharnier. Aanwezig zijn hierbij drie bladveeren welke aangespannen kunnen worden en in een onderlingen hoek van 120° ten opzichte van elkaar staan. Deze veeren zorgen tevens voor de veerkracht van het systeem. De veerkracht nu moet dusdanig zijn dat in het zwaartepunt van het gewicht bij 1 cm uitwijking een terugstelmoment van 1,068 kgcm aanwezig is. De hoekverdraaiing van de gezamelijk veeren bedraagt $\frac{1}{15} = 0{,}0667$ radiaal. Per veer moet dus worden geleverd een moment van $\frac{1{,}068}{3} = 0{,}356$ kgcm per cm uitwijking van het gewicht bij een hoekverdraaiing van 0,0667 rad. De veeren vormen in feite staven, welke aan één zijde ingeklemd en aan de andere zijde scharnierend bevestigd zijn, zooals ook uit het ontwerp valt in te zien. Dan geldt dus:

$$\phi = \frac{Ml}{4EI}$$

of wel $$0{,}0667 = \frac{0{,}356\,l}{4 \times 2{,}15 \times 10^6 I}$$

waaruit:

$$\frac{l}{I} = 1\,611\,292 \text{ cm}^{-3}$$

Gekozen is een veerdikte van 0,2 mm en een breedte van 5 cm; alsdan bedraagt:

$$I = \frac{1}{12} \times 5 \times 0{,}02^3 =$$

$$= 33{,}333 \times 10^{-7} \text{ cm}^4$$

waaruit volgt $l = 1\,611\,292 \times 33{,}333 \times 10^{-7} =$

$= 5{,}37$ cm.

Het weerstandsmoment bedraagt:

$$W = \frac{1}{6} \times 5 \times 0{,}02^2 = 3{,}33 \times 10^{-4} \text{ cm}^3$$

en dus de optredende spanning $\sigma = \frac{0{,}356}{3{,}33 \times 10^{-4}} =$

$= 1068$ kg/cm² per cm uitwijking van het gewicht. Voor veerenstaal dus zeer laag, in aanmerking genomen dat 1 cm uitwijking practisch nooit zal voorkomen.

Wij komen thans aan den *electrischen trillingskring*. Na eenig probeeren bleek $T_e = 1{,}875$ sec een gunstige eigentrillingstijd te zijn en dus $p_e = 3{,}351$ sec^{-1}. Voor de gevallen a) en b) bleek $n_e = 2{,}346$ en voor geval c) $n_e = 3{,}016$ het best te voldoen. *Tabel III* geeft tenslotte de resonantie- en phaseverschuivingskrommen voor het totale gekoppelde geval weer en wel het product $C_{1n} \cdot C_{2n}$ en de som $\theta_{1n} + \theta_{2n}$. De vergrootingskromme voor geval c) strekt zich gunstig uit tot $T_n = 1{,}5$ sec zijnde $\frac{1}{2}\ T_1$ met een maximale fout van $\pm\ 2\frac{1}{2}\%$. Gevallen a) en b) zijn iets minder gunstig. Met ongeveer dezelfde fout strekt het gunstige deel der vergrootingskromme zich voor gevallen a) en b) uit tot ongeveer $T_n = 1$ sec.

Tabel III.

T_n	W_n	Geval a)		Geval b)		Geval c)	
		C_{2n} × C_{1n}	θ_{2n} + θ_{1n}	C_{2n} × C_{1n}	θ_{2n} + θ_{1n}	C_{2n} × C_{1n}	θ_{2n} + θ_{1n}
0,00	∞	1,000	0,000	1,000	0,000	1,000	0,000
0,25	25,133	1,019	0,308	1,017	0,323	1,015	0,240
0,50	12 566	1,022	0,624	1,015	0,654	1,008	0,477
0,75	8,378	1,020	0,958	1,003	1,000	0,998	0 709
1,00	6,283	1,004	1,312	0,973	1,364	0,988	0,930
1,25	5,027	0,959	1,633	0,916	1,743	0,984	1,137
1,50	4,189	0 882	2,064	0,828	2,125	0,999	1,326
2,00	3,142	0,660	2,803	0,600	2,851	1,188	1,643
2,50	2,513	0 433	3,447	0 387	3,467	2,895	1,884

Aangezien $p_e^2 = \frac{1}{L\,C}$ is deze frequentie te verkrijgen met een capaciteit van 300 μ Farad en een zelfinductie van 296 Henry.

Verder is:

$$2n_e = \frac{r + \frac{r_o r_1}{r_o + r_1}}{L}.$$

Alvorens echter de benoodigde weerstanden te bepalen moge eerst de smoorspoel berekend worden met circa 296 Henry zelfinductie. Wij kiezen het type met een luchtspleet en lage luchtinductie, opdat zoo goed mogelijk met een constante zelfinductie gerekend mag worden [5]). Nu geldt:

$e = -n\frac{d\Phi}{dt} \cdot 10^{-8}$ Volt, waarin Φ = de magnetische flux.

Nu geldt algemeen dat:

$\Phi = \frac{0{,}4\,\pi\,ni}{r_m}$, als r_m = magnetische weerstand van het circuit. Dus:

$e = -L\frac{di}{dt} \cdot 10^{-8} = -\frac{0{,}4\,\pi\,n^2}{r_m}\frac{di}{dt} \cdot 10^{-8}$ waaruit:

$L = \frac{0{,}4\,\pi\,n^2}{r_m} \cdot 10^{-8}$ en aangezien verder

$\frac{0{,}4\,\pi}{r_m} = \frac{\Phi}{ni}$, zoo is dus

$L = n^2 \cdot \left[\frac{\Phi}{ni}\right] \cdot 10^{-8}$.

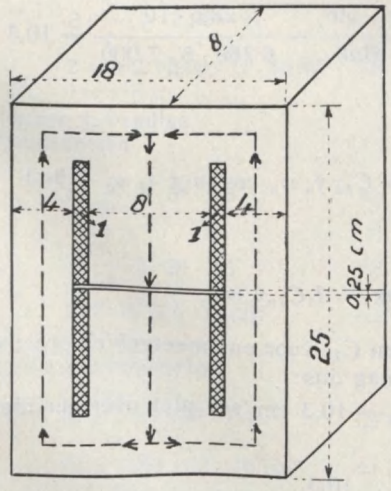


Fig. 8. Afmetingen v.d. smoorspoel.

Fig. 8 geeft de afmetingen aan van de smoorspoel. Hierin zijn dus:

$F_{lucht} = 8 \times 8 = 64$ cm²; $\delta_{lucht} = 0{,}25$ cm;

$F_{ijzer} = 8 \times 8 \times 64$ cm²; $l_{ijzer} = 2\,(17 + 2 \times 2) + 2\,(4 + 1 + 2) = 56$ cm.

Gekozen is een luchtinductie en dus ook ijzerinductie van 4 625 Gauss. Dan hebben wij dus:

Aw_{ij}	$= 56 \times 1{,}3$	$= 73$ Aw
Aw_{lucht}	$= 0{,}8 \cdot 4625 \cdot 0{,}25$	$= 925$ Aw
	Totaal	998 Aw

Aanwezig 10 000 windingen ø 0,3 mm, dus $i = \frac{998}{10\,000} = 0{,}0998$ of rond 0,1 Ampère.

Verder is $\Phi = 64 \cdot 4\,625 = 296\,000$ Maxwell

en dus wordt $L = (10^4)^2 \cdot \left[\frac{296\,000}{10^4 \times 0{,}1}\right] \times 10^{-8} =$

$= 296$ Henry.

Gemiddelde windingslengte $= 4 \cdot 9 = 36$ cm.

Inwendige weerstand $10\,000 \cdot 36 \cdot 0{,}257 = 925$ Ohm.

Weerstand oscillograaf = 1 Ohm. Als lamp is gebruikt de Philips „miniwatt" tetrode no. F 410. Hiervan is $r_o = 1\,250$ Ohm. Wij krijgen dus voor geval a) en b):

$$4{,}692 = \frac{926 + \frac{1\,250 r_1}{1\,250 + r_1}}{296}, \text{ waaruit } r_1 = 738 \text{ Ohm};$$

en voor geval c):

$$6{,}032 = \frac{926 + \frac{1\,250 r_1}{1\,250 + r_1}}{296}, \text{ waaruit } r_1 = 2\,756 \text{ Ohm}.$$

Het spreekt vanzelf, dat het geheel langs proefondervindelijken weg zoo goed mogelijk geregeld moet worden aangepast aan den theoretischen opzet.

Waar de ongedempte toestand van de seismograaf als de gunstigste aangemerkt kan worden, zoo bepalen wij de overige factoren van den electrischen trillingskring in de eerste instantie op dit geval. Wij merken eerst het volgende op. De dwingende trilling

$$y = y_n \sin(w_n t + \varphi_n)$$

wordt door de oscillograaf weergegeven door:

$i = I_1 \cdot I_e \cdot C_{1n} \cdot C_{2n} \cdot y_n \sin[w_n t + \varphi_n + (\theta_{1n} + \theta_{2n})]$.

De factor $C_{1n} \cdot C_{2n}$ is reeds bepaald en bedraagt voor een belangrijk gebied practisch 1 (zie *tabel III*). Wij bepalen thans de totale indicateurvergrooting $I_1 \cdot I_e$ zoodanig, dat een afleesschaal 1 : 1 verkregen wordt

Het aantal toegepaste windingen in het spoeltje van de seismograaf bedraagt 7 000 terwijl de geïnduceerde lengte per draad 5 cm bedraagt (diameter draad 0,1 mm). Van de lamp no. F 410 bedraagt $V = 10$ terwijl $r_o = 1\,250$ Ohm.

Hiermee wordt dus met $B = 1$ Gauss voor geval c):

$$I_1 \cdot I_e = I_1 \cdot \frac{BnlV}{10^8} \cdot \frac{r_1}{(r_o + r_1)} =$$

5) Ir. W. F. Einthoven van het Radiolaboratorium der P. T. T. adviseerde een smoorspoel te construeeren met luchtspleet in het midden van de eigenlijke spoel. Wordt de luchtinductie laag gehouden en de kern rijkelijk gedimensioneerd dan kan practisch met een constante zelfinductie gerekend worden. Bedoeling hiervan is dus het laag houden van het aantal benoodigde ampèrewindingen voor de ijzeren kern ten opzichte van de luchtspleet. Steller heeft van dit advies gaarne gebruikt gemaakt.

$$= 0{,}982 \times \frac{5 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10^3}{10^8} \times \frac{2\,756}{4\,006 \cdot 296} =$$

$$= 0{,}00799 \text{ mA.}$$

De oscillograaf van Siemens & Halske no. S_o1 type 2 heeft de volgende constanten: eigentrillingsgetal 12 000 Hertz; eigen werstand 1 Ohm; stroomconstante 5 milliampère (d.w.z. 5 mA per mm uitwijking); toelaatbare max. stroomsterkte 100 mA. Het instrument kan dus maximaal 2 cm uitslag geven. Per cm is dus benoodigd 50 mA. Bij een afleesschaal 1 : 1 is dus voor geval c) een luchtinductie benoodigd

$$B_1 = \frac{50}{0{,}00799} = 6\,260 \text{ Gauss.}$$

Voor gevallen a) en b) krijgt men:

$$I_1 \cdot I_e = 0{,}982 \cdot \frac{5 \cdot 10 \cdot 7 \cdot 10^3}{10^8} \cdot \frac{738}{1\,988 \cdot 296} =$$

$$= 0{,}00431 \text{ mA}$$

dus: $B_1 = \frac{50}{0{,}00431} = 11\,600$ Gauss.

Door het uitwisselen van weerstandsdekplaatjes aan de bovenzijde van het reserve-gewicht voor het inwendige systeem, welke dusdanig bemeten moeten zijn dat de totale wervelstroomweerstand resp. $\frac{74{,}24}{10^6}$ Ohm en $\frac{65{,}62}{10^6}$ Ohm bedraagt, kan men de situatie aanpassend maken aan de afleesschaal 1 : 1.

Er moet echter wel gewezen worden op het feit, dat het spoeltje zich bevindt onder den wervelstroomgeleider, die op zichzelf een ankertegenveld geeft. Hierdoor kan vervorming optreden van de opgeteekende beweging; immers is de luchtinductie van 11 600 Gauss tamelijk hoog en heeft de magnetiseeringskarakteristiek van het magneetstel daardoor reeds een aanmerkelijk gebogen vorm. Het ankertegenveld, hoewel *opzichzelf* een totale flux = 0 hebbende, doordat de ampèrewindingen van beide helften gelijk doch tegengesteld gericht zijn, oefent, doordat het tegenover een min of meer verzadigd hoofdveld staat, dan wel invloed op de totale flux uit. Afdoende verbetering hierin is te brengen door toepassing van aparte velden voor resp. spoeltje en demper, doch het instrument wordt hierdoor belangrijk gecompliceerder, met kans op meerdere nieuwe eigentrillingen, die zich in de einduitkomst merkbaar kunnen maken. Wederom blijkt, dat de ongedempte seismograaf de gunstigste oplossing is.

Een onbeperkte toepassing van de afleesschaal 1 : 1 is echter niet mogelijk, aangezien onder omstandigheden hierdoor vervormingen kunnen optreden. Immers onder geen beding mag de „ruimte" van de electronenbuis overschreden worden en evenmin mag een positieve roosterspanning optreden om een koppeling met het mechanische deel te vermijden. Dit laatste kan vermeden worden door een negatieve roosterspanning aan te brengen, welke de helft bedraagt van de „ruimte". In *fig. 9* staat de situatie nader grafisch aangegeven. De verdere gegevens van

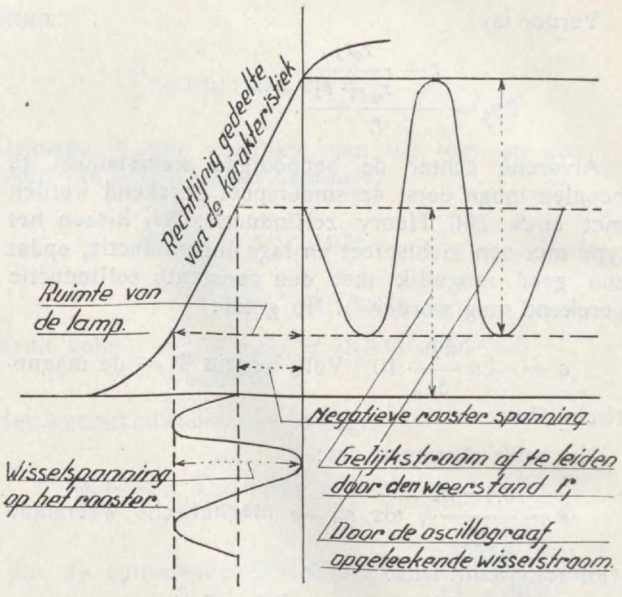


Fig. 9. Grafische voorstelling der electrische relaties.

tetrode no. F 410 zijn: gloeispanning = 4,0 V; gloeistroom = 2,0 A; anodespanning 550 V; ruimte = 45 V; negatieve roosterspanning = 22,5 V.

Hieruit blijkt dat de maximale spanning 22,5 V mag bedragen (bij een zuiver sinussoïdaal verloop). De in het spoeltje geïnduceerde EMK bedraagt:

$$e_r = \frac{Bnl}{10^8} \cdot \frac{dx}{dt} \text{ en dus mag voor geval c):}$$

$$\frac{dx}{dt} = \frac{e_r \cdot 10^8}{Bnl} = \frac{22{,}5 \cdot 10^8}{6\,260 \cdot 5 \cdot 7\,000} = 10{,}3 \text{ cm/sec}$$

bedragen.

Nu is:

$$\frac{dx}{dt} = I_1 C_{1n} y_n w_n \cos(w_n t + \varphi_n + \theta_{1n})$$

of wel:

$$\frac{dx}{dt} \text{ max } = I_1 C_{1n} y_n w_n .$$

Aangezien C_{1n} voor ons meetgebied practisch gelijk 1 is, dan mag dus:

$I_1 y_n w_n = 10{,}3$ cm/sec niet overschrijden

of wel:

$$v_n w_n = \frac{10{,}3}{0{,}982} = 10{,}5 \text{ cm/sec.}$$

Deze kwestie dient bij practisch gebruik van het instrument voor een willekeurig geval eerst door middel van eenige vóórmetingen nader bepaald te worden. Uit deze voormetingen toch, die desnoods in den aanvang vervormd mogen zijn, zijn de te verwachten waarden van y_n en w_n globaal te berekenen, waarna de juiste afleesmaatstaf bepaald kan worden en de toe te passen luchtinductie. *Tabel IV* geeft deze betrekkingen weer bij verschillende luchtinducties. Het spreekt vanzelf dat, waar de metingen fotografisch vastgelegd worden, door een dito vergrooting naderhand elke gewenschte afleesschaal bereikt kan worden.

Tabel IV.

Anodespanning 550 Volt

B in Gauss		500	1 000	1 500	2 000	2 500	3 000	3 500	4 000	4 500	5 000	5 500	6 000	6 500	7 000	7 500	8 000	8 500	9 000	9 500	10 000	10 500	11 000	11 500	12 000
y_n w_n in cm/sec		128,6	64,3	42,9	32,1	25,7	21,4	18,4	16,1	14,3	12,8	11,7	10,7	9,9	9,2	8,6	8,0	7,6	7,1	6,8	6,4	6,1	5,8	5,6	5,4
Schaal	gevallen a) en b)	23,20	11,60	7,67	5,80	4,64	3,87	3,32	2,90	2,58	2,32	2,11	1,93	1,79	1,66	1,55	1,45	1,36	1,29	1,22	1,16	1,10	1,05	1,01	0,97
	geval c)	12,52	6,26	4,17	3,13	2,50	2,08	1,79	1,56	1,39	1,25	1,14	1,04	0,96	0,89	0,83	0,78	0,74	0,70	0,66	0,63	0,60	0,57	0,54	0,52

Wij komen thans aan de bepaling van het massa-traagheidsmoment van het uitwendige systeem (zie *fig. 10*).

Zijwangen inwendig stelsel

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 21 \cdot 31{,}5^3 \cdot 1 = 109\,396 \text{ cm}^5$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 31{,}5 \cdot 21^3 \cdot 1 = 48\,620 \text{ „}$$

$$2 \cdot 21 \cdot 31{,}5 \cdot 1 \cdot 2{,}30^2 = 6\,999 \text{ „}$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 8{,}5 \cdot 21^3 \cdot 1 = 13\,120 \text{ „}$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 21 \cdot 8{,}5^3 \cdot 1 = 2\,149 \text{ „}$$

$$2 \cdot 8{,}5 \cdot 21 \cdot 1 \cdot 3{,}80^2 = 5\,155 \text{ „}$$

Inwendige dempingsmagneten

$$2 \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 2{,}90^4 \cdot 11 = 2\,445 \text{ „}$$

$$2 \cdot 3{,}142 \cdot 2{,}90 \cdot 11 \cdot 16{,}80^2 = 56\,578 \text{ „}$$

Poolschoenen inwendige dempingsmagneten

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 5^3 \cdot 2{,}5 = 104 \text{ „}$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 5 \cdot 2^3 \cdot 2{,}5 = 17 \text{ „}$$

$$2 \cdot 2 \cdot 5 \cdot 2{,}5 \cdot 15{,}00^2 = 11\,250 \text{ „}$$

Magneetbevestigingsmoeren

$$4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 1{,}5^4 \cdot 1{,}5 = 48 \text{ „}$$

$$4 \cdot \pi \cdot 1{,}5^2 \cdot 1{,}5 \cdot 16{,}70^2 = 11\,830 \text{ „}$$

Veerbevestigingsonderdeelen

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 3{,}3 \cdot 12{,}5^3 \cdot 11 = 11\,816 \text{ „}$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 12{,}5 \cdot 3{,}3^3 \cdot 11 = 824 \text{ „}$$

$$2 \cdot 3{,}3 \cdot 12{,}5 \cdot 11 \cdot 6{,}90^2 = 43\,206 \text{ „}$$

$$\frac{1}{12} \cdot 3{,}3 \cdot 9{,}7^3 \cdot 11 = 2\,761 \text{ „}$$

$$\frac{1}{12} \cdot 9{,}7 \cdot 3{,}3^3 \cdot 11 = 320 \text{ „}$$

$$3{,}3 \cdot 9{,}7 \cdot 11 \cdot 7{,}40^2 = 19\,282 \text{ „}$$

Overbrengen: 345 920 cm⁵

Overgebracht: 345 920 cm⁵

Voetplaat

$$\frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 85^3 \cdot 13 = 1\,330\,604 \text{ „}$$

$$\frac{1}{12} \cdot 85 \cdot 2^3 \cdot 13 = 736 \text{ „}$$

$$2 \cdot 85 \cdot 13 \cdot 14{,}60^2 = 471\,084 \text{ „}$$

Zijplaten

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 25 \cdot 85^3 \cdot 2 = 5\,117\,708 \text{ „}$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 85 \cdot 25^3 \cdot 2 = 442\,708 \text{ „}$$

$$2 \cdot 25 \cdot 85 \cdot 2 \cdot 3{,}00^2 = 76\,500 \text{ „}$$

Dwarsplaten

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 30^3 \cdot 13 = 117\,000 \text{ „}$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 2^3 \cdot 13 = 520 \text{ „}$$

$$2 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 13 \cdot 11{,}60 = 209\,914 \text{ „}$$

Gewichten

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 30 \cdot 32^3 \cdot 13 = 2\,129\,920 \text{ „}$$

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 32 \cdot 30^3 \cdot 13 = 1\,872\,000 \text{ „}$$

$$2 \cdot 32 \cdot 30 \cdot 13 \cdot 26{,}5^2 = 17\,528\,160 \text{ „}$$

Uitwendig dempingslichaam

$$2 \cdot \frac{1}{12} \cdot 12^4 \cdot 15 = 51\,840 \text{ „}$$

$$12^2 \cdot 15 \cdot 21{,}75^2 = 1\,021\,815 \text{ „}$$

Totaal 30 716 429 cm⁵

Gemiddeld s.g. = 0,008.

$$I_u = \theta_u + M_u l_u^2 = \frac{0{,}008}{981} \cdot 30\,716\,429 = 250 .$$

Ook dit massa-traagheidsmoment moet proefondervindelijk vastgesteld worden en door bijvoegen of weghalen van wat materiaal zoo lang gewijzigd worden, tot de juiste trillingstijd verkregen is bij het vereischte gewicht. De berekening van den electrischen demper van het uitwendige systeem moge verder achterwege blijven.

In de *figuren 9* en *10* zijn het inwendige resp. uitwendige systeem van de behandelde seismograaf in detail weergegeven. De na gereedkomst van het instrument in de toekomst ermede te verrichten metingen zullen t.g.t. met de practische cijfers voor de instrumentenconstanten en karakteristieken ook in dit tijdschrift gepubliceerd worden [6]).

6) Bij deze metingen zal vermoedelijk gebruik gemaakt worden van een ten opzichte van de tijdas zichzelf registreerenden frequentiemeter, zulks met het oog op een vergemakkelijking van de harmonische analyse der door het beschreven instrument geregistreerde brugslingeringen.

Literatuur.

E. Lehr: Schwingungstechnik.
W. Hort: Technische Schwingungslehre.
H. Steuding: Messung mechanischer Schwingungen.
J. Geiger: Mechanische Schwingungen.
G. Benischke: Die theoretischen Grundlagen der Elektrotechnik.
Deutsche-Reichsbahn Gesellschaft: Mechanische Schwingungen der Brücken.
S. Thimoshenko: Vibration problems in engineering.
den Hartog: Mechanical Vibrations
A. Sieberg: Erdbebenkunde.
O. Richter & R. von Voss: Bauelemente der Feinmechanik.

Over het onderzoek en onderhoud van autobatterijen

door

C. G. D. IHLE,

Dipl. Ingenieur te Bandoeng.

Korte inhoud.

Medegedeeld worden een voorstel tot normalisatie van autobatterijen alsmede eenige onderzoekingsmethoden welke elders worden toegepast. Gebleken is dat eerst na tenminste 30 ontladingen een juiste beoordeeling der kwaliteit van auto-accu's mogelijk is.

Omtrent de keuze en het onderhoud van autobatterijen in de tropen worden verschillende aanwijzingen gegeven.

Dr. Ing. E. Hoehne publiceerde in het tijdschrift *Batterien,* Internationales Fachblatt für die Batterie Industrie no. 5 — 1938 belangrijke gegevens omtrent het onderzoek van autobatterijen.

Hij stelt voor om den inhoud van een batterij evenals de meest toegepast wordende accuplaten als volgt te normaliseeren:

Tabel 1.

Type	Breedte	Hoogte	Dikte
a	143 mm	135 mm	3,0 mm
b	143 „	123 „	3,0 „
c	143 „	123 „	2,3 „
d	143 „	110 „	2,3 „
e	143 „	110 „	2,0 „
f	139 „	98 „	3,0 „
g	143 „	85 „	2,5 „

Van deze platen werden 6 Volt-batterijen samengesteld, die worden aangeduid op de wijze als in de eerste kolom van *tabel 2* is aangegeven. Het eerste cijfer heeft betrekking op het aantal cellen, dus voor een 6 Volt-batterij 3, de kleine letter geeft het plaattype volgens *tabel 1* en daarmede de grootte en het laatste cijfer het aantal positieve platen per cel. De hoofdletter S duidt op „Starter".

Deze batterijen hadden gegolfde ebonieten schotjes en houten separatoren van 0,4 mm dikte en werden met verdund zwavelzuur van 1,285 s.g. gevuld. Om nauwkeurig den 10-urigen ontlaadstroom — in het volgende *I* genoemd — te bepalen, werden zij 25 keer geladen en daarna met verschillende stroomsterkten ontladen.

De volgende proeven werden verricht (zie *tabel 2*):

Proef I.

Onafgebroken ontlading met een stroomsterkte *I*, totdat de beginspanning met 15% was verminderd.

Proef II.

Onafgebroken ontlading met den tienvoudigen *I*-stroom, totdat de beginspanning met 15% was verminderd.

Proef III.

Onafgebroken ontlading met den 40-voudigen *I*-stroom, totdat de batterijspanning tot 4 Volt daalde.

Proef IV.

Stootsgewijze ontlading met den 40-voudigen *I*-stroom tot de batterijspanning tot 3 Volt daalde. Op iedere stroomstoot van 13 secunden volgde een rustpauze van 7,5 minuut.

Tabel 2.

Batt. type	Loodgewicht	Ontlaadstroom *I*	Proef I	Proef II	Proef III	Proef IV
3Sa5	13,8 kg	8,0 A	80,4 Ah	41,7 Ah	28,4 Ah	41,6 Ah
3Sb5	12,7 „	7,0 „	69,8 „	34,4 „	24,5 „	35,4 „
3Sc6	11,5 „	7,8 „	78,1 „	41,8 „	29,0 „	44,0 „
3Sd6	10,9 „	6,8 „	69,0 „	36,8 „	25,6 „	38,9 „
3Se7	10,0 „	7,6 „	74,3 „	41,6 „	28,9 „	42,3 „
3Sf6	12,5 „	6,8 „	70,1 „	34,6 „	23,7 „	33,0 „
3Sg8	11,3 „	7,8 „	79,0 „	42,0 „	27,8 „	44,0 „

Het loodgewicht bestaat uit platen, poolbruggen, polen en celverbindingen.

Uit *tabel 2* volgt, dat bijv. batterij 3Sb5 (Hoppecke Tropical), bestaande uit 3 cellen met ieder 5 positieve (dus 6 negatieve) platen van de afmetingen 143 × 123 × 3 mm resp. bij ontlading met 7 Ampère 69,8 Ampère-uren, bij ontlading met 70 Ampère 34,4 Ah, bij ontlading met 280 Ampère 24,5 Ah en bij stootsgewijze ontlading met 280 Ampère 35,4 Ah levert.

De zuurtemperatuur was bij proef I-III 20° C, bij proef IV 24-26° C. Dezelfde batterij heeft bij een ontladingsstroom van 5 Ampère een capaciteit van 85 Ah en bij 4,7 Ampère in 20 uur 95 Ah.

Om de Amerikaansche normen te verkrijgen (20-urige ontlading) heeft men de Ampère-uren cijfers van *tabel 2* (10-urige ontlading) met 33⅓% te verhoogen.

Een zeer belangrijke factor is de levensduur. De garantiecijfers geven hierbij het volgende:

Tabel 3.

Capaciteit bij 20-urige ontlading in Ah	Garantie in maanden bij batterijen met	
	slechts houten schotjes	houten schotjes en ebonieten separatoren
65— 74	6	9
75— 84	12	15
85— 94	18	21
95—104	21	24

Hieruit blijkt, dat bij het gebruik van houten en ebonieten separatoren de levensduur belangrijk wordt verhoogd.

Uit *tabel 2* volgt, dat ofschoon met de proefnemingen eerst na 25 ontladingen werd begonnen, de uitkomsten bij de diverse proeven een verschillend resultaat gaven. Zoo bleek bij de eerste proefneming type 3Sa5 het beste, bij de tweede 3Sg8, bij de derde 3Sc6 en bij de vierde 3Sc6 en 3Sg8 en dit terwijl het onderzochte materiaal van hetzelfde fabrikaat was.

Daarna werden proeven verricht met een type 3Sc6 en wel van vier verschillende fabrikanten, waarbij de platen precies dezelfde afmetingen hadden.

Na 6 voorafgegane zwakstroomontladingen (stroomsterkte bij 20 uur ontlading) werden de volgende 4 proeven gedaan.

Proef I.

Onafgebroken ontlading met een constanten stroom van 7,5 A totdat de beginspanning met 15% was gedaald.

Proef II.

Onafgebroken ontlading met 300 A beginstroom en een constanten weerstand, totdat de batterijspanning tot 4 Volt was gedaald.

Proef III.

Onderbroken ontlading met 300 A beginstroom en een constanten weerstand, tot de batterijspanning tot 3,75 V was gedaald. Op iederen stroomstoot van 10 secunden volgde een rustpauze eveneens van 10 sec met uitzondering van de stroomstooten van 20, 25, 30 sec, waarbij de rustpauze 3 minuten bedroeg.

Proef IV.

Onderbroken ontlading met constante stroomsterkte van 300 A tot 3 V bedrijfspanning, waarna een stroomstoot volgde van 15 secunden met een rustpauze van 7,5 minuten. Na 65 ontladingen werden de proefnemingen II, III en IV bij lage buitentemperatuur gedaan.

Om den levensduur te bepalen werd na resp. de 50, 80, 100, 120 en 140ste ontlading het massaverlies bepaald. Voor de practijk kan men rekenen, dat bij 500 gram massaneerslag de batterij, omdat zij dan aan kortsluitingen bloot staat, niet meer is te gebruiken.

De krommen volgens de *fig. 1, 2, 3* en *4* geven de uitkomsten van de verschillende methoden van onderzoek, terwijl de volgende tabel het massaverlies geeft.

Tabel 4.

Fabrikaat	Massaverlies in g per batterij, na				
	50	80	100	120	140 ontladingen
A	50	100	185	320	490
B	55	95	180	275	490
C	95	210	355	545	830
D	150	350	645	840	1140

Bij proef I was de temperatuur van het zuur (in geladen toestand 1,280 s.g.) 20° C, bij II t/m IV 24 tot 26° C.

De fabrikaten A en B hebben bij 140 ontladingen 490, dus nog geen 500, gram massaverlies, fabrikaat C bij 120 ontladingen 545 g en fabrikaat D bij 100 ontladingen 645 g.

De levensduur van A en B is dezelfde, van C 20% en van D ca. 40% korter dan van A en B.

Vergelijkt men de resultaten van de eerste ontlading bij deze 4 proefnemingen, waarbij de beste uitkomst = 100 wordt gesteld, dan is het resultaat:

Tabel 5.

Fabrikaat	Proef				
	I	II	III	IV	Levensduur
A	90	88	100	95	100
B	93	91	100	100	100
C	96	77	84	84	82
D	100	100	100	79	64

Fabrikaat D staat dus na de eerste ontlading bij de proefnemingen I, II en III bovenaan, bij proef IV en wat den levensduur betreft onderaan.

Fabrikaat C staat bij proef I nummer twee en bij proefneming IV nummer drie.

In werkelijkheid zijn A en B de beste batterijen.

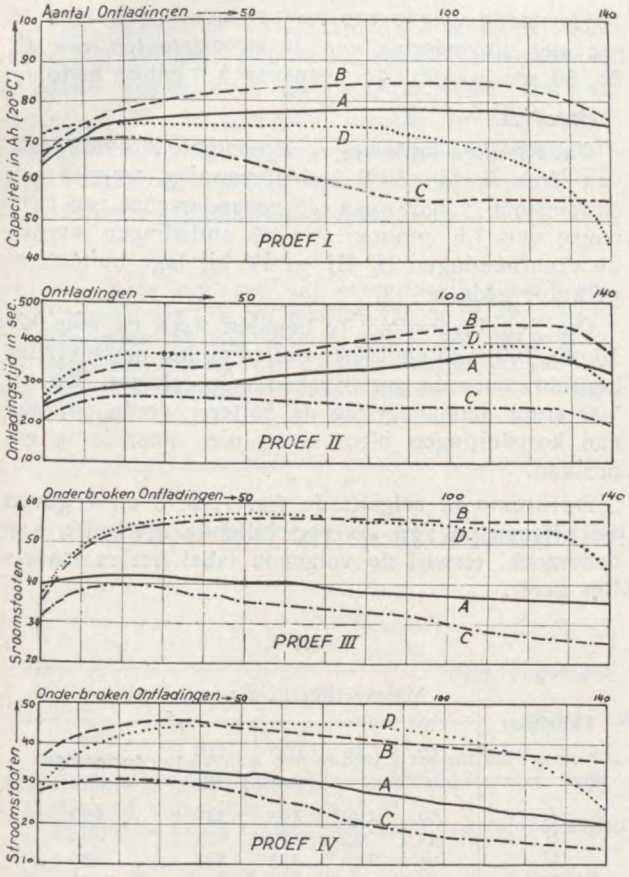


Fig. 1. Grafische voorstelling van de uitkomsten der vermelde proeven.

Wanneer bij deze proefnemingen reeds 5 ontladingen hadden plaats gevonden, blijkt een capaciteitsproef na de eerste ontlading volgens de eerste 3 methoden een absoluut onjuist beeld te geven.

Uit de grafieken volgens de *fig. 1a* t/m *d* blijkt duidelijk, dat tijdens de eerste 30 ontladingen belangrijke veranderingen in de capaciteit plaats hebben en men eerst bij een proef na 30 ontladingen volgens methode IV een juist beeld van de kwaliteit kan verkrijgen.

Beproevingsmethode IV komt het meest met de verhoudingen in de practijk overeen en mag dus de beste methode worden genoemd.

Wat de omstandigheden in de tropen betreft, hier hebben wij nog met de volgende voor het accubedrijf belangrijke feiten rekening te houden.

Hoe hooger de zuurconcentratie en de temperatuur is hoe grooter de capaciteit wordt, doch des te korter de levensduur.

Om den levensduur te verlengen verlaagt men het s.g. van het zuur bij autobatterijen van 1,285 voor de streken met een koel klimaat tot 1,26 in de bergstreken en 1,25 in de heete kustplaatsen.

Bij het op gang komen (starten) wordt de temperatuur van het zuur sterk verhoogd en ontstaat bij dunne platen (de goedkoope fabrikaten hebben platen van slechts 2 tot 1,9 mm dikte) het gevaar van kromtrekken en daarmede van kortsluitingen.

Met het oog op een langen levensduur en de betrouwbaarheid verdienen batterijen met 3 mm dikke platen de voorkeur. De practijk heeft bij goede fabrikaten aangetoond, dat deze met 3 mm dikke platen een 100 tot 200% langeren levensduur bezitten dan batterijen met dunne platen.

Door de hooge temperatuur in de tropen heeft ook een grooter verbruik aan vloeistof plaats. Wordt niet bijtijds gedistilleerd water bijgevuld, dan komen de platen vrij van vocht. Het gevolg is sulphatie van de negatieve platen en door overbelasting kromtrekken en massaverlies van de positieve platen.

Men geve de voorkeur aan batterijen die een flinke zuurruimte boven de platen hebben.

Dat batterijen met houten en ebonieten separatoren een langeren levensduur hebben dan die, welke slechts van houten separatoren zijn voorzien, werd boven reeds medegedeeld.

In de tropen heeft door de vochtige warme lucht een lang opslaan van de autobatterijen het bezwaar, dat met den tijd de negatieve platen beginnen te sulphateeren. Het gevolg is, dat als een in lang niet gebruikte batterij in bedrijf wordt genomen, de capaciteit zeer spoedig daalt.

Men geve daarom de voorkeur aan batterijen die nog niet te lang de fabriek hebben verlaten.

Een accufabriek kan alleen dan een steeds gelijkwaardig fabrikaat op de markt brengen, als zij over de noodige outillage voor het onderzoek en zuiveren van de grondstoffen, dus laboratoria, machines, ovens en deskundig personeel beschikt.

Een dusdanige fabriek vereischt echter een aanlegkapitaal van 2-5 ton en kan met het oog op de hooge bedrijfskosten slechts dan met gunstig rendement werken, als jaarlijks minstens 100 000 batterijen worden verkocht.

Vele accu-werkplaatsen gieten slechts de loodgeraamten en gebruiken de grondstoffen zooals zij deze ontvangen. Het gevolg is, dat men bij toeval wel eens een batterij van goede platenkwaliteit kan verkrijgen, doch veel grooter is de kans, dat men steeds batterijen ontvangt die in enkele maanden onbruikbaar zijn geworden.

Tenslotte nog de opmerking, dat ook het beste fabrikaat autobatterij voortijdig te gronde gaat wanneer:

1) de batterij op zoodanige wijze in de auto wordt geplaatst, dat een te groote verwarming ontstaat;
2) de accu niet voldoende schoon wordt gehouden;
3) de polen niet door zuurvrije vaseline worden beschermd;
4) onvoldoend zuiver gedistilleerd water wordt bijgevuld, of in plaats van gedistilleerd water bron- of ander water wordt gebruikt.

Er wordt helaas in Ned.-Indië veel gedistilleerd water verkocht, dat dezen naam niet verdient.

De electrificatie van de Wieringermeer

door

Ing. D. W. SPARNAAY.

Een ieder die een bezoek brengt aan de Wieringermeer zal, wanneer hij den ouden zeedijk passeert en de nieuwe „provincie" betreedt, met een zeker gevoel van trots het oog doen vallen op de daarachter gelegen polders, daar waar nog voor betrekkelijk korten tijd de golven van de Zuiderzee dezen dijk bespoelden. De ingenieur zal daarbij zich kunnen realiseeren welke arbeid daar tot stand is gebracht en hoe daar een overwinning is behaald, die tot in lengte van dagen zal getuigen van de energie en wilskracht van onze ingenieurs.

Voor den electro-ingenieur is een bezoek aan dit nieuwe grondgebied eveneens zeer interessant en zeer zeker indien dit plaats vindt onder de aangename leiding van een der ingenieurs van het *P. E. N.* *); persoonlijk kan ik daarvoor niet dankbaar genoeg zijn, te meer waar ik in 1929 het genoegen had samen met den toenmaligen Directeur den heer A. F. Smit Kleine, thans reeds overleden, dit zelfde gebied te bezoeken, waar toen de voorbereidingen werden getroffen voor den aanleg der hoogspanningsgeleidingen ten behoeve van het 3 000 pk groote watergemaal, dat bestemd was om na gereedkoming van den afsluitdijk het water op te pompen.

Nu ook de electrificatie van dezen polder gereed is gekomen achtte ik het van belang hieromtrent het een en ander mede te deelen, aangezien het daarvoor gekozen systeem voor Ned.-Indië belangstelling verdient en daarbij volkomen aansluit aan het systeem, hetwelk ik in de laatste jaren van mijn verblijf in Indië sterk heb gepropageerd.

Als ieder specifiek landbouwgebied is in de Wieringermeer het aantal afnemers zeer gering te achten en dus eveneens de omzet, in verhouding tot de meer dicht bevolkte centra in onze steden, daarmede in overeenstemming, terwijl er mede rekening moet worden gehouden dat het gebruik van huishoudelijke apparaten als fornuizen, kookketels enz. alsmede kleine motoren zeer zeker geen uitzondering zal zijn. De ervaring heeft verder geleerd, dat in Nederland het lichtverbruik gering is te noemen, mede door invoering van den zomertijd, waardoor in de zomermaanden dit verbruik tot een minimum is beperkt en daarbij onze Hollandsche boeren uiterst zuinig zijn.

Indien men nagaat dat bij de uitwerking der plannen rekening gehouden werd met 3 aansluitingen per km netlengte dan is het duidelijk, dat het in Noord-Holland normaal toegepaste systeem van draaistroom primair 10 000 Volt, secundair 380/220 Volt wel uitvoerbaar was, doch onmogelijk zou kunnen leiden tot een zelfs zeer bescheiden rentabiliteit.

Het is dan ook buitengewoon interessant, dat men voor de electrificatie van dit gebied heeft gekozen een systeem van éénphase 3 000 Volt hoogspanning en de toepassing van kleine transformatoren, opgesteld in de perceelen der afnemers of in de onmiddellijke nabijheid daarvan, en dus tot dezelfde conclusie is gekomen als in Amerika, Japan en vele andere landen, waar dit systeem reeds jaren lang burgerrecht heeft verkregen.

Het ligt trouwens voor de hand dat daar waar 380/220 Volt te kort schiet en 10 000 Volt te onpractisch is, men een spanning kiest welke daar tusschen ligt en waarbij de schakel- en beveiligingsapparaten nog voldoende goedkoop en compact zijn, n.l. 3 000 Volt.

Bij uitvoering met bovengrondsche geleidingen heeft men daarbij dan nog het voordeel van lichte mastconstructies, terwijl voor een belangrijk deel de hoogspanningsgeleidingen op dezelfde steunpunten kunnen worden aangebracht als de laagspanningsgeleidingen, waardoor een buitengewoon goedkoope uitvoering wordt verkregen.

Uit den aard der zaak is dit éénphase-systeem niet zonder bezwaren, daar voor de krachtafnemers de eenphase electromotoren duurder in aanschaffing en daarbij voor vermogens boven de 10 pk niet zoo practisch meer zijn. De practijk heeft evenwel geleerd dat bij objecten, waar dit systeem is aangewezen, grootere krachtafnemers zeldzaam zijn, terwijl in het uitzonderlijke geval, dat deze toch moeten worden bediend, zal kunnen worden volstaan met het bijspannen van een derden draad van af het voedingpunt, zoodat draaistroom kan worden geleverd; de daarvoor te maken extra kosten zullen door de naar verhouding hoogere inkomsten veelal voldoende worden gecompenseerd.

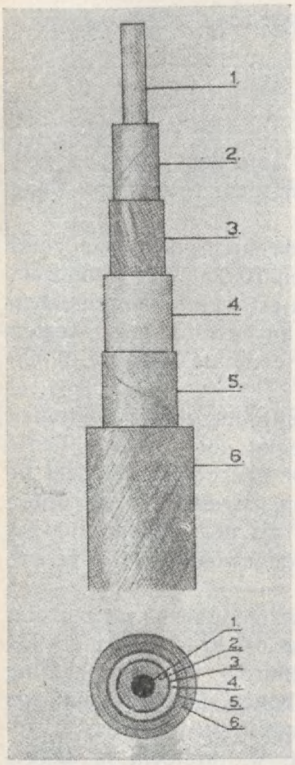
Voor de Wieringermeer heeft men om aesthetische redenen het geheele hoogspanningsnet ondergronds uitgevoerd en voor zoover betreft de 3 000 Volt gebruik gemaakt van een 2-aderigen kabel van bijzondere constructie (*fig. 1*), waarvan niet minder dan 225 km is gelegd en door de Ned. Kabelfabriek is geleverd. De constructie van dezen kabel verdient wel bijzondere aandacht door den geringen diameter, n.l. slechts 2 cm, waardoor deze in groote lengten kan worden geleverd zonder te vervallen in transportmoeilijkheden.

Zooals reeds gezegd zijn de schakel- en beveiligingsapparaten bij 3 000 Volt zeer compact, hetgeen duidelijk blijkt uit *fig. 2*. In een plaatijzeren kast van 50 cm breed, 65 cm hoog en slechts 26 cm diep zijn ondergebracht een transformator van 3 kVA, een gecombineerde uitschakelaar-zekering (een z.g. cut-out) alsmede een eindsluiting met de onderlinge verbindingsleidingen, welke kast dus weinig plaats inneemt en op eenvoudige wijze in de woningen of werkruimten kan worden ondergebracht.

In het tijdschrift door het *P. E. N.* uitgegeven onder den titel van *Alles Electrisch* vindt men in het November-nummer een artikel hieraan gewijd, waaruit ik onder meer het volgende aanhaal:

„de vermindering van de aanlegkosten van het nieuwe „net slechts $\frac{1}{3}$ deel bedraagt van de kosten, die voor „het stichten van een net van de gebruikelijke con„structie noodig zou zijn geweest. De vermindering

*) Provinciaal Electriciteitsbedrijf Noord-Holland.



1 = *Koperen kern 16 mm² ø*
2 = *Geïmpregneerde papierisolatie 2,3 mm*
3 = *7 Koperen strippen: 4 × 0,5 mm*
4 = *Loodmantel 1,2 mm*
5 = *2 Lagen geasfalteerd papier*
6 = *2 Lagen geasfalteerde jute*

Fig. 1. Eénfase 3000 Volt kabel, 2 × 16 mm² (speciale constructie)

1 *Transformator* $^{3000}/_{220}$ *Volt 5 kVA*
2 *Smeltveiligheid 3000 Volt 50 Amp*
3 *3000 Volt kabel*
4 *220 Volt kabel*
5 *Staten beschermkap*
6 *Deksel (toegang tot de smeltveiligheid)*
7 *Aardklem*
8 *Eindsluiting voor 3000 Volt kabel*

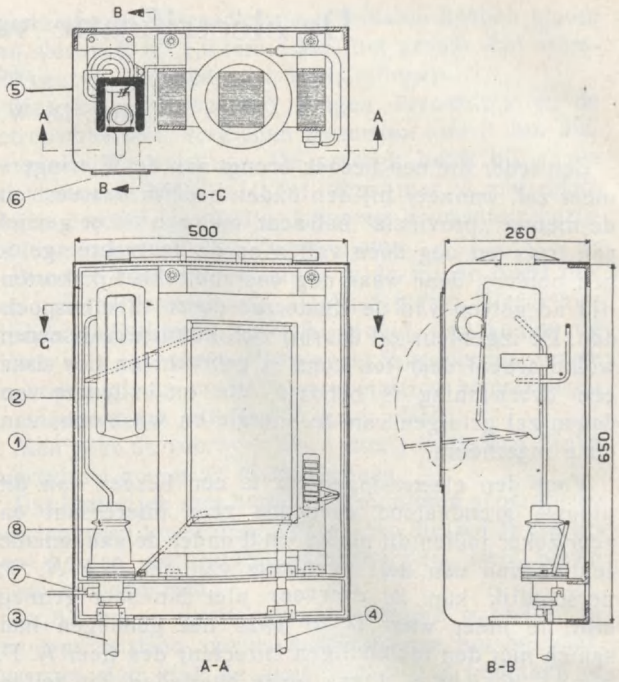


Fig. 2. Transformatorkast $^{3000}/_{220}$ *Volt.*

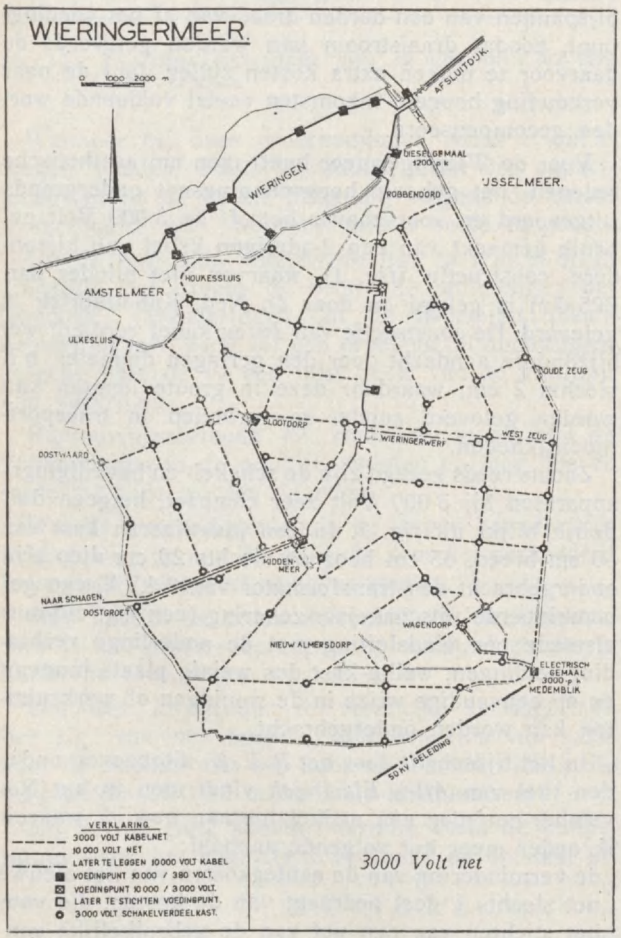


Fig. 3.

„dezer kosten tot op $\frac{1}{3}$ kon worden bereikt door de „toepassing van een door ons speciaal ontworpen „systeem van distributie, dat voorzoover wij konden „nagaan, nog nergens ter wereld is toegepast".

Ik vestig hierbij speciaal de aandacht op de zeer lage kosten van aanleg, zijnde van primair belang, daar immers voor dergelijke objecten de post rente + afschrijving domineert en de energiekosten een minder belangrijke rol spelen, zelfs bij een bescheiden rentabiliteit.

Indien men met „nergens ter wereld" bedoelt de toepassing van den kabel met speciale constructie, dan wil ik er op wijzen dat daardoor de soepelheid van het systeem ten zeerste heeft ingeboet en het mij onverklaarbaar is, waarom uit aesthetische overwegingen aan deze duurdere en minder aan te bevelen methode de voorkeur is gegeven. Qua systeem is er natuurlijk geen sprake van „iets bijzonders", daar dit reeds jaren bestaat en zijn doelmatigheid in vele landen heeft bewezen.

Het gebruik van kabel was onder meer uitvoerbaar aangezien alle afnemers zijn gelegen aan zuiver rechte wegen (zie *fig. 3*); het zou echter voor Indië niet practisch uitvoerbaar zijn, daar deze rechte wegen veelal ontbreken en daarmede een grondslag van het systeem vervalt.

Het blijft echter een bijzonder feit dat men zich heeft weten los te maken van een zeker conservatisme en zich heeft weten aan te passen aan de omstandigheden. Ik beveel daarom dit voorbeeld aan in de bijzondere aandacht van het Gouvernement en de electriciteitsbedrijven in Indië, die momenteel in vele gevallen overeenkomstige moeilijkheden hebben op te lossen en naar ik vertrouw niet krampachtig zullen blijven vasthouden aan de bestaande methoden van distributie en de zeer strenge veiligheidsvoorschriften.

Brussel, December 1938.