3e JAARGANG
NUMMER 12

DECEMBER
1936

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

Orgaan der Groep Ned.-Indië van het Koninklijk Instituut van Ingenieurs,
Maandblad gewijd aan de Techniek en Wetenschap in Ned.-Indië,

waarin opgenomen

De Waterstaats-Ingenieur, opgericht in 1913

en

De Mijningenieur, opgericht in 1919.

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

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

Prijs per jaargang: *f* 20,— Afzonderlijke nummers: *f* 2,—

Redactie-adres (zonder vermelding van persoonsnamen): Hoogeschoolweg 3, Bandoeng.
Adres voor administratie en abonnementen: Bragaweg 38, Bandoeng.
Adres voor advertenties: Firma G. Kolff & Co., Batavia-Centrum.

I. ALGEMEEN GEDEELTE.

INHOUD: Vereenvoudigingen bij het werken met uit tabellen verkregen invloedslijnen voor doorgaande liggers op meerdere steunpunten, door ir. G. Meesters. — Ballistische gegevens van vliegtuigbommen, door dr. ir. G. Otten. — *Berichten van allerlei aard:* Mededeelingen der Redactie. — Normalisatie. — *Boekbespreking.* — *Personalia.* — *Kon. Instituut van Ingenieurs:* Bestuursmededeelingen. — Voldoening abonnement 1937.

Vereenvoudigingen bij het werken met uit tabellen verkregen invloedslijnen voor doorgaande liggers op meerdere steunpunten

door

ir. G. MEESTERS,

ingenieur bij 's Lands Waterstaat, met buitenl. verlof.

Aan de hand van eenige analytische eigenschappen van de gedaante der invloedslijnen voor de momenten in doorsneden van doorgaande liggers op meerdere steunpunten worden eenige eenvoudige betrekkingen afgeleid, welke aan de hand van de ordinaten dier invloedslijnen nauwkeurig de grootte van den invloed van gelijkmatig verdeelde belasting(en) over geheele veldlengten opleveren, en zoo de maximale waarde van het buigend moment in de beschouwde doorsnede doen verkrijgen.

Algemeene beschouwing.

Zooals bekend mag worden verondersteld, levert het werken met invloedslijnen voor de buigende momenten (c.q. dwarskrachten) in doorsneden van over meerdere steunpunten doorgaande liggers als bijzonder voordeel, dat uit het verloop dezer lijnen rechtstreeks (zij het voor *lastenstelsels* na eenig probeeren) de ongunstigste *verdeeling* van de mobiele belasting over de diverse velden kan worden bepaald, en dienovereenkomstig de voor een beschouwde doorsnede op te sporen maximale waarde van buigend moment c.q. dwarskracht.

Op grond van het gedaanteonderscheid dezer invloedslijnen voor *overgangs-* dan wel *veldmomenten* worde hiervan eerst een korte beschrijving gegeven.

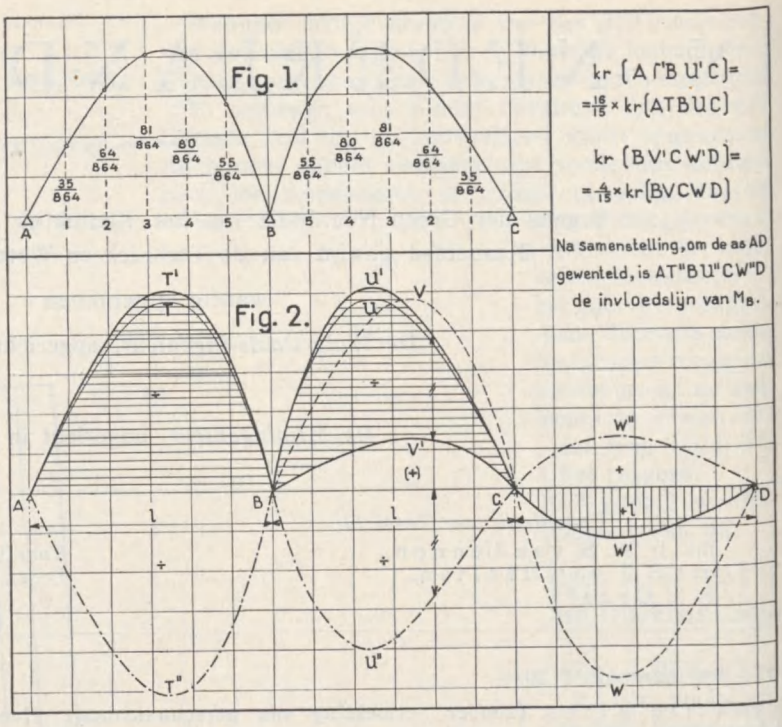
A. Overgangsmomenten.

Voor het *buigend moment* in een doorsnede boven een steunpunt (overgangsmoment) verloopt de invloedslijn rechts resp. links van die doorsnede af in afwisselende en verflauwende „golven" boven en onder de nullijn, die ter plaatse van de steunpunten van teeken wisselen.

B. Veldmomenten.

Voor het *buigend moment* in een doorsnede tusschen twee opeenvolgende steunpunten (veldmoment) verloopt de invloedslijn, voor zoover het niet het veld waarin de onderzochte doorsnede betreft, analoog aan de hiervoren bedoelde lijn voor een overgangsmoment, doch over de onderzochte veldlengte is de vorm globaal te kenschetsen als een driehoek met „holle" zijden, welks top in de verticaal van de beschouwde doorsnede ligt.

Naarmate echter de onderzochte doorsnede meer een der opleggingen aan de einden van het betreffende veld nadert en daarbij het gebied tusschen de zgn. vaste punten van één veld verlaat, wordt het verloop over de veldlengte eenigszins anders, en passeert de invloedslijn 1 × binnen het veld de nullijn. Deze gevallen worden in het navolgende buiten beschouwing gelaten, aangezien hiervoor niet gemakkelijk een analoge afleidingswijze gevonden kan worden.



Grondvorm voor de gedaante van de invloedslijnen.

Als uitgangsvorm voor de samengestelde gedaante der invloedslijnen kan gelden de invloedslijn voor het overgangsmoment van een op 3 steunpunten rustenden prismatischen ligger met evenlange velden. De over elk der velden verloopende takken dezer lijn zijn symmetrisch ten opzichte van de verticaal door het middensteunpunt (*fig. 1*).

Elke tak is een deel van een 3^{den} graads parabool, af te leiden uit een gewonen 2^{den} graads parabool; zie hieromtrent ir. J. Kloppers: Leerboek der toegepaste mechanika, 2e dr., deel III, blz. 106-107.

In verband met het veelvuldig gebruik, dat gemaakt wordt van de Tabellen van Dipl. Ing. Griot, waarin de veldlengten regelmatig in zessen worden verdeeld, is het gewenscht den evenbedoelden grondvorm op eenvoudige wijze vast te leggen.

De absolute waarde der factoren, waarmede de momentenmaatstaf $p \times l$ nog vermenigvuldigd moet worden is van een uiterste oplegging naar de middenoplegging als volgt, (zie *fig 1*): 0, $\frac{35}{864}$, $\frac{64}{864}$, $\frac{81}{864}$, $\frac{80}{864}$, $\frac{55}{864}$, 0. Opzettelijk zijn de noemers der breuken gelijk gehouden, om duidelijk het verloop van de tellers te doen spreken. Deze „grondvorm" is even gemakkelijk te integreeren als de gewone parabool, waaruit hij is afgeleid. *Daartoe behoeft de basis slechts vermenigvuldigd te worden met $^2/_3$ van de ordinaat van het midden van die basis.*

Deze eenvoudige betrekking geldt voorts niet alleen voor de geheele kromme van steunpunt tot steunpunt, maar ook voor willekeurige segmenten van deze kromme, waarbij men uiteraard het assenstelsel blijve volgen.

Afleiding van invloedslijnen uit den vorenbehandelden grondvorm.

a) De invloedslijn b.v. van het *overgangsmoment* boven het 2de steunpunt van een doorgaanden ligger op 4 steunpunten met gelijke veldlengten kan nu samengesteld gedacht worden uit (zie *fig. 2*):

1°) de invloedslijn voor het moment in doorsnede *B* van een ligger op 3 steunpunten *A B C*, en

2°) de invloedslijn voor het overgangsmoment in *C* van een ligger op 3 steunpunten *B C D*,

met dien verstande, dat de ordinaten van de onder 1°) bedoelde krommen met + $^{16}/_{15}$ worden vermenigvuldigd en de ordinaten van de onder *2°)* bedoelde kromme met — $^4/_{15}$, en vervolgens algebraïsch bij de voornoemde worden gevoegd.

De reden van deze reductie's ligt besloten in de onderlinge relatie van overgangsmomenten bij doorgaande liggers, en in de verhouding van de waarden van het overgangsmoment in *B* bij identieke belasting van ligger *A B C* en van den doorgaanden ligger *A B C D*. Aangezien bij de in dit artikel vervatte beschouwingen de grootte dezer verhoudingen verder van geen belang is, zij hier volstaan met het bovenvermelde voorbeeld.

Wat hier nu voor een bijzonder geval is uiteengezet, geldt — mutatis mutandis — algemeen. De invloedslijn voor een overgangsmoment van een ligger op meerdere steunpunten kan steeds op de bedoelde wijze worden samengesteld uit den meergenoemden grondvorm over telkens 2 aaneengrenzende velden.

Zoodat voorts in het feit, dat de uiteindelijke ordinaten van deze invloedslijn voor het overgangsmoment verkregen worden door algebraïsche veldsgewijze sommeering van met de ordinaten van den

grondvorm recht evenredige ordinaatgrootten, besloten ligt dat de *oppervlakte* tusschen elk over eenig veld zich uitstrekkend deel der invloedslijn en de nullijn eenvoudig bepaald wordt door de betrekking: *veldlengte* $\times$ $^2/_3$ *middenordinaat van dat veld.*

Dit gaat steeds op, of de tak geheel zijn concave zijde naar de nullijn keert (eindvelden) dan wel in het verloop over een veldlengte een buigpunt vertoont (overige velden). Slechts de *middenordinaat* van de invloedslijn in elk veld is dus voldoende om het oppervlak te bepalen.

Uit het vermelde volgt een belangrijke vereenvoudiging in de bepaling van de grootte van overgangsmomenten bij gelijkmatig verdeelde belasting over geheele veldlengten. Het sommeeren van de zesdedeelsordinaten volgens den een of anderen integratieregel komt hierbij geheel te vervallen; men behoeft slechts de beschikking te hebben over de (eventueel op *andere* wijze dan) uit G r i o t'sche tabellen verkregen waarden van de ordinaten van de invloedslijn in het *midden* der velden.

b) De invloedslijn voor een *veldmoment* bij een doorgaanden ligger op meerdere steunpunten kan samengesteld worden gedacht uit:

1°) de invloedslijnen voor de overgangsmomenten boven de 2 steunpunten, welke beiderzijds het veld begrenzen;

2°) de driehoekig verloopende invloedslijn voor het buigend moment in de onderzochte doorsnede, alsof het beschouwde veld een vrij opgelegde ligger was;

met dien verstande, dat de ordinaten van de onder *1°*) bedoelde krommen worden gereduceerd in verhoudingen, welke bepaald worden door de ligging van de doorsnede ten opzichte van de uiteinden van dit veld, gesommeerd en vervolgens algebraïsch gevoegd bij de onder 2°) beschreven (positieve) momenteninvloedslijn.

Buiten het veld verloopen de takken van de invloedslijn dus analoog aan die voor een overgangsmoment; daarbinnen wordt een driehoekig verloop verkregen met „holle" zijden.

Het hier besproken samenstellingsbeginsel geldt voor alle veldmomenten, ook in eindvelden. Hierbij zal echter uiteraard een der overgangsmomenten zijn vervallen (eindoplegging) en heeft men slechts één gereduceerde invloedslijn voor overgangsmoment samen te stellen met de lijn van het driehoekig verloop van het positieve moment van het veld als vrij opgelegden ligger beschouwd.

In de bijgaande *fig. 3* is een dergelijke samenstelling van de invloedslijn voor het veldmoment in het midden van de middenoverspanning van een ligger op 4 steunpunten verwezenlijkt.

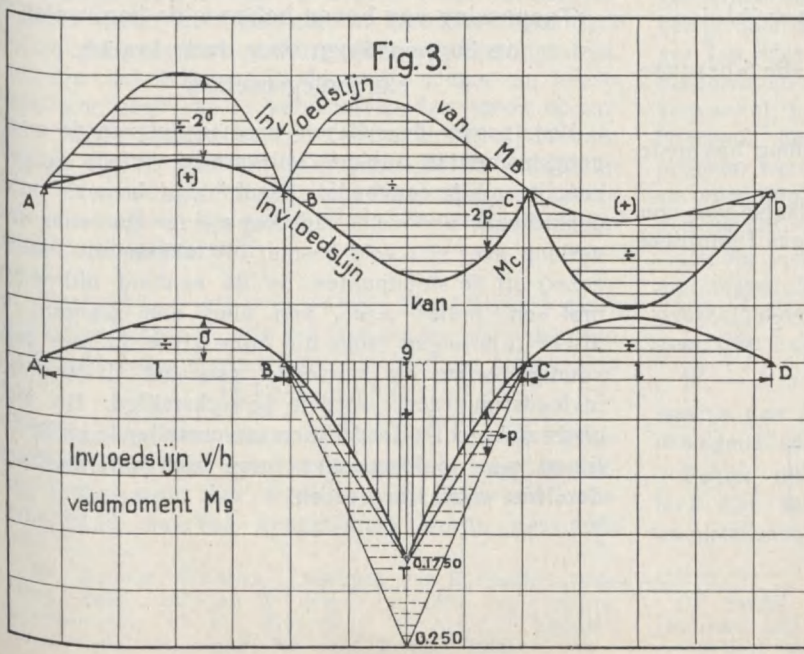
De figuurdeelen geven aanleiding tot de volgende opmerkingen.

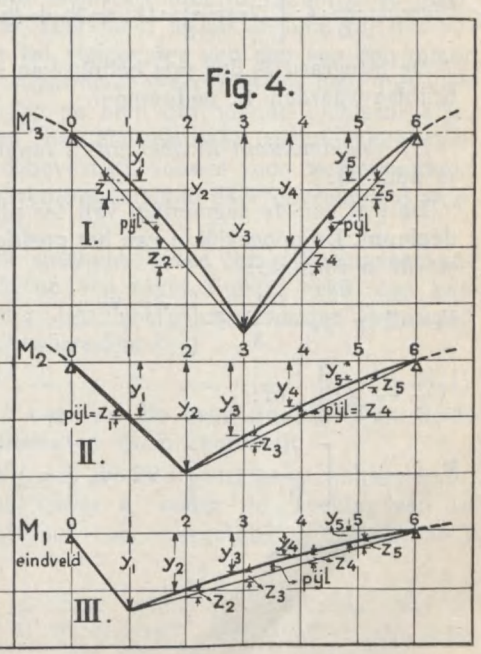
Over de buitenvelden *A B* en *C D* verloopt de invloedslijn voor het veldmoment gelijkvormig met dergelijke deelen voor overgangsmomenten. De integreering over de genoemde velden kan dus op dezelfde wijze geschieden via de middenordinaat der krommen in elk veld.

De ontstaanswijze van het driehoekig verloop van de invloedslijn voor zoover het middenveld betreft laat op eenvoudige wijze integratie toe uit de bekende zesdedeelpuntsordinaten. Trekken we n.l. de koorden van de holle zijden, dus van den top *T* naar de nulwaarde bij de oplegpunten, dan voldoen de gevormde segmenten weer (krachtens hun afkomst) aan den regel, volgens welken de oppervlakte van 2de zoowel als 3de graads-paraboolsegmenten kan worden verkregen uit: basis $\times$ $^2/_3$ pijl.

In de zich voordoende gevallen van de tabellen van G r i o t heeft men steeds te maken met 5 deelpunten per veld, op onderling gelijke afstanden van $^1/_6 \cdot l$.

Voor maximale veldmomenten zullen in de meeste gevallen voldoende maatgevend blijken die momenten,





welke optreden omstreeks het veldmidden; bij eindvelden ligt dit gebied meer naar de eindopleggingen toe. Van de Griot'sche deelpunten zullen die met de nummers 2, 3 en 4 (of 6-tallen hooger) hierbij de belangrijkste invloedslijnen voor het veldmoment opleveren. Voor eindvelden zullen de punten 1, 2 en 3 (resp. hun spiegelbeelden aan het andere liggereinde) daartoe het meest bruikbaar zijn. Voor andere deelpunten zullen de invloedslijnen van veldmomenten gedeeltelijk negatief kunnen verloopen, en dusdoende niet op de hieronder te beschrijven wijze nauwkeurig worden geintegreerd.

De typische vormen van het verloop van de positieve momenteninvloedslijn voor een aantal doorsneden van een liggerveld geeft *fig. 4*.

Onder gebruikmaking van de in de figuren neergelegde notatie's kunnen de volgende betrekkingen worden afgeleid.

I) Veldmoment in deelpunt 3 bij totale belasting van het veld.

De pijl van de twee segmenten ligt midden tusschen de doorsneden 1—2 en 4—5. De grootte van dezen pijl is $^9/_8 \times$ het gemiddelde van de beide aangrenzende „pijlen", zoodat: $z_1 = \frac{y_3}{3} - y_1$; $z_2 = \frac{2 \cdot y_3}{3} - y_2$; $z_4 = \frac{2 \cdot y_3}{3} - y_4$; $z_5 = \frac{y_3}{3} - y_5$. In formule wordt nu de oppervlakte van het positieve figuurdeel:

$$F_3 = + l \cdot \tfrac{1}{2} \cdot y_3 - \tfrac{1}{2} \cdot l \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{9}{8} \cdot \left(\frac{z_1 + z_2 + z_4 + z_5}{2}\right) = + \tfrac{1}{2} \cdot l \cdot \left[y_3 - \frac{3}{8} \cdot (z_1 + z_2 + z_4 + z_5) \right] = + \tfrac{1}{2} \cdot l \cdot \left[y_3 - \frac{3}{8} \cdot (2 \cdot y_3 - y_1 - y_2 - y_4 - y_5) \right]$$ of:

$$F_3 = + \frac{1}{8} \cdot l \cdot \left[y_3 + \frac{3}{2} \cdot (y_1 + y_2 + y_4 + y_5) \right]$$

De integratie is dus met behulp van alle 5 bekende ordinaatwaarden te volbrengen.

II) Veldmoment in deelpunt 2 (analoog hiermede is punt 4).

De pijl van de segmenten valt ter plaatse van een deelpunt. De oppervlakte van het positieve figuurdeel wordt in formule:

$$F_2 = l \cdot \tfrac{1}{2} \cdot y_2 - \frac{1}{3} \cdot l \cdot \left[\frac{2}{3} \cdot \left(\frac{y_2}{2} - y_1\right) + 2 \cdot \frac{2}{3} \cdot \left(\frac{y_2}{2} - y_4\right) \right]$$, of:

$$F_2 = + l \cdot \left[\frac{1}{6} \cdot y_2 + \frac{2}{9} \cdot (2 \cdot y_4 + y_1) \right]$$

De integratie is met behulp van 3 van de 5 bekende ordinaatwaarden te volbrengen.

III) Veldmoment in deelpunt 1 (slechts voor *eind*velden).

Van het over $^5/_6$ veldlengte vallende segment is de pijl $= \frac{25}{24} \cdot \left(\frac{z_3 + z_4}{2}\right)$, en de pijl van het zich over $^1/_6$ veldlengte uitstrekkende segmentje is slechts $^1/_{175}$ van eerstgenoemde; de oppervlakte van dit zeer nietige segmentje is bijgevolg $\frac{1}{5 \times 175} = \frac{1}{875}$ van het groote segment. In formule wordt thans de oppervlakte van het positieve figuurdeel (bij eindvelden):

$$F_1 = + l \cdot \tfrac{1}{2} \cdot y_1 - \frac{5}{6} \cdot l \cdot \frac{2}{3} \cdot \frac{25}{24} \cdot \frac{\left(\frac{3}{5} \cdot y_1 - y_3 + \frac{2}{5} \cdot y_1 - y_4\right)}{2} \cdot \frac{876}{875} =$$

$$= + l \cdot \tfrac{1}{2} \cdot y_1 - l \cdot \left[\frac{73}{252} \cdot y_1 - \frac{73}{252} \cdot (y_3 + y_4) \right] =$$

$$= + l \cdot \left[\frac{53}{252} \cdot y_1 + \frac{73}{252} \cdot (y_3 + y_4) \right]$$

De integratie is met behulp van 3 van de 5 bekende ordinaatwaarden uit te voeren.

Het vorenstaande drietal afleidingen omvat de voornaamste typen van de positieve invloedslijn-deelen voor het buigend moment in de maatgevende Griot'sche doorsneden van een veld van een doorgaanden ligger; de nauwkeurigheid is van de zelfde orde als van de tabelwaarden.

Toepassing van boven behandelde beginselen op invloedslijnen voor dwarskracht, c.q. oplegreacties.

Voor zoover deze lijnen een aan dat van de overgangsmomenten analoog golfvormig verloop vertoonen, is ook de eenvoudige regel $^2/_3 \times$ basis $\times$ middenordinaat per veld van toepassing. En waar het verloop over een veld bestaat uit takken, die (voortgezet) bij de steunpunten op de eenheid uitkomen, met een „holle" zijde, kan door een segment in aftrek te brengen langs die holle zijde op zeer eenvoudige wijze de correctie van het driehoekige invloedsfiguurdeel worden bewerkstelligd. De zich uit dwarskrachtinvloedslijnen samenstellende invloedslijnen voor oplegreacties laten zich uiteraard op dezelfde wijze integreeren.

Ballistische gegevens van vliegtuigbommen

door

dr. ir. G. OTTEN,

kapitein bij de Militaire Luchtvaartafdeeling.

Een eenvoudige methode om de benoodigde gegevens voor het werpen met vliegtuigbommen met voldoende nauwkeurigheid te bepalen.

a. Inleiding.

Voor het gericht afwerpen van vliegtuigbommen is het noodzakelijk om den voorhoudafstand te kennen, zijnde den afstand, welke de bom in horizontale zin doorloopt, vanaf het punt van loslaten tot aan het trefpunt. Is deze afstand eenmaal bekend, dan kunnen hieruit in verband met de hoogte, voor het oudere richtinstrument de voorhoudhoek en voor den modernen bommenrichtkijker de achterblijfhoek worden bepaald, welke hoeken respectievelijk gedefinieerd worden als de hoek met den verticaal, waaronder het doel in het loslaatpunt moet worden gezien, en de hoek met den verticaal, waaronder het doel wordt gezien op het tijdstip, dat het laatste getroffen wordt.

Ook is het noodig, ter vaststelling van de doorslagkracht van een bom, de snelheid te kennen, waarmede deze een zeker object zal treffen.

Een directe methode om zoowel *voorhoudafstand* als *trefsnelheid* te berekenen werd tot nu toe niet gevonden, hetgeen vooral een gevolg was van de wiskundige moeilijkheden, die ontstaan door de variatie van den luchtweerstand, doch ook in verband met optredende onregelmatigheden, zooals b.v. die, welke ontstaan door het afdraaien van het luchtschroefje, dat geschieden moet om de schokveilige bom in een schokgevoelige te veranderen.

De hier ontwikkelde methoden geven eveneens benaderde uitkomsten en hoewel meer in het bijzonder voor het gebruik in Ned.-Indië een iets nauwkeuriger formuleering kon worden opgesteld, beoogen zij ook niet in de eerste plaats om nauwkeuriger gegevens te verschaffen dan reeds op andere wijze konden worden verkregen [1]); zij leveren echter uit de waarden van valhoogte en valtijd op een eenvoudige en snelle wijze met voldoende nauwkeurigheid de waarden van de trefsnelheid en den voorhoudafstand.

b. Bepaling van trefsnelheid en voorhoudafstand uit valhoogte en valtijd bij het bommenwerpen uit de horizontale vlucht.

Indien een bom onder den invloed van de zwaartekracht zich met een zekere snelheid naar de aarde toebeweegt, dan werkt op die bom een luchtweerstand waarvan aangenomen wordt, dat deze evenredig is met de luchtdichtheid en met het vierkant van de snelheid. Behalve de snelheid is ook de luchtdichtheid niet constant, daar laatstgenoemde op groote hoogte belangrijk geringer is dan op lagere hoogte. Toch wordt in de vergelijkingen voor de snelheid en den afgelegden weg van de bom, de luchtdichtheid als een constante grootheid beschouwd, hetgeen dus neerkomt op een vervanging van haar variable waarde door een gemiddelde. Vooral indien het gaat om de waarde van de trefsnelheid, is de daardoor ontstane fout niet groot, daar wel is waar op groote hoogte de bom een grootere werkelijke snelheid zal bezitten en dus op een zeker tijdstip een grooteren weg zal hebben afgelegd dan de vergelijkingen met een constante luchtdichtheid zullen aangeven, doch de werkelijke snelheid zal op lagere hoogte weer meer worden afgeremd en dat zoowel door de verkregen grootere snelheid zelve als door de hooger wordende waarde van de werkelijke luchtdichtheid.

Voor de berekening van den voorhoudafstand lijkt de aanname van een gemiddelde luchtdichtheid iets ongunstiger, omdat de op lagere hoogte grootere werkelijke luchtdichtheid pas van invloed is als de bom reeds een gedeelte van haar snelheid in horizontale richting heeft verloren. Hierdoor zou bij gebruik van de meer genoemde aanname een iets kleinere voorhoudafstand moeten worden gevonden dan de werkelijke. De fout wordt practisch echter gecompenseerd door den niet in rekening te brengen grooteren weerstand, welke de bom bij het begin van haar val, tengevolge van den van den motor afkomstigen slipstroom ondervindt en door het zich aanvankelijk op de bom bevindende luchtschroefje. Hierdoor kan het eindresultaat, zooals mede door proeven werd bevestigd, zoowel voor de trefsnelheid als voor den voorhoudafstand zeer bevredigend worden geacht.

Zij nu v de snelheid, welke een willekeurige bom met massa M op een zeker tijdstip bezit, dan kan overeenkomstig het voorgaande worden genoteerd voor den luchtweerstand:

$$W = k \cdot v^2 \quad \ldots\ldots\ldots\

bereikbare snelheid van de vrij vallende bom is:

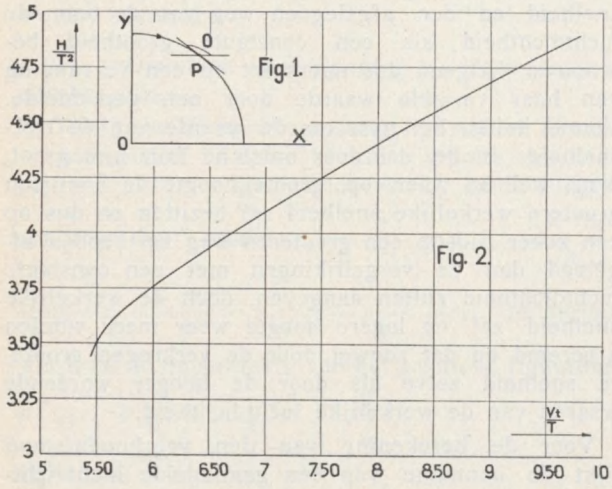
$$M \cdot g = k \cdot w^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

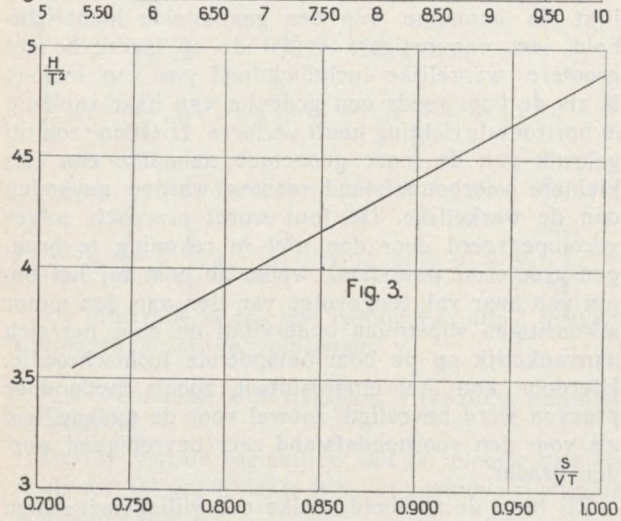
waaruit volgt:

$$W = M \cdot g \cdot (\frac{v}{w})^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$$\text{en } w = \sqrt{\frac{M \cdot g}{k}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Laat verder de bom P ten opzichte van een rechthoekig coördinatenstelsel (zie *fig. 1*), op een zeker tijdstip t, de coördinaten x en y bezitten, dan kunnen door gelijkstelling der krachten in vertikalen en horizontalen zin onmiddellijk worden opgeschreven de differentiaalvergelijkingen:





Voor de in *Fig. 1* aangegeven hoek O moet gelezen worden θ.

$$M \cdot \ddot{y} - M \cdot g \cdot (\frac{v}{w})^2 \cdot \sin\theta + M \cdot g = 0 \quad \ldots\ldots \quad (5)$$

$$M \cdot \ddot{x} + M \cdot g \cdot (\frac{v}{w})^2 \cdot \cos\theta = 0 \quad \ldots\ldots \quad (6)$$

of:

$$\ddot{y} - \frac{g}{w^2} \cdot \dot{y} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} + g = 0 \quad \ldots\ldots \quad (7)$$

$$\ddot{x} - \frac{g}{w^2} \cdot \dot{x} \cdot \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2} = 0 \quad \ldots\ldots \quad (8)$$

De vergelijkingen (7) en (8) zijn oplosbaar met een benadering, welke daaruit bestaat, dat $\sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2}$ vervangen wordt door $\dot{y}$.

Bij het afwerpen van bommen uit de duikvlucht, dit is de vlucht, waarbij het vliegtuig zich met groote snelheid nagenoeg loodrecht naar de aarde toebeweegt, is deze benadering zeker toelaatbaar. Doch dit is ook het geval bij afwerpen van bommen uit de horizontale vlucht, omdat dan toch de weerstand van de bom direct na het afwerpen slechts zeer gering is. De weerstand wordt pas groot als de bom over eenigen afstand, zegge ongeveer 500 m gevallen is. Maar dan zal $\dot{y}$ t.o.v. $\dot{x}$ zooveel zijn aangegroeid, dat de laatste grootheid verwaarloosd mag worden.

Overeenkomstig het voorgaande kunnen de vergelijkingen (7) en (8) thans geschreven worden:

$$\ddot{y} - \frac{g}{w^2} \cdot \dot{y}^2 + g = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

$$\ddot{x} - \frac{g}{w^2} \cdot \dot{x} \cdot \dot{y} = 0 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Zij H de hoogte, waarop het bommenwerpende vliegtuig zich bevindt in horizontale vlucht met een snelheid V, dan vindt men met behulp van de voorwaarden dat voor $t = 0$, $x = 0$, $\dot{x} = V$, $y = H$ en $\dot{y} = 0$ de oplossingen:

$$\dot{x} = V \cdot \text{sech} \frac{gt}{w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (11)$$

$$\dot{y} = -w \cdot \text{tangh} \frac{gt}{w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (12)$$

$$x = \frac{V \cdot w}{g} \text{bgtang} (\sinh \frac{gt}{w}) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (13)$$

$$y = H - \frac{w^2}{g} \cdot \log \cosh \frac{gt}{w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (14)$$

Nemen we allereerst de trefsnelheid in beschouwing, dan kan deze verkregen worden door samenstelling van de horizontale en de vertikale snelheidscomponenten, nadat in de vergelijkingen daarvan de tijd t vervangen is door den totalen valtijd T.

Behalve bij het werpen van zeer lage hoogte, waarbij de trefsnelheid beheerscht wordt door de vliegsnelheid, doch dan in de practijk van weinig belang is, komt het bij de bepaling van de doorslagkracht van de bom slechts op de vertikale trefsnelheid aan. Wij zullen daarom verder alleen deze snelheid in beschouwing nemen en haar als de trefsnelheid V_t aanduiden.

Men vindt uit de vergelijkingen (12) en (14) afgezien van het teeken:

$$V_t = w \cdot \text{tangh} \frac{gT}{w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (15)$$

$$\text{en } H = \frac{w^2}{g} \cdot \log \cosh \frac{gT}{w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (16)$$

Met behulp van deze vergelijkingen kan nu al dadelijk grafisch de valtijd T en de trefsnelheid V_t

bepaald worden, mits de snelheid w voor de verschillende valhoogten bekend is. De grootheid w kan voor elke bomsoort op een eenvoudige wijze experimenteel in een windtunnel worden vastgesteld. In een land zonder een dergelijke tunnel stuit dit dan echter toch nog weer op bezwaren, tenzij men de atmosfeer zelve als windtunnel gebruikt, hetgeen dus neerkomt op het nemen van de zooveel duurdere practische proeven. In het laatste geval is het echter eenvoudiger om den valtijd T voor verschillende hoogten uit een serie worpen te meten dan de snelheid w te bepalen. Wij zullen daarom den valtijd T bekend veronderstellen en met deze grootheid de trefsnelheid V_t vastleggen, waartoe we schrijven:

$$w = \alpha \cdot g \cdot T \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (17)$$

en waarin α dan een van de bomsoort, de gemiddelde luchtdichtheid en valhoogte afhankelijke coëfficiënt is. De vergelijkingen (**15**) en (**16**) gaan met behulp van (**17**) over in:

$$\frac{V_t}{T} = \alpha \cdot g \cdot \text{tangh} \frac{1}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (18)$$

$$\frac{H}{T^2} = \alpha^2 \cdot g \cdot \log \cosh \frac{1}{\alpha} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (19)$$

Deze vergelijkingen stellen een kromme in het $\frac{V_t}{T} - \frac{H}{T^2}$ vlak voor met α als parameter, welke is neergelegd in *fig. 2*. Zooals uit de vergelijkingen volgt, is de kromme geheel onafhankelijk van de bomsoort en de plaatselijke atmosferische omstandigheden, doch afhankelijk van de plaats op aarde, waar de bom wordt afgeworpen. Een geheel onafhankelijke kromme kan met behulp van het $\frac{H}{g \cdot T^2} - \frac{V_t}{g \cdot T}$ vlak worden verkregen, doch deze levert ter bepaling van de trefsnelheid meer rekenwerk op.

Afgezien van het feit, dat de variatie van g met de plaats op aarde slechts zeer klein is, kan men echter de hier neergelegde voor Batavia geldende kromme corrigeeren voor een willekeurige op de aarde gelegen plaats P, door in stede van $\frac{H}{T^2}$ en $\frac{V_t}{T}$ langs ordinaat en absis resp. te schrijven: $\frac{H}{T^2} \cdot \frac{g_B}{g_P}$ en $\frac{V_t}{T} \cdot \frac{g_B}{g_P}$, waarin dan de indices B en P beteekenen, dat genomen moet worden de versnelling van de zwaartekracht te Batavia resp. op de plaats P.

Met behulp van de vergelijking (**13**) kan de *voorhoudafstand* S worden vastgelegd. Men vindt:

$$S = \frac{V \cdot w}{g} \cdot \text{bgtang} \left(\sinh \frac{gT}{w}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (20)$$

waarvoor met behulp van de vergelijking (**17**) weer geschreven kan worden:

$$\frac{S}{V \cdot T} = \alpha \cdot \text{bgtang} \left(\sinh \frac{1}{\alpha}\right) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (21)$$

De kromme is als functie van $\frac{H}{T^2}$ gegeven in *fig. 3*.

Met behulp van de *figuren 2* en *3* kunnen bij het bekend zijn van den valtijd de waarden van trefsnelheid en voorhoudafstand direct worden bepaald. Ter illustratie moge een eenvoudig rekenvoorbeeld volgen.

Gegevens: Afwerphoogte van de bom: 4 000 m.
Valtijd 30 sec.
Vliegsnelheid 50 m/sec.

Gevraagd: Trefsnelheid en voorhoudafstand.

Berekening: $\frac{H}{T^2} = \frac{4\,000}{30 \times 30} = 4{,}444.$

Men vindt met behulp der grafieken:

$$\frac{V_t}{T} = 8{,}15 \text{ of } V_t = 8{,}15 \times 30 = 245 \text{ m/sec.}$$

$$\frac{S}{V \cdot T} = 0{,}908 \text{ of } S = 0{,}908 \times 30 \times 50 = 1362 \text{ m.}$$

Bij goed afgewerkte vliegtuigbommen wordt $\frac{H}{T^2}$ al spoedig grooter dan 4,25 en daarmede α grooter dan 1, waarna de vergelijkingen (**19**) en (**21**) in reeksen kunnen worden ontwikkeld. Doet men dit, dan wordt na een kleine herleiding gevonden:

$$\frac{H}{T^2} = \frac{g}{2} \cdot \left(1 - \frac{1}{6 \cdot \alpha^2} + \frac{2}{45 \cdot \alpha^4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\right)$$

$$\frac{S}{V \cdot T} = \left(1 - \frac{1}{6 \cdot \alpha^2} + \frac{1}{24 \cdot \alpha^4} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\right)$$

Waaruit bij benadering gevonden wordt:

$$\frac{\frac{H}{T^2}}{\frac{S}{V \cdot T}} = \frac{g}{2} \quad \text{of:}$$

$$S = \frac{2 \cdot H \cdot V}{g \cdot T} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (22)$$

Men vindt met behulp van deze formule, toegepast op het rekenvoorbeeld en zonder gebruikmaking van de grafiek:

$$S = \frac{2 \cdot 4\,000 \cdot 50}{9{,}78158 \cdot 30} = 1\,363 \text{ m.}$$

c. De variatie van de maximale snelheid w met de hoogte in de Nederlandsch-Indische atmosfeer.

Zooals reeds onder b werd opgemerkt, is in de vergelijkingen:

$$W = k \cdot v^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

en $M \cdot g = k \cdot w^2$ $\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$ (**2**)

de grootheid k niet constant, doch evenredig met de luchtdichtheid ϱ. Om de differentiaalvergelijkingen gemakkelijk te kunnen oplossen, werd k echter constant gedacht hetgeen, zooals mede reeds werd genoteerd, er op neer komt, dat de met de hoogte afnemende waarde van de luchtdichtheid vervangen werd door een zekere gemiddelde waarde. Het is nu echter duidelijk, dat die gemiddelde

waarde van ρ voor een hoogte H_1 een andere zal zijn dan die voor een van H_1 verschillende hoogte H_2, waarmede dan ook voor verschillende hoogten andere k's en daarmede andere maximale valsnelheden w zullen gelden. Wij zullen thans trachten de variatie van de snelheid w met de hoogte H vast te stellen.

Laat P een bom zijn, die in de werkelijke atmosfeer met de variabele luchtdichtheid ρ valt van een hoogte H en Q een bom, vallende van eenzelfde hoogte, in een denkbeeldige atmosfeer met een constante luchtdichtheid ρ_m, dan kan als eisch worden gesteld, dat de snelheden, waarmede beide bommen den grond zullen bereiken, dezelfde zijn. Daar de zwaartekracht op beide bommen denzelfden arbeid verricht, beteekent dit, dat dan ook de luchtkrachten denzelfden arbeid moeten verrichten, zoodat (zie *fig. 4*).

$$k^1 \cdot \int_O^H \rho \cdot V_1^2 \cdot \mathrm{d}h = k^1 \cdot \rho_m \cdot \int_O^H V_2^2 \cdot \mathrm{d}h \quad \ldots\ldots\ldots (23)$$

$$\text{als } k^1 \cdot \rho_m = k$$

Daar voor beide bommen de beginsnelheden in vertikalen zin gelijk nul gedacht worden, de eindsnelheden dezelfde zijn en tenslotte bij de normale afwerphoogten de valsnelheden in de lucht slechts weinig afwijken van die in het luchtledige, kan bij benadering worden geschreven:

$$\int_O^H \rho \cdot (H - h) \cdot \mathrm{d}\,h = \rho_m \cdot \int_O^H (H - h) \cdot \mathrm{d}\,h$$

Voor de gemiddelde waarde van de luchtdichtheid in de Ned.-Indische atmosfeer geldt tot een voor het afwerpen van bommen zeer groote hoogte, met groote benadering [3]):

$$\rho_h = \rho_o \cdot (1 - \beta \cdot h + \varepsilon \cdot h^2) \quad \ldots\ldots\ldots (24)$$

waarin $\beta = 936 \cdot 10^{-7}$

en $\varepsilon = 29 \cdot 10^{-10}$, als ρ_o voorstelt de gemiddelde dichtheid in de Indische atmosfeer op zeeniveau, zijnde 0,12038 kg sec^2 m^{-4}, en ρ_h de dichtheid op de hoogte h.

Vergelijking (23) gaat met behulp van (24) over in:

$$\rho_o \cdot \int_O^H (1 - \beta \cdot h + \varepsilon \cdot h^2) \cdot (H - h) \cdot \mathrm{d}h = \tfrac{1}{2} \cdot \rho_m \cdot H^2$$

waaruit men na een kleine herleiding vindt:

$$\rho_m = \rho_o \cdot (1 - \frac{1}{3} \cdot \beta \cdot H + \frac{1}{6} \cdot \varepsilon \cdot H^2)$$

en na invulling der waarden voor β en ε:

$$\rho_m = \rho_o \cdot (1 - 312 \cdot 10^{-7} \cdot H + 48 \cdot 10^{-11} \cdot H^2) \quad (25)$$

Door in de vergelijking (2) k te vervangen door $k^1 \cdot \rho_m$ is te schrijven:

$$M \cdot g = k^1 \cdot (\rho_m)_{H_1} \cdot w_{H_1}^2 \text{ en ook:}$$

$$M \cdot g = k^1 \cdot (\rho_m)_{H_2} \cdot w_{H_2}^2,$$

waaruit verder door deeling en rangschikking gevonden wordt:

$$w_{H_2} = w_{H_1} \cdot \sqrt{\frac{(\rho_m)_{H_1}}{(\rho_m)_{H_2}}} \quad \ldots\ldots\ldots (26)$$

en met behulp van de waarden neergelegd in de vergelijking (25):

$$w_{H_2} = w_{H_1} \cdot \sqrt{\frac{1 - 312 \cdot 10^{-7} \cdot H_1 + 48 \cdot 10^{-11} \cdot H_1^2}{1 - 312 \cdot 10^{-7} \cdot H_2 + 48 \cdot 10^{-11} \cdot H_2^2}}$$

$\ldots\ldots\ldots (27)$

Voert men in vergelijking (27) voor w_{H_1} de maximale valsnelheid op zeeniveau in en beschouwt men h als variable hoogte, dan gaat de vergelijking (27) over in:

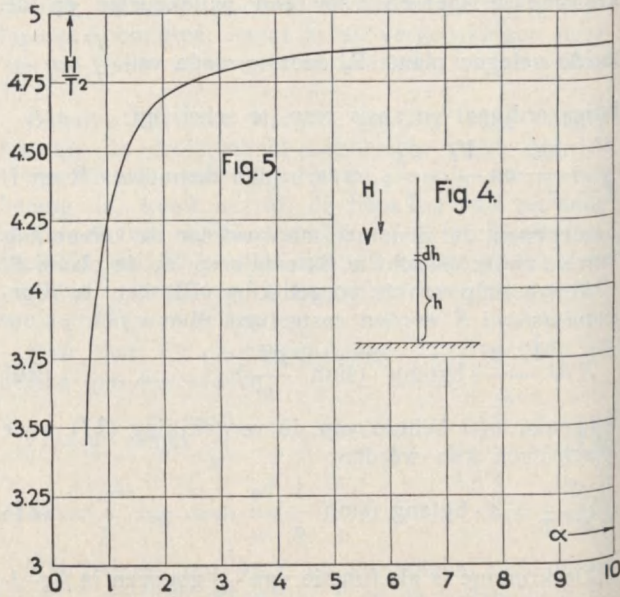
$$\frac{w_h}{w_o} = \sqrt{\frac{1}{1 - 312 \cdot 10^{-7} \cdot h + 48 \cdot 10^{-11} \cdot h^2}} \quad \ldots (28)$$

Een berekening van w_h met behulp van de vergelijking (28) voert met een goede benadering tot de conclusie:

$$w_h = 1{,}016^{\,0{,}001 \cdot h} \cdot w_o \quad \ldots\ldots\ldots (29)$$

Deze vergelijking stelt ons in staat om de maximale valsnelheid w voor elke willekeurige hoogte beneden de 10 000 m — hetwelk in de practijk voorloopig wel de grootste hoogte is van waar bommen zullen worden afgeworpen — te bepalen, als de waarde van den valtijd voor één valhoogte bekend is.

Is n.l. de valtijd voor een zekere hoogte bekend, dan kan de bij die hoogte behoorende maximale snelheid w berekend worden met behulp van vergelijking (17), door eerst middels vergelijking (19) de



3) De juistheid van deze empirische formule zal door den schrijver in een artikel, behandelend de correctie van Europeesche hoogte- en snelheidsmeters in Ned.-Indië, worden aangetoond.

waarde van α te bepalen. Dit kan het eenvoudigst grafisch geschieden met behulp van *fig. 5*, waarin de $\frac{H}{T^2} - \alpha$ — kromme is neergelegd, welke evenals de andere krommen ook onafhankelijk van de bomsoort en de atmosferische omstandigheden is.

De grafische methode ter bepaling van α leidt echter tot niet onbelangrijke onnauwkeurigheden, indien de gemeten valtijd slechts weinig verschilt van dien in het luchtledige, of, wat op hetzelfde neerkomt, als de waarde van w zeer groot is. Nadert $\frac{H}{T^2}$ n.l. tot $\frac{1}{2} \cdot g$ dan nadert α tot ∞ en kan haar waarde niet voldoende duidelijk meer in een algemeene grafiek worden afgelezen. Teneinde nu toch een voldoend nauwkeurige waarde voor w te vinden, dienen we een anderen weg in te slaan en ontwikkelen daartoe het tweede lid van vergelijking (**16**) in een reeks. Men vindt:

$$H = \frac{w^2}{g} \cdot \left\{ \frac{g^2 \cdot T^2}{2 \cdot w^2} - \frac{g^4 \cdot T^4}{12 \cdot w^4} + \frac{g^6 \cdot T^6}{45 \cdot w^6} \ldots\ldots \right\} \ldots (30)$$

Verwaarloozen we den laatst genoteerden term, die in verband met de veronderstelling, dat w groot is, zeer klein is, dan vindt men na eenige rangschikking:

$$w = g \cdot T^2 \cdot \sqrt{\frac{g}{6 \cdot (g \cdot T^2 - 2 \cdot H)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (31)$$

en

$$\alpha = T \sqrt{\frac{g}{6 \cdot (g \cdot T^2 - 2 \cdot H)}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (32)$$

d. Bepaling van den valtijd van een bom van een willekeurige hoogte uit den bekenden valtijd van een andere hoogte.

De kennis van de zoo juist afgeleide variatie van de maximale valsnelheid heeft voor de practijk van het bommenwerpen slechts theoretische waarde; zij is echter van belang, indien men uit enkele bomworpen van één bepaalde hoogte den valtijd voor een andere hoogte wenscht te berekenen:

De vergelijking:

$$H = \frac{w^2}{g} \cdot \log \cosh \frac{gT}{w} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (16)$$

is n.l. ook te schrijven als:

$$T = \frac{w}{g} \cdot \text{bg cosh } e^{\frac{H \cdot g}{w^2}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (33)$$

Wenscht men nu den valtijd van een bom voor een willekeurige valhoogte H te bepalen, dan is het volgens voorgaande vergelijking slechts noodig w te kennen. Laatstgenoemde snelheid kan op de wijze, zooals uiteengezet onder *c*, verkregen worden, indien voor één bepaalde hoogte de valtijd bekend is.

Nadert de valsnelheid in de gebruikte atmosfeer die in het luchtledige, dan behoeft na berekening van w niet van vergelijking (**33**) worden gebruik gemaakt, doch kan de valtijd op een eenvoudiger wijze worden verkregen met behulp van vergelijking (**31**), nadat laatstgenoemde is geschreven in den vorm:

$$T = \frac{w}{g} \cdot \sqrt{3 - \sqrt{9 - \frac{12 \cdot H \cdot g}{w^2}}} \quad \ldots\ldots\ldots (34)$$

e. Bepaling van de trefsnelheid van de bom afgeworpen uit de duikvlucht bij bekenden valtijd.

Worden bommen in duikvlucht afgeworpen, dan stort het vliegtuig zich voor den afwerp met een steeds grooter wordende snelheid ongeveer loodrecht naar beneden en wordt de bom pas afgeworpen, wanneer het vliegtuig op betrekkelijk lage hoogte gekomen zijnde, een groote snelheid heeft verkregen.

Gaan we voor deze wijze van bommenwerpen de baan na, dan kan worden opgemerkt, dat de vergelijkingen (**10**), (**11**) en (**13**) hun beteekenis verloren hebben wegens de loodrechte of nagenoeg loodrechte baan, die de bom op deze wijze verkrijgt. De vergelijking (**9**) blijft echter haar waarde behouden, terwijl tenslotte de vergelijkingen (**12**) en (**14**) een iets andere gedaante verkrijgen, daar thans voor $t = 0$ geldt: $\dot{y} = -w_1$, als w_1 de grootte is van de loodrechte snelheid van het vliegtuig op het tijdstip, dat de bom wordt afgeworpen. Voert men deze voorwaarde in, dan vindt men na eenig rekenwerk:

$$\dot{y} = -w \cdot \text{tangh } (\frac{gt}{w} + c)$$

$$\text{en } y = H + \frac{w^2}{g} \cdot \log \cosh c - \frac{w^2}{g} \cdot \log \cosh (\frac{gt}{w} + c)$$

waarin:

$$c = \text{bgtangh } \frac{w_1}{w}$$

Door invoering $t = T$ en $y = 0$ wordt, afgezien van het teeken, verkregen:

$$V_t = w \cdot \text{tangh } (\frac{gT}{w} + c) \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (35)$$

en

$$H = \frac{w^2}{g} \cdot \log \cosh (\frac{gT}{w} + c) - \frac{w^2}{g} \log \cosh c \ldots (36)$$

Daar zoowel T, H als w_1 bekend worden verondersteld, kan uit de vergelijking (**36**) w grafisch worden opgelost, waarna met behulp der gevonden waarde V_t berekend kan worden.

De op deze wijze uit te voeren berekening is echter vrij bewerkelijk en het lijkt daarom gewenscht hiervoor een, zij het iets minder juiste, dan toch een voldoend nauwkeurige, eenvoudiger rekenwijze in de plaats te stellen.

Denkt men zich de snelheid w_1 ontstaan doordat de bom in het luchtledige gevallen is van een boven H gelegen hoogte H_1 in een tijd T_1, dan kan het vraagstuk van den duikbommenworp teruggebracht worden tot dat van het horizontaal afwerpen, indien men H

slechts vervangt door $H + H_1$ en voor T schrijft $T + T_1$. Deze handelwijze komt neer op het toevoegen van een gebied H_1 met een oneindig kleine luchtdichtheid aan dat van het gebied H met een variable luchtdichtheid en het vervangen van deze gebieden door één gebied ter hoogte $H + H_1$ met een zekere gemiddelde, doch overigens constante, luchtdichtheid. Zooals reeds werd opgemerkt, bleek uit proeven, dat de vervanging der werkelijke luchtdichtheid door een gemiddelde geen aanleiding gaf tot merkbare fouten. Dat het toevoegen van een hoogte met een luchtdichtheid 0 niet tot beduidende fouten leidt, kan door berekening met behulp der vergelijkingen (35) en (36) worden aangetoond, doch kan ook zonder meer worden ingezien, vooral indien mede gelet wordt op de omstandigheid, dat bij een relatief groote w_1 een lage H behoort.

Uit de gewone vergelijkingen voor den vrijen val in het luchtledige:

$H_1 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot T_1^2$ en
$w_1 = g \cdot T_1$ volgt:

$$T_1 = \frac{w_1}{g} \text{ en}$$

$$H_1 = \frac{w_1^2}{2 \cdot g},$$

zoodat in verband met het voorgaande nu kan worden genoteerd:

De trefsnelheid van een bom geworpen in duikvlucht kan op de gewone wijze met behulp der grafiek in fig. 2 worden verkregen door de valhoogte te vermeerderen met $\frac{w_1^2}{2 \cdot g}$ *en den valtijd te vergrooten met* $\frac{w_1}{g}$, *als* w_1 *de duiksnelheid van het vliegtuig voorstelt.*

f. Bepaling der trefsnelheid van een bom afgeworpen op een hoogte H_1 met een duiksnelheid w_1, als slechts de valtijd T bekend is bij den horizontalen bomafworp van een hoogte H.

Wordt een bom afgeworpen bij een duiksnelheid w_1 op een hoogte H_1, dan kan, zooals uit het gestelde onder *e* volgt, de trefsnelheid gevonden worden door de werkelijke baan van de bom te vervangen door die van de bom, die afgeworpen wordt op een hoogte $H_1 + \frac{w_1^2}{2 \cdot g}$.

Is van dezelfde bomsoort bekend, dat de valtijd T bedraagt bij den horizontalen afworp op de hoogte H, dan kan de valtijd voor de hoogte $H_1 + \frac{w_1^2}{2 \cdot g}$ gevonden worden met behulp van een der vergelijkingen (33) of (34), indien de snelheid w voor de beschouwde theoretische hoogte bekend is.

De waarde van de hier benoodigde w is tengevolge van het gebied met een luchtdichtheid nul echter een andere dan die, welke zij bij den horizontalen bomafworp van dezelfde hoogte als de thans aangenomen theoretische zoude zijn, doch kan eveneens met behulp van de vergelijking (26) worden verkregen, indien men echter bij de berekening van ρ_m de vergelijking (23) in den vorm brengt:

$$\int_O^{H_1} \rho \cdot V_2^2 \cdot dh = \rho_m \cdot \int_O^{H_1 + \frac{w_1^2}{2 \cdot g}} V_1^2 \cdot dh$$

waarvoor we schrijven:

$$\int_O^{H_1} \rho \cdot (H_1 + \frac{w_1^2}{2 \cdot g} - h) \cdot dh =$$

$$= \rho_m \cdot \int_O^{H_1 + \frac{w_1^2}{2 \cdot g}} (H_1 + \frac{w_1^2}{2 \cdot g} - h) \cdot dh \quad \ldots\ldots (37)$$

en waarin dan voor ρ de waarde van vergelijking (24) moet worden ingevoerd. De vergelijking (37) levert verder geen moeilijkheden op. Ook hier moge van dit practisch het meest uitgebreide vraagstuk een eenvoudig rekenvoorbeeld volgen.

Geg.: Bij den horizontalen bomafworp bedraagt de valtijd van een bom geworpen van 4 000 m hoogte: 30 sec.

Gevr.: De trefsnelheid van eenzelfde bom geworpen van 2 000 m hoogte uit een duikvlucht met een duiksnelheid van 150 m/sec.

Ber.: Voorziet men de grootheden behoorende bij de duikomstandigheden met een indice *d*, dan is:

$w_1 = 150$ m/sec of $\frac{w_1^2}{2 \cdot g} = 1\,150$ m en dus de theoretische valhoogte $H_d = 2\,000 + 1\,150 = 3\,150$ m

$$\rho_{md} \cdot \int_O^{3\,150} (3\,150 - h) \cdot dh = \frac{3\,150^2}{2} \cdot \rho_m$$

$$\rho_o \cdot \int_O^{2\,000} (3\,150 - h) \cdot (1 - 936 \cdot 10^{-7} \cdot h + 29 \cdot 10^{-10} \cdot h^2) \cdot dh = 1\,976 \cdot 2\,000\, \rho_o$$

$$w_d = w_o \cdot \sqrt{\frac{\rho_{md}}{\rho_o}} = w_o \cdot \sqrt{\frac{3\,150^2}{3\,952 \cdot 2\,000}}$$

Uit de gegevens voor den horizontalen bomafworp volgt:

$$\frac{H}{T^2} = \frac{4\,000}{30 \cdot 30} = 4{,}444,$$

waaruit met behulp van *fig. 5* wordt gevonden:

$\alpha = 1{,}260$ of

$w_{4\,000} = \alpha \cdot g \cdot T_{4\,000} = 1{,}260 \cdot 9{,}78158 \cdot 30$, zoodat

$$w_o = \frac{1{,}260 \cdot 9{,}78158 \cdot 30}{1{,}016^4} \text{ m/sec.}$$

Nu wordt:

$$w_d = \frac{1{,}260 \cdot 9{,}78158 \cdot 30}{1{,}016^4} \sqrt{\frac{3\,150^2}{3\,952 \cdot 2\,000}} = 388{,}8 \text{ m/sec.}$$

Vult men deze waarde in in vergelijking (**34**), dan wordt gevonden:

$$T_d = \frac{388{,}8}{9{,}78158} \sqrt{3 - \sqrt{9 - \frac{12 \cdot 3\,150 \cdot 9{,}78158}{388{,}8^2}}} =$$

$= 26{,}36$ sec.

Verder is:

$$\frac{H_d}{T_d^2} = \frac{3\,150}{26{,}36^2} = 4{,}532$$

met behulp waarvan men uit *fig. 2* vindt: $\frac{V_t}{T} =$

$= 8{,}45$, zoodat de bom een doel op zeeniveau zal treffen met een snelheid $V_t = 8{,}45 \cdot 26{,}36 = 222{,}7$ m/sec.

BERICHTEN VAN ALLERLEI AARD.

Mededeelingen der Redactie.

Bijdragen uit de ingenieurspractijk.

Het wil ons voorkomen, dat het geringe aantal bijdragen, dat tot dusver aan ons tijdschrift ter opname werd aangeboden op het gebied der *ingenieurspractijk*, niet geacht kan worden in overeenstemming te zijn met de de vele belangrijke technische werken, welke hier te lande door onze collega's, zoowel in particulieren als in gouvernementeelen dienst, worden tot stand gebracht, hetgeen uiteraard moet worden betreurd.

Immers behoeft nauwelijks te worden opgemerkt, dat beschrijvingen van uitgevoerde ingenieurswerken, speciale constructies en vooral van ondervonden moeilijkheden, het een en ander toegelicht door duidelijke schetsen en teekeningen, door vakgenooten ten zeerste op prijs zullen worden gesteld.

De Redactie moge hierbij dan ook een ernstig beroep doen op de vele collega's, wier arbeidsveld in de practijk is gelegen, om aan hunne ervaringen in ons tijdschrift wel een zoo ruim mogelijke publiciteit te willen geven.

Niet alleen dat het tijdschrift hierdoor een zuiverder beeld zal geven van het *geheele* arbeidsveld, dat door den ingenieur in Ned.-Indië wordt bestreken, doch ongetwijfeld zullen de gepubliceerde ervaringen in voorkomende gevallen ook tot leering kunnen strekken voor het verkrijgen van doelmatiger constructievormen en betere uitvoeringswijzen.

Wijziging rubrieken in het tijdschrift.

Na gepleegd overleg met de Commissie van Toezicht werd besloten, om met ingang van den nieuwen jaargang 1937 van dit tijdschrift, de volgende wijziging aan te brengen in de hoofdindeeling der opgenomen bijdragen.

De gedeelten *Bouwkunde* en *Waterbouwkunde* zullen voortaan worden samengevoegd tot één rubriek: II. *Bouw- en Waterbouwkunde*, terwijl de hierdoor vrijkomende rubriek *VI* zal worden bestemd voor bijdragen op het gebied der *Technische Hygiëne en Assaineering*.

Jaarregister en omslag.

Als inlage is bij dit nummer gevoegd het register op den jaargang 1936 van *De Ingenieur in Nederlandsch-Indië*.

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

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

Normalisatie.

Bij het Secretariaat van den Normalisatieraad — Bragaweg 38, Bandoeng — zijn verkrijgbaar gesteld de volgende normaalbladen en gewijzigd normaalblad:

Nieuw ontvangen normaalbladen.

Scheepsbouwkunde.

N 450: Scheepsonderdeelen, Spanschroeven, Overzicht en algemeene bepalingen.

N 451: Idem, Spanschroeven, Afmetingen.

Chemisch Bedrijf.

N 598: Zinkwitstandolie.

N 602: Oplos- en Verdunningsmiddelen voor de bereiding van verf en vernis (lak) — groep II: koolteerproducten — Benzol 90%/100 °C.

N 603: Idem. Gereinigde Toluol.

N 604: Idem. Gereinigde Xylol.

N 605: Idem. Solventnaphtha I.

N 606: Idem. Solventnaphtha II.

Artikelen, volgens deze normen gefabriceerd, komen in aanmerking voor de toepassing van het merk NENORM op de verpakking.

Electrotechniek.

N 575: Kabeltoebehooren. Vulmassa voor sterkstroom garnituren. Algemeene voorschriften en Keuringsvoorschriften I.

N 576: Idem. Idem. Keuringsvoorschriften II.

N 577: Idem. Idem. Keuringsvoorschriften III.

N 215: Idem. Aftakklemmen voor ongesneden kabelbekklemmen.

De drie eersten N 575, 576 en 577 vervangen de vervallen normaaalbladen N 52, 53 en 54.

Gewijzigd normaalblad.

De vierde druk is verschenen van het normaalblad:

N 26: Technische Teekeningen, Lijnsoorten en Lijndikten.

WIJZIGINGEN VVSB — VOSB.

Van de door de Hoofdcommissie voor de Normalisatie in Nederland uitgegeven „Voorschriften voor het vervaardigen en ontwerpen van stalen bruggen" VVSB — VOSB 1933 — N 1008 zal binnen afzienbaren tijd een nieuwe druk moeten verschijnen. Hiervan zal gebruik gemaakt worden om inmiddels wenschelijk gebleken wijzigingen aan te brengen. De Bruggencommissie richt derhalve tot allen, die eenigerlei wijziging in overweging zouden willen geven, het verzoek om vóór *1 Januari 1937* een desbetreffend voorstel in te dienen bij den Secretaris der Commissie ir. A. Groeneveld, Prinses Mariannelaan 186, Voorburg.

BOEKBESPREKING.

J. Roorda Jr.
„Radiotechniek".
Uitgave van N. V. Uitgeversmaatschappij Kosmos — Amsterdam. Prijs ing. *f* 4.—, gebonden *f* 4,90.

Roorda is medewerker aan enkele boekwerkjes op het gebied van de radiotechniek, die hebben bewezen aan een behoefte van het Nederlandsch lezend publiek te voldoen. Ik noem daarvan het in samenwerking met ir. J. A. J. Bouman geschreven: *Radiotechnisch Vademecum.* Geheel van eigen hand verscheen het *Handboek der Radiotechniek*, dat in 1931 een tweeden druk mocht beleven. De zich nog steeds in zeer snel tempo ontwikkelende tak van de electrotechniek, die in deze boeken wordt behandeld, maakt het gewenscht bij een nieuwen druk van het laatst genoemde werk zulke ingrijpende veranderingen in den inhoud aan te brengen, dat van een herziene uitgave moeilijk sprake kon zijn. Dit was de aanleiding om te besluiten tot de uitgave van een geheel nieuw boek, dat thans ter recensie voorligt. Daarmede verviel het bezwaar om zooveel mogelijk aansluiting te zoeken bij het bestaande boek en werd een zekere vrijheid verkregen om de stof op geheel andere wijze te behandelen. Dit komt vooral hierin tot uiting, dat er naast een strenge bewijsvoering veel meer de nadruk is gelegd op den physischen achtergrond van de behandelde onderwerpen.

De schrijver heeft het boek in de eerste plaats bestemd voor lezers, die zich vertrouwd wenschen te maken met de wetenschappelijke grondslagen van de radiotechniek. Hij veronderstelt een zekeren graad van ontwikkeling en wel bekendheid met electrotechniek, de wisselstroomtechniek in het bijzonder en met de lagere wiskunde. Uit dien hoofde zou het boek, behalve voor den gewonen lezer, zeer geschikt zijn als leidraad bij de cursussen, die ook hier te lande bestaan voor opleiding in de verschillende vakken der radiotechniek. Het boek heeft daarbij het voordeel, dat veel zorg is besteed aan het bespreken van fundamenteele begrippen, waarop het geheele gebouw van de practische toepassing van de radiotechniek rust, terwijl vermeden is den nadruk te leggen op bepaalde constructies en schakelingen.

Het boek wint door deze beperking tot de physische grondslagen ongetwijfeld aan waarde, doch draagt daarbij wel uitgesproken het stempel van het begrensde ervaringsgebied van den schrijver. Dit maakt het voor den Indischen bestudeerder wat onvolledig. Waar het commercieel radioverkeer in dit uitgestrekt eilandenrijk veel uitgebreider is dan in Nederland, terwijl ook de omroep zich in deze gewesten langzamerhand wat begint te ontwikkelen, is het te betreuren, dat hiermede geen rekening werd gehouden. Ik wil als voorbeeld wijzen op het feit, dat de theorie van de voortplanting der radiogolven, en vooral van de in Indië uitsluitend in gebruik zijnde zeer korte golven, vrijwel niet besproken wordt, terwijl voor een goed begrip van de hierbij optredende verschijnselen dit toch wenschelijk zou zijn. De grondbeginselen, waaruit de gerichte antennes zijn ontwikkeld, worden dan ook overeenkomstig *en bagatelle* behandeld.

Overigens is het boek zeer bruikbaar — ook in Indië — en staat vast, dat hiermede in het Nederlandsch het best werk is gepubliceerd, dat het geheele gebied der radiotechniek overziet.

H. V.

A. Rittmann.
„Vulkane und ihre Tätigkeit."
Verlag Ferdinand Enke, Stuttgart, 1936.

Zoojuist is dit 188 bladz. dikke, door talrijke foto's, teekeningen en diagrammen geïllustreerde boekje verschenen, waarin velen in dit aan vulkanen zoo rijke land belang zullen stellen. Rittmann heeft, doordat hij jaren lang verbonden is geweest aan het „Vulkanologische Institut Imm. Friedlaender" te Napels, de Italiaansche vulkanen grondig kunnen bestudeeren. Hij heeft vooral naam gemaakt door zijn petrologische bewerking van de gesteenten dier vulkanen. Vandaar dan ook, dat in dit werkje een belangrijk deel is gewijd aan de physisch-chemische eigenschappen van het magma.

In het eerste hoofdstuk (50 blz.) wordt behandeld op welke wijzen uitbarstingen kunnen plaats vinden, gevolgd door een systematisch overzicht, waarin naast een zeer korte beschrijving ook de morfologische gevolgen worden aangegeven, terwijl eenige teekeningen duidelijk maken, hoe de vulkanische werking door een diagram kan worden voorgesteld. In een tweede hoofdstuk worden de eruptieproducten en hun chemische samenstelling; in een derde, vorm en bouw der vulkanen besproken. Van zeer groot belang is het vierde hoofdstuk, waarin de physisch-chemische eigenschappen van het magma worden behandeld. Het begint met mededeelingen over de kristallisatieverschijnselen in een afkoelend magma en het ontstaan van de verschillende gesteentesoorten. Uitvoerig worden de verschillende gesteentefamilies, de magmatische differentiatie, de veranderingen door opname van het nevengesteente, de invloed van het gas in het magma en de mechanische werking van het vulkanisme behandeld.

Een zeer interessant hoofdstuk vormt verder de verdeeling van het vulkanisme volgens ruimte en tijd, waarin de diepte der vulkaanhaarden, de verdeeling der vulkanen over de aardoppervlakte (toegelicht aan een overzichtskaart), hun verband met de tektonische breuken en het vulkanisme in vroegere geologische perioden worden besproken. Als slot behandelt Rittmann het verband tusschen vulkanisme en gebergtevorming en daarbij de undatietheorie, waarover hij zegt:

„Die Hauptkraftquelle der Geodynamik und des Vulkanismus sieht van Bemmelen in der aus prägeologischer Zeit ererbten latenten Energie des Magmas. Damit gewinnt die Undationstheorie eine Geschlossenheit und einfache Grosszügigkeit, die sie hinter der klassischen Kontraktionstheorie nicht zurückstehen lässt. Eine ganze Reihe von Tatsachen, die sonst schwer zu erklären sind, werden im Lichte der Undationstheorie zu Selbstverständlichkeiten: So die auf Seite 169 geschilderte Abfolge der Ereignisse

im Orogen und die Anordnung der Vulkane zu Innenbögen, die parallel zu den nichtvulkanischen Aussenbögen mit Faltungstektonik verlaufen; dann auch die zentrifugal gerichtete Ueberschiebungstektonik vieler Gebiete (Karpathen, Westalpen, Molukken usw.).

Obwohl die Undationstheorie noch in den Anfängen steckt und der Ergänzungen und Verbesserungen bedarf, muss man anerkannen, dass sie den Weg zu einer alle geologischen Spezialwissenschaften umfassenden Synthese weist. Und dieser Weg muss beschritten werden. Es kann keine selbständige Theorie des Vulkanismus geben, ebensowenig eine solche der Gebirgsbildung, sondern nur eine gemeinsame geologische Theorie, ein Erklärungsversuch, der das ganze irdische Geschehen umfasst, von dem der Vulkanismus nur ein Teil ist, der nicht aus dem organischen Zusammenhang mit den anderen Teilen herausgerissen werden darf".

Neumann van Padang.

Ontvangen geschriften:

Stuckert, L. Opacifiers in Wet and Dry Enamels. Techn. Pub. Internat. Tin Research Developm. Council. Ser. A, Nr. 42, 1936.

Hanson, D. & Pell-Walpole, W. T. A Further Study of the Constitution of the Cadmium-Tin Alloys. Ibid., Nr. 43, 1936.

Exemplaren van deze publicaties zijn voor belangstellenden op aanvrage gratis verkrijgbaar bij de International Tin Research and Development Council, Prinsessegracht 21, 's-Gravenhage.

PERSONALIA.

Ir. A. P. Baljet, ingenieur bij de S.S., is belast met de functie van chef van de werkplaats te Lahat.

Ir. J. G. von Michalowski, idem, is overgeplaats van Lahat naar Batavia.

Ir. M. Hoedioro, ambt. op wachtgeld, is herbenoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat en geplaats op het dept. van V. en W.

Ir. F. H. van Rijn, laatstelijk ing. bij de S.S., is met ing. van ulto. Sept. 1936 gepensionneerd.

Dr. ir. J. H. Haspers is td. werkz. gesteld als daggelder op het dept. van V. en W.

Aan ir. H. Pomes, ingenieur bij den Dienst van den Mijnbouw, is wegens zes-jarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ing. 16 Mei 1937.

Aan den 1sten luitenant der genie F. C. Kruyt idem, ing. 7 April 1937.

Ir. F. Klein, ing. bij 's Lands Waterstaat t/b van de gemeente Semarang, is toegevoegd aan den Res. der Z. en O. afd. van Borneo.

Ir. J. H. van Rhee, ambt. in tijd. dienst bij de N.I.S., is op verzoek eervol ontslagen als zoodanig, ing. 1 Sept. 1936.

Dr. H. Thate, ingenieur bij de B.P.M., is overgeplaatst van Tjepoe naar Wonokromo.

Ir. W. Th. B. Reimering, idem, is geplaatst te Pladjoe.

Irs. P. H. de Jong en C. D. Doornik, idem, zijn vertrokken met verlof naar Europa, resp. van Pladjoe en van P. Brandan.

Irs. H. J. Houtman en B. A. Geerlings, idem, zijn overgeplaatst, resp. van Miri naar P. Brandan en van Perlak naar Rantau.

De eerste luitenant der genie A. van Houwelingen is overgeplaatst van Tjimahi naar Weltevreden.

Aan den kapitein der genie N. J. Gerharz is wegens zeven-jarigen dienst negen maanden verlof naar Europa verleend, ing. 3 Febr. 1937.

Ir. P. F. Binkhorst, ingenieur bij de S.S., is overgeplaatst van Batavia naar Palembang.

Ir. V. P. Koster, idem, idem van Poerwokerto naar Bandoeng.

Ir. L. Jansen, ambt. van buitenl. verlof terugverwacht, is herbenoemd tot inspecteur bij de S.S. en geplaatst te Bandoeng.

Ir. J. den Boesterd, idem, is benoemd tot ingenieur bij het dept. van V. en W. en werkz. gesteld bij de Boekit-Asam-steenkolen-ontginning.

Aan ir. N. A. A. Smets, ingenieur bij den Dienst van den Mijnbouw, is wegens zes-jarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ing. 16 Juni 1937.

Ir. W. M. den Outer is benoemd tot ingenieur bij de afd. Electriciteitswezen van het dept. van V. & W.

De kapitein der genie J. B. A. Bruning is geplaatst bij den gewest. en plaatselijken geniedienst te Bandoeng.

Aan ir. V. R. van Romondt, wd. leeraar bij de Kon. Wilhelmina School te Batavia, is wegens zes-jarigen dienst acht maanden verlof naar Europa verleend, ing. 16 Juni 1937.

Ir. A. D. J. de Bergh is benoemd tot ingenieur bij het dept. van V. & W., met bepaling, dat hij blijft geplaatst bij het Landswaterkrachtbedrijf „Madioen".

Ir. C. Segond von Banchet, ambt. op non-act., is herbenoemd tot ingenieur bij 's Lands Waterstaat en geplaatst te Modjokerto.

Ir. L. J. Polderman, hoofdambt. van buitenl. verlof terugverwacht, is herbenoemd tot hoofding., hoofd van de Prov. Wat. afd. Pemali-Tjomal te Tegal.

Ir. Th. D. van Maanen, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, is werkzaam gesteld als hoofdingenieur, hoofd van de P.I.A. „Pekalen-Sampean" te Bondowoso.

Ir. H. J. L. M. v. d. Meerendonk is benoemd tot td. wnd. hoofd van de afd. Waterstaat v/h dept. van V. & W.

Ir. H. I. Privé, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, is benoemd tot hoofdingenieur, td. wnd. onderhoofd van voornoemde afdeeling.

Ir. W. F. A. von Nordheim, ingenieur bij de B.P.M., is van Tjepoe vertrokken met verlof naar Europa.

Dr. J. Weeda, geoloog bij de B.P.M., is uit Europa te Balikpapan aangekomen.

Ing. V. P. Ulrich en ir. G. A. A. Middelberg, ingenieurs bij de B.P.M., zijn van Balikpapan vertrokken naar Europa.

Irs. J. G. Brinks en J. J. M. van Baal, idem, zijn overgeplaatst van Balikpapan resp. naar P. Bukom en Pladjoe.

Ir. J. W. Ernste, idem, is na ommekomst van Eur. verlof overgeplaatst naar Mexico.

Ir. C. G. Frohwein is benoemd tot td. inspecteur bij de Arbeidsinspectie te Batavia.

Ir. C. H. G. van Zijll de Jong, inspecteur bij de S.S., is geplaatst te Palembang.

Ir. M. J. Breuning, ing. op wachtgeld bij de N.I.S., is wegens overtolligheid ontslagen.

Ir. L. J. Rens, ing. 2de kl. bij de N.I.S. te Semarang, is bevorderd tot ing. 1ste kl.

Aan ir. L. G. van den Berg, ingenieur bij den Prov. Waterstaat van West-Java, is wegens negenjarigen dienst elf maanden verlof naar Europa verleend, ing. 2 Aug. 1937.

Aan ir. N. E. van Beem, idem, wegens tienjarigen dienst twaalf maanden, ing. 12 April 1937.

Irs. F. C. Versteegh en J. C. Bentz van den Berg, ingenieurs bij de B.P.M., zijn van Pladjoe vertrokken naar Europa.

Dipl. Ing. P. E. Bos is benoemd tot directeur van de N. V. Bataviaasche Verkeersmaatschappij.

Ir. C. H. van Schooneveldt, ingenieur bij 's Lands Waterstaat t.b. Prov. Oost-Java, is geplaatst op het Hoofdkantoor van den Prov. Wat. te Soerabaia.

Ir. J. G. Meerdink, idem t.b. Prov. Midden-Java, is overgeplaatst van Tegal naar Poerwokerto.

Aan ir. J. C. Th. Kroesen, ingenieur bij den Prov. Wat. van Midden-Java, is wegens zes-jarigen dienst acht maanden verlof verleend naar Europa, ing. 5 Juni 1937.

Dr. W. L. Buning, ingenieur bij de B.P.M., is overgeplaatst van Tjepoe naar P. Brandan.

Aan ir. B. L. Dessauvagie, ingenieur bij de S.S., is wegens acht-jarigen dienst tien maanden verlof naar Europa verleend, ing. 16 Juni 1937.

Mr. ir. Ong Swan Yoe, ingenieur bij 's Lands Waterstaat, is overgeplaatst van Bandoeng naar Palembang.

Ir. A. J. Huber, idem, idem van Palembang naar Djambi.

Ir. A. R. Ratner en dr. E. P. Schlaich, ingenieurs bij de B.P.M., zijn uit Europa aangekomen en geplaatst te Balikpapan.

Dr. J. N. J. Perquin, idem, is overgeplaatst van Balikpapan naar den Haag.

Dr. ir. L. van Houten, idem, idem van P. Brandan naar Pladjoe.

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

BESTUURSMEDEDEELINGEN.

Aangenomen en voorgestelde nieuwe leden.

De in No. 10 van dezen jaargang voorgestelde nieuwe leden zijn aangenomen.

Als *Juniorleden* worden voorgesteld:

Oei Sien Khing, student aan de Technische Hoogeschool te Bandoeng;
Ong Tjing Jong, idem, idem;
M. Ali, idem, idem;
Phoa Liong Djoe, idem, idem.

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

Voldoening abonnement 1937.

De aandacht van abonné's (niet-Instituutsleden) wordt er op gevestigd, dat de abonnementen op het tijdschrift voor den jaargang 1937 voldaan moeten worden bij de administratie — Bragaweg 38, Bandoeng — *vóór 1 Maart 1937*.

Over de op genoemden datum nog niet voldane abonnementsgelden zal per postquitantie worden beschikt.

3e JAARGANG
NUMMER 12

DE INGENIEUR
IN NEDERLANDSCH-INDIË

DECEMBER
1936

IV. MIJNBOUW EN GEOLOGIE.
„DE MIJNINGENIEUR"

INHOUD: Zwei interessante fossile Cypraeacea aus Indien (Mollusca Gastropoda), door Dr. Phil. F. A. Schilder. — Over artesische putten en hun totstandkoming, door ir. Th. Nelissen. — Economische Mededeelingen. — Personalia. — Onderscheidingen.

Zwei interessante fossile Cypraeacea aus Indien (Mollusca Gastropoda[1])

von

Dr. PHIL. F. A. SCHILDER,

Biologisches Reichsantstalt, Naumburg-Saale.

1. — Cypraeopsis nov. gen.

Die involute Spira weist den Arten dieses Genus den Platz bei den *Amphiperatidae* an, die in ganzer Länge gut entwickelten Columellarzähne bei den *Sulcocypraeinae,* die oblong-ovale Gestalt, die vorn zusammengeschnürte, ohne vorspringende Vorderecke gleichmässig ausgebogene Fossula und die grob (z. T. alternierend) spiralgerippte Columella bei den *Cyproglobinini.* Die am Rücken callös verdickten Enden, die Rückenfurche und die aus hellen Tropfen bestehende Rückenzeichnung erinnern an *Cypropterina,* besonders an das subg. *Cypraeotrivia;* die gestreckte Gestalt und die nicht verbreiterten Seiten gleichen dagegen den *Transovula,* von denen sich die *Cypraeopsis* jedoch durch das kaum verstärkte Hinterende der Innenlippe (das Fehlen eines eigentlichen Funiculum) und die meist verlängerten Zähne unterscheiden. Die gut ausgebildeten Zähne am Innenrande der Fossula trennen *Cypraeopsis* von allen übrigen *Cyproglobinini* (auch die gerippten *Eotrivia* zeigen nur Spuren solcher Zähnchen) und erinnern an die *Sulcocypraea* und *Eovolva* des Tribus *Sulcocypraeini,* der für *Cypraeopsis* charakteristische Längskiel auf der Innenlippe findet sich ebenfalls bei *Sulcocypraea* sowie bei einigen *Amphiperatinae* (besonders bei *Prionovolva*) mehr oder weniger deutlich ausgeprägt.

Hierher gehören ausser dem Genotypus, *vandervlerki* n.sp. aus dem Miozän von Borneo noch folgende 3 europäische Arten: *laeviappenninica* Sacco[2]) aus dem Unter-Oligozän von Ligurien; *subursellus* Orb.[3]) aus dem Unter-Miozän von Aquitanien; *planodentata* Sacco[4]) aus dem Helvetien von Piemont. Die *Cypraeopsis* haben demnach wohl erst im unteren Oligozän ihren Ausgang von *Cypropterina* genommen, u. zw. wohl in Südeuropa; im Miozän breiteten sie sich bis Südost-Asien aus, *vandervlerki* ist ein extremer Repräsentant des Genus. Sie stehen hier offensichtlich der Wurzel der asiatischen jungen *Amphiperatini* nahe, ähnlich wie die eozänen *Transovula* weiter im Westen dem anderen Ast der *Amphiperatinae,* nämlich den *Volvini.* Wenn auch *vandervlerki* wegen ihrer gezahnten Fossula nicht als das Bindeglied zwischen *Sulcocypraeinae* und *Amphiperatini* angesehen werden kann, so weist ihre Auffindung im Malayischen Archipel doch darauf hin, dass sich die östlichen *Amphiperatini* gerade hier von den *Cyproglobinini* im mittleren Tertiär abgespalten haben müssen.

Cypraeopsis vandervlerki nov. sp.

Schale 9.5 × 5.1 × 4.2 mm (Fig. 1), etwas zylindrisch, gedrückt; Spira involut. Grundskulptur alternierend spiralgerippt [5]), Rippen infolge der Längsstreifen der Schale in Reihen feiner Körner (an den Schnittpunkten gelegen) aufgelöst: diese Skulptur ist nur auf der Columella und am hinteren Ende des Rückens (hier durch die dünne Callus-Schicht durchdringend), besonders in dem dortigen Teile der Rückenfurche sichtbar; sonst ist der Rücken mit einer glatten Schicht überzogen, die etwas links eine seichte, nur an den schrägen Enden tiefer eingedrückte Längsfurche bildet. Basis etwas dicker callös, durch eine scharfrandige Stufe gegen den Rücken abgesetzt; diese Kante verläuft rechts etwa am Aussenrande der Aussenlippe, links auf der Basis etwa in 2/3 der Lippenbreite von der Mündung entfernt und umringt als verschmälertes

1) Die Literatur über *Cypraeacea* ist in Schilder 1932Q: Fossilium Catalogus, pars 1/55 zusammengestellt (hier sind auch die Kennbuchstaben der Jahreszahlen meiner Zitate erklärt); Familien, Unterfamilien und Tribus werden demnächst von mir in den Proc. Malac. Soc. London definiert werden.

2) Schilder 1932L: Rivista Ital. di Paleont., vol. 38, p. 16.

3) Cossmann & Peyrot 1924A: Act. Soc. Linn. Bordeaux, vol. 74, p. 377, t. 10, f. 38-39.

4) Schilder 1932P: Rivista Ital. di Paleont., vol. 38, p. 40.

5) Nach Zählung auf der Columella insgesamt etwa 60 Spiralrippen, darunter etwa 25 feinere Zwischenrippen.

Band den hinteren Mündungsausguss, der vordere ist dorsal mit einer Callusanhäufung bedeckt; die Basis zeigt weiter gegen die Mündung hin einen zweiten, ebenso scharfen Längskiel auf jeder Lippe, der eigentlich wiederum eine Callus-Stufe darstellt [6]) und endwärts von den verlängerten, wenn auch z.T. unterbrochenen Zahnfalten erreicht wird; Hinterende der Innenlippe fast nicht verstärkt; inneres Drittel der Basis flach, zur Mündung geneigt, Aussenlippe vorn konkav. Mündung hinten ziemlich eng, vorn erweitert, hinterer Ausguss weit. Aussenlippe mit 21 Zähnen (die mittleren kurz, die endwärts gelegenen länger, am Kiel als kleine Knoten wieder erscheinend); Innenlippe mit 4 vorderen Terminalfalten (die 3 vordersten verschmelzen an der Mündungskante), 3 groben distanten und 20 feinen Zähnen, von denen die 2 letzten ganz winzig sind und im hinteren Mündungsausguss stehen, die 4 davor stehenden aber verlängert sind. Fossula ziemlich breit, deutlich konkav, hinter dem 4. Terminalzahn zusammengeschnürt, ohne vorn vorspringende Ecke, aber mit 5—6 deutlichen Zahnkerben am Innenrande, tiefster Teil glatt, hinten offen gegen die nicht callöse, die spiralgerippte Grundskulptur zeigende Columella. Basiscallus feinst und sehr dicht gekörnt, die Enden des Rückens zeigen ähnliche, aber zerstreute Körnchen. Rücken mit dichten, ungleich grossen, unregelmässig gerundeten, ja stellenweise verfliessenden weissen Tropfen bedeckt (Fig 1c — Mitte), zwischen denen die gelbliche Grundfarbe netzartig sichtbar wird, Rückenfurche graugelb, Basis weiss.

Unikum von NO. Borneo, Taballar-Kalken, Tertiär e — f, leg. Dr. W. Leupold, im Geol. Rijksmuseum Leiden; Dienst Mijnbouw Ned.-Indië, Wetensch. Mededeelingen No. 9, p. 11) ich widme die Art Herrn Dr. I. M. van der Vlerk, dem ich die Kenntniss mancher interessanter Fossile aus Indien verdanke.

Die folgende Tabelle zeigt die Unterschiede der leider bisher nur in wenigen Stücken bekannten 4 *Cypraeopsis*-Arten:

	laeviappenninica	*subursellus*	*vandervlerki*	*planodentata*
Mittlere Schalenlänge in mm.	18	13	10	19
Mittlere Breite in % der Länge	57	57	54	54
Rückenfurche	oft deutlich	schwach	deutlich	fehlt??
Kielbildung auf der Basis	fehlend	schwach	kräftig	schwach
Zahl der Labial- und Columellarzähne (absolut)	27 : 22	19 [7]) : 18	21 : 21	25 : 20
desgl. für Stücke von 25 mm Länge berechnet [8])	31 : 25	24 : 22	29 : 29	28 : 22
Columellarzähne	kurz bis lang	lang	kurz	kurz
Zähne am Fossula-Innenrand	??	deutlich [8])	deutlich	schwach

Die Kleinheit, zylindrische Gestalt, extreme Kielbildung und grosse Zahl der Columellarzähne stellen *vandervlerki* abseits von den 3 europäischen *Cypraeopsis*, womit die entfernte Lage des Fundortes gut übereinstimmt.

2. — Pseudotrivia nov. gen.

Bisher waren nur 3 tertiäre *Triviinae* aus Indien bekannt: *noetlingi* Vred. [10]) aus dem Mittel-Oligozän von Burma, anscheinend eine *Dolichupis*-Art mit distanten Rippen und glatter Rückenmitte; *smithi* Martin [11]) aus dem Unter-Miozän von Java, nach den vorgezogenen Enden, der groben Skulptur (kurze gewundene Längsrippchen) zwischen den Rippen und der besonders breiten und tiefen Fossula und Columellarfurche zu *Trivirostra* zu stellen, nach der deutlich gerandeten rechten Seite (vgl. die rezente *corinneae* Shaw!) aber als primitives Zwischenglied zwischen *Dolichupis* und *Trivirostra* anzusehen; *atjehensis* Schil. [12]) aus dem Pliozän von Sumatra, wohl eine typische *Trivirostra*; die miozänen *Semitrivia*, *Ellatrivia* und *Nototrivia* sind auf Südaustralien und Neuseeland beschränkt.

Bei meinem letzten Besuche des British Museum sah ich eine weitere neogene *Triviinae*-Art aus Indien, die aber einer ganz anderen Gruppe angehört: ihre nächsten Verwandten sind offensichtlich jene wiederholt besprochenen [13]) rezenten Arten, wie *suavis* Schil., *sibogae* Schepm., *abyssicola* Schepm., *eos* Rob. und *problematica* Schil., welche die zwischen den Rippen glatten *Triviini* des europäischen Faunengebietes mit den hier gekörnten *Pusulini* des indopazifischen und amerikanischen Gebietes verbinden. Für diese Zwischenformen sei jetzt der Genusname *Pseudotrivia* mit dem Genotypus *Trivia sibogae* Schepm. vorgeschlagen.

Pseudotrivia verbindet morphologisch (wie geographisch!) *Trivia* mit *Ellatrivia:* mit ersterem Genus hat sie die glatten, nicht gekörnten Zwischenräume der Rückenrippen, mit letzterem die trotz ziemlich breiter Aussenlippe weite Mündung gemeinsam; die bauchige Gestalt mit dem stark verschmälerten, abgesetzten Vorderende und der bei vielen Arten scharfkantige rechte Seitenrand

6) Es sei ausdrücklich betont, dass der Holotypus in keiner Weise abgerollt ist (was auch schon aus Farbe und Skulptur einzelner Teile hervorgeht); abgerollte Stücke rezenter und fossiler Arten zeigen bisweilen ähnliche, aber nicht natürliche Callus-Stufen.

7) Die Zwischenzähne sind nicht mitgezählt; sie stehen wohl zur Grundskulptur in Beziehung.

8) Schilder & Schilder 1933N: Zoolog. Meded. Leiden, vol. 16, p. 189.

9) Die Angabe bei Cossmann & Peyrot (1924A), dass auch die Columella gezahnt sei, bezieht sich wohl auf die kräftigen Spiralrippen der Grundskulptur.

10) Noetling 1901B: Pal. Indica, n.s., vol. 1/3, p. 293 (*smithi*), t. 19, f. 13.

11) Martin 1887J: Samml. Geol. Reichsmus., ser. 1, vol. 3, p. 141, t. 8, f. 141.

12) Martin 1928A: Mijnbouw Ned. Indië, Wetensch. Meded., vol. 10, p. 18 (spec.); Schilder 1933C: Zoolog. Anzeiger, vol. 102, p. 292, nota 9.

13) „*Trivia*, Gruppe von *T. sibogae*" in Schilder 1927R: Archiv f. Naturgesch., vol. 91, pars A. 10, p. 64 und Schilder 1931C: Zoolog. Anzeiger, vol. 96, p. 70; „*Ellatrivia* (zweite Gruppe)" in Schilder 1932Q: Fossil. Catal., pars 1/55, p. 94; *Ellatrivia*, indopazifische Arten" in Schilder 1935A: Proc. Malac. Soc., vol. 21, p. 332.

erinnert an *Nototrivia;* das vorspringende Hinterende der Aussenlippe und die beiderends scharf zugespitzte Innenlippe ähneln *Trivia mediterranea,* die meist stark reduzierte Fossula ist als primitives Merkmal zu werten.

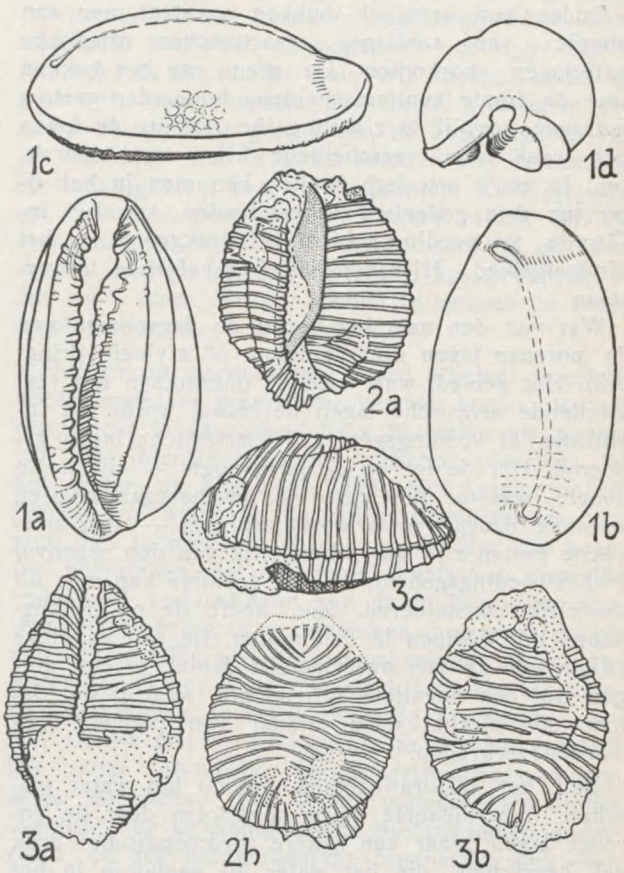
Pseudotrivia coxi nov. sp.

Schale 9.7 × 7.8 × 5.2 mm (breitgedrückter Paratypus, Fig. 2) bis 11.1 × 7.2 × 6.3 mm seitlich zusammengedrückter Holotypus, Fig. 3), ziemlich kugelig, beide Enden vorgezogen und deutlich abgesetzt, Seiten (beim Paratypus: nur rechte Seite) auffällig scharf kielartig gerandet, Spira ganz verdeckt. Basis und Rücken gerippt, Rippen scharf, bisweilen etwas irregulär, am Rücken nicht unterbrochen, sondern an der Stelle der kaum angedeuteten Längsfurche etwas dünner werdend; Zahl der Labialzähne: Columellarzähne: Seitenrippen: Rückenrippen [14]) beim Holotypus etwa 20:18:50:29, beim Paratypus etwa 22:20:54:26; Zwischenräume am Rücken anscheinend ganz glatt. Mündung ziemlich weit (beim Holotypus verdrückt); Aussenlippe längs der Mündung etwas wulstig verstärkt, zwischen dieser Verdickung und dem Seiten-Kiel flach, vorn decliv, hinten sehr weit vorgezogen, kragenartig, Rippen hier besonders scharf; Innenlippe vorn zugespitzt, hinten mit kräftiger, linksgebogener Spitze. Die 3 vordersten Querrippen der Innenlippe sind (wie Terminalfalten der *Cypraeidae!*) längs der Mündung verbunden. Fossula und Columella wenigstens in dem freigelegten äusseren Teile glatt (oder nur beim Entfernen der harten Matrix künstlich geglättet? Das Innere ist beim Holotypus durch harte Matrix, beim Paratypus ausserdem durch eine fest verkittete Muschelschale verdeckt).

Zwei unvollständige Exemplare aus den Gáj-Schichten (Unteres Miocän) von Karachi im British Museum (G. 54300), im Jahre 1849 von W. E. Baker geschenkt. Ich widme diese interessante Art Herrn L. R. Cox, der meine Studien am British Museum seit vielen Jahren in jeder Hinsicht fördert.

Die Verschmelzung der vorderen Columellarzähne und die vielleicht glatte Columella sind für *Triviinae* sehr ungewöhnliche Merkmale (letzteres wohl primitiv!), die Spira ist nicht sichtbar, trotzdem glaube ich nicht, dass es sich um eine zu den *Amphiperatidae,* subfam. *Sulcocypraeinae* gehörige *Eotrivia* (mit involuter Spira) handeln kann; der Gesamthabitus, die Mündung, das Hinterende usw. stellen *coxi* eindeutig in die Unterfamilie *Triviinae* der Familie *Eratoidae.* Der zwischen den Rippen offensichtlich nicht gekörnte Rücken weist sie in die Tribus *Triviini*; die hinten weit vorspringende Aussenlippe, das callös zugespitzte Hinterende der Innenlippe, vielleicht auch die Merkmale der Mündung und des Vorderendes der Innenlippe stellen *coxi* neben *sibogae,* doch sind die Rippen bei *coxi* weniger dicht und weniger regelmässig und die Aussenlippe noch schärfer gerandet.

Die Auffindung einer *Pseudotrivia* in dem Unter-Miozän von Indien ist phylogenetisch von grossem Interesse, denn sie beweist das hohe Alter der in ihren primitiven Merkmalen erkannten, aber bisher fossil noch nicht nachgewiesenen Gruppe. Aus den Ahnen der zweifellos primitivsten *Triviinae,* den nur in Südafrika lebenden *Triviella,* haben sich über *splendidissima*-artige Formen spätestens im Eozän die europäischen *Trivia* entwickelt, wenig später über *costata* und *paucicostata*-artige Formen die *Pseudotrivia* und *Ellatrivia*; von *Pseudotrivia* nahmen wohl die (trotz der engeren Mündung und breiteren Fossula vielleicht am besten zu *Pseudotrivia* zu stellenden) „*Trivia*" der *mediterranea*-Gruppe ihren Ausgang, dann die *Sulcotrivia* und — über *problematica,* die *Sulcotrivia* noch nahesteht, aber nach der körnigen Rückenskulptur nicht mehr zu den *Triviini* gerechnet werden sollte — die *Cleotrivia*; aus *Ellatrivia* entsprangen die übrigen gekörnten *Pusulini.*



Erklärung der Abbildungen.

Fig. 1. *Cypraeopsis vandervlerki* n. sp. (9.5 mm): a=Basis, b=Rücken, c=rechte Seitenansicht, d=Vorderansicht.

Fig 2. *Pseudotrivia coxi* n. sp., Paratypus (9.7 mm): a=Basis, b=Rücken.

Fig 3. *Pseudotrivia coxi* n. sp., Holotypus (11.1 mm): a=Basis, b=Rücken, c=rechte Seitenansicht.

14) Über die Zählweise vergleiche Schilder 1933C: Zoolog. Anzeiger, vol. 102, p. 288.

Over artesische putten en hun totstandkoming

door

ir. TH. NELISSEN,

ingenieur bij het Grondpeilwezen van den Dienst van den Mijnbouw, Bandoeng.

Samenvatting: In het ondervolgende wordt een overzicht gegeven van artesische putten in het algemeen en hun totstandkoming zoowel technisch als adminisratief.

Over artesische putten in het algemeen.

In tegenstelling met het grondwater, dat slechts rust op een impermeabele laag, die het verhindert dieper te zakken, bevindt het artesische water zich in een poreuze, waterdoorlatende zand- of grindlaag, waarvan zoowel dak als vloer uit impermeabele lagen bijv. klei bestaan.

Onder een artesisch bekken verstaat men een complex van aardlagen, waartusschen artesische waterlagen voorkomen. De grens van het bekken naar de diepte kan verscheidene honderden meters bedragen, terwijl in zijdelingsche richting de lagen zich vaak over verscheidene kilometers uitstrekken. In zoo'n artesisch bekken kan men in het algemeen drie gedeelten onderscheiden, t.w. het infiltratie- of voedingsgebied, het drukgebied en het uitvloeigebied. Hieronder is het volgende te verstaan.

Wat van den neerslag boven de dagzoomen van de poreuze lagen niet verdampt of afvloeit, dringt erin. Het gebied, waar zich de dagzoomen der verschillende artesische lagen bevinden, wordt het infiltratie- of voedingsgebied der artesische lagen genoemd. Het debiet en de stijghoogte — dit is de hoogte, waartoe het water in het boorgat opstijgt, wanneer daaruit niets wordt afgetapt — van artesische putten zijn dus afhankelijk van den regenval in het voedingsgebied. In vele gevallen kan men dit duidelijk constateeren. Zoo heeft de put Pilangbango bij Madioen in den natten tijd een positieve stijghoogte en een overvloeiend debiet, in den drogen tijd een negatieve stijghoogte, waarbij het debiet dus slechts door middel van pompen kan worden verkregen.

Van het infiltratiegebied stroomt het water tusschen impermeabele lagen opgesloten door de poreuze lagen, waar een zekere (hydrostatische) druk zal heerschen, die het water bij aanboren in het boorgat doet opstijgen. Dit is nooit het geval bij het gewone grondwater, daar dit niet onder druk staat. De grootte van den druk van het artesische water hangt af van het hoogteverschil tusschen het infiltratiegebied en het punt van aanboren. Het debiet, dat op dat punt zal kunnen worden onttrokken, is behalve van dien druk o.a. afhankelijk van de meerdere of mindere poreusheid der watervoerende lagen, waardoor het water zich met meerdere of mindere snelheid zal voortbewegen.

Tenslotte vloeit het artesische water ergens weder uit de laag en komt dan als bron tevoorschijn, waarvan in verband met de ontstaanswijze vele typen te onderscheiden zijn. Zoo kunnen bronnen o.a. gevormd worden, wanneer de artesische waterlaag door de erosie aangesneden wordt, of wanneer de bovenste impermeabele laag eindigt, of het artesische water ten gevolge van een verschuiving in de aardlagen gedwongen wordt hierlangs op te stijgen.

Vaak komt het echter voor, dat de artesische laag in zee uitmondt. De druk aan het uitvloei-einde van de laag hangt dan natuurlijk af van dien van den zeespiegel ter plaatse en schommelt daarmede op en neer. Het ligt dus voor de hand te veronderstellen, dat met de verandering der getijden ook de stijghoogte van dicht bij de kust gelegen artesische putten verandert (*getijde-werking*). Inderdaad is bij metingen aan de artesische putten Lho Seumawe IV, Perlis en Pangkalan Brandan IV (Noord- en Oost-Sumatra) gebleken, dat de tijdstippen der kleinste en grootste stijghoogten practisch samenvielen met die van laagsten eb- en hoogsten vloedstand van de zee. Hieruit volgt, dat, waar het debiet van een artesischen put binnen bepaalde grenzen theoretisch recht evenredig is met het verschil van stijghoogte en aftaphoogte, op dezelfde aftaphoogte bij eb een kleinere hoeveelheid water uit den put vloeit dan bij vloed; zelfs kan tengevolge van getijdenbewegingen bij geringe stijghoogten de put afwisselend positief en negatief worden. Het spreekt vanzelf, dat men bij het aanleggen van laagreservoirs bij dergelijke putten ten behoeve van (drink-) watervoorzieningen aan het bovengenoemde verschijnsel de noodige aandacht dient te schenken. Zooals te begrijpen is, neemt de invloed van de getijdewerking af naarmate de put zich verder van de kust bevindt.

In verband met de nabijheid tot de zee moet nog op een ander verschijnsel worden gewezen, n.l. dat der *verzouting* van de waterlaag. Monden waterlagen onder zee uit, zoodat het zeewater daarin een eind kan doordringen, dan zal in het algemeen naarmate de afstand tot de zee geringer wordt, het zoutgehalte toenemen tot ondrinkbaar wordens toe. Het verschijnsel doet zich aan de Noordkust van Java in verschillende artesische bekkens voor. Tot hoever deze verzouting zich zal voortzetten, hangt natuurlijk af van verschillende omstandigheden als: poreusheid van de waterlaag, druk en capaciteit van het zoete artesische water, de bedekking van den zeebodem door impermeabel slib enz.

Onafhankelijk van den afstand tot de zee heeft men zout water in boringen in verschillende tot het tertiaire tijdvak behoorende terreinen aangetroffen, zooals ten W. van Grissee, bij Soerabaja, Rembang

enz. De tertiaire aardlagen zijn over het algemeen geplooid en het water van de zich daartusschen bevindende waterlagen is brak of zout. Dit zoutgehalte is waarschijnlijk afkomstig uit deze lagen zelf, die, immers in zee afgezet, met zout water waren doortrokken. Over het algemeen hebben boringen, welke aangezet zijn met het doel artesisch drinkwater uit de tertiaire lagen te verkrijgen, slechts brak of zout water opgeleverd en zijn dus als mislukt te beschouwen. Indien de bovengrond bestaat uit tertiaire mergels, kleisteen, zandsteen, breccies, kalksteen enz. is dus de kans voor het aanboren van zoet artesisch water heel gering. Een uitzondering schijnt wel het tertiaire bekken van Batavia te maken, waarbij het zoutgehalte belangrijk minder was of in den loop der tijden in ruime mate uitgeloogd is. Wat het tertiair op de overige eilanden van den Oost-Indischen Archipel betreft, hiervan is in dit opzicht nog minder bekend. Het behoeft echter, evenals op Java, zooals gezegd, volstrekt niet geheel uitgesloten te zijn, dat deze formatie nog drinkbaar artesisch water kan leveren. Indien dergelijke lagen echter al tengevolge van de plooiing in een stand zijn gebracht, die voor de vorming van artesisch water gunstig is, dan blijft dit in hoofdzaak slechts tot de synclinalen beperkt. Men moet er in tertiaire terreinen evenwel altijd op bedacht zijn onder gasdruk staand zout water aan te treffen, waartegen direct veiligheidsmaatregelen genomen moeten kunnen worden.

Met betrekking tot Nederlandsch-Indië kan als algemeenen regel gelden, dat een artesische boring een goede kans van slagen heeft, indien de plaats gelegen is in de vlakte op niet al te grooten afstand, b.v. eenige kilometers, van den vulkaanvoet. Al naar gelang van de meerdere of mindere vulkanische activiteit wisselen de waterdoorlatende lagen van zand, grind, vulkanische breccies of conglomeraten, meer of minder gespleten lavastroomen, poreuze tuffen enz. af met impermeabele lagen. Zij zijn dus tijdens den opbouw van den gelaagden of stratovulkaan ontstaan, meer of minder hellend, niet of anders tengevolge van onregelmatigheden in het voorterrein slechts zwak gegolfd. Zij zijn meestal slechts tot het kwartair beperkt. Als voorbeeld moeten genoemd worden de artesische putten in de vlakten, welke de directe voortzetting vormen van den Noord- en Zuidvoet van het Hijanggebergte in het Besoekische. Zoo heeft de put te Soembersaroe tijdens het boren een debiet van ca. 6 m³ per minuut geleverd op een aftaphoogte van 1,16 m boven beganen grond (+ b.g.) en bedroeg de stijghoogte zelfs ca. 44,5 m met den manometer opgenomen. De grootste stijghoogte in Indië is waargenomen bij de boring te Kaibon in het regentschap Madioen. Deze bedroeg ca. 60 m b.g., terwijl het debiet op + 3,86 m b.g. ca. 18 m³/min was. Een ander voorbeeld zijn de artesische boringen op de hoogvlakte van Bandoeng, alwaar door de vrijwel geheele insluiting door vulkanen ideale voorwaarden voor het ontstaan van artesische lagen zijn geschapen. De stijghoogte bedroeg bij één der putten ongeveer 21 m en het debiet van den put bij de Bandoengsche kininefabriek ca. 7,2 m³ per minuut op een aftaphoogte van + 1 m b.g. Naarmate de waterlagen zich verder van de vulkanen verwijderen, worden in het algemeen o.a. vanwege geringere korrelgrootte en dientengevolge afnemende poreusheid, ook de debieten kleiner, waarbij het heel dikwijls gebeurt, dat de putten negatief zijn — d.w.z. een stijghoogte bezitten beneden den beganen grond — zoodat het water moet worden opgepompt.

Het debiet van een artesischen put vermindert na het aanboren in langzamer of sneller tempo, totdat een soort evenwichtstoestand is bereikt, m.a.w. totdat de afvloeiing van het water uit den put even groot is als de toevloeiing van het water in de laag. Daarna gaat de put in den loop van eenige tientallen jaren geleidelijk in debiet en stijghoogte achteruit. Zoo kan het gebeuren, dat een put, die oorspronkelijk een positieve stijghoogte bezat, door ouderdom tenslotte een negatieve verkrijgt, zoodat dan ook het debiet niet meer vrij uitvloeit maar opgepompt moet worden. Bij elken artesischen put treedt n.l. al naar gelang van de hoedanigheid van de waterlaag met de jaren behalve een verzanding in de stijgkolom een verzanding om de zijgpijpen op, waardoor deze verstopt kunnen raken. Om dit tegen te gaan moet het water voortdurend met een zekere snelheid uitvloeien, terwijl het gewenscht is om 4 à 5 jaren den put schoon te spoelen en eventueel te persen.

Het groote voordeel van versch afgetapt artesisch water tegenover grondwater bestaat daarin, dat het eerste vrij is van schadelijke bacteriën als gevolg van de intensieve bacteriologische zuivering, die het water op zijn vaak kilometers langen ondergrondschen weg van het infiltratiegebied naar het punt van aanboren heeft ondergaan. Het kan evenwel voorkomen, dat hetzij als gevolg van bepaalde onderlinge verhoudingen van de in het water aanwezige elementen of verbindingen, hetzij als gevolg van een te hoog gehalte aan organische stoffen het water door kleur, reuk en smaak voor de consumptie ongeschikt is. In het scheikundig laboratorium van den Dienst van den Mijnbouw te Bandoeng wordt het water, afkomstig uit de artesische boringen, sinds September 1931 steeds volledig kwantitatief chemisch op de anorganische bestanddeelen onderzocht en ook het percentage organische stof vastgesteld.

De temperatuur van artesisch water is meestal hooger dan die van water aan de aardoppervlakte. Dit komt, doordat het water, dat zich van uit het infiltratiegebied met een zeer geringe snelheid — van de orde van enkele millimeters tot centimeters per minuut — naar de diepte beweegt, den invloed ondervindt van de omringende aardlagen, welke op haar beurt weder afhankelijk zijn van de zgn. geothermische dieptemaat. Het zal dus uiteraard, behalve van de diepte, ook van de grootte van die snelheid afhangen, in hoeverre het artesische water warmte uit de omgeving zal opnemen. Dat die snelheid nauw samenhangt met de poreusheid van de

waterlaag, behoeft wel geen betoog (zie pag. 210). Bestaat deze uit grof grind of is ze sterk gespleten, zooals bij lavastroomen vaak het geval is, zoodat het water zich met groote snelheid naar de diepte beweegt en derhalve slechts weinig warmte aan de omgeving kan onttrekken, dan zal het water in het boorgat ook snel opstijgen en bij overvloeiing een temperatuur bezitten, die belangrijk lager is dan met de geothermische dieptemaat van de streek overeenkomt. Dit verschijnsel doet zich o.a. voor bij den bovenaangehaalden put Soemberbaroe, waar zoowel de diepte- als de uitstroomingstemperatuur van het uit 136 m diepte afkomstige water nagenoeg gelijk zijn en slechts 22°, 5 C bedraagt.

Doel van artesische boringen.

Het boren van artesische putten speciaal voor irrigatiedoeleinden heeft van Gouvernementswege wel enkele malen plaats gehad (o.a. in Bantam), doch de daarmede verkregen hoeveelheid water was voor dat doel te gering. In dat opzicht hebben in de laatste jaren echter artesische boringen naar drinkwater in de residentie's Indramajoe, Madioen en Besoeki meer succes gehad en zijn de aldaar verkregen groote debieten — speciaal voor de hooger gelegen en dus onbevloeide streken — een welkome aanvulling voor de irrigatie. Door verschillende suikerfabrieken op Java zijn echter wel tal van artesische boringen voor bevloeiingsdoeleinden verricht.

Voor de drinkwatervoorziening door middel van artesische putten is sedert 1873 in Indië zeer veel gedaan, niet alleen voor grootere of kleinere groepen van dessa's, maar ook voor grootere steden als gevolg van de toeneming der bevolking en het meerdere gebruik dat deze in verband met betere inzichten omtrent hygiëne van het artesisch water maakt. Zoo baseerden Batavia en Semarang tot circa 20 jaren geleden hun drinkwatervoorziening op artesische putten.

Deze watervoorziening is echter om verschillende redenen vervangen door één uit natuurlijke bronnen. Echter zijn in de laatste drie jaren te Batavia nog een 4-tal artesische boringen verricht ten behoeve van industrieele doeleinden en een 3-tal ten behoeve van zweminrichtingen, terwijl in 1930 een artesische put geslagen werd voor het militair kampement te Meester-Cornelis. Artesische drinkwaterleidingen treft men momenteel, behalve op tal van suikerfabrieken, o.a. te Djember, Bondowoso, Sitoebondo, Kendal en Pekalongan aan, terwijl de gemeente Bandoeng het drinkwater betrekt zoowel uit artesische putten als uit natuurlijke bronnen. Van de Buitenbezittingen zijn vooral te noemen Padang en vele plaatsen aan de Oostkust van Sumatra. Ook te Solok, Menggala, Merauke en Menado slaagden artesische boringen; daarentegen werd te Bandjarmasin en Makasser respectievelijk tot 415 en 700 m geboord zonder (goed) water aan te treffen.

Door het Grondpeilwezen (afgekort Gpw.), dat thans ressorteert onder den Dienst van den Mijnbouw, zijn sinds het begin van zijn bestaan (1871) tot ult° 1935 in totaal over den geheelen Archipel verspreid, ruim 1 100 artesische boringen verricht, waarbij zoowel op boortechnisch als op hydrologisch gebied een groote ervaring is opgedaan.

Een overzicht van de bij de artesische boringen verkregen resultaten, alsmede verschillende beschouwingen en mededeelingen van theoretischen en praktischen aard, vindt men in het Algemeen Gedeelte van het Jaarboek van het Mijnwezen in Nederlandsch-Indië.

Naast het Gpw. hebben in den loop der jaren ook tal van particulieren boringen verricht. Waar nu de zorg voor de ondergrondsche waterhuishouding (beneden de diepte van 15 m) in Nederlandsch-Indië bij het Gpw. berust, zijn uit den aard der zaak ter contrôle van de particuliere boorondernemers wettelijke voorschriften en bepalingen (waarover straks meer) in het leven geroepen, waaraan zij in het belang van een goeden gang van zaken hebben te voldoen. Deze betreffen niet alleen (boor-)technische aangelegenheden, doch ook — en dit is zeker niet minder belangrijk — hydrologische kwesties. Dit laatste is vooral van belang, wanneer boringen niet ver van elkaar op aangrenzende cultuurperceelen of industrieterreinen plaats hebben, waardoor onderlinge debietsbeïnvloeding mogelijk is. Het spreekt vanzelf dat, waar dit aanleiding tot verwikkelingen kan geven, het aanbeveling verdient in een dergelijk geval het boren der putten aan deskundigen over te laten.

Wat het boortechnische gedeelte betreft, spreekt het wel vanzelf, dat het bij een artesische boring op de noodige accuratesse van het personeel aankomt, vooral wanneer het om zwakke en dunne waterlagen op groote diepte gaat; verder op de deugdelijkheid van het te bezigen boormateriaal, in het bijzonder bij zware steenlagen of in zeer slappe nastortende lagen respectievelijk om een breuk van de holle boorstangen of een afstrooping van de bekleedingen als gevolg van knellingen door het omringende gesteente te voorkomen. De opdrachtgever van artesische boringen zij er bovendien voor gewaarschuwd, bij de keuze van den uitvoerder zeker te zijn van een goede „service" voor in de toekomst aan de betreffende putten eventueel te verrichten reparaties, schoonspoelingen enz.

De bij de artesische boringen te volgen boormethode hangt natuurlijk van de grondsoorten af. Op Java b.v. waar in de residentie's Besoeki en Madioen tot ca. 400 m vrijwel over de geheele diepte harde zandsteen wordt aangetroffen, waarin lagen andesietrolsteenen, conglomeraten en breccie's ingeschakeld zijn, wordt door het Gpw. de stampend-spoelende snelslag- of rapidboormethode toegepast. De hiervoor gebruikte boorkranen zijn o.a. die van de Werf C o n r a d (Haarlem) en T r a u z l (Weenen), welke laatste een gewijzigd systeem F a u c k is. Deze kranen worden evenals de benoodigde T r a u z l-, H a y w a r d & T y l e r- en W e i s e & M o n s k i-spoelpompen door Brons- en Dieselmotoren gedreven. In de slappe grondlagen van de vlakten van Batavia, Indramajoe, Brebes e.a. wordt de handdraaiboormethode met machinale spoel- en hijschinrichting gebezigd, terwijl in voorkomende gevallen van de „jerkline" kan worden gebruik gemaakt.

Bij de afwerking van den put wordt een stijgkolom (vaak met een verloren kolom gecombineerd), welke

ter hoogte van de af te tappen waterlagen van de noodige zijgpijpen is voorzien, tot de gewenschte diepte ingelaten en worden de bekleedingen onder gelijktijdig storten van daartoe geschikt materiaal, geheel uitgehaald. De bovenbouw bestaat bij een negatieven put uit een ingemetselde vleugelpomp of, indien het water van grootere diepte dan ca. 6 à 7 m beneden beganen grond moet worden opgevoerd, uit een diepwelpomp met standaard en handwielen. Bij een positieven put worden eenige vrije uitvloeiingen aangebracht naar gelang van de plaatselijke behoefte en een standpijp, welke voorzien is van een dop en luchtgaatjes.

Het Grondpeilwezen van den Dienst van den Mijnbouw.

Lang vóór het tot stand komen van het Gpw. waren reeds sedert 1834 door officieren der Genie en door den dienst der B.O.W. meer of minder geslaagde pogingen aangewend om artesisch water te verkrijgen (Makasser, eiland Onrust, Fort Prins Frederik te Batavia, Semarang, Willem I, Soerakarta in den Kraton, Grissee — de laatste put, onder leiding van P. van Dijk en J. P. Ermeling werd tot 747 m gebracht). De boortechnische dienst van den Mijnbouw (het latere Gpw.) werd eerst bij besluit van den G.G. van 30 Juli 1871 No. 19 (Ind. Stb. 106) ingesteld, waarbij het volgende werd bepaald:

A. Voortaan wordt geen artesische boring van 's landswege uitgevoerd dan na een geologisch onderzoek door een daartoe aan te wijzen Ingenieur van de mijnen.

In verband daarmede zal zoo spoedig mogelijk met een aansluitende geologische opname aangevangen worden in die gedeelten van Java, waar behoefte aan artesisch water bestaat.

B. Alle diepe grondpeilingen worden uitgevoerd vanwege het Mijnwezen.

C. Door de departementen van Oorlog en der Burgerlijke Openbare Werken wordt aan het departement waaronder het Mijnwezen behoort, medegedeeld, waar behoefte aan artesisch water bestaat. Eveneens wordt vanwege het departement van Binnenlandsch bestuur aan gemeld departement bekend gemaakt waar artesische besproeiing voor den landbouw gewenscht wordt.

D. Al het landsgrondpeilmaterieel, thans bij verschillende departementen in gebruik, wordt gebracht onder het beheer van het departement, waartoe de afdeeling Mijnwezen behoort, welk departement zorgt dat het in behoorlijken staat worde gehouden en steeds in voldoende mate aanwezig zij om met gepasten spoed in de verschillende behoeften te kunnen voorzien.

Bij besluit van den G.G. van 31 December 1873 No. 33 (Ind. Stb. No. 280) o.a. werd bepaald, dat „onder den dienst van het Mijnwezen voortaan ook zou ressorteeren de dienst van het Grondpeilwezen, bestaande in: *a* het opsporen door middel van diepe grondpeilingen, van nuttige ertsen, gesteenten, kolenlagen, minerale wateren en oliën; *b* de uitvoering der geologische opneming, zooals deze aan elke diepe grondpeiling behoort vooraf te gaan, voor het geval de samenstelling van den bodem niet reeds door vroegere grondpeilingen voldoende bekend is; *c* het algemeen onderzoek, in verband tot artesische boringen, naar de voorhanden middelen tot voorziening van steden en volkrijke plaatsen van drinkwater of tot irrigatie van landbouwgronden door het opsporen en het aanwijzen van daarvoor geschikte natuurlijke bronnen of goed rivierwater".

Naderhand is tot stand gekomen een regeling van den Dienst van het Grondpeilwezen, vastgesteld bij artikel 6 sub A van het besluit van 12 October 1922 No. 33a (Staatsblad No. 652):

Artikel 1.

(1) De Dienst van het Grondpeilwezen wordt onder de bevelen van het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw als een afzonderlijke dienst geleid door een ingenieur of hoofdingenieur, door den Directeur van Gouvernementsbedrijven na overleg met het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw en na verkregen machtiging der Regeering daartoe aangewezen. Deze dienst heeft tot taak:

a. het algemeen onderzoek, in verband met artesische boringen, naar de voorhanden middelen tot voorziening van steden en volkrijke plaatsen van drinkwater;

b. het uitvoeren en afwerken van boringen naar water;

c. het geven van advies voor en het houden van toezicht op de door anderen dan het grondpeilwezen uit te voeren boringen naar artesisch water, wat het toezicht betreft, voor zoover dit niet onder mijninspectie mocht komen te vallen;

d. alle andere, met de bovenstaande onderwerpen in verband staande of daaruit voortvloeiende werkzaamheden, welke dezen dienst worden opgedragen;

(2) De Leider van den Dienst van het Grondpeilwezen is tevens Hoofd van de overeenkomstige afdeeling van het hoofdkantoor van den Dienst van den Mijnbouw.

Artikel 2.

De Leider oefent zijn ambt uit overeenkomstig eene door den Gouverneur-Generaal vast te stellen instructie.

Hieronder volgt een beknopt overzicht van de administratieve bepalingen met betrekking tot het tot standkomen van artesische boringen in de onderscheiden gebieden van Nederlandsch-Indië.

A. **Aanvraag van een door het Grondpeilwezen uit te voeren artesische boring op Java en Madoera met uitzondering van de Zelfbestuursgebieden Soerakarta en Jogjakarta** zooals bepaald bij regeeringsomslagvel dd. 2 Augustus 1934 No. 17481 (crisismaatregel):

a. door een regentschap.

Het regentschap vraagt bij het Gpw. een artesische boring aan. Indien dit door het Gpw. is goedgekeurd, machtigt het Hoofd van den Dienst

van den Mijnbouw bij besluit dat het Gpw. de boring zal uitvoeren.

b. door een particulier.
Het verzoekschrift wordt ingediend bij het betrokken College van Gedeputeerden van den Provincialen Raad door tusschenkomst van het Gpw. om advies. Indien door het Gpw. goedgekeurd, slaat het College van Gedeputeerden een vergunningsbesluit en het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw een machtigingsbesluit waarbij het Gpw. de boring zal uitvoeren.

Bij BB. 8417 en 10583 werd vóór de instelling der provincie's op Java de aanvraag voor een boring door de Gewestelijke Raden rechtstreeks tot den Directeur van Gouvernementsbedrijven gericht. Deze sloeg dan het besluit waarbij het Gpw. de boring zou uitvoeren.

Bij BB. 11252 werd bepaald dat na de instelling der provincie's op Java het bepaalde bij BB. 8417 en 10583 van kracht blijft. Het kwam in de practijk hierop neer: vóór 1934 doch na de instelling der provincie's werd de aanvraag door het Regentschap tot het College van Gedeputeerden van den Provincialen Raad gericht d.t. van het Gpw. voor advies. Indien door het Gpw. goedgekeurd, sloeg het bovengenoemd college het vergunningsbesluit voor de boring. Vervolgens sloeg het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw het machtigingsbesluit waarbij het Gpw. de boring zou uitvoeren.

De regeling tot het boren en schoonspoelen van en het verrichten van ondergrondsche herstellingen aan artesische putten door anderen dan den Staat is vastgelegd bij Indisch Staatsblad 1912 No. 430 waarin het volgende werd bepaald:

1. Het is verboden zonder schriftelijke vergunning van den Directeur van Gouvernementsbedrijven:
a. op een grootere diepte dan vijftien meters, water aan den bodem te onttrekken;
b. ondergrondsche herstellingen en schoonspoelingen te verrichten aan bestaande, door boring op een grootere diepte dan vijftien meters verkregen artesische putten.

2. Omtrent de door een ander dan door een localen raad gevraagde vergunning wordt de betrokken locale raad en, waar geen zoodanige raad bestaat, het betrokken Hoofd van Gewestelijk bestuur door den Directeur van G. B. gehoord.

3. Bij de toepassing van het vorig lid wordt tot het ressort van een localen raad niet gerekend het daarbinnen gelegen ressort van een anderen localen raad.

4. De gevraagde vergunning kan slechts worden geweigerd wegens strijd met algemeene verordeningen of met het algemeen belang.

5. De Directeur van Gouvernementsbedrijven is bevoegd aan de vergunning zoodanige voorwaarden te verbinden als hij in het algemeen belang noodig acht. Deze zijn vastgelegd bij Bijblad 7964 in een 11-tal „Voorschriften voor het verrichten van boringen voor het onttrekken van water aan den bodem op een grootere diepte dan 15 meter". (d.i. in Indië de grens, die in het algemeen voor de minimumdiepte van artesische lagen is aangenomen).

Aanvraag van een door een particulier uit te voeren artesische boring op Java en Madoera enz.

c. door een particulier.
Precies als onder *sub. b* met dit verschil dat het besluit van het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw vervalt. Daarvoor komt in de plaats een aanbieding van modellen en voorschriften (zie BB 7964) van het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw aan den betreffenden opdrachtgever.

Subsidies.

Gedurende ruim zestig jaren werden aan de autonome ressorten, die geen directe financieele baten uit de putten trokken, in den regel 100% der boorkosten als subsidie verleend. In 1932 besloot de Regeering met het oog op de tijdsomstandigheden, de subsidies voor artesische putten te verminderen, zoodat de betrokken regentschappen een deel der boorkosten zelf moesten dragen, naar gelang van hun financieele draagkracht.

De maatregel bleek in de practijk niet te voldoen, aangezien de regentschappen geen artesische putten meer aanvroegen uit vrees dat de subsidie, welke in totaal aan het regentschap jaarlijks wordt uitgekeerd met de geheele of gedeeltelijke boorkosten zou worden verminderd, waardoor andere urgente regentschapswerken in het gedrang zouden komen.

In Augustus 1934 werd daarom door de Regeering bepaald, dat de te boren putten voorloopig, tot nader orde geheel ten laste zouden komen van den Lande.

De aanvraag om subsidie van een regentschap, dus vóór 1934 geschiedde als volgt:

Het verzoekschrift werd gericht aan den Gouverneur-Generaal d.t. van het College van Gedeputeerden van den Provincialen Raad en meestal ook d.t. van den betrokken Resident. Vergezeld van het advies van Resident en College werd het verzoekschrift doorgestuurd naar den Gouverneur-Generaal d.t. van den Directeur van Verkeer en Waterstaat en van den Directeur van Binnenlandsch Bestuur (decentralisatie). Eerst na advies van beide genoemde Directeuren kreeg de Regeering het rekest in handen.

B. **Aanvraag van een artesische boring, alleen geldend voor Sumatra's Oostkust:**

1. in Zelfbesturende Landschappen met een „*lang politiek contract*".
Er zijn vier gevallen mogelijk:
a. Zelfbestuur vraagt een boring aan, uit te voeren door het Gpw.
b. Zelfbestuur vraagt een boring aan, uit te voeren door een particulier.
c. Particulier vraagt een boring aan, uit te voeren door het Gpw.
d. Particulier vraagt een boring aan, uit te voeren door een particulier.

Sub a. De aanvraag wordt gericht aan den Gouverneur d.t. van het Gpw. voor advies. Indien dit gunstig luidt, slaat het Zelfbestuur het vergunningsbesluit en het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw het besluit tot machtiging dat de boring zal worden uitgevoerd door het Gpw.

Sub b. De aanvraag wordt gericht aan den Gouverneur d.t. van het Gpw. voor advies. Bij gunstig advies slaat het Zelfbestuur het vergunningsbesluit.

Sub c. De aanvraag wordt gericht aan het Zelfbestuur d.t. van den Gouverneur. De Gouverneur vraagt advies van het Gpw. Indien dit gunstig luidt, slaat het Zelfbestuur het vergunningsbesluit en het Hoofd van den Dienst van den Mijnbouw het besluit tot machtiging dat de boring zal worden uitgevoerd door het Gpw.

Sub d. De aanvraag wordt gericht aan het Zelfbestuur d.t. van den Gouverneur. De Gouverneur vraagt advies van het Gpw. Bij gunstig advies slaat het Zelfbestuur het vergunningsbesluit.

2. in Zelfbesturende Landschappen met een „*kort politiek contract*".
Hiervoor geldt hetzelfde als onder *sub. 1* met dit verschil dat de Directeur van Verkeer en Waterstaat het vergunningsbesluit slaat.

N.B. In de gevallen *b* en *d* rust ook op het Zelfbestuur de plicht erop te zien, dat de hand gehouden wordt aan de voorschriften vervat in Bijblad 7964.

Literatuur: Encyclopaedie van Ned.-Indië 1916.
Jaarboeken Mijnwezen (Alg. Ged.).
Archief GPW.

ECONOMISCHE MEDEDEELINGEN.

Mijnbouw Maatschappij Redjang Lebong.

Gedurende de maand October werden:

8 470 tons erts vermalen van gemiddeld { 3,33 dwts. goud per ton. / 20,5 „ zilver per ton.
2 320 „ sands en
6 150 „ slimes behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 1 274 ozs. goud en ca. 7 363 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 82 000,—.
De bedrijfskosten over October bedroegen ± *f* 54 000,—, terwijl voor prospecteeren werden uitgegeven ± *f* nihil.

In aansluiting op zijn telegrafische mededeeling, die in de vorige aflevering van dit tijdschrift (IV. 206) werd gepubliceerd, schrijft de bedrijfsleider van het mijnwerk Lebong Donok ons, dat bij den afbouw van de laatste kruinstrooken (Deckelstossen) op onverwachte uitgebreide verzakkingen van oude opvullingen uit de hoogere niveau's is gestooten, waardoor de verdere afbouw uiterst gevaarlijk zooal niet technisch onmogelijk gemaakt wordt.

De bedrijfsleider voegt hieraan toe:

dat alle afbouwgalerijen en werkplaatsen vulling in vloer, dak en wanden hebben;

dat de nieuw ingebrachte vulling, die nog plastisch is en bovendien door uitdroging krimpt, onvoldoende weerstand biedt aan den druk van de oude opvulling van het hoogere niveau;

dat de galerijen als gevolg daarvan onder zwaren druk staan, die dikwijls zoo groot wordt, dat het werkvolk van de weinige nog overgebleven werkfronten moet worden teruggetrokken naar veilige steengalerijen.

Mijnbouw Maatschappij Simau.

Gedurende de maand October werden:

7 763 tons vermalen van gemiddeld { 8,8 dwts. goud per ton. / 113,— „ zilver per ton.
2 990 „ sands,
4 560 „ slimes en
283 „ concentraten behandeld.

Geëxtraheerd werden ca. 3 394 ozs. goud en ca. 41 766 ozs. zilver ter gezamenlijke waarde van ± *f* 237 000,—.
De bedrijfskosten over October bedroegen ± *f* 108 000,—, terwijl voor montage werd uitgegeven ± *f* 3 000,— en voor prospecteeren der nieuwe vergunningen ± *f* 3 000,—.

Productiecijfers van Aardolie in kgtonnen.

	1936		1935	
	Oct.	t/m Oct.	Oct.	t/m Oct.
Java en Madoera	60 651,9	376 390,3	43 453,7	393 294,3
Noord-Sumatra	54 587,2	550 934,7	73 495,6	776 561,7
Palembang	242 260,2	2 288 970,3	230 779,7	2 042 424,2
Djambi	61 729,5	524 398,1	38 186,2	283 250,9
Oost-Borneo	90 711,9	844 734,1	83 469,4	844 739,1
Tarakan	64 964,6	616 594,7	64 511,3	681 238,4
Boenjoe	212,5	4 534,8	483,–	5 250,4
Ceram	*) 4 800,–	40 289,4	3 766,–	34 733,9
Nederlandsch-Indië	579 917,8	5 246 846,4	538 144,9	5 061 492,9

*) Geschat.

Productiecijfers van Steenkolen in kgtonnen.

	1936		1935	
	Oct.	t/m Oct.	Oct.	t/m Oct.
Gouvernementsbedrijven	66 857	620 014	60 904	585 735
Steenkolen Mij „Parapattan"	20 450	210 010	22 060	213 440
Oost-Borneo Maatschappij	6 877	63 526	7 640	58 803
Loa-Boekit kolenmijnen	2 000 *)	25 568	3 171	31 467

*) Geschat.

PERSONALIA.

Benoemd tot ingenieur bij het Departement van Verkeer en Waterstaat en werkzaam gesteld op het hoofdkantoor van den Dienst van den Mijnbouw, ir. L. S. Badings, ambtenaar van buitenlandsch verlof terugverwacht, laatstelijk ingenieur bij genoemden dienst

Benoemd tot referendaris bij den Dienst van den Mijnbouw, mr. Th. Ch. Krämer, ambtenaar op non-activiteit, laatstelijk idem idem.

Benoemd tot paleontoloog bij den Dienst van den Mijnbouw, dr. Ch. H. Oostingh, ambtenaar van buitenlandsch verlof teruggekeerd, laatstelijk die betrekking bekleed hebbende.

Onderscheidingen.

Prof. dr. G. A. F. Molengraaff, Wassenaar, werd benoemd tot Commandeur in de Orde van Oranje Nassau.

3e JAARGANG
NUMMER 12

DE INGENIEUR IN NEDERLANDSCH-INDIË

DECEMBER
1936

VI. WATERBOUWKUNDE.

INHOUD: Beschouwingen over een 9-tal formules van den vorm $U = f(\eta, R, i)$ voor de berekening van kunstmatige en natuurlijke waterloopen, door ir. J. P. der Weduwen. — Varia.

Beschouwingen over een 9-tal formules van den vorm $U = f(\eta, R, i)$ voor de berekening van kunstmatige en natuurlijke waterloopen

door

ir. J. P. DER WEDUWEN,

ingenieur bij 's Lands Waterstaat ter besch. v/d Prov. West-Java te Batavia-C.

(*Slot*)

De formule van Kutter.

Deze formule, welke door den Zwitserschen ingenieur W. R. Kutter werd ontwikkeld in zijn verhandeling: „Die neuen Formeln für die Bewegung des Wassers in Kanälen und regelmässigen Flussstrecken" in de *Allgemeine Bauzeitung* Jrg. 1870, is te beschouwen als een poging om zooveel mogelijk met één enkele formule alle meetresultaten te omvatten, welke aan het opstellen der formules van Humphreys-Abbot, Darcy-Bazin en Gauckler ten grondslag hebben gelegen.

Hiertoe ging Kutter uit van de formule $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$, met het doel een nieuwen coëff. C op te stellen, welke zoo goed mogelijk zou aansluiten aan de coëfficiënten C der bovengenoemde formules, met uitsluiting evenwel van die in deze coëfficiënten tot uitdrukking komende eigenschappen, welke als niet aanvaardbaar moeten worden beschouwd.

Van deze formules is volgens Humphreys-Abbot—Grebenau:

$$C = \frac{5{,}86 \cdot \beta}{i^{1/4}},$$

volgens Darcy-Bazin:

$$C = \sqrt{\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{R}}},$$

en volgens Gauckler:

$$C = \alpha^2 \cdot R^{1/6} \qquad \text{voor } i > 0{,}000\,7$$

en

$$C = \beta^4 \cdot R^{5/6} \cdot i^{1/2} \qquad \text{voor } i \leq 0{,}000\,7$$

Kutter schrijft nu:

„Ofschoon deze uitdrukkingen voor C onderling ver uiteenloopen en deze bij de formule van Humphreys-Abbot — Grebenau slechts van het verhang en in zeer geringe mate van R, bij de formule van Darcy-Bazin en de eerste formule van Gauckler slechts van R en den ruwheidsgraad en bij de tweede formule van Gauckler van R, i en den ruwheidsgraad afhankelijk zijn, geven deze formules, elk binnen bepaalde grenzen, goede, met de metingen overeenstemmende resultaten.

Zoo geeft de Amerikaansche formule goede uitkomsten bij natuurlijke waterloopen met gering verhang, doch onbruikbare, indien het verhang groot is, terwijl de formules van Darcy-Bazin en Gauckler bij alle waterloopen goede uitkomsten opleveren, behalve juist bij groote rivieren met gering verhang. In dit laatste geval varieert de coëff. C in de tweede formule van Gauckler tegengesteld aan dien in de formule van Humphreys-Abbot — Grebenau, want in de eerstgenoemde formule neemt de coëff. C toe met het verhang, terwijl uit de metingen in de Mississippi het tegengestelde bleek".

Dat in de formule van Humphreys-Abbot — Grebenau geen ruwheidscoëff. voorkomt, acht Kutter geen bezwaar, immers deze formule geldt speciaal voor zeer groote waterloopen, waarbij de graad van ruwheid van bodem en wanden nagenoeg geen invloed meer heeft op de afstrooming.

Als gevolg van het ontbreken van een ruwheidscoëff. is deze formule als algemeen geldig te beschouwen. De formules van Darcy-Bazin en Gauckler bezitten daarentegen geen algemeene geldigheid. Voor de formule van Darcy-Bazin wordt de coëff. C, indien $R = \infty$:

Cat.	$C_{(R=\infty)}$	Verschil
I	81,65	9,10
II	72,55	8,00
III	64,55	4,79
IV	59,76	9,76
V	50,00	

terwijl voor de beide formules van Gauckler $C = \infty$ voor $R = \infty$; de onderlinge verschillen tusschen de coëfficiënten C voor de verschillende categorieën zijn echter eveneens oneindig groot. De formules van Darcy-Bazin en Gauckler komen in zooverre met elkaar overeen, dat $C = 0$ voor $R = 0$.

Kutter stelde nu de volgende voorwaarden vast, waaraan de nieuwe formule zou moeten voldoen:

1e) voor $R = 0$ is $C = 0$;
2e) voor $R = \infty$ is de waarde van C constant voor elken graad van ruwheid, d.w.z. de formule moet algemeen geldig zijn;
3e) zoo goed mogelijk aangepast aan de meetresultaten van Humphreys en Abbot in de Mississippi.

Als grondvorm koos Kutter de formule van Darcy-Bazin.

Omdat de decimaalbreuken α en β gemakkelijk aanleiding kunnen geven tot vergissingen, werd deze formule als volgt omgewerkt:

$$\frac{1}{\alpha + \frac{\beta}{R}} = \frac{1}{\alpha} - \frac{\frac{1}{\alpha} \cdot \frac{\beta}{R}}{\alpha + \frac{\beta}{R}} = \frac{1}{\alpha} - \frac{\frac{\beta}{\alpha^2}}{R + \frac{\beta}{\alpha}};$$

wordt nu nog $\frac{1}{\alpha} = a$ en $\frac{1}{\beta} = b$ gesteld, dan gaat de formule van Darcy-Bazin over in:

$$U = \sqrt{a - \frac{a \cdot b}{R + b}} \cdot \sqrt{R \cdot i}.$$

Deze formule voldoet reeds dadelijk aan de *1e* voorwaarde. Om aan de *2e* voorwaarde te kunnen voldoen moet a constant zijn, terwijl b dan den ruwheidscoëff. voorstelt. De grootheden a en b werden nu echter te groot, wat getalwaarde betreft, derhalve werd de vorm $\sqrt{a - \frac{a \cdot b}{R + b}}$ vervangen door:

$$a - \frac{a \cdot b}{\sqrt{R} + b}.$$

Kutter schreef nu zijn formule in den vorm:

$$U = (a - \frac{a \cdot b}{\sqrt{R} + b}) \cdot \sqrt{R \cdot i},$$

welke nu nog kan worden vereenvoudigd tot:

$$U = \frac{a}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}.$$

Zoowel de metingen in de Mississippi als in kleinere rivieren verricht, wezen uit, dat de coëff. a niet constant kan zijn, doch afhankelijk is van i; uit metingen verricht in kunstmatige waterloopen bleek de invloed van het verhang echter zoo gering te zijn, dat deze kon worden verwaarloosd. Waar deze formule in de eerste plaats bestemd zou zijn voor kunstmatige waterloopen, was het invoeren van een constante waarde voor a alleszins gemotiveerd.

Kutter had nu nog de voorwaarde gesteld, dat zijn formule zoo goed mogelijk moest aanpassen aan de meetresultaten van Humphreys en Abbot. Aangezien bij deze metingen de invloed van de geaardheid van bodem en wanden kon worden verwaarloosd, stelde hij $a = C$. Aangezien C varieert van 57,5 tot 140,4 koos Kutter voor a het gemiddelde van deze uiterste waarden, derhalve: $a = \frac{57{,}5 + 140{,}4}{2} = 100$,

welke waarde eveneens goed aansluit aan de resultaten der door Darcy en Bazin verrichte metingen.

Hieruit volgt dan:

$$U = (100 - \frac{100 \cdot b}{\sqrt{R} + b}) \cdot \sqrt{R \cdot i} = \frac{100}{1 + \frac{b}{\sqrt{R}}} \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

Met behulp van deze formule bepaalde Kutter nu de waarde van den ruwheidscoëff. b uit de metingen van Darcy in goten met zeer gladde wanden en uit metingen verricht in waterloopen met zeer onregelmatige aarden wanden en vond als uiterste waarden: $b = 0{,}12$ en $b = 2{,}44$. Hiertusschen stelde Kutter, zonder metingen als basis, een tiental waarden van b vast, waarbij geen nadere omschrijving van de door deze b-waarden bepaalde graden van ruwheid werd gegeven.

De formule van Ganguillet-Kutter.

De hierboven besproken formule van Kutter is te beschouwen als de vereenvoudigde vorm van de door hem in samenwerking met E. Ganguillet opgestelde formule, welke voor het eerst werd gepubliceerd in het *Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten Vereines*, Jrg. 1869 *).

Bij het opstellen van deze in verschillende opzichten merkwaardige formule werd wederom uitgegaan van de grondformule $U = C \cdot \sqrt{R \cdot i}$, waarvan de coëff. C aan de volgende voorwaarden moest voldoen:

1e) afhankelijk van den graad van ruwheid, doch zoodanig, dat de invloed daarvan afneemt, naarmate R toeneemt;
2e) toenemend met toenemende waarde van R;
3e) afnemend met toenemende waarde van i voor groote waterloopen;
4e) toenemend met toenemende waarde van i voor kleine waterloopen.

Van deze voorwaarden werd de derde vastgesteld naar aanleiding van de uitkomsten der metingen verricht in de Mississippi en verschillende Zwitsersche rivieren, terwijl de vierde haar ontstaan te danken heeft aan een aantal meetresultaten van Bazin.

Om een indruk te krijgen van het verband tusschen de gemiddelde snelheid en het waterspiegelverhang stelden Ganguillet en Kutter, indien voor twee of meer metingen de graad van ruwheid en de grootheid R gelijk waren:

$$U_2 : U_1 = \sqrt[s]{i_2} : \sqrt[s]{i_1}.$$

Op deze wijze werd van een 251-tal onderling vergelijkbare metingen de machtswortel s bepaald:

*) Deze jaargang is, voor zoover bekend, in Ned.-Indië niet aanwezig.

Staat XVI.

s	aantal metingen	s	aantal metingen
1	40	3	16
1,5	65	3,5	8
2	81	4	4
2,5	30	4,5	7

De s-waarden 1 t/m 2,5 hebben betrekking op de kleinere waterloopen, terwijl de waarden 4 en 4,5 werden gevonden uit de metingen in de Mississippi.

Ganguillet en Kutter leidden hun formule op de volgende wijze af, waarbij tot grondslag werd gekozen de formule:

$$C = a - \frac{a \cdot b}{\sqrt{R} + b} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

welke reeds dadelijk aan de tweede voorwaarde voldoet.

Bij de formules van Darcy-Bazin, Gauckler en Kutter wordt de coëff. C voor $R = 1$ m voorgesteld door resp: $\frac{1}{\alpha + \beta}$, $\frac{1}{\alpha^2}$ en $\frac{100}{1 + b}$, waaruit blijkt, dat voor deze waarde van R de coëff. C alleen afhankelijk is van den graad van ruwheid. Zij stelden nu in de af te leiden formule voor $R = 1$ m: $C = \frac{1}{n}$, waarin n de nieuwe ruwheidscoëff. is. Hieruit volgt nu:

$$\frac{1}{n} = a - \frac{a \cdot b}{1 + b} = \frac{a}{1 + b} \text{ of } b = a \cdot n - 1 \ \ldots \ (2)$$

Deze waarde van b gesubstitueerd in (1) geeft:

$$C = a - \frac{a \cdot (a \cdot n - 1)}{\sqrt{R} + a \cdot n - 1} = \frac{a \cdot \sqrt{R}}{\sqrt{R} + a \cdot n - 1} =$$

$$= \frac{a}{1 + \frac{a \cdot n - 1}{\sqrt{R}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Nu moet volgens de derde en vierde voorwaarde de coëff. C een functie zijn van i en wel zoodanig, dat deze voor kleine waarden van R toeneemt, doch voor groote waarden van R afneemt bij toenemende waarden van i.

Wordt nu (3) gedifferentieerd naar a:

$$dC = \frac{(1 - \frac{1}{\sqrt{R}}) \cdot da}{(1 + \frac{a \cdot n - 1}{\sqrt{R}})^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

dan blijkt hieruit, dat dC positief is voor waarden van $R < 1$ m en negatief voor $R > 1$ m, indien da negatief is, d.w.z. indien a afneemt met toenemende waarde van i. De eenvoudigste vorm voor a is nu:

$$a = p + \frac{q}{i} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

waarin p en q constante getallen zijn. Formule (3) gaat dan over in:

$$C = \frac{p + \frac{q}{i}}{1 + \frac{(p + \frac{q}{i}) \cdot n - 1}{\sqrt{R}}} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

waaruit volgt:

$$p + \frac{q}{i} = \frac{C \cdot (\sqrt{R} - 1)}{\sqrt{R} - C \cdot n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

Met behulp van deze laatste formule werden de waarden van p en q bepaald aan de hand van een groot aantal meetresultaten. Voor de grootheid p werden echter waarden gevonden, welke in het algemeen kleiner waren, naarmate de ruwheidscoëff. grooter was. Als gemiddelde stelden Ganguillet en Kutter vast: $p = 23 + \frac{1}{n}$, terwijl voor q werd gevonden: 0,00155. Worden deze waarden van p en q ingevuld in (6), dan ontstaat de formule:

$$C = \frac{23 + \frac{1}{n} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad \ldots \ (8)$$

Dat deze formule voldoet aan de eerste voorwaarde volgt uit de in het hoofdstuk: „De algemeene geldigheid der formules" afgeleide vereenvoudigde formule voor zeer groote waarden van R:

$$U = 0{,}00155 \cdot \sqrt{\frac{R}{i}},$$

waarin de ruwheidscoëff. ontbreekt.

Indien de formule van Ganguillet-Kutter kan worden omgevormd tot een formule van de gedaante:

$$U = (\frac{1}{n})^a \cdot R^{b'} \cdot i^{c'}$$

of:

$$C = (\frac{1}{n})^a \cdot R^{b' - \frac{1}{2}} \cdot i^{c' - \frac{1}{2}} = (\frac{1}{n})^a \cdot R^b \cdot i^c \quad \ldots \ (9)$$

dan zullen de exponenten a, b en c uiteraard functies zijn van de grootheden n, R en i.

Ganguillet en Kutter stelden bij gelijke waarden van n en R:

$$U_2 : U_1 = \sqrt[s]{i_2} : \sqrt[s]{i_1},$$

waaruit volgt:

$$C_2 : C_1 = i_2^{\frac{1}{s} - \frac{1}{2}} : i_1^{\frac{1}{s} - \frac{1}{2}} = i_2^z : i_1^z \quad \ldots\ldots \quad (10)$$

Nu is volgens (9) bij gelijke waarden van n en R:

$$C_2 : C_1 = (\frac{1}{n})^{a_2} \cdot R^{b_2} \cdot i_2^{c_2} : (\frac{1}{n})^{a_1} \cdot R^{b_1} \cdot i_1^{c_1} \quad \ldots \ (11)$$

waarin a_2, b_2 en c_2 functies zijn van n, R en i_2 en a_1, b_1 en c_1 dezelfde functies van n, R en i_1. Uit (**10**) en (**11**) kan nu worden afgeleid:

$$(\frac{1}{n})^{a_2} \cdot R^{b_2} \cdot i_2^{c_2} : (\frac{1}{n})^{a_1} \cdot R^{b_1} \cdot i_1^{c_1} = i_2^{z} : i_1^{z}$$

waaruit volgt, dat de exponent z een functie is van n, R, i_1 en i_2. Dat dit inderdaad het geval is, blijkt duidelijk uit het volgende staatje:

$C_2 : C_1 = i_2^{z} : i_1^{z}$		$R = 5{,}00$ m $n = 0{,}0200$	$R = 2{,}00$ m $n = 0{,}0200$	$R = 5{,}00$ m $n = 0{,}0250$
i_2	i_1	z	z	z
0,005 000	0,000 500	−0,0074	−0,0035	−0,0081
0,005 000	0,000 050	−0,0315	−0,0146	−0,0336
0,000 500	0,000 050	−0,0556	−0,0257	−0,0590

Met de volgende waarden van i_1 en i_2 worden echter geheel andere waarden voor z gevonden:

		$R = 5{,}00$ m $n = 0{,}0200$	$R = 2{,}00$ m $n = 0{,}0200$	$R = 5{,}00$ m $n = 0{,}0250$
i_2	i_1	z	z	z
0,005 500	0,005 000	−0,0019	−0,0008	−0,0022
0,000 550	0,000 500	−0,0169	−0,0080	−0,0186
0,000 055	0,000 050	−0,1044	−0,0469	−0,1070

Uit beide staatjes blijkt overtuigend, dat de waarde van z behalve van n en R in hooge mate afhankelijk is van de waarden van i_1 en i_2, zoodat de door Ganguillet en Kutter opgegeven waarden van s (zie *staat XVI*) slechts zeer betrekkelijk zijn.

Het is nu mogelijk om den exponent z, in den vervolge de momentane exponent z genoemd, te bepalen zonder bij gelijke waarden van n en R twee C-waarden onderling te vergelijken.

Stelt men, indien n en R constant zijn:

$$\frac{C + \triangle C}{C} = (\frac{i + \triangle i}{i})^{z}$$

dan is:

$$\frac{\lg (C + \triangle C) - \lg C}{\triangle C} \cdot \frac{\triangle C}{\triangle i} = z \cdot \frac{\lg (i + \triangle i) - \lg i}{\triangle i}$$

of:

$$\frac{\mathrm{d} \lg C}{\mathrm{d}i} = z \cdot \frac{\mathrm{d} \lg i}{\mathrm{d}i}$$

waaruit volgt:

$$z = \frac{\mathrm{d} \lg C}{\mathrm{d} \lg i} = \frac{\mathrm{d} \lg C}{\mathrm{d}C} \cdot \frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}i} \cdot \frac{\mathrm{d}i}{\mathrm{d} \lg i} =$$

$$= \frac{1}{C} \cdot \frac{\mathrm{d}C}{\mathrm{d}i} \cdot i = \frac{i \cdot \mathrm{d}C}{C \cdot \mathrm{d}i} =$$

$$= \frac{\frac{0{,}00155}{i} \cdot (\frac{1}{\sqrt{R}} - 1) \cdot n}{\left\{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot n\right\} \cdot \left\{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}\right\}} \quad \ldots\ldots\ldots (12)$$

Op geheel overeenkomstige wijze kan nu, indien n en i constant zijn, de momentane exponent y van R worden gevonden uit:

$$\frac{C + \triangle C}{C} = (\frac{R + \triangle R}{R})^{y},$$

waaruit volgt:

$$y = \frac{\mathrm{d} \lg C}{\mathrm{d} \lg R} = \frac{R \cdot \mathrm{d}C}{C \cdot \mathrm{d}R} = \frac{23 + \frac{0{,}00155}{i}}{2 \cdot (\frac{\sqrt{R}}{n} + 23 + \frac{0{,}00155}{i})} \quad \ldots\ldots\ldots (13)$$

en de momentane exponent x van $\frac{1}{n} = K$, indien R en i constant zijn, uit:

$$\frac{C + \triangle C}{C} = (\frac{K + \triangle K}{K})^{x},$$

waaruit volgt:

$$x = \frac{\mathrm{d} \lg C}{\mathrm{d} \lg K} = \frac{K \cdot \mathrm{d}C}{C \cdot \mathrm{d}K} =$$

$$= \frac{\left\{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot n\right\}^2 + \sqrt{R} - 1}{\left\{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot n\right\} \cdot \left\{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot \frac{n}{\sqrt{R}}\right\} \cdot \sqrt{R}} \quad \ldots\ldots\ldots (14)$$

De momentane exponenten x, y en z zijn nu berekend voor een achttal waarden van R en een drietal waarden van i voor $n = 0{,}0125$ en $n = 0{,}0300$.

Staat XVII

		x	y	z
	R \ n	0,0125 — 0,0300	0,0125 — 0,0300	0,0125 — 0,0300
i = 0,005 000	0,2	1,169 — 1,199	0,197 — 0,305	0,0022 — 0,0026
	0,5	1,066 — 1,086	0,146 — 0,249	0,0009 — 0,0011
	1	1	0,113 — 0,206	0
	2	0,945 — 0,919	0,085 — 0,165	−0,0007 — −0,0011
	5	0,890 — 0,827	0,058 — 0,119	−0,0015 — −0,0023
	10	0,859 — 0,770	0,042 — 0,091	−0,0019 — −0,0031
	25	0,829 — 0,711	0,028 — 0,061	−0,0023 — −0,0038
	100	0,803 — 0,654	0,014 — 0,033	−0,0026 — −0,0046
i = 0,000 500	0,2	1,176 — 1,197	0,211 — 0,318	0,0209 — 0,0234
	0,5	1,070 — 1,086	0,161 — 0,263	0,0083 — 0,0103
	1	1	0,123 — 0,220	0
	2	0,945 — 0,917	0,094 — 0,178	−0,0070 — −0,0098
	5	0,881 — 0,819	0,064 — 0,130	−0,0141 — −0,0214
	10	0,848 — 0,759	0,047 — 0,099	−0,0181 — −0,0286
	25	0,815 — 0,696	0,031 — 0,068	−0,0219 — −0,0361
	100	0,786 — 0,633	0,016 — 0,036	−0,0255 — −0,0435
i = 0,000 050	0,2	1,199 — 1,165	0,301 — 0,392	0,1140 — 0,0949
	0,5	1,085 — 1,078	0,244 — 0,348	0,0490 — 0,0447
	1	1	0,202 — 0,309	0
	2	0,920 — 0,906	0,162 — 0,267	−0,0459 — −0,0485
	5	0,829 — 0,802	0,116 — 0,210	−0,0982 — −0,1138
	10	0,773 — 0,720	0,088 — 0,169	−0,1304 — −0,1605
	25	0,716 — 0,626	0,060 — 0,122	−0,1631 — −0,2145
	100	0,660 — 0,521	0,032 — 0,070	−0,1950 — −0,2749

Hoewel dit reeds voor den momentanen exponent z volgt uit de formule:

$$\left(\frac{1}{n}\right)^{a_2} \cdot R^{b_2} \cdot i_2^{c_2} : \left(\frac{1}{n}\right)^{a_1} \cdot R^{b_1} \cdot i_1^{c_1} = i_2^{z} : i_1^{z},$$

moge er nog op worden gewezen, dat de momentane exponenten x, y en z niet identiek zijn met de exponenten a, b en c van formule (9).

De formule van Beyerhaus.

In *Der Bauingenieur*, Jrg. 1921 Nos. 18 en 19, verscheen van de hand van E. Beyerhaus: „Geschwindigkeitsformeln für Wasserlaüfe und massgebendes Gefälle; Mängel der Ganguillet-Kutter'schen Formel und Darlegung eines geeigneten Ersatzes". In dit artikel publiceerde Beyerhaus zijn formule:

$$U = K \cdot R^{0,70} \cdot i^{0,46},$$

getoetst aan de formules van Ganguillet-Kutter en de Chézy met behulp van een 89-tal meetresultaten verdeeld in 25 series, waarbij de grootheid R varieerde van 0,24 m tot 20,65 m en de grootheid i van 0,014 200 tot 0,000 0223.

Het was zijn bedoeling een formule op te stellen, welke zoo goed mogelijk zou aansluiten aan de formule van Ganguillet-Kutter, ondanks de bezwaren, welke tegen deze formule kunnen worden ingebracht.

Beyerhaus ging nu uit van:

$$C = K \cdot R^{p} \cdot i^{q},$$

waarin p en q beide constanten zijn. Deze exponenten werden bepaald uit:

$$C_2 : C_1 = R_2^{p} : R_1^{p} \ (i = \text{constant})$$

en

$$C'_2 : C'_1 = i_2^{q} : i_1^{q} \ (R = \text{constant}),$$

waarbij de C-waarden werden berekend volgens de formule van Ganguillet-Kutter bij gelijke waarden van n.

Voor R_1 = 0,60 m en R_2 = 6,00 m werd gevonden:

i	p	
	n = 0,0250	n = 0,0300
0,001 000	0,157	0,174
0,000 500	0,162	0,184
0,000 200	0,179	0,201
0,000 100	0,202	0,226
0,000 050	0,248	0,270

en voor i_1 = 0,000 050 en i_2 = 0,001 000:

R	q	
	n = 0,0250	n = 0,0300
1,0	0	0
3,0	−0,037	−0,037
6,0	−0,044	−0,057

Beyerhaus koos nu als gemiddelden: p = 0,20 en q = —0,04, waaruit dan volgt:

$$C = K \cdot R^{0,20} \cdot i^{-0,04} \text{ of } U = K \cdot R^{0,70} \cdot i^{0,46} .$$

Tegen deze afleiding kunnen verschillende bezwaren worden ingebracht.

Zooals uit het voorgaande hoofdstuk blijkt, zijn de exponenten p en q in hooge mate afhankelijk van de gekozen waarden van R_1 en R_2 resp. i_1 en i_2; op grond hiervan zijn de op bovenstaande wijze afgeleide gemiddelden als min of meer willekeurig te beschouwen.

De eenige methode om de onzekerheid te elimineeren, welke het gevolg is van de keuze van de verschillende waarden van R en i en hun onderlinge verhouding, bestaat uit het bepalen van de momentane exponenten. Met behulp van de in het vorige hoofdstuk afgeleide formules (**13**) en (**12**) zijn de momentane exponenten y en z berekend, welke dan in de plaats treden van p en q.

i	y			
	R = 6,00 m		R = 0,60 m	
	n = 0,0250	n = 0,0300	n = 0,0250	n = 0,0300
0,001 000	0,100	0,116	0,221	0,244
0,000 500	0,105	0,121	0,229	0,251
0,000 200	0,119	0,137	0,249	0,272
0,000 100	0,141	0,160	0,277	0,299
0,000 050	0,178	0,199	0,318	0,388
R	z			
	i = 0,001 000		i = 0,000 050	
	n = 0,0250	n = 0,0300	n = 0,0250	n = 0,0300
1,0	0	0	0	0
3,0	−0,0075	−0,0079	−0,0783	−0,0775
6,0	−0,0114	−0,0122	−0,1258	−0,1264

Vooral de momentane exponenten z en de exponenten q vertoonen verhoudingsgewijs onderling zeer groote verschillen, hetgeen nog duidelijker aan den dag treedt, indien de grootheden $i^{-0,04}$, i^q en i^z worden becijferd:

R	0,001 000$^{-0,04}$	0,001 000^q		0,001 000^z	
		n = 0,0250	n = 0,0300	n = 0,0250	n = 0,0300
1,0	1,318	1	1	1	1
3,0	1,318	1,291	1,291	1,053	1,056
6,0	1,318	1,355	1,483	1,082	1,088
R	0,000 050$^{-0,04}$	0,000 050^q		0,000 050^z	
		n = 0,0250	n = 0,0300	n = 0,0250	n = 0,0300
1,0	1,486	1	1	1	1
3,0	1,486	1,443	1,443	2,122	2,154
6,0	1,486	1,546	1,759	3,476	3,497

Aan het einde van het vorige hoofdstuk werd aangetoond dat, indien x, y en z de momentane exponenten zijn voor een bepaalde waarde van n, R en i, C *niet* gelijk is aan $\left(\frac{1}{n}\right)^x \cdot R^y \cdot i^z$ en evenmin evenredig met een dezer factoren.

In verband hiermede kan de coëff. C van Ganguillet-Kutter niet evenredig worden gesteld aan $R^{0,20} \cdot i^{-0,04}$, zoodat aan de uitspraak van Beyerhaus, dat er nauwelijks een formule denkbaar is, welke beter aan die van Ganguillet-Kutter aansluit dan zijn formule, niet veel waarde mag worden gehecht.

De formule van Harder.

P. E. Harder ging in zijn „Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen" (1878) uit van de volgende formule van de snelheidsverdeeling in het dwarsprofiel (zie *fig. 13*):

$$U = U_s + \sqrt{c_1 \cdot i \cdot (h \cdot z - \frac{1}{2} \cdot z^2)} \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

waarin: U_s = de snelheid langs den bodem,
c_1 = een constante,
h = de hoogte van het snelste waterdeeltje boven den bodem.

De gemiddelde snelheid over deze hoogte h is nu:

$$U = \frac{1}{h} \cdot \int_0^h U \cdot dz = U_s + \frac{\pi \cdot \sqrt{c_1}}{4 \cdot \sqrt{2}} \cdot h \cdot \sqrt{i} \ldots\ldots (2)$$

Voor de gemiddelde snelheid over de hoogte H, de waterdiepte in het profiel, vervangt Harder h door H:

$$U = U_s + \frac{\pi \cdot \sqrt{c_1}}{4 \cdot \sqrt{2}} \cdot H \cdot \sqrt{i} = U_s + c_2 \cdot H \cdot \sqrt{i} \cdots (3)$$

waarin $c_2 = \frac{\pi \cdot \sqrt{c_1}}{4 \cdot \sqrt{2}}$ = een constante.

Uitgaande van de veronderstelling, dat de weerstand langs den bodem evenredig is met U_S^2, terwijl deze weerstand bij eenparige waterbeweging gelijk is aan de componente van de zwaartekracht $H \cdot i$, komt Harder nu tot de vergelijking:

$$c_3 \cdot U_S^2 = H \cdot i \quad \ldots\ldots\ldots (4)$$

waarin c_3 weer een constante is.

Ingevuld in (**3**) geeft dit:

$$U = \sqrt{\frac{H \cdot i}{c_3}} + c_2 \cdot H \cdot \sqrt{i} \quad \ldots\ldots\ldots (5)$$

Wordt nu nog $H = R$ gesteld, dan volgt hieruit:

$$U = c_4 \cdot \sqrt{R \cdot i} + c_2 \cdot R \cdot \sqrt{i} = (c_4 + c_2 \cdot \sqrt{R}) \cdot \sqrt{R \cdot i} \quad \ldots\ldots\ldots (6)$$

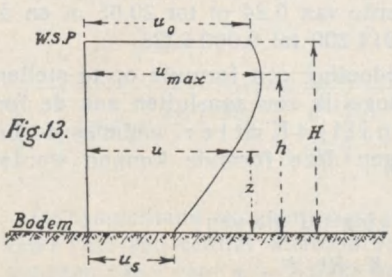


Fig. 13.

Uit een aantal meetresultaten leidde Harder af, dat alleen de coëff. c_4 afhankelijk is van de geaardheid van bodem en wanden en c_2 = 7,254 kan worden gesteld,

zoodat deze formule uiteindelijk wordt:

$$U = (c + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}) \cdot \sqrt{R \cdot i}\ .$$

(Het bovenstaande is ontleend aan „Hydraulik" van Prof. Forchheimer.)

Harder bepaalde de waarde van den gladheidscoëff. c voor de volgende gevallen:

Cat.	Omschrijving	
I	Zeer gladde wanden (cement, geschaafd hout).....	$c = 70{,}5$
II	Gladde wanden (planken, baksteen)...	$c = 56{,}0$
III	Aarden wanden en wanden van ruw breuksteenmetselwerk.....	$c = 36{,}27$

Het bepalen van de gemiddelde fout.

De in de voorgaande hoofdstukken besproken 9 formules voor de berekening van kunstmatige en natuurlijke waterloopen zijn onderling getoetst aan een 345-tal metingen, welke in den loop van de 19de eeuw door een groot aantal onderzoekers werden verricht.

De resultaten dezer metingen zijn door Bazin bijeengebracht in een aanhangsel van de reeds genoemde publicatie „Etude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts" verschenen in de *Annales des Ponts et Chaussées*, Jrg. 1897. Deze metingen zijn verdeeld in 6 groepen, welke zoo goed mogelijk overeenkomen met de door Bazin vastgestelde categorieën:

Cat. I Zeer gladde wanden.
„ II Gladde wanden.
„ III Weinig gladde wanden.
„ IV Zeer regelmatige aarden wanden.
„ V Weinig regelmatige aarden wanden.
„ VI Zeer onregelmatige aarden wanden.

Van deze 345 metingen bewegen de opgemeten grootheden U, R en i zich tusschen de volgende grenzen:

Groep (Categorie)	U	R	i
I	0,771—2,008	0,200—2,195	0,000 110 —0,003 275
II	0,336—1 198	0,152—1,170	0,000 1326—0,000 5810
III	0,491—1,553	0,848—1,561	0,000 0677—0,000 7332
IV	0,271—1,633	0,179—2,426	0,000 150 —0,002 000
V	0,137—2,416	0,512—5,604	0,000 0303—0,001 1360
VI	0,260—4,220	0,077—2,252	0,000 143 —0,017 000

Elke groep bestaat uit een kleiner of grooter aantal reeksen en elke reeks omvat een aantal bij elkander behoorende metingen, soms slechts één meting, verricht in één en denzelfden waterloop. Deze reeksen zijn nu onderverdeeld in series naar de grootte van R, n.l. $< 0{,}5$ m; 0,5 — 1,0 m; 1,0 — 2,0 m; 2,0 — 4,0 m; en $> 4{,}0$ m.

Met de gegeven grootheden U, R en i zijn voor elke meting de coëfficiënten K_G, K_F, K_B en $K_{Ch} = C$ berekend, resp. voorstellende de gladheidscoëfficiënten van Gauckler-Manning, Forchheimer, Beyerhaus en de Chézy. Met behulp van den aldus gevonden coëff. van de Chézy C zijn nu weer voor elke meting de coëfficiënten b, n_G, γ en c becijferd, resp. voorstellende de ruwheidscoëfficiënten van Kutter, Ganguillet-Kutter en Bazin en de gladheidscoëff. van Harder, voor de bepaling waarvan achtereenvolgens werden gebruikt de formules:

$$b = \frac{100 - C}{C} \cdot \sqrt{R}$$

$$n_G = \frac{\sqrt{(C-A)^2 + 4 \cdot B \cdot C} - (C - A)}{2 \cdot B \cdot C}$$

waarin $A = 23 + \dfrac{0{,}00155}{i}$ en $B = \dfrac{A}{\sqrt{R}}$

$$\gamma = \frac{87 - C}{C} \cdot \sqrt{R} \quad \text{en} \quad c = C - 7{,}254 \cdot \sqrt{R}$$

De ruwheidscoëff. van Steevensz zou nu moeten worden opgelost uit:

$$G = \frac{1}{n_S} \cdot R^{10 \cdot n_S - 0{,}01}$$

hetgeen slechts probeerenderwijs mogelijk is. Van deze al te tijdroovende werkwijze is echter afgezien; zooals hieronder nader zal worden aangegeven, is n_S bepaald met behulp van γ.

Nadat voor alle metingen de verschillende gladheids- en ruwheidscoëfficiënten, met uitzondering van n_S, waren bepaald, werd voor elke groep het rekenkundig gemiddelde (groepsgemiddelde) vastgesteld. Voor deze coëfficiënten en groepsgemiddelden, deze laatste aangeduid met ′, werden nu de volgende waarden gevonden:

Staat XVIII

Groep	I	II	III	IV	V	VI
Aantal metingen	17	42	10	43	175	58
K_G	75,11 — 103,09	71,34 — 88,37	55,29 — 66,61	37,90 — 52,50	32,26 — 49,50	16,67 — 40,53
K'_G	94,53	79,78	63,12	46,67	41,02	24,47
K_F	73,53 — 108,78	71,74 — 94,09	54,48 — 66,97	39,98 — 54,24	32,77 — 47,78	16,83 — 40,41
K'_F	97,98	81,69	63,35	46,85	39,75	29,86
K_B	51,06 — 86,11	50,19 — 66,78	39,43 — 48,23	29,85 — 39,11	22,81 — 33,13	13,85 — 33,56
K'_B	73,15	57,85	45,54	34,30	28,24	23,82
$K_{Ch} = C$	75,85 — 86,05	60,97 — 76,99	59,55 — 64,80	28,45 — 57,84	27,81 — 61,16	15,46 — 39,72
K'_{Ch}	79,89	71,14	61,98	46,38	48,14	27,78
b	0,120 — 0,281	0,214 — 0,407	0,500 — 0,849	0,762 — 1,421	1,061 — 2,709	1,149 — 4,574
b'	0,159	0,290	0,588	1,105	1,742	2,270
n_G	0,0103 — 0,0140	0,0111 — 0,0142	0,0149 — 0,0180	0,0192 — 0,0243	0,0204 — 0,0314	0,0288 — 0,0765
n'_G	0,0111	0,0126	0,0159	0,0212	0,0252	0,0351
γ	0,016 — 0,076	0,107 — 0,256	0,316 — 0,576	0,583 — 1,043	0,797 — 2,065	0,964 — 3,868
γ'	0,051	0,158	0,387	0,840	1,303	1,865
c	72,60 — 79,71	57,50 — 71,05	50,49 — 58,12	25,38 — 47,32	25,93 — 47,48	9,61 — 33,56
c'	74,97	65,87	55,06	39,03	36,24	21,60

Uit dezen *staat* blijkt, dat de gladheids- en ruwheidscoëfficiënten in de groepen I en II, met uitzondering van K_{Ch}, γ en c, geheel of gedeeltelijk samenvallen, terwijl dit voor de groepen IV, V en VI zonder uitzondering het geval is.

Groepsgewijs hebben nu de volgende bewerkingen plaats gehad.

Ten aanzien van de formules van Kutter, Ganguillet-Kutter, Bazin en Harder zijn met de groepsgemiddelden en de gegeven waarden van R en i (deze laatste grootheid alleen in de formule van Ganguillet-Kutter) voor elke meting de coëfficiënten $\bar{C}_K$, $\bar{C}_{GK}$, $\bar{C}_B$ en $\bar{C}_H$ berekend, waarbij:

$$\bar{C}_K = \frac{100}{1 + \frac{b'}{\sqrt{R}}}, \quad \bar{C}_{GK} = \frac{23 + \frac{1}{n'_G} + \frac{0{,}00155}{i}}{1 + (23 + \frac{0{,}00155}{i}) \cdot \frac{n'_G}{\sqrt{R}}},$$

$$\bar{C}_B = \frac{87}{1 + \frac{\gamma'}{\sqrt{R}}} \text{ en } \bar{C}_H = c' + 7{,}254 \cdot \sqrt{R}$$

Wat de formule van Steevensz betreft, moest nu nog voor elke meting de coëff.:

$$\bar{C}_S = \frac{1}{n'_S} \cdot R^{10 \cdot n' - 0{,}01}_S$$

worden becijferd. Waar echter, zooals hierboven reeds vermeld, de coëfficiënten n_S en daarmede de groepsgemiddelde n'_S niet waren berekend, werd voor $\bar{C}_S$ een benaderingsformule opgesteld. Tusschen de formule van Steevensz en die van Bazin bestaat voor $R = 1$ m het verband: $\frac{1}{n_S} = \frac{87}{1 + \gamma}$; wordt nu $n'_S = \frac{1 + \gamma'}{87}$ gesteld, dan volgt hieruit:

$$\bar{C}_S = \frac{87}{1 + \gamma'} \cdot R^{0{,}115 \cdot \gamma' + 0{,}105}.$$

Voor de formules van Gauckler-Manning, Forchheimer, Beyerhaus en de Chézy zijn nu voor elke meting de verschillen D bepaald tusschen de coëfficiënten K_G, K_F, K_B, en K_{Ch} eenerzijds en de coëfficiënten K'_G, K'_F K'_B en K'_{Ch} anderzijds en voor de overige formules de verschillen tusschen de coëfficiënten $\bar{C}_S$, $\bar{C}_K$, $\bar{C}_{GK}$ $\bar{C}_B$ en $\bar{C}_H$ en de coëff. $K_{Ch} = C$, derhalve:

a.	Gauckler-Manning	$D = K_G - K'_G$
b.	Forchheimer	$D = K_F - K'_F$
c.	Beyerhaus	$D = K_B - K'_B$
d.	de Chézy	$D = C - K'_{Ch}$
e.	Steevensz	$D = \bar{C}_S - C$
f.	Kutter	$D = \bar{C}_K - C$
g.	Ganguillet-Kutter	$D = \bar{C}_{GK} - C$
h.	Bazin	$D = \bar{C}_B - C$
i.	Harder	$D = \bar{C}_H - C$

Voor alle formules is de som der algebraïsche verschillen (ΣD) en de som der absolute verschillen (ΣD_{abs}) bepaald.

Voor de onder *a* t/m *d* genoemde formules is uiteraard $\Sigma D = 0$, immers $\Sigma K = \Sigma K'$; voor de overige formules behoeft dit echter met de in eerste instantie berekende groepsgemiddelden niet altijd het geval te zijn. Zoo werd b.v. voor groep IV gevonden

$\gamma' = 0{,}84$, terwijl ΣD minimum bleek te zijn voor $\gamma' = 0{,}82$. De voorwaarde, dat ΣD minimum moet zijn, is noodzakelijk, omdat eerst dan ΣD_{abs} minimum is. Op grond hiervan was het noodig verschillende groepsgemiddelden te herzien, in verband waarmede de correspondeerende coëfficiënten $\overline{C}$ opnieuw moesten worden vastgesteld.

Evenals bij de bewerking van de meetresultaten van Scobey (zie het hfdst. „De formule van Gauckler-Manning) is ook hier het quotient van de som der absolute verschillen en de som der coëfficiënten K resp. C weer te beschouwen als een maat voor de gemiddelde afwijking, welke het gevolg is van het gebruik van elk dezer formules. Uitgedrukt in procenten bedraagt deze gemiddelde afwijking nu:

$$\frac{100 \cdot \Sigma D_{abs}}{\Sigma K} \text{ resp. } \frac{100 \cdot \Sigma D_{abs}}{\Sigma C}.$$

Gevonden werd, uitgedrukt in %:

Staat XIX

Groep	I	II	III	IV	V	VI
Aantal metingen	17	42	10	43	175	58
Gauckler-Manning..	9,01	4,32	2,48	6,24	6,06	15,92
Forch-heimer....	11,18	5,07	2,80	5,41	5,99	15,61
Beyerhaus.	14,88	5,07	3,26	5,16	6,70	15,45
de Chézy....	3,34	3,72	1,16	14,96	8,91	20,04
Steevensz..	8,73	4,45	2,90	5,08	6,38	15,36
Kutter.....	4,11	3,90	2,71	5,34	6,50	15,88
Ganguillet-Kutter....	8,04	4,54	3,29	5,13	6,62	17,40
Bazin	1,43	2,93	2,58	4,58	5,93	15,67
Harder.....	1,61	2,93	1,52	10,12	6,56	16,89

Om nu één enkel cijfer te verkrijgen, dat voor deze 345 metingen voor elk der formules de gemiddelde afwijking aangeeft, is aan elke groep een gewicht toegekend, dat in getalwaarde gelijk is aan het aantal metingen, waaruit elke groep bestaat. Deze gemiddelde afwijking bedraagt dan in %:

Staat XX

Gauckler-Manning.....	7,57
Forchheimer.....	7,59
Beyerhaus.....	8,08
de Chézy.....	10,40
Steevensz	7,51
Kutter.....	7,39
Ganguillet-Kutter.....	7,97
Bazin	6,72
Harder.....	7,91

Zooals reeds vermeld, bestaat elke groep uit een aantal series. De coëfficiënten K_G, K_F, K_B, K_{Ch}, $\overline{C}_S$, $\overline{C}_K$, $\overline{C}_{GK}$, $\overline{C}_B$ en $\overline{C}_H$ van elke serie worden nu voorgesteld door het rekenkundig gemiddelde van deze coëfficiënten uit de metingen, welke tezamen de serie vormen, terwijl de coëfficiënten K'_G, K'_F, K'_B en K'_{Ch} weer de groepsgemiddelden, d.w.z de gemiddelde waarden der seriegemiddelden, voorstellen.

Op geheel overeenkomstige wijze is nu wederom voor elke formule groepsgewijs de som ΣD_{abs} bepaald en met behulp hiervan de gemiddelde afwijking berekend, welke in % uitgedrukt bedraagt:

Staat XIX

Groep	I	II	III	IV	V	VI
Aantal series	4	8	2	11	50	15
Gauckler-Manning	9,29	4,73	7,29	4,53	5,50	10,06
Forchheimer.....	11,33	5,64	8,30	4,43	5,15	9,22
Beyerhaus.	14,96	5,26	7,92	3,83	5,85	10,02
de Chézy...	2,65	3,94	2,22	12,73	10,21	17,88
Steevensz.	7,98	4,10	7,02	4,10	5,64	8,35
Kutter.....	4,23	3,99	7,91	4,83	5,97	9,50
Ganguillet-Kutter....	7,62	5,13	7,02	4,09	6,03	11,74
Bazin.....	1,44	3,17	6,47	4,06	5,15	8,84
Harder.....	2,52	2,86	4,17	8,89	6,63	13,00

Voor deze 90 series bedraagt nu de gemiddelde afwijking, uitgedrukt in %, voor elk dezer formules, indien aan elke groep een gewicht wordt toegekend, dat in getalwaarde gelijk is aan het aantal series, waaruit de groepen bestaan:

Staat XXII

Gauckler-Manning.....	6,28
Forchheimer.....	6,13
Beyerhaus.....	6,70
de Chézy.....	10,73
Steevensz.....	5,90
Kutter.....	6,21
Ganguillet-Kutter.....	6,76
Bazin	5,32
Harder.....	7,40

Als gemiddelde fout is nu aangenomen de gemiddelde waarde van de beide hierboven becijferde afwijkingen; deze bedraagt dan voor elk der formules, uitgedrukt in %:

Staat XXIII

	gemid. fout	verh.-getal
Gauckler-Manning..	6,93	1,15
Forchheimer.....	6,86	1,14
Beyerhaus.....	7,39	1,23
de Chézy.....	10,57	1,76
Steevensz.....	6,71	1,11
Kutter.....	6,80	1,13
Ganguillet-Kutter..	7,37	1,22
Bazin.....	6,02	1,00
Harder.....	7,66	1,27

Hierbij dient te worden aangeteekend, dat het voor de formule van Steevensz gevonden cijfer geldt voor de oorspronkelijke formule:

$$U = \frac{1}{n_S} \cdot R^{\frac{10 \cdot n_S + 0{,}49}{}} \cdot i^{1/2},$$

doch geen uitsluitsel geeft omtrent de daaruit afgeleide formules, waarop de nomogrammen in het „*Album van Steevensz*" zijn gebaseerd.

Conclusie.

De hiervoor gevonden cijfers voor de gemiddelde fout bij elk der formules zijn slechts van betrekkelijke waarde, omdat:

1e) zij hebben slechts betrekking op de geraadpleegde metingen, waarvan de betrouwbaarheid niet kan worden nagegaan; vooral het verhang vormt, zooals reeds in een der eerste hoofdstukken werd aangetoond, een zwak punt, terwijl het meten van de stroomsnelheid en het daaruit berekenen van de gemiddelde snelheid met formules betreffende de snelheidsverdeeling in het profiel eveneens ruimte laat voor meer of minder aanzienlijke fouten;

2e) het is niet uitgesloten, dat bij een eenigszins gewijzigde verdeeling der reeksen over de 6 groepen voor verschillende formules iets gunstiger cijfers zouden zijn gevonden.

Ondanks de beperkingen ten aanzien van de waardeering der gevonden cijfers, mag de conclusie worden getrokken, dat de formules van Gauckler-Manning, Forchheimer, Steevensz, Kutter en Bazin zich beter leenen voor de berekening van kunstmatige en natuurlijke waterloopen dan de overige formules, van welke laatste, zooals te verwachten was, de formule van de Chézy voor het gestelde doel niet aanvaardbaar wordt geacht.

Van de beide hierboven genoemde beperkingen geldt de eerste voor alle formules in gelijke mate, de tweede echter niet. In verband hiermede werd aan de hand van staat III, waarin voor de 6 groepen (categorieën) de grenswaarden der gladheids- en ruwheidscoëfficiënten zijn aangegeven, nagegaan, hoeveel metingen in werkelijkheid tot de groepen behooren, waaronder zij zijn gerangschikt:

Groep	I	II	III	IV	V	VI	Totaal
Aantal metingen	17	42	10	43	175	58	345
Gauckler-Manning...	14	14	9	37	119	47	240
Forchheimer	14	11	9	38	124	47	243
Beyerhaus...	14	14	10	41	128	38	245
de Chézy.....	9	36	10	16	124	48	243
Steevensz...	niet bepaald						
Kutter.....	16	21	9	37	120	40	243
Ganguillet-Kutter.....	14	13	9	39	106	46	227
Bazin.....	17	40	10	41	123	42	273
Harder.....	17	41	10	29	51	43	191

Uit dezen staat blijkt, dat voor de formules van Gauckler-Manning, Forchheimer, Kutter en Bazin met uitzondering van groep II het aantal metingen gerangschikt in de groepen, waartoe zij behooren, niet ver uiteenloopt, waaruit mag worden afgeleid, dat deze 4 formules zeer goed onderling kunnen worden vergeleken.

Met buiten beschouwing laten van groep II zijn nu opnieuw de beide gemiddelde afwijkingen en de gemiddelde fout, benevens de verhoudingsgetallen bepaald.

Staat XXIV

	gemid. afw. in %	gemid. afw. in %	gemid. fout in %	verh.-getal
Gauckler-Manning.....	7,95	6,43	7,19	1,13
Forchheimer.....	7,94	6,18	7,06	1,10
Steevensz.....	7,93	6,08	7,01	1,10
Kutter.....	7,87	6,43	7,15	1,12
Bazin.....	7,24	5,53	6,39	1,00

Mag met de geraadpleegde metingen als basis een nadere conclusie worden getrokken, dan is het deze, dat de formule van Bazin als een der meest betrouwbare formules moet worden beschouwd, althans in betrouwbaarheid niet achterstaat bij de formules van Gauckler-Manning, Forchheimer, Steevensz en Kutter.

Aanhangsel.

Staat A

Serie	Waarneming				Gauckler-Manning				Bazin			
		R	C	n_G	n	C_{M-G}	$\frac{-}{+}$ t.o.v.C		γ	C_B	$\frac{-}{+}$ t.o.v.C	
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*j*	*k*	*l*	*m*
49	1	0,048	47,7	0,0116	0,0125	48,9		1,2	0,180	52,1		4,4
	2	0,054	48,7	0,0119	0,0125	49,9		1,2	0,183	53,3		4,6
	3	0,063	49,6	0,0118	0,0126	51,2		1,6	0,189	54,9		5,3
	4	0,067	49,7	0,0120	0,0127	51,8		2,1	0,194	55,5		5,8
	5	0,068	50,3	0,0119	0,0126	51,9		1,6	0,190	55,6		3,3
50	6	0,158	64,1	0,0116	0,0114	59,9	4,2		0,142	63,5	0,6	
51	7	0,224	54,6	0,0142	0,0142	63,6		9,0	0,281	66,4		11,8
52	8	0,189	64,4	0,0121	0,0117	61,8	2,6		0,153	65,0		0,6
	9	0,250	65,3	0,0124	0,0121	64,8	0,5		0,166	67,2		1,9
	10	0,258	69,1	0,0119	0,0115	65,1	4,0		0,132	67,5	1,6	
	11	0,274	66,9	0,0123	0,0120	65,8	1,1		0,157	67,9		1,0
	12	0,276	67,5	0,0123	0,0119	65,9	1,6		0,152	68,0		0,5
53	13	0,256	54,7	0,0145	0,0145	65,0		10,3	0,299	67,4		12,7
	14	0,256	57,5	0,0138	0,0138	65,0		7,5	0,260	67,4		9,9

Staat A *(vervolg).*

Serie	Waarneming				Gauckler-Manning				Bazin			
		R	C	n_G	n	C_{M-G}	— + t.o.v.C		γ	C_B	— + t.o.v.C	
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*j*	*k*	*l*	*m*
54	15	0,131	62,1	0,0155	0,0114	58,0	4,1		0,145	61,9	0,2	
	16	0,206	65,9	0,0118	0,0116	62,7	3,2		0,145	65,7	0,2	
	17	0,258	70,9	0,0118	0,0112	65,1	5,8		0,115	67,5	3,4	
	18	0,300	72,8	0,0116	0,0112	66,8	6,0		0,107	68,6	4,2	
	19	0,267	78,3	0,0106	0,0102	65,5	12,8		0,057	67,7	10,6	
55	20	0,128	58,3	0,0121	0,0121	57,8	0,5		0,176	61,7		3,4
	21	0,196	67,1	0,0116	0,0113	62,1	5,0		0,131	65,3	1,8	
	22	0,253	72,0	0,0110	0,0110	64,9	7,1		0,105	67,3	4,7	
	23	0,295	75,2	0,0113	0,0108	66,6	8,6		0,085	68,5	6,7	
	24	0,348	74,6	0,0117	0,0112	68,5	6,1		0,098	69,6	5,0	
56	25	0,211	63,4	0,0124	0,0121	62,9	0,5		0,171	65,9		2,5
	26	0,216	71,4	0,0110	0,0108	63,2	8,2		0,102	66,1	5,3	
	27	0,257	78,6	0,0106	0,0101	65,1	13,5		0,054	67,4	11,2	
57	28	0,279	81,3	0,0104	0,0099	66,0	15,3		0,037	68,1	13,2	
	29	0,292	80,3	0,0105	0,0101	66,5	13,8		0,045	68,4	11,9	
58	30	0,399	67,9	0,0128	0,0126	70,1		2,2	0,178	70,6		2,7
59	31	0,417	77,6	0,0113	0,0111	70,6	7,0		0,078	70,9	6,7	
60	32	0,249	74,5	0,0111	0,0106	64,7	9,8		0,084	67,2	7,3	
	33	0,253	74,7	0,0100	0,0106	64,9	9,8		0,083	67,3	7,4	
61	34	0,374	69,3	0,0123	0.0122	69,3			0,156	70,1		0,8
	35	0,448	69,8	0,0125	0,0125	71,5		1,7	0,165	71,3		1,5
	36	0,448	70,9	0,0123	0,0123	71,5		0,6	0,152	71,3		0,4
	37	0,454	74,7	0,0117	0,0117	71,7	3,0		0,111	71,4	3,3	
	38	0,456	71,1	0,0124	0,0123	71,7		0,6	0,151	71,4		0,3
	39	0,457	71,8	0,0123	0,0122	71,8			0,143	71,5	0,3	
	40	0,472	71,6	0,0124	0,0123	72,1		0,5	0,148	71,7		0,1
	41	0,487	71,4	0,0125	0,0124	72,5		1,1	0,153	71,9		0,5
	42	0,490	72,0	0,0125	0,0123	72,6		0,6	0,146	71,9	0,1	
	43	0,491	71,5	0,0125	0,0124	72,6		1,1	0,152	71,9		0,4
	44	0,494	72,1	0,0124	0,0123	72,7		0,6	0,145	71,9	0,2	
	45	0,496	72,2	0,0124	0,0123	72,8		0,6	0,144	72,0	0,2	
	46	0,530	70,1	0,0129	0,0128	73,6		3,5	0,175	72,4		2,3
63	47	0,567	80,4	0,0114	0,0113	74,4	6,0		0,081	72,8	7,6	
	48	0,624	81,0	0,0114	0,0114	75,6	5,4		0,059	73,3	7,7	
	49	0,643	85,1	0,0111	0,0109	76,0	9,1		0,018	73,5	11,6	
65	50	0,189	62,7	0,0122	0,0125	64,2		1,5	0,169	66,9		4,2
	51	0,283	69,0	0,0117	0,0117	66,1	2,9		0,139	68,2	0,8	
	52	0,368	74,0	0,0116	0,0114	69,2	4,8		0,107	70,0	4,0	
	53	0,429	77,3	0,0115	0,0112	71,0	6,3		0,082	71,1	6,2	
	54	0,558	77,4	0,0117	0,0117	74,2	3,2		0,093	72,7	4,7	
	55	0,610	80,0	0,0116	0,0115	75,4	4,6		0,068	73,2	6,8	
	56	0,704	83,4	0,0115	0,0113	77,2	6,2		0,036	74,0	9,4	
66	57	0,390	68,2	0,0126	0,0125	69,8		1,6	0,172	70,4		2,2
	58	0,475	69,9	0,0127	0,0126	72,2		2,3	0,169	71,7		1,8
	59	0,537	69,7	0,0129	0,0129	73,7		4,0	0,182	72,5		2,8
	60	0,540	72,0	0,0126	0,0125	73,8		1,8	0,153	72,5		0,5
67	61	0,341	67,7	0,0124	0,0123	68,3		0,6	0,166	69,5		1,8
	62	0,489	67,1	0,0132	0,0132	72,6		5,5	0,207	71,9		4,8
	63	0,595	68,3	0,0133	0,0134	75,0		6,7	0,211	73,1		4,8
	64	0,649	68,3	0,0136	0,0136	76,2		7,9	0,221	73,6		5,3
68	65	0,210	58,1	0,0129	0,0132	62,9		4,8	0,228	65,9		7,8
	66	0,292	61,0	0,0131	0,0133	66,5		5,5	0,230	68,4		7,4
	67	0,362	62,8	0,0132	0,0134	69,0		6,2	0,232	69,9		7,1
	68	0,423	65,0	0,0133	0,0133	70,8		5,8	0,220	71,0		6,0
	69	0,469	67,6	0,0130	0,0130	72,1		4,5	0,196	71,6		4,0
69	70	0,469	58,2	0,0149	0,0151	72,1		13,9	0,338	71,6		13,4
	71	0,503	60,1	0,0147	0,0148	72,9		12,8	0,317	72,1		12,0

Staat A *(vervolg)*.

Serie	Waarneming	Gauckler-Manning							Bazin			
		R	C	n_G	n	C_{M-G}	— t.o.v.C	+ t.o.v.C	γ	C_B	— t.o.v.C	+ t.o.v.C
a	*b*	*c*	*d*	*e*	*f*	*g*	*h*	*i*	*j*	*k*	*l*	*m*
70	72	0,409	55,8	0,0151	0,0154	70,4		14,6	0,358	70,7		14,9
	73	0,458	56,5	0,0152	0,0155	71,8		15,3	0,365	71,5		15,0
	74	0,501	57,7	0,0152	0,0154	72,9		15,2	0,359	72,0		14,3
71	75	0,914	80,1	0,0123	0,0123	80,7		0,6	0,082	75,4	4,7	
	76	1,03	83,1	0,0121	0,0121	82,4	0,7		0,048	76,0	7,1	
	77	0,884	79,6	0,0123	0,0123	80,3		0,7	0,087	75,2	4,4	
	78	1,00	81,3	0,0123	0,0123	82,0		0,7	0,070	75,8	5,5	
	79	1,15	83,3	0,0122	0,0123	83,9		0,6	0,048	76,5	6,8	
	80	1,15	81,3	0,0125	0,0126	83,9		2,6	0,075	76,5	4,8	
	81	1,28	84,1	0,0123	0,0124	85,5		1,4	0,039	77,0	7,1	
	82	1,29	82,3	0,0125	0,0126	85,6		3,3	0,065	77,0	5,3	
	83	1,35	87,7	0,0120	0,0120	86,3	1,4		−0,009	77,2	10,5	
	84	1,37	84,4	0,0125	0,0125	86,5		2,1	0,306	77,3	7,1	
			5 857,0		1,0296	5 842,4	204,7	190,1	12,332	5 837,6	228,2	208,8

Staat B

Serie	C'	Gauckler-Manning			Bazin		
		C'_{G-M}	— t.o.v.C'	+ t.o.v.C'	C'_B	— t.o.v.C'	+ t.o.v.C'
49	49,2	50,7		1,5	54,3		5,1
50	64,1	59,9	4,2		63,5	0,6	
51	54,6	63,6		9,0	66,4		11,8
52	66,6	64,7	1,9		67,1		0,5
53	56,1	65,0		8,9	67,4		11,3
54	70,0	63,6	6,4		66,3	3,7	
55	69,4	64,0	5,4		66,5	2,9	
56	75,0	64,7	10,3		67,2	7,8	
58	67,9	70,1		2,2	70,6		2,7
59	77,6	70,6	7,0		70,9	6,7	
60	74,6	64,8	9,8		67,3	7,3	
61	71,4	72,1		0,7	71,6		0,2
63	82,2	75,3	6,9		73,2	9,0	
65	74,8	71,0	3,8		70,9	3,9	
66	70,0	72,4		2,4	71,8		1,8
67	67,9	73,0		5,1	72,0		4,1
68	62,9	68,3		5,4	69,4		6,5
69	59,2	72,5		13,3	71,8		12,6
70	56,7	71,7		15,0	71,4		14,7
71	82,7	83,7		1,0	76,4	6,3	
	1 352,9	1 361,7	55,7	64,5	1 376,0	48,2	71,3

Literatuur.

1804. R. de Prony, Recherches physico-mathématiques sur la théorie des eaux courantes.
1806. L. G. Dubuat, Principes d'hydraulique.
1822. J. A. Eytelwein, Handbuch der Mechanik fester Körper und der Hydraulik. (2. Aufl.)
1845. J. W. Lahmeyer, Erfahrungsresultate über die Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen.
1851. de Saint-Venant, Formules et tables nouvelles pour la solution des problèmes relatifs aux eaux courantes.
1861. A. A. Humphreys and H. L. Abbot, Report upon the physics and hydraulics of the Mississippi River.
1865. H. Darcy et H. Bazin, Recherches hydrauliques, le partie, Recherches expérimentales sur l'écoulement de l'eau dans les canaux découverts.
1867. H. Grebenau, Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen.
1868. Ph. Gauckler, *Annales des Ponts et Chaussées* „Notice sur le mouvement de l'eau dans les conduites".
1869. E. Ganguillet und W. R. Kutter, *Zeitschrift des Oesterreichischen Ingenieur und Architekten Vereines*, „Neue allgemeine Formel für die Bewegung des Wassers".
1870. W. R. Kutter, *Allgemeine Bauzeitung*, „Die neuen Formeln für die Bewegung des Wassers in Kanälen und regelmässigen Flussstrecken".
1871. H. Bazin, *Annales des Ponts et Chaussées*, „Etude comparative des formules nouvellement proposées pour calculer le débit des canaux découverts".
1876. G. H. L. Hagen, Untersuchungen über die gleichförmige Bewegung des Wassers.
1877. J. Boussinesq, Essai sur la théorie des eaux courantes.
1878. P. E. Harder, Die Theorie der Bewegung des Wassers in Flüssen und Kanälen.
1890. R. Manning, On the flow of water in open channels and pipes.
1897. H. Bazin, *Annales des Ponts et Chaussées*, „Etude d'une nouvelle formule pour calculer le débit des canaux découverts".
1900. A. Flamant, Hydraulique. (sec. éd.)
1916. ir. J. M. Steevensz, *De Waterstaats-Ingenieur* No. 2, „Over snelheden, waterdiepten en verhangen in kanalen met 10 m bodembreedte", Idem No. 6, „Over snelheden, debieten en verhangen in leidingen en rivieren".
1918. ir. J. M. Steevensz, *De Waterstaats-Ingenieur* Nos. 5 en 6, „Nieuwe formules en grafieken voor het berekenen van open leidingen met regelmatige aarden wanden".
1920. W. Hauber, Hydraulik. (2. Aufl.)
1921. E. Beyerhaus, *Zentralblatt der Bauverwaltung* No. 27, „Die Trugschlüsse aus den Mississippi-Messungen von Humphreys und Abbot und der fehlerhafte Bau der Ganguillet-Kutterschen Formel".
1921. E. Beyerhaus, *Der Bauingenieur* Nos. 18 en 19, „Geschwindigkeits-formeln für Wasserläufe und massgebendes Gefälle, Mängel der Gangguillet-Kutterschen Formel und Darlegung eines geeigneten Ersatzes".
1922. Ph. Forchheimer, *Die Wasserkraft* No. 7, „Scobey's Untersuchung über den Durchflusz durch Betongerinne".
1923. Dr. A. Strickler, *Mitteilungen des Amtes für Wasserwirtschaft* No. 6, „Beiträge zur Frage der Geschwindigkeitsformel und der Rauhigkeitszahlen für Ströme, Kanäle und geschlossene Leitungen".

1923. Ph. Forchheimer, *Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure*, „Der Durchflusz des Wassers durch Werkgräben und Gerinnen".

1924. ir. C. G. J. Vreedenburgh, *De Waterstaats-Ingenieur* No. 9, „Beschouwingen over de exponentieele formule van Gauckler-Manning voor de berekening van buisleidingen en open kanalen".

1930. Ph. Forchheimer, Hydraulik. (3. Aufl.)

1931. ir. A. L. Verwoerd, *De Waterstaats-Ingenieur* No. 9, „Een eenvoudige berekeningswijze voor leidingen en waterloopen".

1932. ir. A. G. Beckeringh van Loenen, *De Waterstaats-Ingenieur* No. 10, „Berekening van tertiaire leidingen".

1934. ir. G. Meesters, *De Ingenieur in Nederlandsch-Indië* No. 4, „De snelheidscoëfficiënt in de formules van Bazin, Strickler en Ganguillet-Kutter voor de berekening van open leidingen".

VARIA.

Stabiliteit van kanalen.

Onder den titel „Stable channels in erodible material" is in de *Proceedings of the American Society of Civil Engineers* van November 1935 een artikel verschenen van de hand van prof. E. W. Lane, dat handelt over het ten behoeve van het ontwerp van het All-American-kanaal ingesteld onderzoek naar de stabiliteit van kanaalprofielen. De uit verschillende bronnen daarover bekende gegevens, welke dikwijls met elkaar in strijd zijn, waren m.h.o. op de zeer ongewone omstandigheden voor dit kanaal niet zonder meer bruikbaar. De beschikbare gegevens werden daarom geanalyseerd, waardoor een inzicht werd verkregen in de verschillende factoren, welke van invloed zijn op de stabiliteit, alsmede in hun onderling verband.

Daar het vraagstuk, dat de keuze van den meest gewenschten profielvorm biedt, ook voor de irrigatiepractijk h.t.l. van veel belang is, moge aan genoemd artikel het volgende worden ontleend.

Inleiding.

Voor de stabiliteit van een kanaalprofiel wordt vereischt, dat de taluds niet afschuiven en voorts, dat de bodem en taluds niet aan opslibbing of uitschuring onderhevig zijn.

Hieronder zal slechts het vraagstuk, dat de opslibbing en uitschuring van kanalen biedt, behandeld worden, terwijl de afschuiving der taluds niet nader in beschouwing zal worden genomen, daar men voor de verschillende grondsoorten reeds betrekkelijk goed op de hoogte is van de m.h.o. op het afschuivingsgevaar toe te laten taludhellingen.

Om aanslibbing of uitschuring te voorkomen, moet de snelheid eenerzijds voldoende zijn om al het in het kanaal aangevoerde materiaal in beweging te houden en anderzijds niet zoo groot zijn, dat gronddeeltjes van bodem en taluds losraken en worden meegevoerd. Aantasting behoeft niet verwacht te worden, indien de snelheid niet grooter wordt genomen dan vereischt wordt om aanslibbing te voorkomen. In hoeverre men deze minimum snelheid kan opvoeren, voordat uitschuring zal plaats hebben, hangt af van de grondsoort.

Uit een practisch oogpunt is een geringe aanslibbing op de taluds niet nadeelig, in verband waarmede bovenstaande eischen in zooverre beperkt kunnen worden, dat geen aantasting en geen *belangrijke* aanslibbing plaats vinden.

Bij de taluds wordt het los raken der gronddeeltjes door den waterstroom nog in de hand gewerkt door de zwaartekracht. Daardoor zal aantasting van de taluds reeds plaats hebben bij een snelheid, welke kleiner is dan de snelheid, waarbij bodemaantasting optreedt.

De verhouding tusschen de snelheden langs den bodem en langs de taluds hangt af van de verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte. Hoe grooter laatstgenoemde verhouding is, hoe grooter ook de verhouding zal zijn tusschen de snelheden langs bodem en taluds. Voor de stabiliteit van een kanaalprofiel wordt nu vereischt, dat bodembreedte en waterdiepte zoodanig worden gekozen, dat daarbij de juiste verhouding tusschen bodem- en wandsnelheid wordt verkregen.

Wanneer in vergelijking met de langs de taluds toelaatbare snelheid een groote bodemsnelheid vereischt is, moet de verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte ook groot gekozen worden. Zoo zal b.v. voor kanalen met een zwaar materiaaltransport langs den bodem (grind, grof zand) een relatief groote bodemsnelheid noodig zijn.

In het ondervolgende zal getracht worden de grondbeginselen aan te geven, waarvan bij de keuze van snelheid en kanaalprofiel dient te worden uitgegaan.

Het All-American-kanaal.

Dit kanaal, dat zijn water zal ontleenen aan de beneden Colorado-rivier, is ontworpen voor de bevloeiing van de Imperial- en Coachella-valleien en dient, voor wat eerstgenoemd gebied betreft, ter vervanging van een ten deele in de republiek Mexico gelegen hoofdkanaal, waarvan de exploitatie groote moeilijkheden opleverde in verband zoowel met de internationale administratie van het kanaal als met de daarin ondervonden sterke opslibbingen.

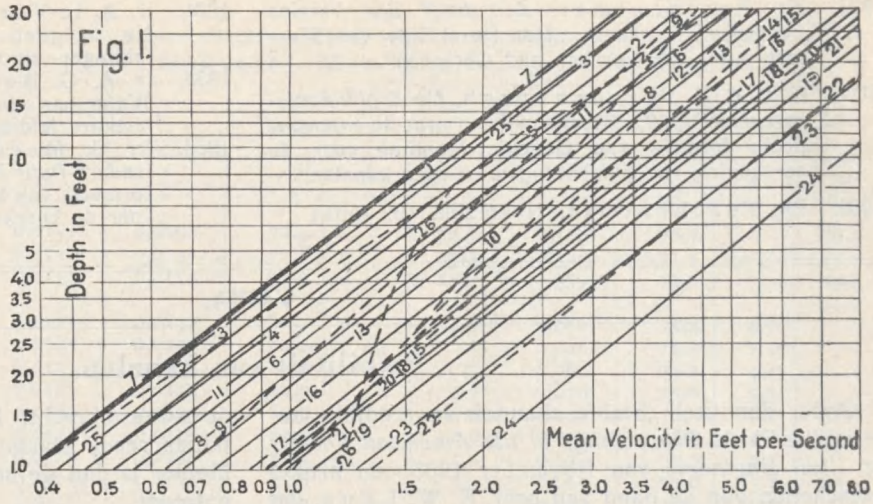
De Colorado-rivier is zeer slibhoudend; de afvoer varieert van 2 500 tot 190 000 cu ft per sec (ca. 70 tot 5 400 m^3/sec), terwijl het slibgehalte (in suspensie) bij den inlaat gemiddeld 0,9 gewichtsprocenten bedraagt en bij tijden kan stijgen tot 5,4%. Het gesuspendeerd slib is zeer fijn; de diameter van het slib langs den bodem bedraagt gemiddeld 0,1 mm. Het rivierverhang bedraagt bij benadering 1,2 ft per mijl. Dit sterk slibhoudend water heeft, zooals reeds is opgemerkt, bij de exploitatie van het bestaande kanalenstelsel groote moeilijkheden veroorzaakt; de kosten voor opruiming van opslibbing e.d. kunnen geraamd worden op ca. 1 400 000 dollar per jaar.

Voordat het All-American-kanaal zal zijn voltooid,

zal de bouw van den Boulderdam, welke 303 mijl bovenstrooms van de hoofdwerken ligt, reeds zijn beëindigd; daarin zal al het, naar het door den dam gevormde reservoir, aangevoerde slib tot afzetting komen. Op 155 mijl bovenstrooms van den inlaat van het kanaal zal bovendien een tweede dam worden gebouwd, zoodat het slib bij den kanaalinlaat practisch geheel afkomstig zal zijn van rivierbodem en -taluds benedenstrooms van dezen dam en voorts voor een klein deel zal worden aangevoerd door eenige zijrivieren, welke tusschen dam en inlaat worden opgenomen.

Een met zorg ontworpen spuiwerk zal worden gebouwd om de grovere slibdeelen, welke in het kanaal worden aangevoerd daaruit te verwijderen. De slibaanvoer in het All-American-kanaal zal dan ook aanmerkelijk verschillen van dien in de bestaande kanalen.

Om bij dezen gewijzigden toestand den meest gewenschten kanaalvorm te kunnen vaststellen, is een zorgvuldig onderzoek ingesteld, waarvan de uitkomsten hieronder worden beschreven.



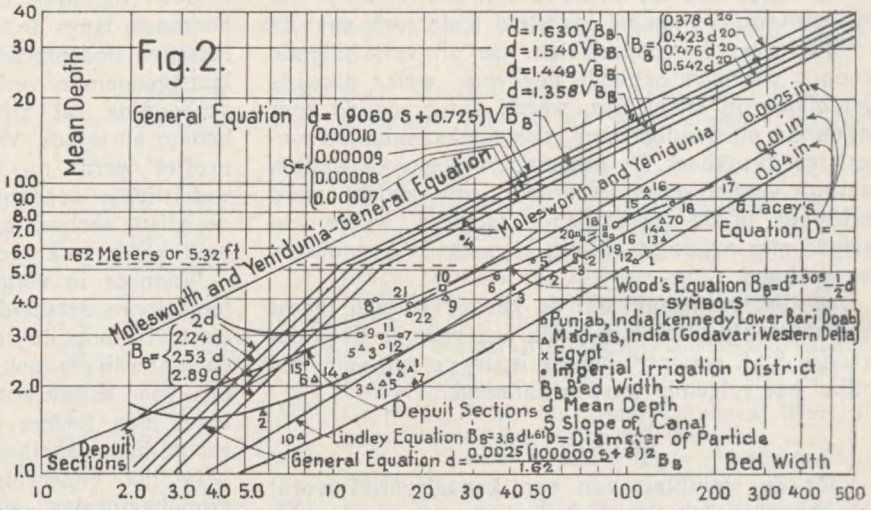


Fig. 1. Kritische snelheden voor niet-opslibbende, niet-uitschurende kanalen (de cijfers verwijzen naar tabel 1).

Fig. 2. Verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte voor dergelijke kanalen.

Daarbij zijn de volgende notaties gebruikt, welke — tenzij anders is vermeld — zijn uitgedrukt in Engelsche eenheden.

a en m = indice voor gemiddelde waarden;
d = waterdiepte; d_a = gemidd. diepte;

f = slibfactor = $8 \cdot \sqrt{d}$;
n = exponent in de formule van Kennedy;
s = indice, aangevende nabij de wanden;
A = natte doorsnede;
B = kanaalbreedte; B_b = bodembreedte; B_m = gemiddelde kanaalbreedte; als indice geeft B aan nabij of op den bodem;

C = coëfficiënt in de formule van Kennedy;
D = korreldiameter;
L = lengte;
P = natte omtrek;
Q = debiet;

R = hydraulische straal = $\frac{A}{P}$;

S = verhang = $\frac{\text{verval}}{L}$

V = snelheid; gemidd. snelheid in een doorsnede; V_B = snelheid bij den bodem: V_s = snelheid langs de wanden; V_o = kritische snelheid uit een oogpunt van opslibbing.

Vroegere onderzoekingen.

De meeste onderzoekingen inzake het vraagstuk van niet opslibbende (non-silting) kanalen zijn verricht in Britsch-Indië ten behoeve van de groote irrigatiewerken aldaar. Ook in Egypte is aan dit probleem in verband met de Nijlbevloeiing de noodige aandacht besteed; in de Vereenigde Staten was zulks tot nu toe in mindere mate het geval, doch hierin is de laatste jaren verandering gekomen.

Het eerste onderzoek terzake is verricht door R. G. Kennedy [1]), wiens werk in dit opzicht baanbrekend mag worden genoemd en geleid heeft tot belangrijke besparingen op de onderhoudskosten der irrigatiekanalen in Indië en elders.

Zooals bij dergelijke belangrijke onderzoekingen

1) R. G. Kennedy, Hydraulic diagram for canals in earth, *Minutes of Proceedings*, Inst. C. E., Vol. 119, p. 281.

meer is waargenomen, werd aan K e n n e d y's studies helaas zoodanig gezag toegekend, dat verder onderzoek gedurende vele jaren werd nagelaten en in dit opzicht langen tijd geen vooruitgang werd geboekt. K e n n e d y beschouwde de uitkomsten van metingen betreffende de bodembreedten en de waterdiepten bij vol debiet van ongeveer 22 kanalen in het Lower Bari Doab kanalenstelsel, welke kanalen een stabielen vorm hadden bereikt, alsmede van enkele andere kanalen, waarvoor zulks nagenoeg het geval was.

Hij gaf daarbij ook gegevens betreffende het volle debiet en de uit dit debiet en de natte doorsnede berekende snelheid. Op grond van deze uitkomsten kwam hij tot de formule:

$$V_o = C \cdot d^n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

welke een bevredigende benadering geeft voor het verband tusschen de kritische gemiddelde snelheid V_o en de diepte d, zooals dit verband uit de metingen was gevonden. Voor het Lower Bari Doab-kanaal bedroeg $C = 0{,}84$ en $n = 0{,}64$.

K e n n e d y was van meening, dat C zou varieeren met den aard en de hoeveelheid slib, terwijl daarentegen n ongeveer constant zou zijn. In *figuur 1* is het verband tusschen snelheid en waterdiepte volgens vgl. (1) graphisch gegeven voor de in *tabel 1* genoemde kanalen. De plaatselijke condities, welke van invloed waren bij deze waarnemingen, en K e n n e d y's conclusies zullen straks worden vermeld.

In 1895 publiceerde K e n n e d y een aantal grafieken voor het ontwerpen van „non-silting"-kanalen, terwijl hij in 1904 een globalen regel opstelde voor het verband tusschen breedte en diepte voor dergelijke kanalen [2]). Een tweede uitgave van zijn „Hydraulic diagrams" [3]) verscheen in 1907, waarbij ter verduidelijking aan de oorspronkelijke publicatie een uitgebreide toelichting werd toegevoegd en enkele nieuwere gegevens werden vermeld.

In Br.-Indië vond K e n n e d y's methode spoedig algemeene toepassing; talrijke waarnemingen werden verricht in leidingen en kanalen, welke geleid hebben tot de opstelling van nieuwe formules van denzelfden vorm als K e n n e d y's formule voor bepaalde plaatselijke omstandigheden.

2) R. G. K e n n e d y, Instructions for grading and designing irrigation canals, *Punjab Irr. Paper* No. 10.

3) R. G. K e n n e d y, Hydraulic diagrams for channels in earth, *Eng. News Record*, Vol. 106, p. 370.

Waarden van C en n uit vergelijking 1. **Tabel 1**

Kromme No. (zie *Fig.* 1)	Uitgedrukt in Engelsche eenheden		Plaats	Onderzoeker	Limiet
	Coëfficiënt C	Exponent n			
1	0,381	0,64	Egypte	Buckley	Laagste
2	0,46	0,64	Egypte	Buckley	Hoogste
3	0,39	2/3	Egypte	Molesworth en Yenidunia	Laagste
4	0,475	2/3	Egypte	Molesworth en Yenidunia	Hoogste
5	0,391	0,727	Egypte	K. D. Ghaleb	
6	0,56	0,64	Egypte		
7	0,38	0,64	Mozaffargorih D.	G. W. Duthy	Laagste
8	0,63	0,64	Punjab, India	G. W. Duthy	Hoogste
	0,63	0,64	Sind	F. W. Woods	
9	0,67	0,55	Godavari Western Delta Madras	Kennedy	
10	1,01	0,44	Rio Negro, Argentinië	R. E. Ballester	
11	0,52	0,66	Siam		
12	0,93	0,52	Madras (Kistna)	Kennedy	
13	0,67	0,64	Sutley, India	F. W. Woods	
14	0,91 *)	0,57 *)	Burma (Shwebo)	Kennedy	
15	0 95	0,57	Chenab, Punjab	Lindley	
16	0,756	0,64	Sirhind, Punjab.	W. B. Harvey	
17	0,84	0,64	Bari Doab	Kennedy	
18	0,924	0,64	Penner Rivier	J. M. Lacey	Laagste
	0,924	0,64	Cauvery Delta	J. M. Lacey	Laagste
19	1,09	0,64	Penner Rivier	J. M. Lacey	Hoogste
20	0,966	0,64	Cauvery Delta	J. M. Lacey	Hoogste
21	0,98	0,64	Imperial Vallei	Rothery	
22	1,26	0,64	Cauvery Delta	J. M. Lacey	Extreem Hoogste
23	1,33	0,61	Imperial Vallei	Collings	Laagste
24	1,83	0,61	Imperial Vallei	Collings	Hoogste
25	0,42	0,64	Behera Delta	R. G. Kinder	
26	**)	**)	Jamrao, Sind	W. L. C. Trench	

Limiet heeft betrekking op de grootste of kleinste waarde, welke gevonden is.

*) Benaderd

**) $V_0 = (1{,}1 +) \cdot 0{,}095 \cdot d$.

Een dezer formules gold voor de Godavari- en Kistna-Western Delta in Madras [4]). In 1913 stelde Capt. A Garett een aantal diagrammen samen voor het ontwerpen van niet-opslibbende kanalen [5]), welke diagrammen eveneens veelvuldige toepassing vonden.

In 1917 gaf F. W. Woods [6]), op grond van een analyse van de gegevens betreffende het Lower Chenab-kanalenstelsel, in overweging bepaalde verhoudingen aan te nemen tusschen diepte en breedte.

In 1919 werden door E. S. Lindley [7]) de uitkomsten bekend gemaakt van een zorgvuldige analyse der kanaalafmetingen van het Lower Chenab-kanaal. Voor deze kanalen vond Lindley een zoodanig verband tusschen kritische snelheid en waterdiepte, dat in vergelijking (1) C de waarde van 0,95 en n van 0,57 krijgt. Hij vond voorts de volgende verhouding tusschen bodembreedte en diepte: $B_b = 3{,}8 \cdot d^{1{,}61}$.

Woods stelde in 1927 de volgende algemeene formules voor [8]), welke het verband geven tusschen snelheid, gemiddelde diepte, breedte en verhang:

$$d_o = B_m^{0{,}434} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

$$V_o = 1{,}434 \cdot \log B_m \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

$$S = \frac{1}{2 \cdot \log Q \times 1000} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

De vergelijkingen (2), (3) en (4) hebben dus niet alleen betrekking op de breedte en de diepte, doch eveneens op het debiet en het verhang. Volgens deze vergelijkingen zou bij een bepaald debiet een eenvoudige verhouding bestaan voor een stabiel kanaalprofiel tusschen diepte, breedte en verhang.

In 1928 opperde W. T. Bottomley [9]) de meening, dat irrigatiekanalen niet zouden opslibben of uitschuren, indien het kanaalverhang van dezelfde orde van grootte is als het verhang van de voedingsrivier, onafhankelijk van de verhouding tusschen breedte en diepte en van den vorm van het kanaal.

In 1930 verscheen een uitstekende publicatie over dit onderwerp van de hand van G. Lacey [10]), waarbij hij voor een stabiel kanaal den natten omtrek als functie van den wortel uit den afvoer aangaf:

$$P = 2{,}668 \cdot \sqrt{Q} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

en voorts voorstelde den vorm van het profiel te kiezen in verband met de fijnheid van het meegevoerde slib; bij grof slib zou een breede, ondiepe doorsnede, bij fijn slib een nauw en diep bed aanbeveling verdienen.

Hij gaf de formules:

$$Q \cdot f^2 = 3{,}8 \cdot V_o^6 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

$$V_o = 1{,}17 \cdot \sqrt{f \cdot R} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

waarin f een slibfactor is, waarvan de waarde afhankelijk is van den diameter van het bodemmateriaal. Lacey geeft daarvoor de uitdrukking:

$$f = 8 \cdot \sqrt{D} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (8)$$

In vergelijking (8) is D in inches gegeven. Uit de vergelijkingen (6), (7) en (8) kunnen bij *bekende* Q, de waarden van V_o, A en R worden berekend.

Lacey meent verder, dat de vorm van een stabiel kanaal bij benadering een ellips moet zijn, waarvan de groote as horizontaal is en de verhouding tusschen groote en kleine as toeneemt met de grofheid van het slib. Lacey's denkbeelden vinden in Br.-Indië grooten aanhang en uitgebreide waarnemingen worden thans verricht om den invloed te onderzoeken van verschillende factoren op de waarde van f.

De bovengenoemde deskundigen ontwikkelden hun ideeën vrijwel geheel op grond van de in Br.-Indië opgedane ervaringen. De in Egypte verkregen uitkomsten zijn gegeven door Molesworth en Yenidunia [11]). Zij komen op grond van een zorgvuldig onderzoek van een groot aantal Egyptische kanalen, welke zich goed blijken te houden, tot de volgende algemeene formule (in Engelsche eenheden):

$$d = (9\,060 \cdot S + 0{,}725) \cdot \sqrt{B}_B \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (9)$$

Buckley [12]) geeft voor kanalen met een diepte van 1,60 m (5,26 ft) of minder een gewijzigden vorm van vergelijking (9), n.l.:

$$d = \frac{0{,}0025 \cdot (100\,000 \cdot S + 8)^2 \cdot B_B}{1{,}62} \quad \ldots\ldots\ldots \quad (10)$$

Vergelijking (10) is in Engelsche eenheden uitgedrukt. Behalve de verschillende hiervoor genoemde algemeene formules zijn, zooals reeds is vermeld, nog een groot aantal speciale formules van het Kennedy-type opgesteld voor plaatselijke omstandigheden; deze zijn in *tabel 1* gegeven.

De bovengenoemde, voor stabiele kanalen opgestelde vergelijkingen kunnen worden onderscheiden in:

a) die, welke een uitdrukking geven voor de snelheid;

b) die, welke een uitdrukking geven voor den kanaalvorm.

De onder *a* bedoelde vergelijkingen zijn overeenkomstig Kennedy's vergelijking (1). In de meeste dezer vergelijkingen heeft n de waarde 0,64, welke ook door Kennedy is aangenomen. De waarde van C is voorts voor een bepaalde plaats of kanalenstelsel in alle gevallen constant genomen. Kennedy meende, dat C varieerde zoowel met de korrelafmeting als met de hoeveelheid slib, doch legde niet zoozeer den nadruk op den invloed van de hoeveelheid slib als

4) Critical velocity observations, Madras Public Works Dept., 1912.

5) A. Garrett, Hydraulic diagrams for design of channels in earth by Kutter's formula, 1913.

6) F. W. Woods, Normal data of design for Kennedy channels, Punjab Irr. Works, 1917.

7) E. S. Lindley, Regime channels, *Proceedings* Punj. Eng. Congress, 1919.

8) F. W. Woods, A new hydraulic formula, *The Engineer*, Vol. 143, 1927.

9) W. T. Bottomley, A new theory of silt and scour, *Engineering*, Vol. 125, 1928.

10) G. Lacey, Stable channels in alluvium, *Minutes of Proceedings*, Inst. C. E., Vol. 225.

11) Molesworth and Yenidunia, Irrigation practice in Egypt, 1922.

12) A. B. Buckley, Silt investigations, Paper 4, Irr. Proj. Dept. of Egypt.

wel op den aard daarvan, als gevolg waarvan die invloed niet steeds voldoende in rekening is gebracht. Hij nam voorts aan, dat de waarde van *n* niet veel zou varieeren.

Volgens de vergelijkingen van het Kennedy-type neemt de kritische snelheid toe met de diepte, doch blijkens de ervaring wordt bij grooter wordende diepte tenslotte een snelheid bereikt, waarbij erosie van de taluds optreedt. Kennedy meende, dat de bepaling van de grenssnelheid een kwestie van ervaring was en gaf voor diepten tot ca. 10 ft grenswaarden aan. Dit had tot gevolg, dat voor de volgens zijn theorie ontworpen kanalen in gewonen grond geen grootere diepten dan van ca. 10 ft werden aangenomen.

Van de onder *b* bedoelde vergelijkingen geven die van Lindley het verband tusschen kritische snelheid, diepte en bodembreedte, doch hij houdt geen rekening met den aard en de hoeveelheid van het slib. Woods geeft de betrekkingen tusschen gemidd. diepte, snelheid en verhang, doch wijst er evenmin als Lindley op, of en in hoeverre die betrekkingen door den aard en omvang van het slibtransport worden beinvloed. Lacey geeft profielvormen en snelheden, rekening houdend met de afmetingen van de korrels, doch laat de hoeveelheid van het meegevoerde slib buiten beschouwing.

Vergelijking van de kritische snelheden.

Teneinde de voor het All-American-kanaal toelaatbare snelheid vast te stellen, werd *fig. 1* samengesteld, welke grafisch het verband aangeeft tusschen diepte en kritische snelheid, zooals dit gevonden werd uit de verschillende waarnemingen. Uit de *figuur* blijkt, dat de bij een bepaalde waterdiepte behoorende snelheden sterk verschillen (de lijn betreffende Kennedy's waarnemingen is zwaarder aangegeven). De variaties reiken van ca. 46 tot 208% van Kennedy's uitkomsten; de hoogste waarde is rond 450% van de laagste.

Omtrent de plaatselijke omstandigheden, waarvoor de meeste dezer formules zijn opgesteld, zijn geen details bekend. In het algemeen kan echter worden opgemerkt, dat het Nijlslib fijner is dan dat van de Ravi-rivier, welke het Lower Bari Doab-kanaal voedt, waarop Kennedy's waarnemingen betrekking hebben. De relatief lagere snelheden bij de Egyptische kanalen ten opzichte van die volgens Kennedy, zijn dus in overeenstemming met de vergelijking (6) van Lacey, volgens welke fijner materiaal een lagere kritische snelheid vereischt. Ook het slib van de Colorado-rivier en van het kanaalstelsel van de Imperial Valley is fijner dan van de Ravi, doch voor deze kanalen zijn de kritische snelheden daarentegen hooger, hetgeen niet overeenkomstig de vergelijking van Lacey is.

Vergelijking van het verband tusschen breedte en diepte.

Evenals voor de kritische snelheden, is ook tusschen de verschillende formules, welke het verband geven van bodembreedte en waterdiepte, een vergelijking gemaakt. De uitkomsten zijn voor enkele der gegeven formules graphisch weergegeven in *fig. 2*. De vergelijking van Woods, welke een uitdrukking geeft voor de gemiddelde breedte, is eerst omgevormd in een vergelijking voor de bodembreedte, onder aanname van taluds van 1 op 2. Voor de door Lacey voorgestelde kanalen (taluds 2 op 1) zijn gegevens opgenomen voor drie verschillende korrelafmetingen. De afmeting van 0,0025 inch komt bij benadering overeen met de korrelgrootte van den grond van de kanalen van de Imperial Valley.

De Punjab-gegevens (Kennedy) zijn berekend aan de hand van Kennedy's mededeelingen betreffende het Lower Bari Doab-kanaal, met verticale zijwanden, als door hem vermeld. Ook zijn de uitkomsten gegeven van metingen in de kanalen van de Godavari Western-delta en van de Imperial Valley. De Egyptische gegevens zijn geteekend zoowel voor een algemeene vergelijking van Molesworth en Yenidunia, welke onafhankelijk is van het verhang, als voor een vergelijking, welke rekening houdt met het verhang (4 verhangen zijn beschouwd). Voor diepten kleiner dan 1,62 m (5,32 ft) is de door Buckley omgevormde vergelijking van Molesworth — Yenidunia gebruikt. Ook geeft de figuur de in Egypte veel toegepaste „Depuit section".

Uit de *figuur* blijkt, dat de variatie in de verhouding van bodembreedte en waterdiepte zelfs nog grooter is dan de variatie in de verhouding van waterdiepte en kritische snelheid volgens *fig. 1*. Voor een waterdiepte van 5 ft geeft de algemeene formule van Molesworth — Yenidunia, een bodembreedte van 6,4 ft en de vergelijking van Lindley van 50 ft, alzoo bedraagt de maximumwaarde rond 780% van de minimum-waarde. Enkele gegevens betreffende de kanalen in de Imperial Valley wijzen op een nog grootere variatie. De groote verschillen worden, naar het voorkomt, niet veroorzaakt door het verschil in de korrelafmetingen der slibdeeltjes. Ofschoon voor zoover bekend, de Egyptische gegevens betrekking hebben op fijner slibtransport dan door Woods en Lindley in Indië is waargenomen, geven immers *de meeste* gegevens inzake de Imperial Valley, welke eveneens fijn slib betreffen, een grootere verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte dan de gegevens van Lindley of Woods.

Maatgevende factoren voor stabiele kanaalvormen.

In verband met de grootte en de onbestendigheid der variaties, welke gevonden werden voor de kritische snelheden en de verhoudingen tusschen bodembreedte en waterdiepte in de verschillende landen, was het duidelijk, dat indien de oorzaken voor deze variaties niet konden worden opgespoord, het niet veilig zou zijn om voor het ontwerp van het All-American-kanaal uit te gaan van een der bestaande formules. Ofschoon deze vergelijkingen ongetwijfeld van nut zijn voor de plaatselijke omstandigheden, waarvoor zij werden opgesteld, zijn deze omstandigheden niet voldoende bekend,

om de toepassing elders zonder meer te motiveeren. In de meeste gevallen is bovendien verzuimd om enkele belangrijke, van invloed zijnde factoren in rekening te brengen.

Het was voor een doelmatig ontwerp van het All-American-kanaal daarom noodig om de verschillende factoren, welke van invloed zijn op het profiel van een kanaal, dat in aan uitschuring onderhevige grondsoorten moet worden aangelegd, nauwkeurig te analyseeren en hun onderling verband op te sporen.

Deze, voor een stabielen kanaalvorm van belang zijnde factoren betreffen:

a. de hydraulische gegevens (verhang, ruwheid, hydraulische straal of diepte, gemiddelde snelheid, snelheidsverdeeling en temperatuur);
b. den kanaalvorm (breedte, diepte en taluds);
c. den aard van het materiaaltransport (korrelafmeting, vorm, s.g., hoeveelheid, bodem- en taludmateriaal);
d. meer algemeene gegevens (tracé, debietwijzigingen en ouderdom van het kanaal).

Om tot een rationeele oplossing van het gestelde vraagstuk te geraken, dienen alle bovengenoemde factoren in beschouwing te worden genomen en dient zoo goed mogelijk te worden nagegaan, welke dezer factoren van maatgevende beteekenis en welke van weinig belang zijn of zelfs verwaarloosd mogen worden. Bij dit onderzoek verdient het aanbeveling eerst het verband op te sporen tusschen de voornaamste factoren om daarna den mogelijken invloed van de andere factoren na te gaan.

Van de hydraulische factoren zijn het verhang, de ruwheid, de hydraulische straal en de gemiddelde snelheid onderling afhankelijk; kwantitatief is hun onderling verband bevredigend bekend uit de gewone snelheidsformules. Weliswaar is de invloed van het transport van sleepstoffen en van in suspensie verkeerend materiaal op de ruwheid niet met juistheid bekend en zou op dit punt een beter inzicht gewenscht zijn, doch in vergelijking met de bestaande onzekerheid inzake den invloed van enkele andere factoren, is het verband tusschen de genoemde vier factoren voldoende bekend, zoodat een nader onderzoek daaromtrent voor het onderwerpelijk doel niet noodzakelijk werd geacht.

Zooals hieronder nader zal worden aangetoond, zijn zoowel de snelheidsverdeeling als de gemiddelde snelheid van *primair* belang voor het hier beschouwde vraagstuk; tezamen met de waterdiepte en bodembreedte, welke het kanaalprofiel bepalen, zijn deze factoren zelfs van overwegende beteekenis voor de stabiliteit van een kanaal. De taludhelling is, behoudens ten aanzien van de kans op afschuiving, niet van groot belang.

Men heeft wel de meening geuit, dat ook de temperatuur een grooten invloed zou hebben, daar deze de viscositeit van het water beinvloedt en als gevolg daarvan de snelheid van bezinking der vaste deeltjes. Ongetwijfel heeft de temperatuur van het water wel eenigen invloed, doch deze is op de stabiliteit vermoedelijk klein. De meeste waarnemingen zijn verricht in landen, waar de temperatuur hooger is dan in het gebied van het All-American-kanaal, doch het temperatuursverschil is in het algemeen niet voldoende (gerekend als jaargemiddelde) om een beteekenenden invloed uit te oefenen. De temperatuursinvloed op de snelheid van bezinking is overigens voor bepaalde korrelafmetingen ook reeds klein. Bovendien is wellicht de sleepkracht, welke practisch niet door de temperatuur wordt beinvloed, de meest belangrijke factor voor de kanaalstabiliteit. Resumeerende, kan dan ook worden opgemerkt, dat de invloed van de temperatuur relatief onbelangrijk is (gegevens hierover, welke een analyse van dezen invloed mogelijk zouden maken, zijn overigens ook niet bekend).

De verschillende onderzoekers zijn allen van meening, dat de afmetingen van het getransporteerd materiaal van groote beteekenis zijn. Ook de vorm der korrels is van eenigen invloed, doch de beteekenis daarvan is slechts secundair blijkens laboratoriumonderzoekingen, welke hebben aangetoond, dat voor het transport van scherpkantig materiaal slechts een weinig hoogere snelheid vereischt is dan voor rondkorrelig materiaal. Daar intusschen voor geen der hiervoor beschouwde kanalen daaromtrent gegevens bekend zijn gesteld, kon de invloed van den korrelvorm niet nader worden onderzocht, ook al zou zulks gewenscht zijn geweest.

De invloed van het soortelijk gewicht van het getransporteerde materiaal kan worden verwaarloosd, daar het s.g. in het algemeen niet veel afwijkt van 2,65.

De hoeveelheid vaste stof, welke in een toestand van beweging verkeert, is voor den vorm van stabiele kanalen uiteraard van groot belang; aan dezen factor, waarvan het gewicht in vele gevallen duidelijk is aangetoond, is tot nu toe niet steeds de vereischte aandacht besteed. Zoo heeft men b.v. bij vele irrigatiewerken de ondervinding opgedaan, dat de bovenstroomsche kanaalstrekkingen bij groote slibafvoeren in de voedingsrivieren opslibben, terwijl deze opslibbingen in perioden van minder slibrijk water vanzelf weer worden opgeruimd. Over langere perioden gerekend zijn deze kanalen dan bij benadering wel stabiel, daar tusschentijdsche opslibbingen en uitschuringen elkaar in evenwicht houden. Een ander bekend voorbeeld is de overgang van onstabielen in stabielen toestand, welke plaats heeft, wanneer een doelmatige zandvang wordt aangebracht bij een aanzandend kanaal. In vele gevallen begint ook het oorspronkelijk stabiele, benedenstroomsche bed van een rivier uit te schuren, wanneer daarin een dam wordt gebouwd, welke den verderen aanvoer van vaste stoffen verhindert.

Een van de belangrijkste factoren voor de stabiliteit van een kanaal is de grondsoort, waaruit de bodem en wanden bestaan. Indien deze grondsoort een grooten weerstand heeft tegen uitschuring, kunnen in het kanaal groote snelheden worden toegelaten. Het alignement van het kanaal dient voorts ook in beschouwing te worden genomen, daar uitschuring eerder plaats heeft in bochten dan in rechte strekkingen. Indien in een kanaal gedurende lange perioden slechts een gedeelte van het normaal debiet wordt toegelaten, moet daarmee bij het ontwerpen eveneens rekening worden gehouden.

Een andere factor, welke de stabiliteit van een irrigatiekanaal beinvloedt, is de ouderdom van het

kanaal. Nadat een kanaal gedurende zekeren tijd in exploitatie is geweest, zullen de gronddeeltjes zich n.l. zoodanig rangschikken, dat het moeilijker wordt hen in beweging te brengen. Indien het water slibrijk is, vormt voorts het afgezet slib een soort bindmiddel, waardoor de grond, waaruit bodem en wanden bestaan een grooteren weerstand verkrijgt.

Naast de vorenstaande factoren, welke van belang zijn voor de stabiliteit van een kanaal, dienen nog andere factoren te worden beschouwd, welke verband houden met het doel, waarvoor het kanaal wordt aangelegd.

Zoo zal men bij het ontwerpen van kanalen voor aanvoer van bevloeiingswater of van krachtwater in den regel nog rekening moeten houden met één der drie volgende gevallen:

1e Het geval, waarbij het gewenscht is het verhang klein te houden; de snelheid dient dan tot de minimum toelaatbare te worden beperkt. Deze eisch wordt gesteld bij irrigatie- en krachtwerken om resp. de bevloeibare oppervlakte en de beschikbare valhoogte te kunnen opvoeren.

2e Voorts kan zich het geval voordoen, dat de kanaalafmetingen zoo klein mogelijk moeten worden gekozen, teneinde op de aanlegkosten te kunnen besparen zonder het verhang grooter te nemen dan strikt noodig is. Indien deze eisch wordt gesteld, moet de snelheid zoo groot mogelijk worden gekozen als de grondsoort m.h.o. op uitschuring toelaat.

3e Tenslotte kan het noodig zijn voor irrigatiekanalen een groot verhang te kiezen om op de kosten van stortdammen e.d. te kunnen bezuinigen.

In het geval *sub 1* dient derhalve binnen de door opslibbing en kosten gestelde grenzen gestreefd te worden naar een minimum snelheid; in het geval *sub 2* naar de grootst toelaatbare snelheid bij een redelijk verhang; het *sub 3* bedoelde geval vereischt tenslotte een zoo groot mogelijk verhang, zoodat een breed en ondiep kanaal dient te worden gekozen, waarvoor het verval bij een bepaalde snelheid maximaal wordt (kleine hydraulische straal).

Al naar gelang een kanaal in een dezer drie groepen moet worden gerangschikt, dient met de voor die groep geldende bijzondere eischen bij het ontwerpen mede rekening te worden gehouden.

Stabiliteitseischen

Zooals reeds is opgemerkt, moet voor volledige stabiliteit van een kanaal de eisch worden gesteld, dat de bodem en wanden niet aan opslibbing of uitschuring onderhevig zijn, terwijl voorts geen afschuiving mag plaats vinden.

Teneinde opslibbing te voorkomen, moet de snelheid voldoende zijn om al de aangevoerde vaste stoffen in beweging te houden en door te voeren. Anderzijds mag de snelheid ook weer niet zoo groot worden gekozen, dat uitschuring plaats heeft van het materiaal, waaruit bodem en wanden bestaan.

Om voor bepaalde omstandigheden een stabiele doorsnede te kunnen vaststellen, is het noodig de verschillende voorwaarden op te sporen, waarbij de langs bodem en wanden optredende snelheden aan de gestelde eischen voldoen.

Ten aanzien van den aard van het te transporteeren materiaal dient onderscheid gemaakt te worden tusschen:

1) materiaal, geheel bestaande uit fijne deeltjes (gemakkelijk te transporteeren);
2) materiaal, geheel bestaande uit grovere deelen (voor het transport zijn relatief hooge snelheden vereischt);
3) materiaal, gegradeerd van fijn tot grofkorrelig.

Indien het slib geheel bestaat uit zeer fijn materiaal, levert de doorvoer daarvan practisch geen moeilijkheden op, omdat de stroomsnelheden, welke men normaal reeds om economische overwegingen moet kiezen, voldoende zijn om het slib in beweging te houden.

Bij gegradeerd materiaal heeft het transport van de fijnere deeltjes plaats in suspensie en van de grovere sleepend en rollend langs den bodem. Materiaal, uitsluitend bestaande uit grovere deelen, wordt geheel langs den bodem getransporteerd; wellicht verkeert een klein gedeelte in suspensie. Daar de hoeveelheid sleepstoffen, welke langs den bodem kunnen worden vervoerd, afhangt van de snelheid langs den bodem, zal voor de stabiliteit van een kanaalprofiel deze snelheid grooter moeten zijn bij grooter sleeptransport. In verband hiermede kan het noodig zijn om een grootere snelheid langs den bodem aan te nemen dan voor de grondsoort, waarin het kanaal is aangelegd, bij helder water zou kunnen worden toegelaten; de bewegingsenergie van het water langs den bodem wordt dan geheel verbruikt voor het transport van de aangevoerde sleepstoffen. Indien de snelheid echter grooter wordt dan die noodig is voor dit transport, zal een uitschurende werking op den bodem worden uitgeoefend; voor de stabiliteit van het kanaal is dan vereischt, dat de grondsoort voldoende weerstand tegen deze uitschurende werking bezit.

Resumeerend, dient derhalve de snelheid langs den bodem van een kanaal uit een oogpunt van stabiliteit voldoende te zijn, om het aangevoerde materiaal in beweging te houden, doch mag zij van den anderen kant weer niet zoo groot worden genomen, dat uitschuring van den ondergrond plaats vindt.

Op de gronddeeltjes van de wanden van een kanaal werken twee krachten, welke hen in beweging trachten te brengen, n.l. de zwaartekracht en de kracht, uitgeoefend door het stroomend water. De componente van de zwaartekracht langs het talud tracht de gronddeeltjes daarlangs naar beneden te doen rollen of glijden, terwijl de door de strooming van het water uitgeoefende kracht de gronddeeltjes wil meevoeren in de richting van den stroom. De grootte van laatstgenoemde kracht hangt af van de stroomsnelheid nabij de kanaalwanden. Wanneer de resultante van beide krachten groot genoeg is om de taluddeeltjes los te maken, zullen deze in diagonale richting naar den bodem in beweging geraken of, indien het materiaal fijn genoeg is, in suspensie worden meegevoerd. De taluds moeten flauw zijn, teneinde de componente van de zwaartekracht daarlangs zoo klein te houden, dat deze, samengesteld met de door het stroomend water uitgeoefende kracht, een resultante geeft, welke niet voldoende groot is om de gronddeeltjes los te maken.

Kanalen voor slibvrij water.

Het eenvoudigste geval bij de bepaling van een stabiel kanaalprofiel doet zich voor, wanneer het kanaal dient voor den aanvoer van helder water; bij water dat slib- of sleepstoffen bevat, doen zich eenige complicaties voor. Het eenvoudige geval van slibvrij water zal daarom eerst worden beschouwd.

Indien voor een kanaal een zoo klein mogelijk verhang moet worden gekozen, zal men gewoonlijk de goedkoopste oplossing verkrijgen door den natten omtrek in verhouding tot de natte doorsnede zoo klein mogelijk te nemen (grootste hydraulische straal). Voor trapeziumvormige kanalen bereikt men dit bij een verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte varieerende van 2,0 tot 0,472 voor taluds van ∞ op 1 tot 1 op 2. Deze waarden geven de gunstigste hydraulische doorsnede, doch daar hierbij geen rekening is gehouden met de ontgraving boven den waterstand, wordt het kleinste verhang bij een bepaalde grootte van de ingraving voor een kanaal gevonden door een doorsnede, waarbij de verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte kleiner is dan de bovenbedoelde. Derhalve zal de meest economische oplossing worden gevonden bij zeer kleine B/d-verhouding. De ervaring heeft echter uitgewezen, dat dergelijke aarden kanalen niet stabiel zijn.

Een stabiel kanaal voor slibvrij water moet voldoende flauwe taluds hebben om te voorkomen, dat de gronddeeltjes afglijden of afrollen, terwijl voorts de stroomsnelheid zoodanig moet zijn, dat de bodem en de taluds niet uitschuren. Zooals hiervoor is opgemerkt, zullen de gronddeeltjes der taluds eerder in beweging komen dan het bodemmateriaal, daar op eerstgenoemde gronddeeltjes, behalve de door het stroomende water uitgeoefende krachten, bovendien nog de zwaartekracht werkt.

Indien de gemiddelde snelheid in een nauw, diep kanaal voldoende klein is om het in beweging raken van het taludmateriaal te voorkomen, en de taluds voorts een zoodanige helling hebben, dat geen gevaar voor afschuiving bestaat, zal de stabiliteit van het kanaal verzekerd zijn. Bij geringe snelheden en helder water zal men dus nauwe, diepe kanalen kunnen toepassen. In het algemeen echter zullen kostenoverwegingen beletten, dat men ten behoeve van een geringe stroomsnelheid een ruim kanaalprofiel kiest. Voor dergelijke kanalen moet dan een zoodanig dwarsprofiel worden gekozen, dat de bodem- en wandsnelheden geen aanleiding geven tot het losraken der gronddeeltjes. In verband met den invloed van de zwaartekracht zal, om de maximum toelaatbare gemiddelde snelheid te kunnen bereiken, de snelheid langs de wanden kleiner dienen te worden genomen dan de bodemsnelheid. De reductie van de wandsnelheid ten opzichte van de bodemsnelheid wordt bereikt door de verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte grooter te nemen.

Fig. 3 geeft voor een aantal rechthoekige kanaalprofielen met gelijke doorsnede de snelheidsverdeeling. De voor de samenstelling dezer figuur gebruikte gegevens zijn grootendeels ontleend aan de onderzoekingen van Darcy en Bazin. De snelheden zijn aangegeven door isotachen, dat zijn lijnen van gelijke snelheid, uitgedrukt in percentages van de gemiddelde snelheid (De gegevens werden verkregen uit vele proefnemingen met varieerende debieten. Ofschoon het verloop dezer isotachen zich wellicht eenigszins zal wijzigen bij verschillende snelheden, mag worden aangenomen, dat de afwijkingen relatief klein zullen zijn). Daar voor alle beschouwde profielvormen de doorsnede gelijk is genomen, stellen de lijnen, welke een zelfde percentage van de gemiddelde snelheid aangeven, in alle diagrammen bij een willekeurig debiet ook dezelfde snelheid voor.

Bij beschouwing van de snelheidsverdeeling in deze profielen ziet men, dat de hooge snelheden bij de nauwe, diepe profielen dichter langs de wanden optreden dan bij de breede en ondiepe vormen.

In een zeer nauw en diep profiel zijn de snelheden nabij de wanden even hoog of zelfs hooger dan die langs den bodem. Wanneer men de snelheid in een dergelijk kanaal geleidelijk opvoert, zullen nede in verband met den invloed van de zwaartekracht, het eerst de gronddeeltjes van de wanden in beweging geraken.

Bij het ontwerpen van een kanaal voor den aanvoer van helder water zal men, ingeval een zoo klein mogelijk verhang vereischt is (*geval 1*, pg. 229), derhalve uit een hydraulisch oogpunt de kleinste verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte moeten aannemen, welke niet leidt tot uitschuring der taluds, mits die verhouding niet kleiner is dan die, welke voor een bepaalde hoeveelheid grondverzet den kleinsten natten omtrek geeft. Dit laatste zal vermoedelijk slechts zelden het geval zijn.

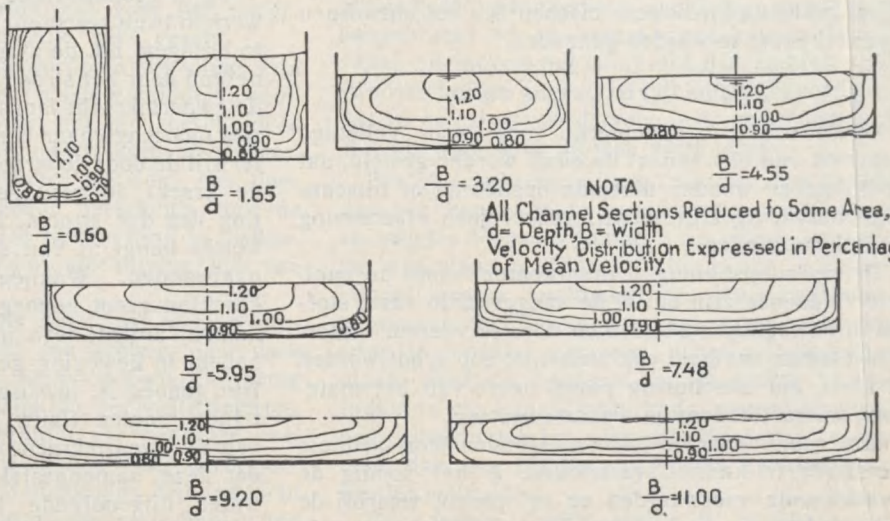


Fig. 3. Snelheidsverdeeling in kanalen met rechthoekige doorsnede en verschillende bodembreedten.

Het ontwerpen van een kanaal voor de hoogst toelaatbare gemiddelde snelheid (*geval 2*) bereikt men door een zoodanige verhouding te kiezen tusschen bodembreedte en waterdiepte, dat de krachten, welke de gronddeeltjes van bodem en wanden in beweging willen brengen, de grootste waarden bereiken, waaraan nog juist voldoende weerstand kan worden geboden.

Voor kanalen met groot verhang (*geval 3*) is het gebruikelijk een breed en ondiep profiel te kiezen, teneinde den hydraulischen straal en derhalve ook de snelheid te reduceeren. Bij zulke zeer breede kanalen zal de uitschuring het grootste zijn bij den bodem; dit feit is maatgevend voor het toe te laten verhang. Theoretisch is er geen limiet voor het verhang van een kanaal, omdat men de snelheid tot iedere gewenschte waarde kan verminderen door het kanaal maar voldoende breed en ondiep te maken. In de practijk is men hierin echter beperkt, omdat bij zeer kleine waterdiepten als gevolg van onregelmatigheden bij de uitvoering, toch uitschuring optreedt en wel op die gedeelten, die een weinig dieper werden ontgraven. Deze ervaring is opgedaan bij kanalen met groot verhang en een bodembreedte en waterdiepte van resp. 8 à 10 ft en 0,6 à 0,8 ft.

Kanalen met slibtransport.

Bij het transport van slibstoffen in suspensie spelen de verticale stroomingen, welke in iederen waterstroom voorkomen, een belangrijke rol; zij voeren de slibdeeltjes, welke onder de werking van de zwaartekracht naar beneden willen vallen, weer naar boven. Men kan in dit verband de hypothese opstellen, dat de capaciteit van een waterstroom om materiaal in suspensie te transporteeren evenredig is met de turbulentie, welke vermoedelijk weer evenredig is met de verbruikte energie. De concentratie van een bepaalde hoeveelheid vaste stof, die een waterstroom kan bevatten, is dus evenredig met de verbruikte energie per eenheid van volume.

Het bovenstaande geldt voor de geheele doorsnede; niettemin kan in een bepaald gedeelte daarvan opslibbing en in een ander gedeelte uitschuring plaats vinden. Daar de snelheid aan de kanten van een trapeziumvormig profiel laag is, zal er bij een kanaal, waardoor water stroomt, dat slib in suspensie bevat, zelfs bij relatief hooge snelheden neiging bestaan tot neerslag van het meegevoerde slib aan de kanten. Hierbij komt nog, dat aldaar ook in den regel vegetatie plaats heeft, welke beide omstandigheden aanleiding geven tot het vormen van een berm en steilere taluds dan oorspronkelijk werden gegraven. Hiermede wordt veelal bij het ontwerpen van kanalen reeds direct rekening gehouden.

Het is wellicht niet mogelijk om neerslag van gesuspenseerd slib langs de kanten van een aarden kanaal geheel te voorkomen, ook al kan men den neerslag beperken door toepassing van hooge snelheden. De grootste moeilijkheden in dit opzicht ondervindt men in kanalen met zóó klein verhang, dat de energie onvoldoende is om het slib in suspensie te houden. In dergelijke gevallen is men genoodzaakt de snelheid te verhoogen dan wel het gesuspendeerd slib in een ontsiltingsinrichting te verwijderen.

Kanalen met sleeptransport.

In irrigatiekanalen heeft men veelal te rekenen op een belangrijk transport van sleepstoffen langs den kanaalbodem; het bovenwater kan dan helder zijn of slib in suspensie bevatten. De hoeveelheid van het getransporteerd materiaal hangt af van de snelheid langs den bodem. Waarschijnlijk is voor het transport van een zelfde hoeveelheid grof materiaal een hoogere snelheid vereischt dan voor fijn materiaal.

Voor de stabiliteit van de hier bedoelde kanalen is het noodig, dat alle aangevoerde sleepstoffen worden doorgevoerd, daar het kanaal anders gevuld zou raken. Dit vereischt in vergelijking met de kanalen voor helder water groote snelheden langs den bodem. Voor een bepaalde grondsoort van de taluds zal in beide gevallen een zelfde snelheid langs de wanden kunnen worden toegelaten. Derhalve zal voor de stabiliteit van een kanaal met belangrijk transport voor sleepstoffen een breed, ondiep profiel gekozen dienen te worden, omdat daarbij bij een zelfde snelheid langs de wanden grootere bodemsnelheden optreden. Het is dus noodig voor een dergelijk kanaal in gemakkelijk uitschurenden grond een groote verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte aan te nemen. Wanneer de taluds echter uit meer weerstandbiedende grondstoffen bestaan, kan deze verhouding kleiner worden genomen zonder gevaar voor taludaantasting.

Colloiden.

Van grooten invloed op het kanaalprofiel is voorts de omstandigheid of het water in belangrijke mate colloiden bevat. Deze toch binden de fijnere slibdeelen, welke bij de wanden neerslaan, en geven aanleiding tot het ontstaan van verticale taluds in vele kanalen. Het op deze wijze gecementeerd materiaal langs de wanden heeft een grooteren weerstand tegen uitschuring dan in verband met de korrelafmetingen zou kunnen worden verwacht, zoodat hoogere wandsnelheden kunnen worden toegelaten dan anders het geval zou zijn. In zekere mate mag een zelfde invloed worden aangenomen op het bodemmateriaal.

Gemeend wordt echter, dat sommige der aan de colloiden toegeschreven invloeden op rekening dienen te worden gesteld van de aanwezigheid van groote hoeveelheden slib in het water. Zoo is b.v. het feit, dat in de kanalen van de Imperial Valley snelheden van 4 à 5 ft per sec kunnen worden toegelaten zonder dat uitschuring plaats vindt, aan de aanwezigheid van colloiden toegeschreven, doch schrijver dezes meent, dat zulks grootendeels te danken is aan de groote hoeveelheid slib, welke het water bevat. Wanneer deze kanalen straks gevoed zullen worden met het slibarme water van het All-American-kanaal, zal hun bed vermoedelijk belangrijk uitschuren.

Overeenstemming met de waarnemingen.

Het hierboven behandelde verband tusschen de verschillende van invloed zijnde factoren stemt bevredigend overeen met de waarnemingen, welke in de *fig. 1* en *2* graphisch zijn weergegeven.

De in *fig. 1* voor de Nijl gegeven kritische snelheid is veel kleiner dan die, welke Kennedy in Br.-Indië vond, en ook dan de snelheden in de kanalen van de Imperial Valley. In deze gevallen zijn zoowel de kwantiteit als de kwaliteit van het slib een factor van beteekenis. Het slib in de Nijl en de Colorado is fijn, doch voor de kanalen in de Imperial Valley was een belangrijk grootere snelheid vereischt dan in Egypte, in verband met de grootere hoeveelheid slib. De kritische snelheid was in de door Kennedy waargenomen kanalen grooter dan in Egypte, vermoedelijk als gevolg daarvan, dat de korrelafmetingen van het bodemmateriaal grooter waren en derhalve voor het transport daarvan hoogere snelheden waren vereischt.

Ofschoon Kennedy's kanalen grover materiaal bevatten, vereischten toch de kanalen in de Imperial Valley grootere snelheden, omdat de hoeveelheid te transporteeren materiaal in deze kanalen belangrijk grooter was dan in eerstgenoemde.

Ook met de in *fig. 2* gegeven verhoudingen tusschen bodembreedten en waterdiepten stemmen voorgaande beschouwingen goed overeen. In de Egyptische kanalen zijn de snelheden laag; ofschoon de wandsnelheden in verband met de diepe, nauwe profielen relatief hoog zijn, zijn zij toch onvoldoende om aanleiding te geven tot aantasting van de taluds. Het langs den bodem getransporteerd materiaal is fijn en gering in hoeveelheid, zoodat de snelheid langs den bodem voldoende is om het materiaal in beweging te houden.

De kanalen in Br.-Indië (*fig. 2*) bevatten middelmatige hoeveelheden nogal grof materiaal en vereischen derhalve nogal breede profielen.

Het materiaaltransport in de kanalen van de Imperial Valley is zeer groot en bestaat uit fijn zand; het transport vereischt groote snelheden. Teneinde de snelheden langs de wanden voldoende klein te houden om aantasting te voorkomen, moet voor deze kanalen dus de verhouding van bodembreedte tot waterdiepte groot worden genomen. In drie van de vier kanalen, waaromtrent gegevens beschikbaar zijn, is deze verhouding grooter dan die volgens de vergelijkingen van Woods of Lindley. Bij deze drie kanalen bestaan de wanden uit gemakkelijk erodeerend materiaal; bij het vierde kanaal, dat een kleinere verhouding tusschen bodembreedte en waterdiepte heeft, daarentegen uit een grondsoort, welke een grooten weerstand tegen uitschuring heeft. Voor de eerstgenoemde drie kanalen met gemakkelijk uitschurende taluds is de bodembreedte belangrijk grooter dan die, welke de vergelijking van Lacey geeft voor het slibtype, dat deze kanalen bevatten. De schrijver meent dat de formule van Lacey gebaseerd is op gegevens betreffende kanalen met belangrijk kleiner slibtransport.

Stabiele kanaalvormen.

De eenige onderzoeker, die getracht heeft den vorm van een stabiel kanaal nader te definieeren dan door de verhouding van bodembreedte en waterdiepte is Lacey. Hij merkt terzake het volgende op:

> „Dat natuurlijke, slibtransporteerende waterloopen de neiging hebben om een semi-elliptische doorsnede aan te nemen, wordt bevestigd door waarnemingen betreffende een groot aantal van dergelijke waterloopen, welke een eindtoestand hebben bereikt, alsmede door beschouwing van de doorsneden van aflaatkanalen van rivieren van bekende stabiliteit".

Hij concludeert dan verder, dat stabiele kanalen een semi-elliptische doorsnede zullen hebben, waarvan de groote as horizontaal is en de verhouding tusschen de groote as en de halve kleine as, afhangt van den aard van het slib; hoe grover het slib, hoe grooter ook deze verhouding zijn zal.

Op grond van de uitkomsten zijner onderzoekingen kan schrijver dezes de meening van Lacey niet onderschrijven.

Een gemakkelijke methode voor de vergelijking van kanaaldoorsneden heeft men door gebruik te maken van de verhouding tusschen de natte doorsnede en de doorsnede van den omgeschreven rechthoek (door Lane genoemd „vormfactor"). Voor een ellips is deze verhouding $\frac{\pi}{4} = 0{,}79$; voor een parabool 0,67; voor een driehoek 0,50 en voor een rechthoek 1. Bij een groot aantal doorsneden van kanalen met omvangrijk transport van gegradeerd „silt" (van colloiden tot fijn materiaal) vond Kennedy een practisch horizontalen bodem en verticale taluds, derhalve een „vormfactor" gelijk aan 1.

Hoe de kanaalvorm precies zal zijn bij verschillende omstandigheden is nog niet onderzocht, doch schrijver dezes heeft bij kanalen met groot transport van gegradeerd „silt" (van colloiden tot fijn zand) waargenomen, dat de doorsneden bestaan uit een practisch horizontalen bodem van fijn zand met nagenoeg verticale taluds van silt en klei. De vormfactor voor deze kanalen bedraagt ongeveer 0,90. Dit geldt voor de kanalen in de Imperial vallei. Het verschil in de samenstelling van het bodem- en taludmateriaal is ook waargenomen in Br.-Indië. Een overeenkomstig verschijnsel vindt men bij kanalen, welke een vrij belangrijk materiaaltransport langs den bodem hebben en een matige hoeveelheid fijn slib bevatten. Bij een in grindlagen ontgraven kanaal, waarin slibarm water met groote snelheid stroomt, zal zich een komvormig profiel vormen met eenige slibafzetting aan de kanten. Bij een dergelijk nauwkeurig gemeten kanaal werd een vormfactor van 0,85 gevonden. Schrijver dezes meent, dat het bij verder onderzoek mogelijk zal zijn om de bij bepaalde omstandigheden behoorende kanaalprofielen vast te stellen.

Debietvariatie.

Het ontwerpen van het meest doelmatige kanaalprofiel wordt gecompliceerder, indien rekening moet worden gehouden met varieerende debieten. Sommige kanalen zullen dan gedurende bepaalde perioden uitschuren, gedurende andere aanzanden; wanneer deze twee invloeden elkaar in evenwicht houden, zal het kanaal als stabiel kunnen worden aangemerkt. Voor de beoordeeling van deze gevallen kunnen geen richtlijnen worden gegeven; men dient daarbij juist technisch inzicht te toonen, gebaseerd op de kennis der bestaande toestanden, en rekening te houden met den voor een constant debiet vereischten vorm.

Slotopmerking.

Daar wellicht de vorenstaande analyse van de factoren, welke van invloed zijn op de stabiliteit van kanalen, den indruk geeft, dat onvoldoende rekening is gehouden met de nieuwe theorieën betreffende stroomingsleer, hydrodynamica en sleepkracht vestigt de schrijver er de aandacht op, dat hij bij zijn onderwerpelijke studie de nieuwste literatuur inzake evenbedoelde onderwerpen heeft geraadpleegd. Teneinde deze publicatie meer algemeen begrijpelijk te maken, is op die theorieën echter niet verder ingegaan en zijn slechts de conclusies gegeven, welke daaruit kunnen worden afgeleid inzake de stabiliteit van kanalen.

H.

VEREENIGING VAN WATERSTAATSINGENIEURS.

Bij den bibliothecaris, ir. E. E. Hens, Dept. van Verkeer en Waterstaat, Bandoeng, zijn verkrijgbaar:

Losse nummers van het tijdschrift *De Waterstaats-Ingenieur*	*f* 1,50
Grafieken voor hydraulische berekeningen, door ir. J. M. Steevensz	„ 4,—
Grafieken, behoorende bij het artikel „Een eenvoudige berekeningswijze voor leidingen en waterloopen" voorkomende in No. *9 — 1931*	„ 0,50
Overdrukken van de belangrijkste verschenen artikelen, o.m.	
Geologisch overzicht van Java en Madoera, door dr. G. J. N. Hengeveld (*1919 — 11*)	„ 1,50
Afvoer van regens, door ir. A. Perelaer (*1917 — 6*)	„ 1,—
Bepaling van den afvoer van regens, door ir. J. E. de Meijier	„ 1,50
Springstoffen, door H. H. van Wijk (*1921 — 2*)	„ 1,—
Bandjirs in de rivieren van Java, door O. J. Herz (*1922 — 12* en *1933 — 1*)	„ 0,50
Aftapsluizen en meetinrichtingen voor bevloeiingswerken, door ir. P. de Gruyter (*1925 — 2* en *3*).	„ 2,—
Een nieuwe aftap- tevens meetsluis, door ir. P. de Gruyter (*1926 — 12* en *1927 — 1*)	„ 2,—
Pompvergunningen en pompstations, door ir. H. M. Verwey (*1927 — 4*)	„ 1,—
De inwendige organisatie van de Vorstenlandsche Waterschappen, door ir. J. Th. Rietveld	„ 1,—
De gyroscoop en zijne toepassingen in de techniek, door Prof. Ir. C. G. J. Vreedenburgh (*1927 12*)	„ 1,50
De tangentieele buigspanningen in groote drukbuizen, door Prof. Ir. C. G. J. Vreedenburgh en wijlen Ir. W. Beyerinck (*1929 — 5*)	„ 1,50
Venturimeters voor secundaire aftapsluizen, door Ir. A. L. Verwoerd (*1929 — 10*)	„ 2,50
Een module venturimeter-inlaatsluis met groot meetbereik, door Ir. A. L. Verwoerd (*1930 — 4*)	„ 1,25
Electriciteit op bouwwerken, door Ing. L. A. Schmid (*1930 — 7*)	„ 0,50
Gespoelde dammen (hydraulic-fill dams), door Ir. S. A. Blok (*1930 — 9*)	„ 1,50
Toepassing van de waarschijnlijkheidsleer op hydrol. waarnemingen, door Ir. S. H. A. Begemann (*1931 — 1, 2* en *3*)	„ 4,—
Het Chlooronderzoek in de vlakte van Kedoeng Semat, door Ir. F. M. van Veen (*1931 — 6*)	„ 1,50
De onvolkomen overlaat, door Ir. H. Vlugter (*1932 — 4*)	„ 2,—
Een regelbare meetoverlaat als tertiaire aftapsluis, door Ir. D. G. Romijn (*1932 — 9*)	„ 1,—
Berekening overlaatlengte van reservoirs, door Ir. D. H. Arends (*1933 — 6* en *7*)	„ 2,—

Van de onderstaande overdrukken zijn nog enkele exemplaren verkrijgbaar, welke tegen *zeer verminderden prijs* worden opgeruimd.

Ir. C. A. E. van Leeuwen. Het huidige vraagstuk der watervoorziening van Batavia en Mr.-Cornelis (*1917 — 3, 4, 7, 12* en *1918 — 1*)	*f* 1,—
Ir. J. de Jonge. De Boschexploitatie op de Buitenbezittingen, speciaal die op het eiland Simaloer (*1919 — 7*)	„ 0,25
J. M. Beckman. De barometrische hoogtemeting in Indië (*1922 — 6*)	„ 0,25
Ir. W. C. D. Haarman. De economische grens van de wielkracht van vrachtauto's (*1922 — 7*)	„ 0,25
Ir. Ch. F. van Haeften. Drukbuizen van gewapend beton (*1922 — 7*)	„ 0,50
P. H. W. Sitsen. Energie-vernietigers, (Kreuter-remmen) (*1922 — 6*)	„ 0,25
Dr. Ir. W. B. Peteri. De Indische wegen en de mechanische tractie (*1922 — 10*)	„ 0,25
Ir. Wouter Cool. Waar Oceaan en rail elkaar ontmoeten (*1923 — 3*)	„ 0,25
H. W. Jonkhoff. Het nieuwe motorreglement in verband met de raillooze tractortrein (*1923 — 8*).	„ 0,25
Ir. B. J. K. Cramer. Ontwerp van een slacht- en koelhuis voor de gemeente Batavia (*1923 — 1*).	„ 0,50
Ir. P. de Gruyter. Aftap- tevens meetsluizen voor secundaire leidingen (*1925 — 4*)	„ 0,75
Ir. W. F. Eysvoogel. Het Goeng-gebied, een irrigatiewerk met niet gescheiden aan- en afvoer (*1925 — 4*)	„ 0,75
Ir. J. J. Baggelaar. De plannen van een zeehaven voor Semarang (*1926 — 7*)	„ 0,25
B. Hoff. Ervaringen met tras, roode cement en kalkmortels op Java (*1928 — 11*)	„ 0,75
Ir. L. J. C. van Es. Stuwdammen (*1928 — 8*)	„ 0,50
Ir. F. D. Pigeaud. Schroef- en Kaplanturbines (*1928 — 7*)	„ 0,25
Dr. Ir. L. J. de Ven. De tijdstudie op het gebied van den civiel-ingenieur in Indië (*1928 — 9*)	„ 0,25
Ir. J. F. Graadt van Roggen. Bevloeiingswerken in de Landschappen in Z.-W. Celebes (*1928 — 9*)	„ 0,25
Mr. J. Meihuizen. Beschadiging van bevloeiingswerken, enz. en hare berechting (*1929 — 6*)	„ 0.25
Ir. W. C. D. Haarman. De ontwikkeling van den trolleybus (*1929 — 6, 7, 8*)	
L. A. Schmid. Toepassing electrischen stroom bij werkzaamheden op ijzerconstructies, e.d. (*1930 —*	
Richard Baumgartner. Het nieuwe Post- en Telegraafkantoor te Batavia (*1930 — 2*)	
Prof. ir. C. G. J. Vreedenburgh. Berekening der spanningen in den wand van vlak buisleidingen met grooten diameter onder overdruk met behulp der benaderingsformules voor samengestelde knik (*1931 — 7*)	„ 1,—
Ir. P. L. E. Happé. Wegbreedte in verband met de tegenwoordige verkeerseischen (*1932 — 5*)	„ 0,25
Ir. A. de Heer. De zware herstelling aan de van der Wijck-leiding (*1932 — 5*)	„ 0,25