

# De Rossum-stuw

Wubbo Boiten

In 1982 heeft de Landinrichtingsdienst een hydrologische studie opgezet voor het gebied Rossum-Oost, ten noord-oosten van Oldenzaal. Voor het meten van de afvoeren in een aantal beken is toen door het Waterloopkundig Laboratorium een nieuw type meetstuw ontworpen: de V-vormige korte overlaat met halfcirkelvormige dwarsdoorsnede. Kortweg de Rossum-stuw genoemd. Al tijdens het ontwerp in het laboratorium trok de Rossumstuw de belangstelling van andere instanties, die zich bezighouden met het opstellen van waterbalansen. Voor het Waterloopkundig Laboratorium was dit aanleiding de modelproeven op bescheiden schaal uit te breiden, om zo te komen tot een soort standaardisering van de stuw. Hierdoor is het hydraulisch ontwerp van dit type meetstuw mogelijk geworden voor een omvangrijk toepassingsgebied. De maximale afvoer hangt af van de gekozen afmetingen en kan een waarde van  $1,5 \text{ m}^3/\text{s}$  bereiken, waardoor de V-vormige overlaat een zeer geschikt instrument is voor het continu meten van kleine tot middelgrote afvoeren. In dit artikel worden de resultaten van het onderzoek gegeven, alsmede de ontwerpregels en -voorwaarden. Ter illustratie wordt het hydraulisch ontwerp van een V-vormige korte overlaat gegeven, die maximaal  $1,00 \text{ m}^3/\text{s}$  moet kunnen afvoeren: de afmetingen worden vastgesteld en de afvoerkromme wordt opgesteld.

## Wanneer en waarom een Rossum-stuw?

In veel betrekkelijk steile waterlopen – natuurlijke beken en gegraven watergangen – zijn stuwen gebouwd, die aanvankelijk uitsluitend bedoeld waren om een zeker verval te lokaliseren of om de bovenwaterstand op peil te

houden. Zo'n bodemval is een vaste waterkering, gemaakt als damwand of als een muur van metselwerk of beton. In een later stadium kan de behoefte ontstaan om ter plaatse van de bodemval continu de afvoer te meten. Zodoende moet de bestaande waterkering geschikt worden gemaakt als afvoermmeetpunt. In het hoger gelegen deel van ons land zijn de afvoeren gedurende 6 ... 10 maanden per jaar relatief laag en zijn de piekafvoeren van betrekkelijk korte duur. Het meetbereik, gedefinieerd als het quotient  $Q_{\text{max}}/Q_{\text{min}}$ , is dus vrij groot; voor een betrouwbare jaarbalans is het van belang zowel de langdurige lage afvoeren als de kort durende piekafvoeren redelijk nauwkeurig te meten. In die gevallen is de Rossum-stuw een zeer bruikbaar middel voor het meten van afvoeren in open waterlopen, figuur 1

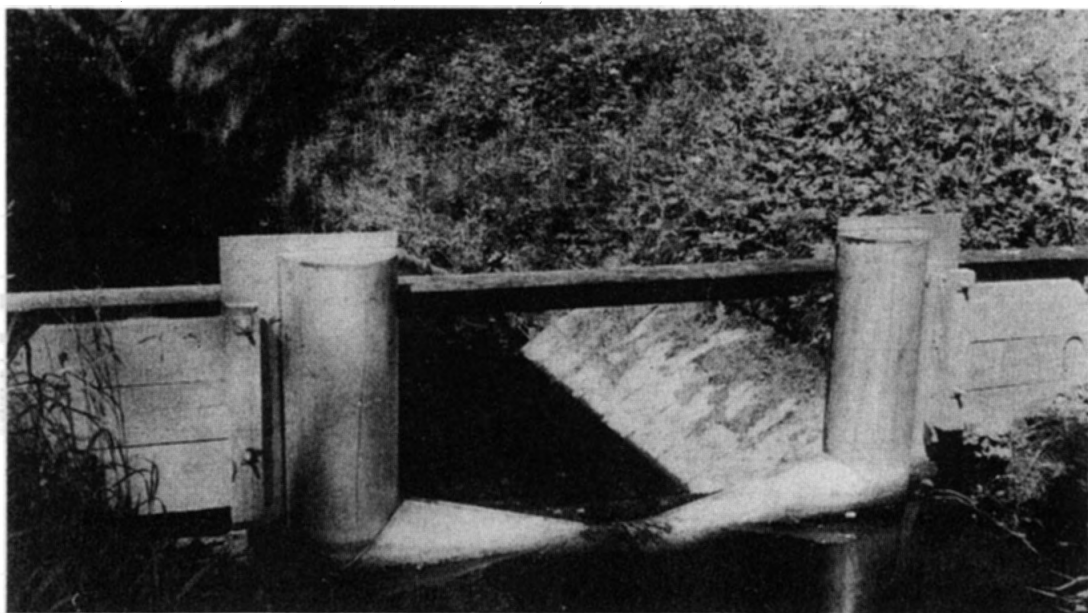
De stuw is licht van gewicht en gemakkelijk verplaatsbaar. Ze kan tegen de bestaande waterkering worden bevestigd en wordt geheel daardoor gedragen. De voordelen van de Rossum-stuw zijn:

- door de gestroomlijnde kruin wordt drijvend vuil gemakkelijk afgevoerd;
- de V-vormige bodem verhoogt de meetnauwkeurigheid bij lage afvoeren;
- vooral bij de hoge afvoeren is de afvoercoëfficiënt hoog;
- door het geringe gewicht is installeren met mankracht mogelijk;
- de stuw is eenvoudig van constructie, toch robuust en niet duur.

Gestuwde afvoer treedt op vanaf een verdrinkingsgraad  $S = 25\%$ . Als het beschikbare verval niet toereikend is om gestuwde afvoer te vermijden, verdient een V-vormige lange overlaat [2] de voorkeur boven de Rossumstuw. Voor de lange overlaat treedt gestuwde afvoer op vanaf een verdrinkingsgraad  $S = 80\%$ .

De afmetingen van de Rossum-stuw worden bepaald door de maximale afvoer, de beschikbare breedte en het beschikbare verval in de waterloop. Meestal zal de stuw worden ontworpen voor ongestuwde afvoer, waarbij het

1. Een V-vormige korte overlaat, bevestigd op een damwand (Rossum-Oost).



De auteur ing. W. Bolten, is als projectingenieur hydrometrie werkzaam bij het Waterloopkundig Laboratorium in Wageningen.

debiet uitsluitend een functie van de bovenwaterstand is. Bij gestuwde afvoer is het debiet afhankelijk van de boven- en de benedenwaterstand.

## Beschrijving van de Rossum-stuw

Het doorstromingsprofiel is samengesteld uit:

- een omgekeerde gelijkbenige driehoek, waarvan de hoogte  $H_b$  is en de bodemhoek  $\alpha = 150^\circ$ .
- een rechthoek, waarvan de breedte tussen de zijwanden  $B$  bedraagt.

Dit profiel wordt gevormd door stukken halve pijp, waarvan de uitwendige straal  $R$  bedraagt. De pijpgedeelten zijn gelast op een plaat, die volgens het doorstromingsprofiel is uitgezaagd. De kruin van de overlaat is gedefinieerd als het laagste punt van de driehoek.

De Rossum-stuw kan naar wens worden uitgevoerd als vaste stuw of als verticaal beweegbare stuw. Als het niet nodig is de waterstand of het debiet te regelen, zal deze als vaste stuw worden gebouwd: de plaat wordt met bouten bevestigd aan de bestaande of nieuw te bouwen waterkering. Als het wel nodig is om de stuw als meet- en regelwerk te gebruiken, zal ze worden geplaatst tussen twee landhoofden van metselwerk of beton, waarin een verticale glij-sponning is aangebracht. De stuwplaat kan hierin door middel van een heugelstang op en neer worden bewogen. Een verticale geleidewand tussen de beide landhoofden, gefundeerd op de bodem, evenwijdig aan en direct voor de sponning levert de waterdichte onderaanslag voor de stuw.

Ook kan de Rossum-stuw als dubbele schuifstuw worden ontworpen. Dit ontwerp komt vooral in aanmerking, als het nodig is regelmatig afzettingen van zand en slib weg te spoelen. In de landhoofden worden dan twee sponningen aangebracht: de meetstuw komt in de achterste sponning en de bodemschuif in de voorste. Tijdens normaal bedrijf staat de bodemschuif op de bodem. Tijdens het spuien van afzettingen kan ze worden geopend door beide schuiven onderling te koppelen en omhoog te trekken. Na het spuien wordt de bodemschuif weer op de bodem gedrukt en worden de schuiven ontkoppeld.

De bovenstroomse waterstand wordt bij voorkeur in een peilput gemeten, waarop een waterstandsrecorder wordt geïnstalleerd. Als de stuw een verticaal beweegbare is, moet ook de kruinhoogte simultaan worden geregistreerd. De overstorthoogte  $h_1$ , die gedefinieerd is als

het hoogteverschil tussen de bovenstroomse waterstand en de kruin van de stuw, moet zeer nauwkeurig worden geregistreerd: de onnauwkeurigheid – veroorzaakt door fouten in de nulpuntsbepaling of door instrumentfouten – moet beperkt worden tot  $\delta h = 0.003\text{m}$ . Een regelmatige inspectie en regelmatig onderhoud zijn daartoe onontbeerlijk.

In de Internationale Standard ISO/DIS 8333 [7] voor V-vormige lange overlaten kan de lezer zich verder op de hoogte stellen van de volgende aspecten:

- de keuze van de meetplaats;
- voorwaarden voor de kanaalpanden ter weerszijden van de stuw;
- meting van de overstorthoogte, inclusief de specificaties voor de peilput en de nulpuntsbepaling van V-vormige kruinen;
- foutenberekening in de afvoermeting.

## Verschillende vormen van afvoer

Afhankelijk van de energiehogte  $H_1$  zijn er bij V-vormige overlaat twee vormen van afvoer mogelijk. De vorm wordt bepaald door de mate waarin het doorstromingsprofiel boven de kruin gevuld is met water. Als de energiehogte – overstorthoogte vermeerderd met snelheidshoogte,  $H_1 = (h_1 + (v^2/2g))$  – ter plaatse van de peilput een waarde  $H_1 = 1,25 H_b$  bereikt, is het driehoekige gedeelte van het profiel juist geheel gevuld. De waterspiegeldaling van  $0,2 H_1$  is het gevolg van de versnelling die het water ondergaat tussen de raai van de peilput en de kruin. De twee vormen van afvoer zijn dan:

- Voor de lagere afvoeren is de vorm 'gedeeltelijk gevuld' met  $H_1 \leq 1,25 H_b$
- Voor de hogere afvoeren is de vorm 'meer dan vol' met  $H_1 > 1,25 H_b$

## Doel en omvang van het onderzoek

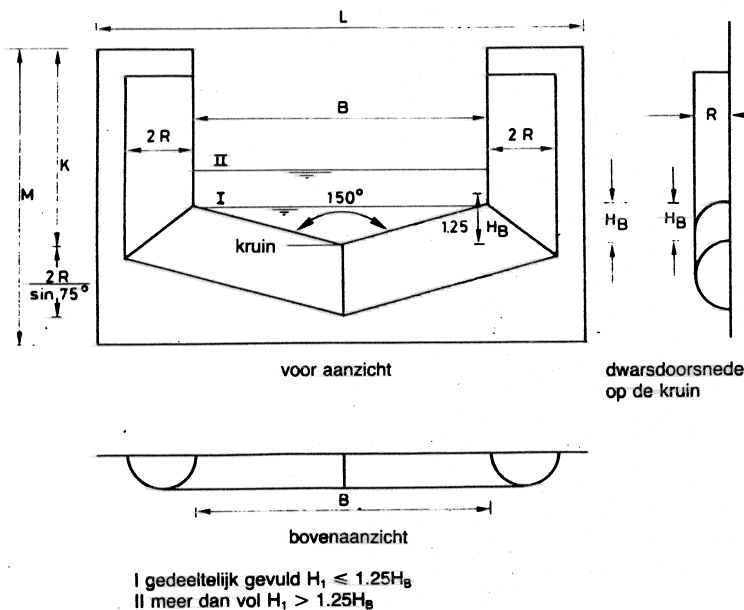
De literatuur over meetstuwen leert dat er uitgebreide studies hebben plaatsgevonden voor hetijken van de V-vormige lange overlaat [1 en 2] en de V-vormige scherpe overlaat. Voor beide types zijn tevens Internationale Standards opgesteld [7] en [5]. Vergelijking van de karakteristieke afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor de verschillende V-vormige overlaten – lange, korte en scherpe – is mogelijk omdat ze door verschillende parameters worden bepaald:

- lange overlaat  $C_D = f(H_1/L, \alpha)$  waarin  $L$  de kruinlengte is;
- korte overlaat  $C_D = f(H_1/R, \alpha)$  waarin  $R$  de straal van de pijp is;
- scherpe overlaat  $C_D = f(H_1/P, P/B, \alpha)$  waarin  $P$  de hoogte van de kruin boven de kanaalbodem is en  $B$  de kanaalbreedte. De afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor lange en scherpe overlaten is in geringe mate afhankelijk van de bodemhoek  $\alpha$ : de variatie is ongeveer 3%.

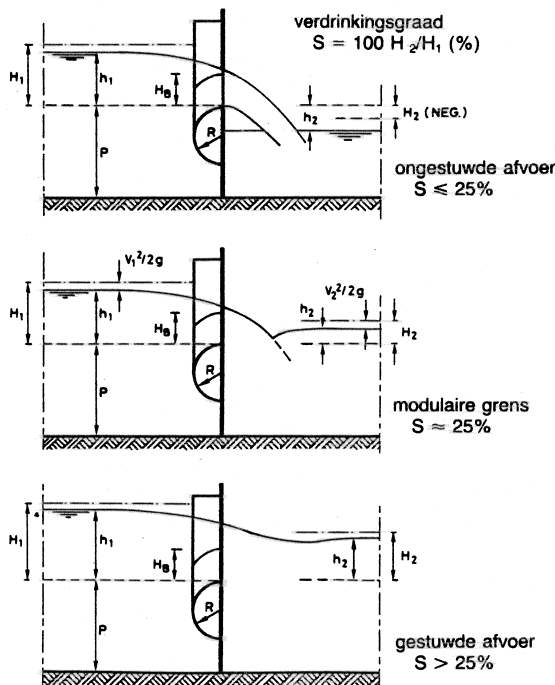
Het huidige onderzoek had tot doel de V-vormige korte overlaat met halfcirkelvormige doorsnede teijken: de afvoercoëfficiënt is vastgesteld uit modelproeven. Hierbij zijn ook de volgende aspecten onderzocht:

- schaafeffecten zijn nagegaan door het beproeven van modellen met verschillende bochtstralen  $R$ ;
- de breedte  $B$  van de overlaat werd gevarieerd om effecten van zijdelingse insnoering te onderkennen;
- variatie in de vorm van het kanaalprofiel: dezelfde modellen zijn geijk in een rechthoekig en in een trapeziumvormig kanaal;
- de ijking omvatte een uitgebreid  $H_1/R$  bereik, inclusief de afvoervormen 'gedeeltelijk gevuld' en 'meer dan vol';
- behalve de V-overlaat  $\alpha = 150^\circ$  is ook de horizontale overlaat  $\alpha = 180^\circ$  geijk; het doel hiervan was om de

2. De V-vormige korte overlaat met halfcirkelvormige doorsnede,  $\alpha = 150^\circ$



### 3. Definitie schets ongestuwde en gestuwde afvoer.



afvoercoëfficiënten van halfcirkelvormige en cirkelvormige onderling te vergelijken;  
– tevens is gestuwde afvoer gemeten.  
Figuur 3 geeft een definitie schets voor ongestuwde en gestuwde afvoer.

Tabel 1 geeft het overzicht van de proefseries met tien verschillende modellen.

### De afvoerformules

De afvoerformules voor de volgende drie doorstromingsprofielen bij lange overlaten zijn afgeleid in [1]:

- het driehoekige profiel;
- een profiel samengesteld uit een driehoek en een rechthoek;
- het rechthoekige profiel.

De stroomlijnen boven de kruin van een korte overlaat zijn niet recht en evenwijdig zoals dat het geval is bij de lange overlaat. Niettemin worden de afvoerformules voor de lange overlaat ook gebruikt voor de korte. Door de sterkere kromming van de stroomlijnen bij de korte overlaat worden hierbij relatief hogere afvoercoëfficiënten gevonden.

De volgende afvoerformules zijn toegepast:

I De V-vormige korte overlaat 'gedeeltelijk gevuld'

$$Q = \left(\frac{4}{5}\right)^{5/2} \cdot \left(\frac{g}{2}\right)^{1/2} \cdot \tan(\alpha/2) \cdot C_D \cdot f \cdot H_1^{5/2}$$

waarin:

Q de afvoer (m³/s)

g versnelling van de zwaartekracht (m/s²)

α bodemhoek (graden)

C<sub>D</sub> karakteristieke afvoercoëfficiënt (-)

f reductiefactor voor gestuwde afvoer (-)

H<sub>1</sub> de energiehogte (m)

Voor 'gedeeltelijk gevulde' stroming is de natte doorsnede boven de kruin driehoekig van vorm. Voorwaarde voor deze vorm van afvoer is  $H_1 \leq 1,25 H_b$ .

De factor 1,25 is theoretisch vastgesteld voor V-vormige lange overlaten [1] en door modelproeven bevestigd voor V-vormige lange overlaten [1] en V-vormige korte overlaten [3] en [4]. In de praktijk wordt niet de energiehogte  $H_1$  gemeten, maar de zogenaamde plaats-hogte  $h_1$ . Daarvoor wordt de coëfficiënt  $C_v = (H_1/h_1)^{5/2}$  ingevoerd. Vervanging van  $H_1$  door  $h_1$  levert:

$$Q = \left(\frac{4}{5}\right)^{5/2} \cdot \left(\frac{g}{2}\right)^{1/2} \cdot \tan(\alpha/2) \cdot C_D \cdot C_v \cdot f \cdot h_1^{5/2} \quad (1)$$

II De V-vormige korte overlaat 'meer dan vol'

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot f \cdot (H_1 - 0,5 H_b)^{3/2}$$

waarin: B de breedte van de overlaat (m). Nu bestaat de natte doorsnede boven de kruin uit een driehoek en een rechthoek. Voorwaarde voor deze vorm van afvoer is  $H_1 > 1,25 H_b$ . Vervanging van  $H_1$  door  $h_1$  wordt nu gecompenseerd door de coëfficiënt  $C_v = [(h_1 - 0,5 H_b)/(h_1 - 0,5 H_b)]^{3/2}$

De afvoerformule wordt dan:

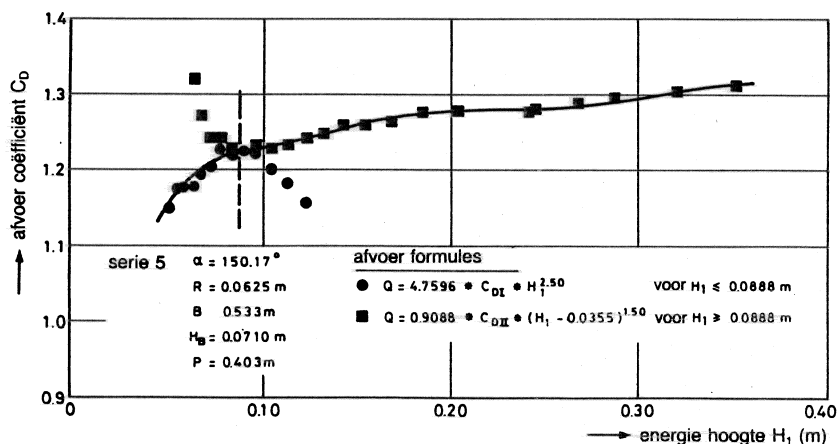
$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot C_v \cdot f \cdot (h_1 - 0,5 H_b)^{3/2} \quad (2)$$

III. De horizontale korte overlaat

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot f \cdot H_1^{3/2}$$

De natte doorsnede boven de kruin is rechthoekig. Vervanging van  $H_1$  door  $h_1$  maakt invoering nodig van  $C_v = (H_1/h_1)^{3/2}$ , waardoor de afvoerformule wordt:

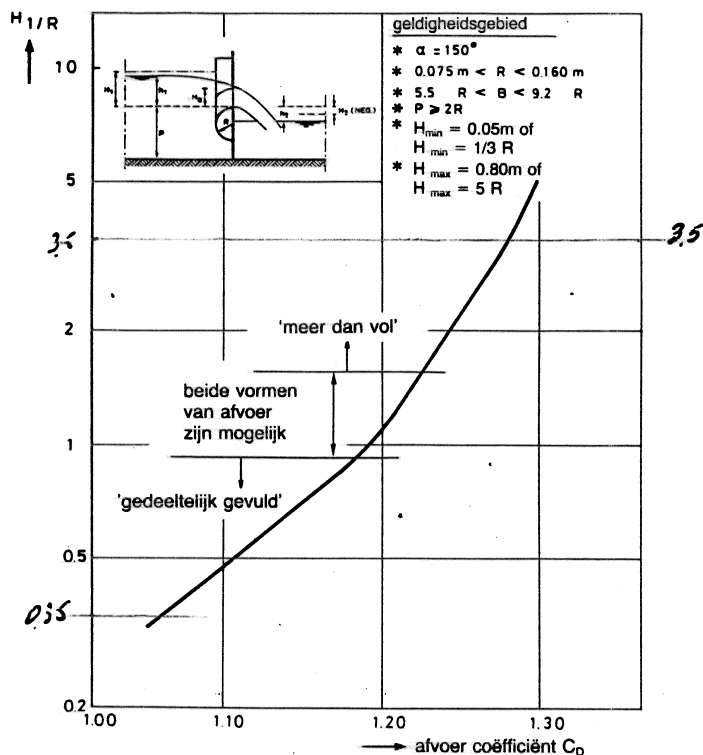
### 4. Resultaten van één der proefseries.



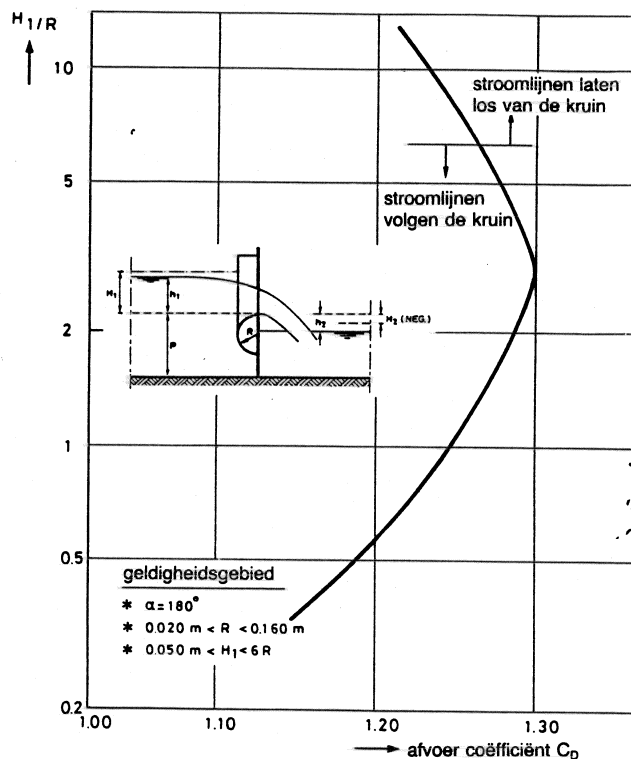
Tabel 1. Overzicht van de proefseries

| series | α        | B     | R      | aanvoerkanaal   | P     | ongestuwde afvoer | gestuwde afvoer |
|--------|----------|-------|--------|-----------------|-------|-------------------|-----------------|
|        | (graden) | (m)   | (m)    |                 | (m)   |                   |                 |
| 1      | 150      | 0,800 | 0,152  | rechthoekig     | 0,600 | x                 | x               |
| 2      | 150,45   | 0,472 | 0,080  | trapeziumvormig | 0,200 | x                 | x               |
| 3      | 150,17   | 0,533 | 0,0625 | trapeziumvormig | 0,200 | x                 | x               |
| 4      | 150,45   | 0,472 | 0,080  | rechthoekig     | 0,402 | x                 | x               |
| 5      | 150,17   | 0,533 | 0,0625 | rechthoekig     | 0,403 | x                 | x               |
| 6      | 180      | 0,800 | 0,020  | rechthoekig     | 0,500 | x                 |                 |
| 7      | 180      | 0,800 | 0,0315 | rechthoekig     | 0,500 | x                 |                 |
| 8      | 180      | 0,800 | 0,054  | rechthoekig     | 0,500 | x                 |                 |
| 9      | 180      | 0,800 | 0,080  | rechthoekig     | 0,500 | x                 |                 |
| 10     | 180      | 0,800 | 0,080  | rechthoekig     | 0,500 | x                 |                 |

\*d = 0,008



5. Aanbevolen afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor de V-vormige korte overlaat,  $\alpha = 150^\circ$  als functie van  $H_1/R$ .



6. Aanbevolen afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor de horizontale korte overlaat,  $\alpha = 180^\circ$  als functie van  $H_1/R$ .

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot (g)^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot C_V \cdot f \cdot h_1^{3/2} \quad (3)$$

Bij gestuwde afvoer is het nodig, de bovenstroomse en de benedenstroomse waterstanden  $h_1$  en  $h_2$  te meten. De verdringsgraad is gedefinieerd als  $S = 100 H_2/H_1$  (%), waarin  $H_2$  benedenstroomse energiehooft  $H_2 = h_2 + v_2^2/2g$  en  $h_2$  waterspiegel benedenstrooms ten opzichte van de kruin.

De reductiefactor  $f$  voor gestuwde afvoer is een functie van de verdringsgraad  $S$ . De modulaire grens  $S_f$  geeft de begrenzing aan tussen ongestuwde en gestuwde afvoer. Ze is gedefinieerd als die waarde van  $S$ , waarbij het debiet, berekend uit een juist opgestuwde  $h_1$  en met de afvoerformule voor ongestuwde afvoer, 1% afwijkt van het werkelijke debiet.  $S < S_f$  betekent ongestuwde afvoer,  $S > S_f$  duidt op gestuwde afvoer.

### Verschillende proeven

**Proeven bij ongestuwde afvoer met de V-vormige korte overlaat,  $\alpha = 150^\circ$**  Het meetprogramma omvatte vijf modellen. In elk der series werden ongeveer 20 metingen uitgevoerd, waardoor een groot bereik in  $H_1/R$  werd bestreken. De debieten werden gemeten met een gecalibreerde elektromagnetische flowmeter, waarvan de onbetrouwbaarheid ten hoogste  $X_0 = 1\%$  bedraagt (de meter is in het laboratorium volumetrisch geijkt). De waterstanden werden gemeten met peilnaalden waarvan de absolute fout ten hoogste  $\delta_h = 3 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  bedraagt. De stuwen werden gemaakt van PVC. De pijpstraal  $R$ , de stuwbreedte  $B$  en de stuwhoogte  $P$  varieerden voor de verschillende modellen. Uit de gemeten  $Q$  en  $h_1$  werd de afvoercoëfficiënt  $C_D$  berekend. Ter illustratie zijn de resultaten van de metingen van serie 5 weergegeven in figuur 4.

De volgende kanttekeningen vatten de proeven – die uitvoerig zijn beschreven in [4] – kort samen.

– De krommes  $C_{D1} - H_1$  en  $C_{D2} - H_1$  snijden elkaar bij  $H_1 \approx 1,25 H_b$ . Dit betekent dat de grens tussen 'gedeeltelijk gevuld' en 'meer dan vol', zoals aangetoond voor de V-vormige lange overlaat [1], inderdaad ook op voor de V-vormige korte overlaat.

– Vergelijking van de relaties  $C_D - H_1/R$  voor verschillende pijpstralen  $R$  toont, dat er geen schaafeffecten zijn geweest in het geijkte bereik  $H_1/R > 0,60$ . De gegevens hierover zijn vermeld in [4].

– De vorm voor het kanaalprofiel – rechthoekig of trapeziumvormig – is niet van invloed op de relatie  $C_D - H_1/R$ .

– De stroomlijnen blijven de kruin van de overlaat volgen in het bereik  $H_1/R \leq 5,6$  (voor een aantal overlaten – bijvoorbeeld de rechthoekige lange en de cirkelvormige korte – is het loslaten van de stroomlijnen een tamelijk onbekend fenomeen, waardoor de betrouwbaarheid in de debietmeting sterk afneemt).

– De aanbevolen karakteristieke afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor de V-vormige korte overlaat met halfcirkelvormige doorsnede en  $\alpha = 150^\circ$  is weergegeven in figuur 5 als functie van  $H_1/R$ . Tevens is het geldigheidsgebied, gebaseerd op de uitgevoerde metingen, aangegeven.

De relatie  $C_D - H_1/R$  is geldig voor:

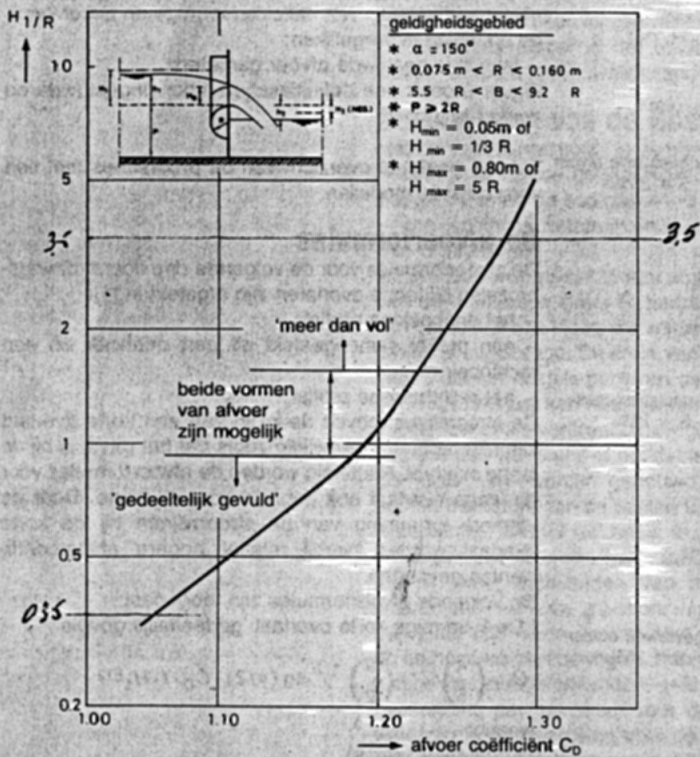
– 'gedeeltelijke vulling' in het bereik  $H_1/R < 1,54$

– 'meer dan vol' in het bereik  $H_1/R > 0,92$ .

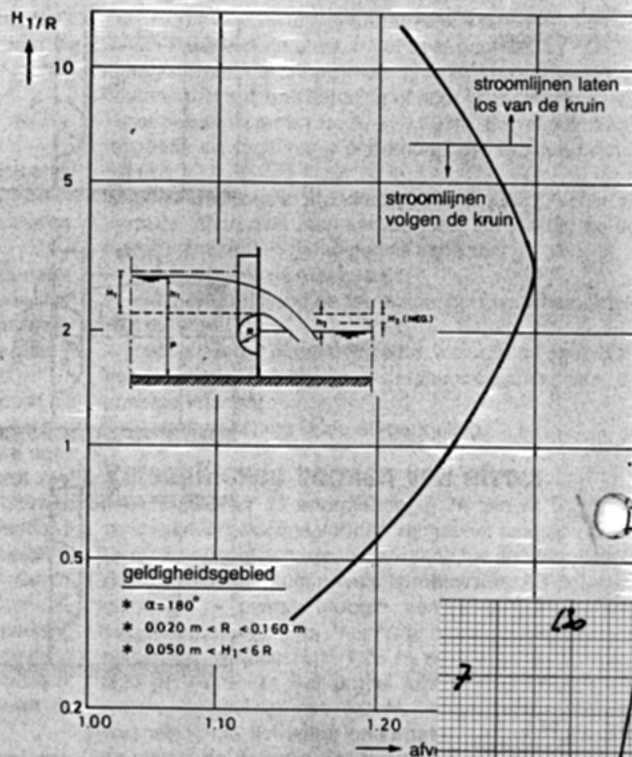
De overgang tussen beide stromingsvormen ligt bij  $H_1 = 1,25 H_b$ . Met  $H_b = 0,5 \text{ B/tg } 75^\circ$  kan deze grens ook worden uitgedrukt als  $H_1 = 0,1675 B$ .

**Proeven bij ongestuwde afvoer met de horizontale korte overlaat,  $\alpha = 180^\circ$**  De horizontale korte overlaat met halfcirkelvormige doorsnede is in dit onder-

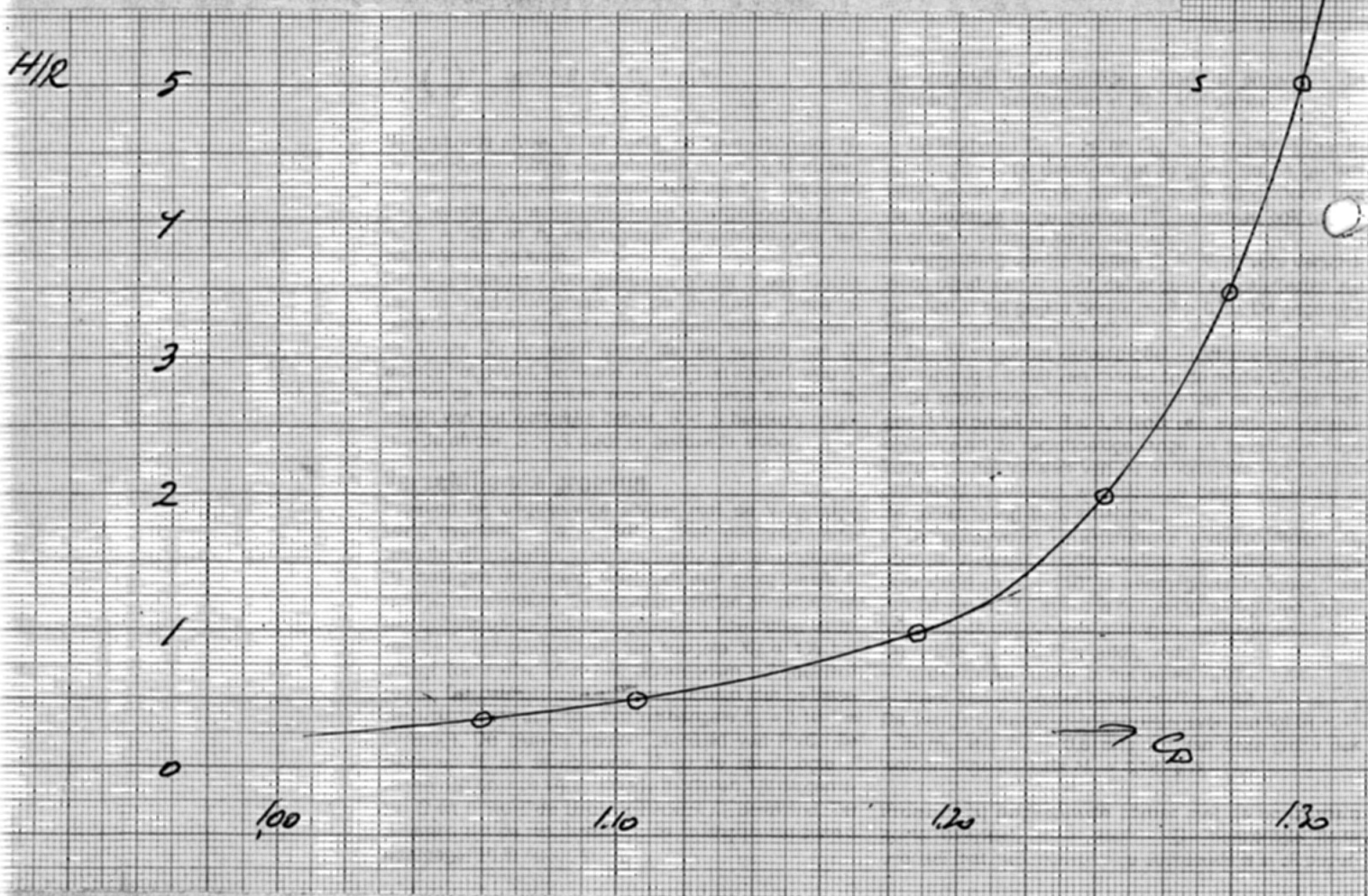


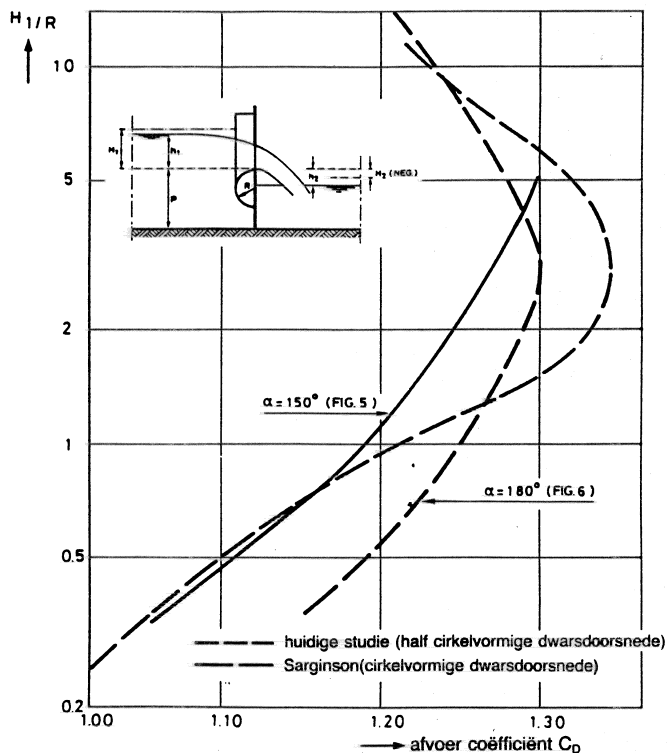


5. Aanbevolen afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor de V-vormige korte overlaat,  $\alpha = 150^\circ$  als functie van  $H_1/R$ .



6. Aanbevolen afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor de horizontale korte overlaat,  $\alpha = 180^\circ$  als functie van  $H_1/R$ .





7. Vergelijking van de afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor korte overlopen met halfcirkelvormige doorsnede,  $\alpha = 150^\circ$  en  $\alpha = 180^\circ$  en die met cirkelvormige doorsnede,  $\alpha = 150^\circ$ .

zoek geijkt, om de eigenschappen ervan te vergelijken met:

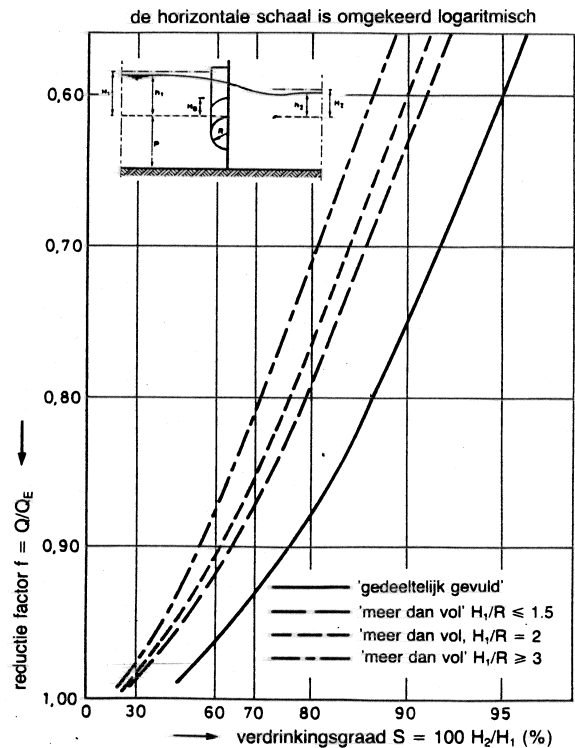
- de horizontale korte overlaat met cirkelvormige doorsnede; deze overlaat is een bekende uit de literatuur [8];
- de V-vormige korte overlaat met halfcirkelvormige doorsnede en  $\alpha = 150^\circ$ .

De resultaten zijn als volgt samengevat:

- De stroomlijnen laten voortijdig los van de kruin bij  $H_1/R \geq 6,3$ ;
- De aanbevolen karakteristieke afvoercoëfficiënt  $C_D$  voor de horizontale korte overlaat met halfcirkelvormige kruin is weergegeven in figuur 6 als functie van  $H_1/R$ . Ook is het geldigheidsgebied aangegeven.
- Vergelijking van de verschillende overlopen toont dat de relaties  $C_D - H_1/R$  voor elk der drie verschillend zijn. Figuur 7 geeft de volgende relaties  $C_D - H_1/R$ :
- halfcirkelvormige doorsnede,  $\alpha = 150^\circ$
- halfcirkelvormige doorsnede,  $\alpha = 180^\circ$
- cirkelvormige doorsnede volgens Sarginson [8].  $\alpha = 180^\circ$ .

**Proeven bij gestuwde afvoer met de V-vormige korte overlaat  $\alpha = 150^\circ$**  Gestuwde afvoer – ook wel verdrongen afvoer genoemd – treedt op zodra de  $Q-H_1$  relatie wordt beïnvloed door de benedenwaterstand. In het algemeen zal gestuwde afvoer vermeden worden: een extra waterstandsregistratie voor  $h_2$  is nodig en de betrouwbaarheid van de debietmeting is afgenomen. Een meetstuw wordt dan ook zo ontworpen, dat gestuwde afvoer zich hoogstens gedurende enkele dagen per jaar bij extreem hoge afvoeren voordoet. Het debiet bij een gestuwde afvoer kan worden berekend door het introduceren van de reductiefactor  $f$  voor gestuwde afvoer (zie de vergelijkingen 1 en 2):

$f = Q/Q_E$ , waarin  $Q$  de werkelijke afvoer en  $Q_E$  de afvoer



8. Reductiefactor  $f$  voor gestuwde afvoer over de V-vormige korte overlaat,  $\alpha = 150^\circ$ .

berekend met de afvoerformule voor ongestuwde afvoer, maar met een opgestuwde  $h_1$ .

De volgende opmerkingen kunnen worden gemaakt:

- 'gedeeltelijke vulling'.  $H_1 \leq 1,25 H_B$ . Figuur 8 geeft de reductiefactor  $f$  als functie van de verdringingsgraad  $S = 100 H_2/H_1$ . De modulaire grens tussen ongestuwde en gestuwde afvoer ligt bij  $S_i = 45\%$ .
- 'meer dan vol'.  $H_1 > 1,25 H_B$ . Nu is de reductiefactor  $f$  een functie van de verdringingsgraad  $S$  en van  $H_1/R$ . De modulaire grens ligt bij  $S_i = 25\%$ . Met behulp van figuur 8 kan de gestuwde afvoer worden berekend bij verdringingsgraden  $25\% < S < 90\%$ .

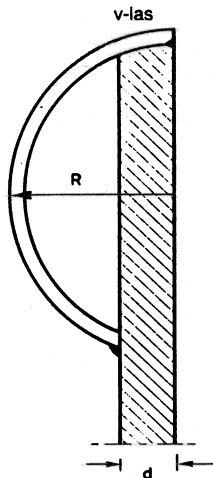
### De halfcirkelvormige dwarsdoorsnede

In het hier beschreven onderzoek is de dwarsdoorsnede halfcirkelvormig. Figuur 9 geeft dit weer. Bij het bevestigen van de halve pijp tegen de steunplaat dient er op gelet te worden, dat de raaklijn aan de cirkel ter plaatse van de kruin (aan het eind van de halve cirkel) horizontaal is: de halve pijp moet dus niet zo tegen de steunplaat worden bevestigd, dat er zich achter de halve cirkel nog een vlak gedeelte bevindt. Het effect van zo'n verkeerde constructie is vastgelegd in figuur 10. Hieruit blijkt dat een strip  $d = 0,1 R$  achter de kruin tot een verlaging van de afvoercoëfficiënt leidt.

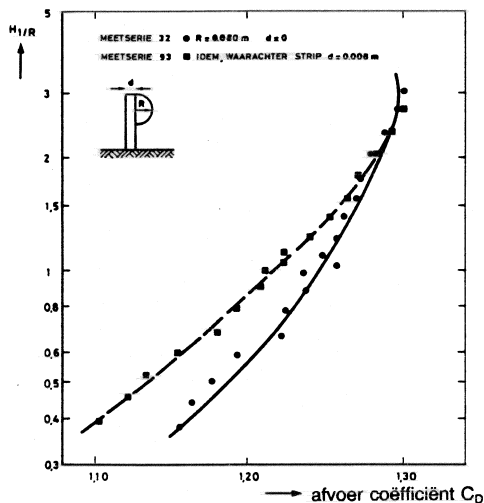
### Samenvatting onderzoeksresultaten

Er zijn proeven uitgevoerd met de V-vormige korte overlaat,  $\alpha = 150^\circ$  en de horizontale korte overlaat,  $\alpha = 180^\circ$ . De kruin van beide meetstuwen is halfcirkelvormig in dwarsdoorsnede. De modellen waren van PVC gemaakt, een materiaal waarvan de wandruwheid overeenkomt met die van de roestvrij stalen veldstuwen. Evenals andere V-vormige overlopen is ook de V-vormige korte overlaat een meetstuw waarmee een groot

9. Bevestiging van de halve pijp tegen de steunplaat.



10. Effect van een afwijkende constructie op de afvoercoëfficiënt.



afvoerbereik  $\gamma = Q_{\max}/Q_{\min}$  kan worden gemeten. Het onderzoek omvatte twee vormen van afvoer met betrekking tot de mate waarin het doorstromingsprofiel boven de kruin gevuld is: 'gedeeltelijk gevuld' en 'meer dan vol'. Voor beide vormen zijn ongestuwde en gestuwde afvoeren gemeten.

– De afvoercoëfficiënt  $C_D$  is als functie van  $H_1/R$  gegeven, voor de V-vormige korte overlaat in figuur 5 en voor de horizontale korte overlaat in figuur 6.

– Schaafeffecten doen zich niet voor, mits  $H_1/R > 0,6$  is en  $R \geq 0,075$  m.

– De stroomlijnen laten niet los van de kruin, mits  $H_1/R < 6$  is.

– De grens tussen ongestuwde en gestuwde afvoer, aangegeven door de verdrinkingsgraad  $S = 100 H_2/H_1$  is voor de V-vormige korte overlaat bij:

'gedeeltelijke vulling'  $S_f = 45\%$ .

'meer dan vol'  $S_f = 25\%$ .

– Gestuwde afvoer voor de V-vormige korte overlaat kan worden berekend met behulp van de reductiefactor voor verdrinkingsgraden  $25\% < S < 90\%$  (figuur 8).

### Ontwerpregels en -voorwaarden

De V-vormige korte overlaat,  $\alpha = 150^\circ$ , zal als meetstuw worden gekozen, wanneer een groot meetbereik  $\gamma = Q_{\max}/Q_{\min}$  moet worden gemeten met een redelijke betrouwbaarheid ( $X_0 = 5\%$  voor de gemiddelde afvoer). Het maximale debiet kan variëren van  $0,25 \text{ m}^3/\text{s}$  voor de kleinere tot  $1,50 \text{ m}^3/\text{s}$  voor de grotere overlaten. De meetstuw kan met een vaste kruin worden gemaakt, of als verticaal beweegbare stuw. Figuur 11 toont een zogenaamde Rossum-stuw met  $B = 1,30 \text{ m}$  [3]. De afvoerrelatie voor een 'gedeeltelijk gevuld' profiel,  $H_1 \leq 1,25 H_b$ , is gebaseerd op vergelijking 1. Met  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  en  $\alpha = 150^\circ$  wordt de relatie:

$$Q = 4,73 \cdot C_D \cdot f \cdot H_1^{5/2}$$

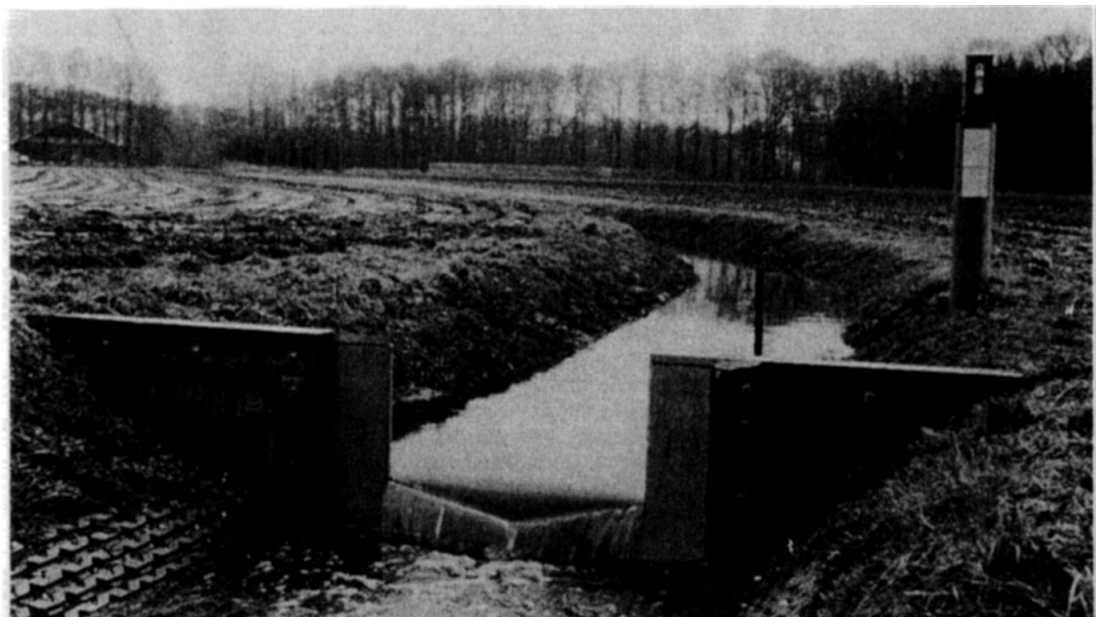
De afvoercoëfficiënt  $C_D$  wordt ontleend aan figuur 5.

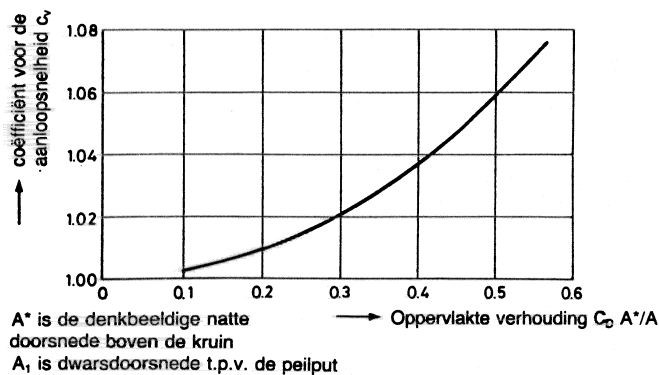
De afvoerrelatie voor een 'meer dan vol' profiel,  $H_1 > 1,25 H_b$ , is gebaseerd op vergelijking 2. Met  $g = 9,81 \text{ m/s}^2$  en  $\alpha = 150^\circ$  wordt de relatie:

$$Q = 1,705 \cdot B \cdot C_D \cdot f \cdot (H_1 - 0,067 B)^{3/2}$$

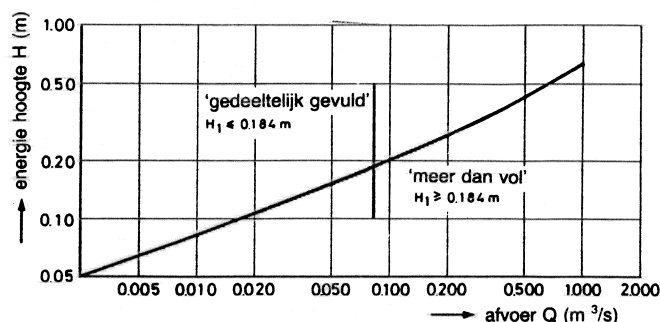
Ook voor dit bereik vindt men de afvoercoëfficiënt in figuur 5. De reductiefactor voor gestuwde afvoer kan worden gevonden in figuur 8. Het vervangen van energiehoopte  $H_1$  door de overstorthoogte  $h_1$  is mogelijk door invoering van de coëfficiënt  $C_V$ , die bepaald wordt met behulp van figuur 12.

11. Stuw VI Rossum-Oost, breedte  $B = 1,30 \text{ m}$ , pijpstraal  $R = 0,152 \text{ m}$ .

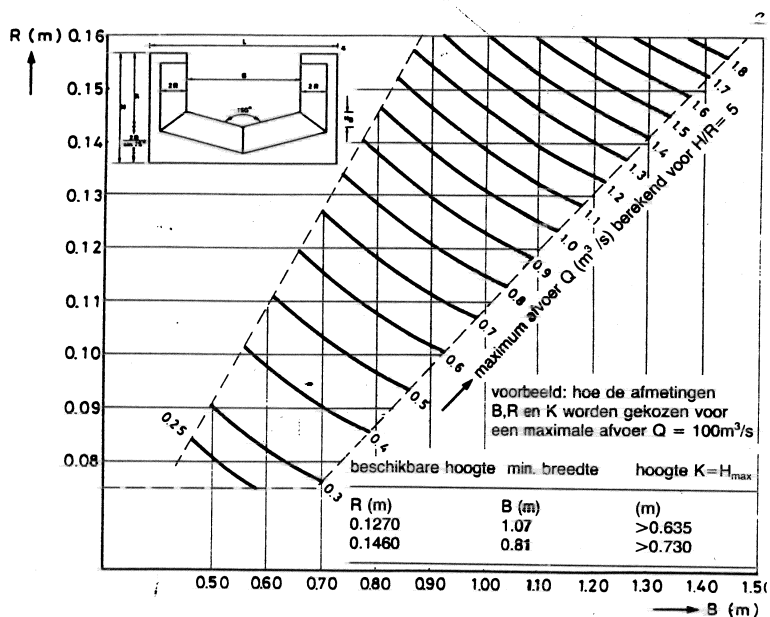




12. Coëfficiënt  $C_d$ .



15.  $Q - H_1$  relatie voor de overlaat van figuur 14.



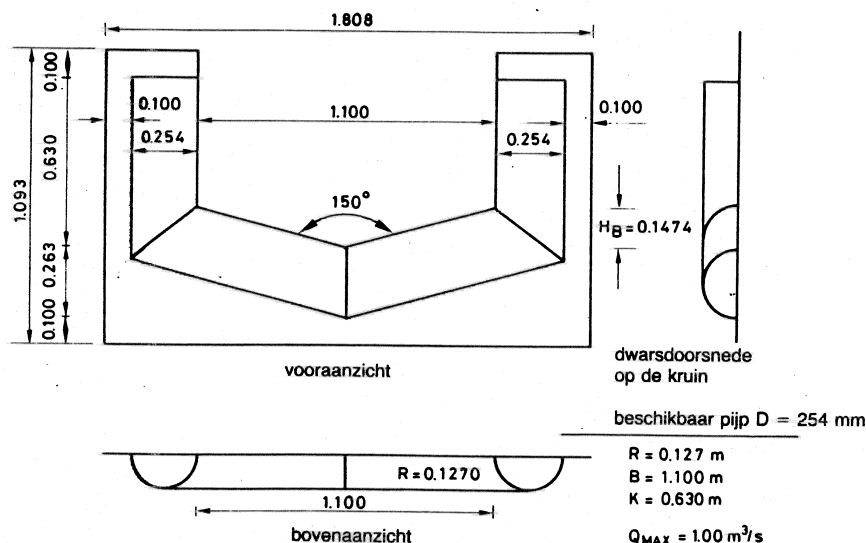
Ontwerpdiaagram voor de hoofd-afmetingen  $R$ ,  $B$  en  $K$ .

De onbetrouwbaarheid in de afvoercoëfficiënt  $C_d$  bedraagt  $X_c = 2\%$ . De onbetrouwbaarheid in de reductiefactor  $f$  is  $X_f = 5\%$ . De methode waarmee de onbetrouwbaarheid in de debietmeting wordt opgebouwd uit de verschillende foutenbronnen, staat vermeld in alle International Standards voor meetstuwten, zoals bijvoorbeeld [2] en [7].

De metalen stuw – bij voorkeur roestvrij staal of aluminium – moet zorgvuldig worden geconstrueerd. Afwijkingen in de halfcirkelvormige doorsnede moeten worden vermeden (figuur 9).

De eisen, waaraan een verantwoord ontwerp moet voldoen, zijn:

- $\alpha = 150^\circ$
- $0,075 \text{ m} < R < 0,160 \text{ m}$
- $5,5 R < B < 9,2 R$
- apexhoogte  $P \geq 2 R$
- minimale energiehogte  $H_1 = 0,05 \text{ m}$  of  $H_1 = 0,35 R$  (de grootste is maatgevend)
- maximale energiehogte  $H_1 = 0,80 \text{ m}$  of  $H_1 = 5 R$  (de kleinste is maatgevend)
- de relatie  $C_d - H_1/R$  uit figuur 5 is geldig voor:
  - 'gedeeltelijke vulling', mits  $H_1/R \leq 1,54$
  - 'meer dan vol' mits  $H_1/R \geq 0,92$
- de peilput, waarin de overstortheogte  $h$ , wordt gemeten, moet zich op een afstand van tenminste  $3 H_{\max}$



14. Ontworpen overlaat voor  $Q_{\max} = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ .



bovenstrooms van de meetstuw bevinden

– de raai, waarin de benedenwaterstand wordt gemeten  
– voor zover dat nodig is – moet op voldoende afstand worden gekozen, om geen hinder te ondervinden van een te turbulente waterspiegel. Figuur 13 helpt de ontwerper bij het kiezen van de hoofdafmetingen  $R$ ,  $B$  en  $K$  voor de V-vormige korte overlaat,  $\alpha = 150^\circ$ .

## Voorbeeld van een hydraulisch ontwerp

Met het ontwerpdiagram van figuur 13 kan het hydraulisch ontwerp van de V-vormige korte overlaat worden opgezet voor elk gewenst maximale debiet in het bereik  $0,25 \text{ m}^3/\text{s} < Q_{\text{max}} < 1,50 \text{ m}^3/\text{s}$ . In de basisstudie [4] zijn vijf ontwerpen gepresenteerd. Ter illustratie volgt het ontwerp van zo'n meetstuw:

- Het maximale debiet is geschat op  $Q_{\text{max}} = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ .
- Beschikbare pijpdiameter  $R = 0,127 \text{ m}$ .
- Volgens figuur 13 kan de breedte worden gekozen in het bereik  $0,70 \text{ m} < B < 1,10 \text{ m}$ . In verband met het beschikbare verval  $\Delta h = 0,50 \text{ m}$  bij maximale afvoer, wordt de grootst mogelijke breedte  $B = 1,10 \text{ m}$  gekozen.
- De maximale energiehoopte (bij  $Q = 1,00 \text{ m}^3/\text{s}$ ) wordt  $H_1 = 0,63 \text{ m}$ . Met  $0,10 \text{ m}$  extra hoogte wordt  $K = 0,73 \text{ m}$ .
- de kruinhoopte moet worden: bestaand peil bij  $Q_{\text{max}}$ , verminderd met  $0,13 \text{ m}$  ( $0,63 \dots 0,50 \text{ m}$ ).

De hoofdafmetingen van de meetstuw zijn samengevat in figuur 14.

Met behulp van de afvoerformules (1) en (2) en de afvoercoëfficiënt  $C_D$  uit figuur 5 zijn de  $Q-H_1$  relaties opgesteld:

$$Q = 4,7314 \cdot C_D \cdot H_1^{2,50} \text{ voor } H_1 \leq 0,184 \text{ m}$$

$$Q = 1,8755 \cdot C_D \cdot (H_1 - 0,0737)^{1,50} \text{ voor } H_1 > 0,184 \text{ m}$$

De afvoerkromme is in figuur 15 op dubbel logaritmisch papier uitgezet.

Vervanging van  $H_1$  door  $h_1$  is mogelijk met behulp van figuur 12.

## Verantwoording

De ontwerpstudie voor de V-vormige korte overlaat is uitgevoerd in het laboratorium 'De Nieuwlanden' te Wageningen. Een waardevolle bijdrage is geleverd door de heer Jeroen van Gessel, die een zeer groot aandeel heeft gehad in de uitvoering van de metingen. Speciale dank is ook verschuldigd aan de heren ing. G. J. Koerselman en ing. H. Geerlink van de Landinrichtingsdienst te Zwolle voor hun constructieve samenwerking tijdens het ontwerp van zeven V-vormige korte overlaten in het gebied Rossum-Oost.

## Literatuur

1. Boiten, W.: 'The V-shaped broad-crested weir, discharge characteristics', Speurwerkrapport S170-VI, Waterloorkundig Laboratorium, Wageningen, januari 1980.
2. Boiten, W. en Pitlo, R.H.: 'The V-shaped broad-crested weir', Journal of the Irrigation and Drainage Division, Vol. 108, no. IR 2, juni 1982.
3. Boiten, W.: 'Hydraulisch ontwerp van zeven V-vormige korte overlaten in Rossum-Oost'. Rapport M1922 van het Waterloorkundig Laboratorium, Wageningen, augustus 1983.

4. Boiten, W.: 'The V-shaped short crested weir with semi-circular crosssection, discharge characteristics', Speurwerkrapport S170-XII, Waterloorkundig Laboratorium, Wageningen, december 1983.

5. ISO TC 113: 'Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes. Thin plate weirs', International Standard ISO 1438/1, april 1980.

6. ISO TC 113: 'Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes, Flat V-weirs', International Standard ISO 4377, 1980.

7. ISO TC 113: 'Liquid flow measurement in open channels by weirs and flumes. V-shaped broad-crested weirs', International Standard ISO/DIS 8333.

8. Sarginson, E.J.: 'The influence of surface tension on weir flow', Journal of Hydraulic Research, 10(1972), no. 4.

De International Standards [5, 6 en 7] zijn verkrijgbaar bij het Nederlands Normalisatie-Instituut te Delft.

## Symbolenlijst

|            |                                                                     |
|------------|---------------------------------------------------------------------|
| $A$        | dwarsdoorsnede waterloop ter plaatse van de peilput in $\text{m}^2$ |
| $A^*$      | denkbeeldige natte doorsnede boven de kruin in $\text{m}^2$         |
| $B$        | breedte van de stuw in m                                            |
| $C_D$      | karakteristieke afvoercoëfficiënt                                   |
| $C_v$      | coëfficiënt voor de aanloopsnelheid                                 |
| $d$        | dikte van de steunplaat in m                                        |
| $D$        | uitwendige pijpdiameter in m                                        |
| $f$        | reductiefactor voor gestuwde afvoer                                 |
| $g$        | versnelling van de zwaartekracht in $\text{m/s}^2$                  |
| $h_1$      | overstorthoogte in m                                                |
| $h_2$      | benedenstroomse waterhoogte in m                                    |
| $H_1$      | energiehoogte bovenstrooms in m                                     |
| $H_2$      | energiehoogte benedenstrooms in m                                   |
| $H_b$      | hoogte driehoek V-overlaat in m                                     |
| $K$        | constructiehoogte van de stuw in m                                  |
| $L$        | kruinlengte lange overlaat in m                                     |
| $P$        | apexhoogte van de stuw in m                                         |
| $Q$        | debiet in $\text{m}^3/\text{s}$                                     |
| $Q_E$      | debiet, berekend uit een opgestuwde $h_1$ in $\text{m}^3/\text{s}$  |
| $R$        | pijpstraal $R = 0,5 D$ in m                                         |
| $S$        | verdrinkingsgraad in %                                              |
| $S_r$      | modulaire grens tussen ongestuwde en gestuwde afvoer in %           |
| $v_1$      | gemiddelde snelheid ter plaats van de peilput in $\text{m/s}$       |
| $X$        | procentuele onbetrouwbaarheid in %                                  |
| $\alpha$   | bodemhoek V-overlaat in graden                                      |
| $\gamma$   | meetbereik                                                          |
| $\delta_h$ | absolute fout in de meting van $h_1$ in m                           |