Meetputten met rechthoekige scherpe overlaten voor de debietmeting van afvalwater

1. Inleiding

Sinds de Wet verontreiniging oppervlaktewateren van kracht werd (1970), weten de waterzuiveraars dat het effluent, voordat lozing op openbaar water plaatsvindt, nauwkeurig moet worden gemeten. De Wet noemt een maximaal toelaatbare fout in het debiet van 5%.
In een aantal gevallen wordt dit effluent afgevoerd en gemeten in gesloten leidingen. In de meeste gevallen echter verlaat het gezuiverde water de zuiveringsinrichting via een open goot, waarin een meetschot of een meetgoot is geplaatst om de debieten te meten.

W. BOITEN
senior project ingenieur
hydrometrie
Waterloopkundig Laboratorium

Hoewel er uit een zeer groot aantal verschillende meetstuwen gekozen kan worden, is het in de waterzuivering bijna een traditie dat de selectie beperkt is tot één van de volgende types:
– het meetschot: de rechthoekige en de V-vormige scherpe overlaat;
– de meetgoot: de conventionele Venturi met lange keel of de Khafagi Venturi.
Op verzoek van de STORA werd in de periode 1984-1985 uitgebreid onderzoek uitgevoerd met betrekking tot het verkleinen van de afmetingen van putten met rechthoekige scherpe overlaten en van de aanstroomlengte van venturigoten voor debietmeting van afvalwaterstromen [1].
In dit artikel worden de rechthoekige scherpe overlaten behandeld.
De 'International Organization for Standardization (ISO) heeft deze debietmeetinrichting gestandaardiseerd in de Standard ISO 1438/1 Part 1: Thin plate weirs, 15-04-1980 [2].
De hierin voorgeschreven aanstroomlengtes bovenstrooms van de meetsectie zijn vrij groot, teneinde in de raai waar de overstorthoogte h wordt gemeten een goede snelheidsverdeling en een rustige waterspiegel te hebben. Slechts dan is het mogelijk, de debieten met een grote mate van betrouwbaarheid af te leiden uit de gemeten overstorthoogte.
Verkleinen van de aanstroomlengte leidt tot verslechtering van de condities in de h-meetraai, waardoor een afwijkende overstorthoogte h wordt gemeten. De hieruit bepaalde debieten herbergen dientengevolge eveneens een afwijking. Randvoorwaarde in het huidige onderzoek is, dat de fout in de bepaling van het debiet – door het verkleinen van de putafmetingen – beperkt blijft tot

Voor de debietmeting met rechthoekige scherpe overlaten is een internationaal geldende richtlijn gegeven in de standard ISO 1438/1. Aanvullend hierop is uitgebreid onderzoek uitgevoerd met betrekking tot het verkleinen van de afmetingen van de meetputten waarin de overlaat is opgesteld.
Het resultaat is een standaardmeetput, vergezeld van een ontwerpprocedure.

2 à 3%, ten opzichte van het ware debiet.
Bij het onderzoek ter verkleining van de meetputten met Thomson-meetschotten [3] bleek het plaatsen van een duikschot op enige afstand bovenstrooms van het meetschot een ordenend effect te hebben op een sterk verstoord stroombeeld.
In eerste instantie is ook voor het huidig onderzoek gedacht aan het installeren van een duikschot, waarbij de beoogde minimalisering dan hoofdzakelijk betrekking heeft op de afstand tussen meetschot en duikschot. Tevens is gestreefd naar minimalisering van de overige afmetingen.

2. Meetputten voorzien van een rechthoekige scherpe overlaat

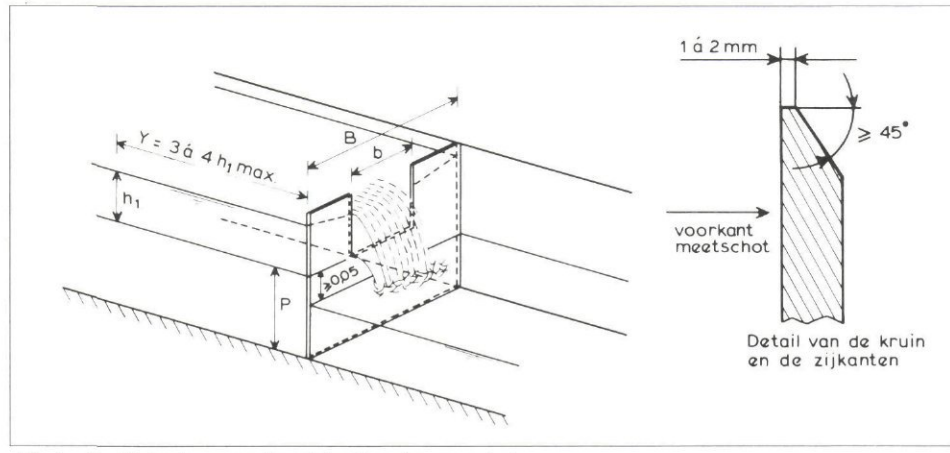
De rechthoekige scherpe overlaten zijn volledig beschreven in ISO 1438/1 [2].
De hoofdafmetingen staan in afb. 1 aangegeven.

2.1. *De afvoerformules*

De afvoerformule voor de rechthoekige scherpe overlaat – volgens Kindsvater/Carter, en ontleend aan ISO 1438/1 – luidt:

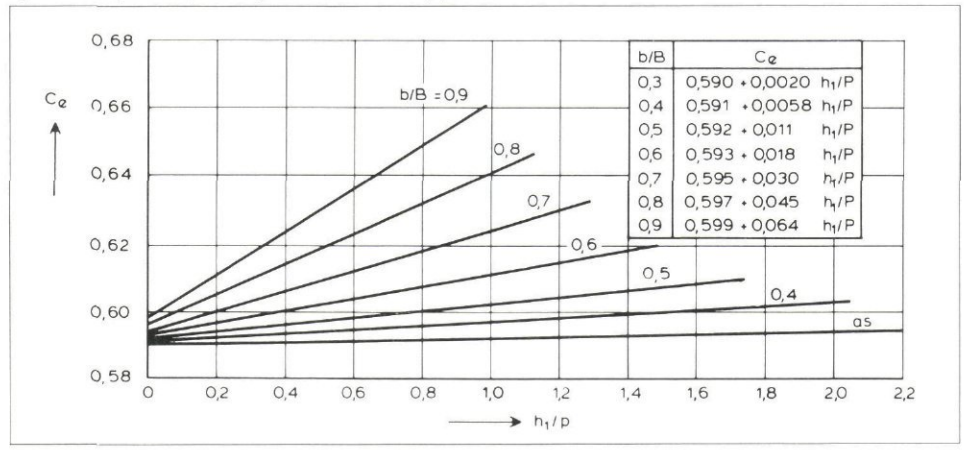
$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\cdot C_e \cdot b_e \cdot h_e^{1,50} \qquad (1)$$

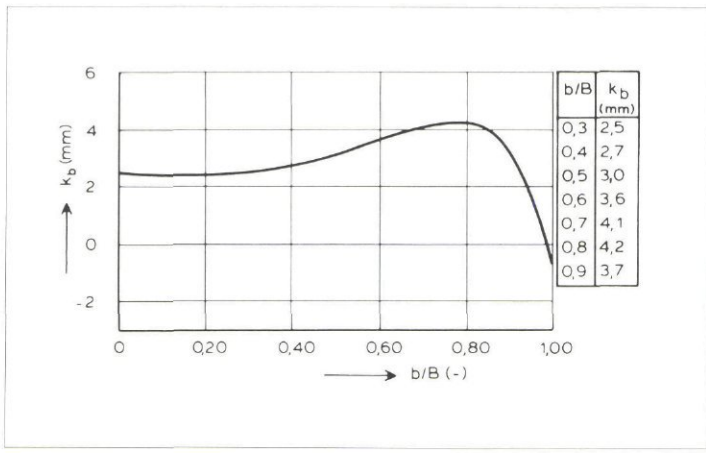
waarin:
Q het debiet (m^3/s)
g versnelling ten gevolge van de zwaartekracht, $g = 9,81\ m/s^2$
C_e afvoercoëfficiënt (–)
$C_e = a + a'\ (h/P)$ waarbij a en a' afhankelijk van b/B
b = breedte van het meetschot (m)
B = breedte van de goot (m)
h = overstorthoogte (m)
P = apexhoogte van het meetschot (m)
b_e effectieve afvoerende breedte (m)
$b_e = b + k_b$
k_b = correctie op de breedte, afhankelijk van b/B
h_e effectieve overstorthoogte (m)
$h_e = h + k_h$
k_h = correctie op de overstorthoogte,
$k_h = 0,001$ m.
De afvoercoëfficiënt wordt gegeven in afb. 2.



Afb. 1 - Hoofdafmetingen van de rechthoekige scherpe overlaat.

Afb. 2 - De afvoercoëfficiënt C_e als een functie van h_1/p en b/B.





Afb. 3 - Correctie K_b op de breedte van de overlaat.

De correctie k_b wordt gegeven in afb. 3.
De standard ISO 1438/1 geeft vier formules:
- de Kindsvater/Carter formule } geldig voor alle b/B verhoudingen
- de SIA formule
- de Rehbock formule } uitsluitend geldig voor b/B = 1.
- de IMFT formule

De formules volgens SIA en IMFT zijn iets gecompliceerder dan de beide andere.
Ze worden om deze reden weinig toegepast.
Uit recent onderzoek [4] is tevens gebleken, dat voor meetschotten met b/B = 1 de Rehbock-formule betrouwbaardere resultaten geeft dan de formule volgens Kindsvater/Carter.
Voor het huidige onderzoek is derhalve gekozen voor de volgende twee formules:
- de Kindsvater/Carter formule voor b/B < 1;
- de Rehbock-formule voor b/B = 1.

De afvoerformule voor de rechthoekige scherpe overlaat – volgens Rehbock, en ontleend aan ISO 1438/1 – luidt:

$$Q = \frac{2}{3}\sqrt{2g}\cdot C_e \cdot b \cdot h_e^{1,50} \qquad (2)$$

waarin:
$C_e = 0,602 + 0,083\ h/P$
$h_e = h + 0,0012$ m.

3. Het ontwerp van een meetgoot

Bij het ontwerpen van een meetgoot wordt de breedte B bepaald door de breedte b van het meetschot en de gewenste verhouding b/B.
De breedte b van de overlaat hangt af van het maximum debiet en een eventuele begrenzing aan h_{max}.
Een voorkeur voor een bepaalde b/B-verhouding wordt door het volgende bepaald:
- b/B = 1 levert een smalle meetgoot en vraagt om een kunstmatige beluchting van de overstortende straal;
- b/B > 1 levert een relatief bredere meetgoot (uit kostenoverweging niet aantrekkelijk) en zorgt voor natuurlijke beluchting.

Voor een ontwerp van een nieuw te bouwen rechthoekige scherpe overlaat gaat de voorkeur uit naar een meetschot b/B = 0,80 om de volgende redenen:
- relatief smalle goot;
- natuurlijke beluchting.

Het onderzoek heeft zich om deze reden primair gericht op het meetschot b/B = 0,80.
Ter controle van het ontwerp zijn enkele meetseries uitgevoerd met de meetschotten b/B = 0,55 en b/B = 1,00.
Uit een opgave van het RIZA – waarvan wordt aangenomen dat ze globaal representatief is met betrekking tot de variaties in b/B en h_{max}/P – volgen de gegevens van acht overlaten, zoals samengevat in tabel I.

De *diepte van de meetgoot* wordt bepaald door de apexhoogte P van het meetschot en de maximale overstorthoogte h_{max}.
De waterdiepte vóór het meetschot bedraagt $P + h_{max}$.
Bij toepassing van een duikschot is het maximaal toelaatbare verval over het duikschot arbitrair vastgesteld op $\Delta h = 0,20$ m.
(Een waterstandsverhoging $\Delta h > 0,20$ m is in de praktijk niet aantrekkelijk vanwege de beperkingen die er doorgaans zijn aan het totale verval, dat beschikbaar is voor de debietmeting.)
Tevens is de maximale overstorthoogte vastgesteld op $h_{max} = 0,80$ m (in overeenstemming met ISO 1438/1).
In die gevallen, waar $h_{max} > 0,80$ m is, wordt het toelaatbaar verval over het duikschot aangehouden op $\Delta h \leq 0,25\ h_{max}$.
Het verval over het duikschot neemt toe naarmate de doorlaathoogte W afneemt.
Op basis van een globaal vooronderzoek met een meetschot b/B = 0,80 is de doorlaathoogte onder het duikschot vastgesteld op W = 0,9 P.

De *aanstroomlengte Y*, waarbij de afwijking in de gemeten overstorthoogte h_{max} resulteert in $X_Q = 2,5\%$, volgde uit een serie metingen bij verschillende afstanden tussen duikschot en meetschot.
De Standard ISO 1438/1 schrijft een aanstroomlengte $Y \geq 10b$ voor, zonder deze te relateren aan h_{max}.

Afb. 4 - Rechthoekige scherpe overlaat in de rwzi te Zwolle.

TABEL I – *Hoofddimensies van acht scherpe overlaten.*

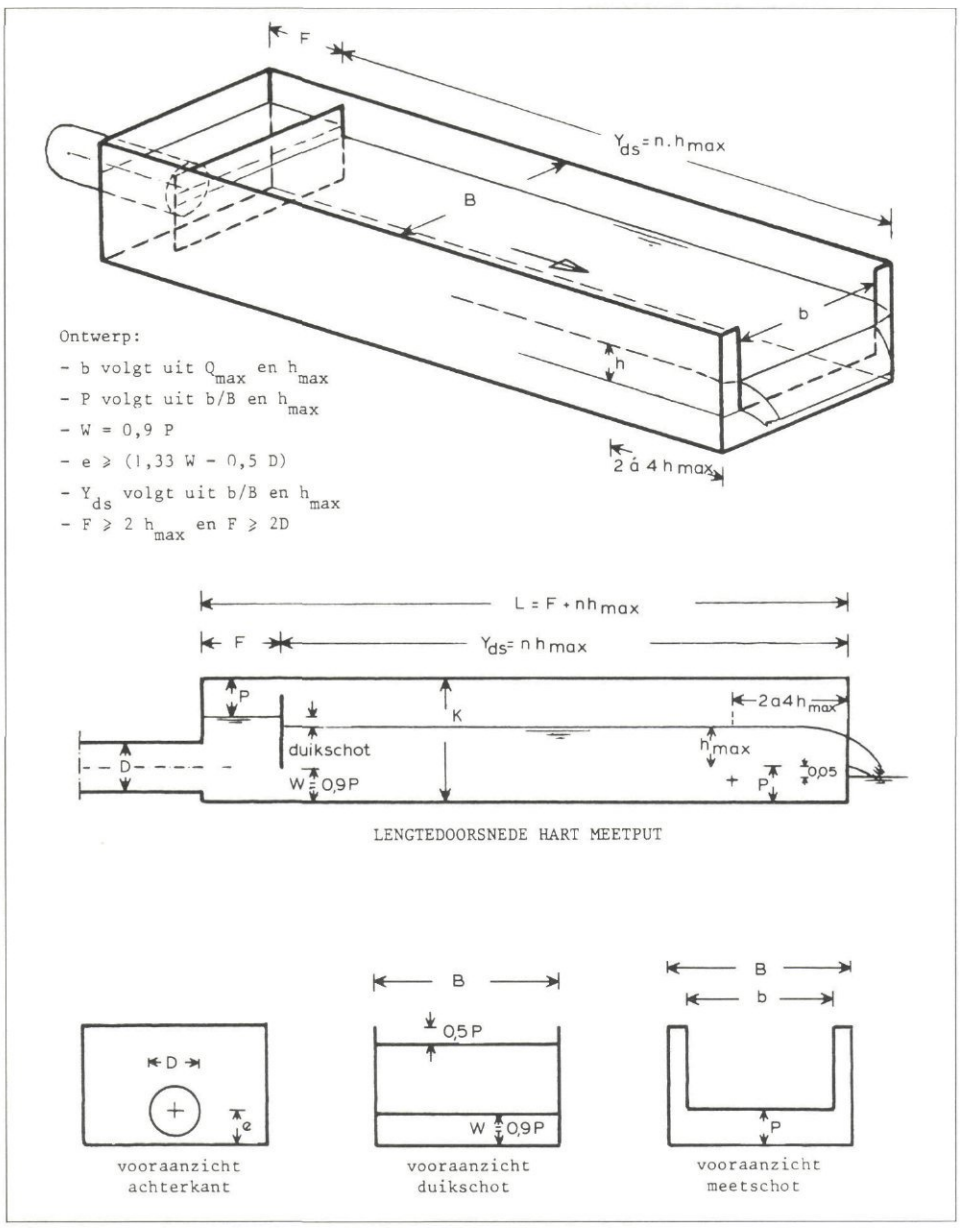
b (m)	B (m)	P (m)	h_{max}	b/B	h_{max}/P
0,35	0,98	0,21	0,32	0,357	1,52
1,20	1,50	0,44	0,39	0,800	0,98
0,70	2,25	0,36	0,80	0,311	2,22
2,00	2,37	0,25	0,20	0,844	0,80
1,00	2,00	0,50	0,50	0,500	1,00
1,00	3,00	1,00	0,67	0,333	0,67
3,00	3,75	0,60	0,80	0,800	1,33
5,00	6,00	0,57	0,52	0,833	0,91

De aanbevolen afmetingen voor de ontworpen standaardmeetput zijn nu gerelateerd aan de maximale overstorthoogte h_{max}.
Op afb. 4 is de rechthoekige scherpe overlaat van de rwzi Zwolle te zien.

4. Aanbevolen standaardmeetput

Met behulp van proeven in schaalmodellen van meetschotten b/B = 0,55, b/B = 0,80 en b/B = 1,00 is gevonden, dat de afmetingen van meetputten voor rechthoekige scherpe overlaten kleiner kunnen worden ontworpen dan volgens Standard ISO 1438/1 – 1980.
Het onderzoek heeft zich met name gericht op verkleining van de aanstroomlengte.
Een verstoorde aanstroming – vaak vindt de aanvoer naar de meetput plaats via een ronde pijp 'in line' – kan aanleiding geven tot beïnvloeding van de overstorthoogte door een sterk ontregelde snelheidsverdeling en ook door een zeer woelige waterspiegel.

Een duikschot, op korte afstand voorbij de pijpuitmonding, geeft – zoals de proeven aantoonden – een aanzienlijke verbetering van de aanstroomcondities.
Een principeschets van de standaardmeetput is gegeven in afb. 5.



Afb. 5 - Principeschets standaardmeetput voor de rechthoekige scherpe overlaat.

Bij het ontwerp van een meetput zijn de belangrijkste randvoorwaarden:
– Q_{max};
– beschikbaar verval. Het totaal benodigde verval over de meetput bestaat uit:
• $\triangle h$, het verval over het duikschot, in dit onderzoek is $\triangle h \leq 0{,}25\ h_{max}$;
• h_{max}, de overstorthoogte bij Q_{max}. Voorwaarde $h_{max} \leq 0{,}80$ m;
• 0,05 m, de minimale afstand tussen de benedenwaterspiegel en de kruin.
Het totaal verval ten behoeve van de debietmeting wordt dan:
$1{,}25\ h_{max} + 0{,}05$.

Achtereenvolgens worden de afmetingen van de meetput vastgesteld:
• de breedtes b en B
De breedte b van het meetschot wordt berekend uit Q_{max} en h_{max}.
Globaal: $b = Q_{max}/2{,}953 \cdot 0{,}62\ (h_{max})^{1{,}50}$
voorwaarde: $b \geq 0{,}15$ m.

Ter voorkoming van erg brede, relatief korte meetputten, waarin gemakkelijk 'dode hoeken' ontstaan, wordt als praktische begrenzing aanbevolen $b \leq 3\ h_{max}$.
Met betrekking tot de breedteverhouding gaat de voorkeur uit naar $b/B = 0{,}8$, mits voldaan wordt aan de ISO-aanbeveling $(B - b)/2 \geq 0{,}10$ m. Hiermee is ook de putbreedte B vastgesteld.

• de apexhoogte P
Afb. 6 wordt gebruikt om de minimale waarde van P te vinden.
Met de reeds vastgestelde b/B-verhouding, en onder de voorwaarde $\triangle h_{max} = 0{,}25$, wordt een h_{max}/P-waarde gevonden, waaruit P volgt. Voorwaarde: $P \geq 0{,}10$ m.

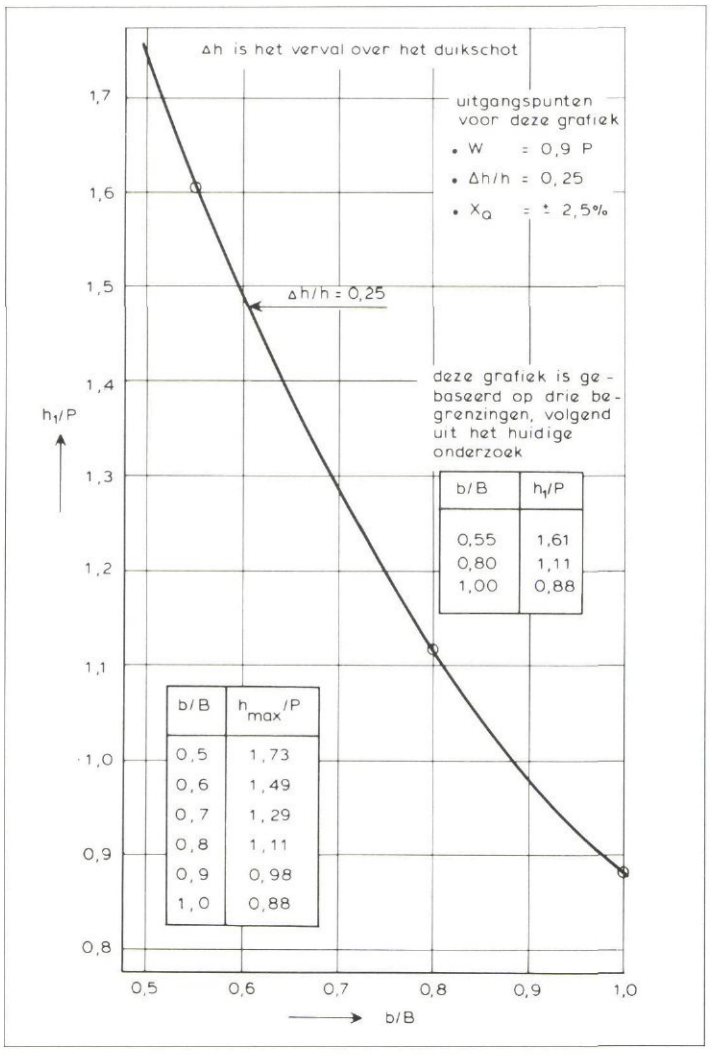
• duikschot-doorlaathoogte W
Het verdient aanbeveling, de tijdens het onderzoek geschikt gebleken hoogte $W = 0{,}9$ P aan te houden voor elk ontwerp van een meetput met een duikschot.
• hoogteverschil tussen de pijp en de putbodem
Aanbeveling: $e + 1/2\ D \geq 1{,}33\ W$.

• afstand Y_{ds} tussen meetschot en duikschot
Afb. 7 wordt gebruikt om $Y_{ds} = n \cdot h_{max}$ te vinden.
Met de reeds vastgestelde b/B-verhouding, en onder de voorwaarde $X_Q \leq$ ca. 2,5% wordt een n-waarde gevonden, waaruit Y_{ds} volgt.

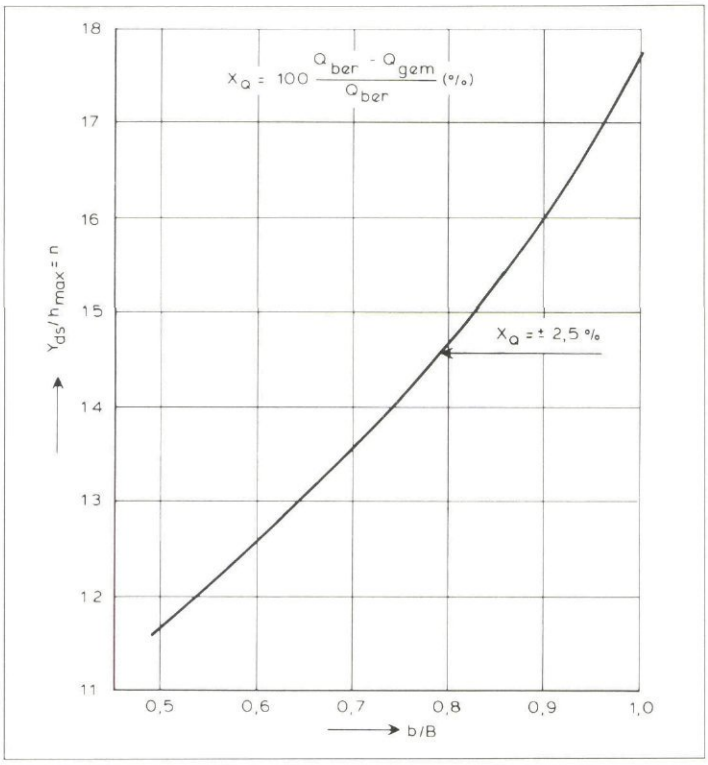
• afstand F tussen pijpmonding en duikschot
Aanbeveling: $F \geq 2\ h_{max}$ en $F \geq 2D$.
Nu is de totale lengte L van de meetput vastgesteld.

• de h-meetraai
De sectie waarin de overstorthoogte in een peilput wordt gemeten ligt op een afstand 2 à 4 h_{max} vanaf het meetschot.

• de hoogte K van de meetput
De waterdiepte bovenstrooms van het duikschot bedraagt $P + 1{,}25\ h_{max}$. Hoewel de ontwerper hierin enige vrijheid heeft, wordt als extra hoogte aanbevolen:
– bovenkant duikschot 0,5 P boven de waterspiegel vóór het duikschot, waardoor de stroming óver het duikschot onder normale omstandigheden wordt vermeden;
– bovenrand van de meetput 0,5 P boven de bovenkant van het duikschot, waardoor bij eventuele verstopping onder het duikschot enige overstort over het duikschot mogelijk is.
De totale hoogte van de meetput wordt dan $K = 1{,}25\ h_{max} + 2P$.
Als gekozen wordt voor een Rehbock meetschot, $b/B = 1$, dan moeten de volgende voorzieningen in acht worden genomen (zie ook ISO 1438/1, par. 9.3):
– de zijwanden van de meetput moeten over een afstand 0,3 h_{max} voorbij het meetschot worden doorgetrokken. Hierdoor wordt voorkomen dat de afvoerende breedte in de kritische sectie meer bedraagt dan de ontworpen breedte;
– de overstortende straal moet volledig belucht zijn. In ieder geval als de zijwanden voorbij het meetschot verder dan 0,3 h_{max} zijn doorgetrokken – hetgeen bij de meeste bestaande Rehbock meetschotten het geval is – moet de beluchting via pijpen in de zijwanden worden gegarandeerd.
Een onvolledige beluchting resulteert in een verlaging van de overstorthoogte, waardoor de hieruit berekende debieten kleiner zijn dan de werkelijke debieten (zie afb. 8).



Afb. 6 - Het verband tussen h_1/p en b/B voor $\Delta h/h = 0{,}25$.



Afb. 7 - De afstand Y_{ds} als functie van b/B en h_{max} voor $X_Q = 2{,}5\%$.

5. De te verwachten meetfout

De meetfout in de bepaling van het debiet in de praktijk wordt als volgt gedefinieerd:

$$E_Q = \sqrt{X_c^2 + (1{,}5\, X_h)^2} + X_m \qquad (4)$$

waarin:
E_Q de procentuele onzekerheid in Q
X_c de procentuele onzekerheid in C_e, ontleend aan ISO 1438/1
X_h de fout in de bepaling van h_1
X_m extra fout door de verkleinde afmetingen van de meetput.

• Volgens ISO 1438/1 zijn de onzekerheidspercentages in C_e als volgt:

$h_1/P < 1{,}0$ $\quad X_c \leq 1{,}5\%$
$1{,}0 < h_1/P < 1{,}5$ $\quad X_c \leq 2{,}0\%$
$1{,}5 < h_1/P < 2{,}5$ $\quad X_c \leq 3{,}0\%$

• De fout in de bepaling van de overstorthoogte is $X_h = 100 \frac{\delta_h}{h_1}$ (%) waarbij δ_h de absolute fout is in het meten van h_1.
Als h_1 met grote zorgvuldigheid wordt gemeten, kan de fout beperkt blijven tot $\delta_h = 0{,}004$ m.

• De extra fout X_m voor de verkleinde afmetingen van de meetput varieert met h_1/P. Uit het onderzoek [1] volgen de waarden zoals aangegeven in tabel II.

TABEL II – *De extra fout X_m als functie van h/h_{max}.*

h/h_{max}	X_m (%)
1,0 tot 0,85	−1,7
0,80	−1,6
0,75	−1,1
0,70	−0,6
0,64	0

• De fout X_m volgens tabel II kan tevens worden aangehouden voor meetschotten b/B # 0,80. In afb. 7 is aangegeven tot welke h_{max} de verschillende meetschotten b/B kunnen worden belast.

6. Voorbeeld van ontwerp

Gegeven:
$Q_{max} = 1{,}5\ m^3/s$
$Q_{min} = 0{,}1\ m^3/s$ aanvoer via pijp ∅ 0,80 m.
Ontwerpen van meetputten met een rechthoekige scherpe overlaat moeten worden gemaakt voor vier mogelijkheden van beschikbaar verval $0{,}65\ m < \Delta H < 1{,}05$ m.

Ontwerp
De voorkeur gaat uit naar meetschotten b/B = 0,80. Deze mogen volgens tabel II maximaal worden belast tot $h_1/P = 1{,}11$, waarbij de afvoercoëfficiënt volgens afb. 2 wordt: $C_e = 0{,}647$.
De vier ontwerpen worden ontwikkeld in tabel III (maten in meters).

Zijn de drie ontworpen meetputten korter dan volgens ISO 1438/1?
Tabel IV geeft hiervan een overzicht. Tevens

Afb. 8 - Rehbock-meetschot b/B = 1 in het laboratorium.

TABEL III – *Voorbeeld ontwerp meetput.*

Ontwerp no.	(1)	(2)	(3)	(4)
beschikbaar totaal verval $\triangle H$	1,05	0,90	0,78	0,65
$h_{max} = (\triangle H - 0{,}05)/1{,}25$	0,800	0,680	0,584	0,480
$b_{min} = Q_{max}/2{,}953 \times 0{,}647 \times h_{max}^{1,50}$	1,10	1,40	1,76	2,36
voorwaarde $b \leq 3\,h_{max}$	$\leq$ 2,40	$\leq$ 2,04	$\leq$ 1,75	$\leq$ 1,44
gekozen breedte b	1,12	1,40	1,76	*
gootbreedte B = 1,25 b	1,40	1,75	2,20	
is $(B - b)/2 \geq 0{,}10$ m?	0,140	0,175	0,220	
$P = h_{max}/1{,}11$ (afb. 6)	0,72	0,61	0,53	
W = 0,9 P	0,65	0,55	0,48	
$Y_{ds} = 14{,}65\,h_{max}$ (afb. 7)	11,72	9,96	8,56	
$F \geq 2\,h_{max}$ en $F \geq 2D$	1,60	1,60	1,60	
lengte meetput $L = F + Y_{ds}$	13,32	11,56	10,16	
hart pijp $e \geq (1{,}33\,W - 0{,}5\,D)$	0,47	0,33	0,24	
gekozen e	0,47	0,40	0,40	
plaats h_1-meetraai op 3 h_{max}	2,40	2,04	1,75	
hoogte meetput $K = 1{,}25\,h_{max} + 2P$	2,44	2,07	1,79	

* b_{min} voldoet niet aan $b \leq 3\,h_{max}$

TABEL IV – *Onderlinge vergelijking van de afmetingen van de voorbeeldontwerpen.*

Ontwerp	(1)	(2)	(3)
breedte meetschot b (m)	1,12	1,40	1,76
putlengte volgens ISO 1438/1 L = 10 b	11,00	14,00	17,60
putlengte uit tabel III (m)	13,32	11,56	10,16
totale wandoppervlakte met behulp van tabel III (m^2)	87,1	71,7	62,7

worden voor elk der ontwerpen de totale wandoppervlaktes gegeven, waardoor een indruk ontstaat van de hoeveelheden beton. De totale wandoppervlakte wordt globaal gegeven in A = 2 KL + LB + BK.

Het blijkt, dat een breder meetschot de volgende voordelen biedt:

a. geringer benodigd totaal verval $\triangle H$;
b. winst op de lengte L van de meetput (ook ten opzichte van de ISO-norm);
c. geringere hoeveelheid bouwmaterialen.

Een nadeel van een breder meetschot is de toenemende meetfout E_Q, die vooral bij Q_{min} tot uitdrukking komt. Tabel V geeft de meetfouten E_Q.

Tenslotte wordt de afvoerrelatie opgesteld voor ontwerp (2).

$$\left.\begin{array}{l} b = 1{,}400 \text{ m} \\ B = 1{,}750 \text{ m} \end{array}\right\} b/B = 0{,}80 \text{ m}$$

$$P = 0{,}610 \text{ m}$$

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right) \cdot \sqrt{2g} \cdot C_e \cdot b_e \cdot h_e^{1,50}$$

$$\left(\frac{2}{3}\right) \cdot \sqrt{2g} = 2{,}953$$

$$C_e = 0{,}597 + 0{,}045\,h_1/P \text{ (afb. 2)}$$

$$b_e = 1{,}400 + 0{,}0042 = 1{,}4042 \text{ m (afb. 3)}$$

$$h_e = h_1 + 0{,}001$$

$$Q = 4{,}1466 \cdot C_e \cdot (h_1 + 0{,}001)^{1,50}$$

De afvoerbetrekking is gegeven in tabel VI. Tevens zijn de meetfout E_Q en het verval over het duikschot $\triangle H$ vermeld.

Bij de berekening van de meetfout E_Q is er van uitgegaan, dat de waterstand in een peilput is gemeten.

7. Conclusies

Voor het meten van debieten met rechthoekige scherpe overlaten geeft de Standard ISO 1438/1-1980 de voorgeschreven maatvoering, het toepassingsgebied en de afvoerformules. Een belangrijke maat is de aanstroomlengte Y.

In overeenstemming met de genoemde Standards strekt Y zich bij de rechthoekige scherpe overlaat uit tot het meetschot.

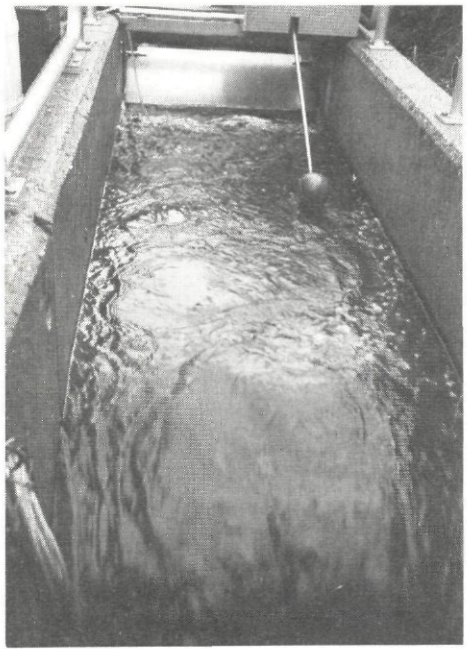
Een verstoorde aanstroming kan bijvoorbeeld ontstaan door een aanvoer uit een pijpleiding of door een zijdelingse aanvoer op een te korte afstand tot de meetstuw.

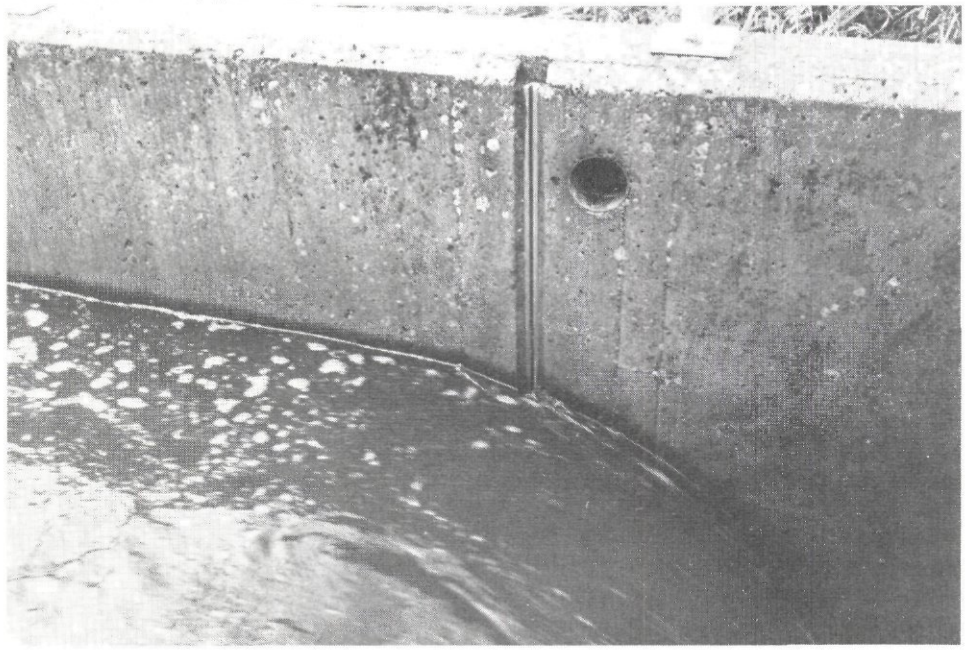
Dit resulteert in een ongelijkmatige snelheidsverdeling in de h-meetraai en een onrustige waterspiegel. Hierdoor ontstaan er

TABEL V – *De meetfoutvariatie in de voorbeeldontwerpen.*

	$Q_{max} = 1{,}5$ m^3/s h_{max} (tabel III)			$Q_{min} = 0{,}1$ m^3/s $h_{min} = (Q_{min}/2{,}953 \cdot 0{,}61 \cdot b)^{2/3}$		
Ontwerp no.	(1)	(2)	(3)	(1)	(2)	(3)
h_1 (m)	0,800	0,680	0,584	0,135	0,116	0,100
$X_h = 100 \cdot 0{,}004/h_1$ (%)	0,50	0,59	0,68	2,96	3,45	4,00
X_e volgens ISO (%)	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,5
X_m uit dit onderzoek (%)	1,7	1,7	1,7	0,0	0,0	0,0
E_Q met formule 4 (%)	3,5	3,5	3,6	4,7	5,4	6,2

Afb. 9 - Rehbock-meetschot b/B = 1, rwzi Bolsward. Bij toepassing van een boldrijver moet er op worden gelet dat deze niet door de wind wordt beïnvloed. Het meetschot bevindt zich in de sponning, de overstortende straal wordt belucht via een pijp in de betonwand.





TABEL VI – *De afvoerbetrekking van het voorbeeldontwerp (2).*

h_1 (m)	C_e	Q (m^3/s)	Meetfout E_Q (%)	Verval over het duikschot $\triangle h$ (m)*
0,10	0,604	0,0804	± 6,2	
0,15	0,608	0,1479	± 4,3	
0,20	0,612	0,2286	± 3,4	
0,25	0,615	0,3209	± 2,8	
0,30	0,619	0,4240	± 2,5	
0,35	0,623	0,5371	± 2,3	
0,40	0,627	0,6597	± 2,1	
0,45	0,630	0,7915	± 2,2	
0,50	0,634	0,9321	± 2,9	0,059
0,55	0,638	1,0813	± 3,5	0,079
0,60	0,641	1,2389	± 3,5	0,106
0,65	0,645	1,4047	± 3,5	0,143
0,70	0,649	1,5786	± 3,6	0,189

* berekend met afb. 9

fouten in het meten van de juiste overstorthoogte h, die op hun beurt weer leiden tot afwijkingen in het debiet.
Voor de rechthoekige scherpe overlaat is gezocht naar het minimaliseren van de put-afmetingen. Hoofdzakelijk heeft het onderzoek zich toegelegd op het verkleinen van de aanstroomlengte Y. Randvoorwaarde was dat de extra fout in de bepaling van het debiet – door het verkleinen van de put-afmetingen – beperkt blijft tot 2 à 3%.
Evenals bij het onderzoek ter verkleining van meetputten met Thomson-meetschotten, geldt ook voor de rechthoekige meetschotten, dat een duikschot op enige afstand tot het meetschot een ordenend effect heeft op een verstoorde aanstroming.
Afb. 5 geeft de hoofdafmetingen van een meetput, voorzien van een duikschot. Het duikschot staat op een afstand Y_{ds} tot het meetschot, en heeft een doorlaathoogte W = 0,9 P. Voorwaarde bij toepassing van het duikschot was, dat het verval over het duikschot bij Q_{max} niet meer zou bedragen dan $\triangle H = 0{,}25\ h_{max}$.
De minimalisering had betrekking op alle drie dimensies:
– De apexhoogte P
Afb. 6 geeft het verband tussen h/P en b/B. Uitgaande van een bekende b/B-verhouding wordt P bepaald uit h_{max}.
– De breedtematen
Er is voorkeur voor het meetschot b/B = 0,8. Hiermee wordt een relatief smalle goot beoogd, terwijl kunstmatige beluchting van de overstortende straal niet nodig is.
– De lengtemaat
Afb. 7 geeft de aanstroomlengte Y_{ds} als functie van b/B en h_{max}.

8. Aanbevelingen

1. Uit een tussentijds uitgevoerd beperkt speurwerkonderzoek is onder meer gebleken, dat de afvoerbetrekking voor rechthoekige scherpe overlaten, b/B < 1, opgesteld met de informatie uit ISO 1438/1, niet geheel overeenkomt met volumetrische ijkingen uit het huidige onderzoek. Ook White [5] vond in 1977 verschillen X_Q = 1 à 3% met de ISO-formule van Kindsvater/Carter.
Het verdient aanbeveling om de betrouwbaarheid van de afvoerformule van Kindsvater/Carter te toetsen aan een systematisch onderzoek met meetschotten 0,3 < b/B < 0,8, die uitsluitend volumetrisch geijkt moeten worden.
2. De betrouwbaarheid van afvoerrelaties voor alle types meetstuwen staat en valt met de nauwkeurigheid van de meting van de overstorthoogte h. De in dit rapport genoemde maximale fout δ_h = 4 mm berust meer op 'boekjeswijsheid' en 'wishfull thinking' dan op de gangbare praktijk.
Het verdient aanbeveling:
a. de nulpuntsijking met grote zorgvuldigheid uit te voeren, en zonodig te herhalen;
b. vergelijkend onderzoek te doen uitvoeren naar de betrouwbaarheid (absoluut en reproductief) van de verschillende meetapparatuur ter bepaling van de overstorthoogte h. Enige sanering lijkt gewenst ten behoeve van de ontwerper en is in het belang van de zuiverende en vervuilende instantie beide.
3. Het meten van de waterstand in de h-meetraai dient bij voorkeur te worden gedaan in een peilput, teneinde de meetafwijking te beperken tot E_Q = 2,5 à 5%.
Als de waterstand daarentegen in het open profiel van de h-meetraai wordt gemeten, dan wordt de extra meetfout bij de standaardmeetput als volgt:
– variërend van 0% aan de onderkant van het bereik tot circa 1,5% bij Q_{max}, voor de rechthoekige scherpe overlaat.
4. Voor een volledig overzicht in het onderzoek wordt verwezen naar het STORA rapport [6].

Geraadpleegde literatuur

1. Boiten, W. (1985). *Meetputten voor de debietmeting van afvalwater; minimalisering put-afmetingen voor rechthoekige overlaten en Venturi-meetgoten, M1963.* Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, april 1985.
2. International Organization for Standardization ISO (1980). *Liquid Flow Measurement in open Channels using weirs and Venturi Flumes.* Part I: Thin plate weirs, ISO 1438/1, april 1980 (te verkrijgen bij het NNI, Kalfjeslaan 2, Postbus 5059, 2600 GB Delft).
3. STORA (1978). *Meten en bemonsteren van afvalwaterstromen II. Afvoerrelaties in meetputten met Thomson-meetschotten.* Rijswijk, STORA, mei 1978.
4. Boiten, W. (1985). *Rectangular sharp crested weirs, discharge characteristics, S801-XIII.* Conceptverslag speurwerkonderzoek. Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, maart 1985.
5. White, W. R. (1977). *Thin plate weirs.* Proc. Instn. Civ. Engrs. Part 2, 1977, 63, june, pp. 255-269.
6. STORA. *Meten en bemonsteren van afvalwaterstromen III. Minimalisering put-afmetingen voor rechthoekige scherpe overlaten.*
7. Boiten, W. (1979). *Debietmeting overstort reinwaterkelder 3 pompstation Scheveningen, R1430.* Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, april 1979.
8. Boiten, W. (1980). *Aangroeiing op een Thomsonmeetschot, bepaling van de meetfouten, M1674.* Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, februari 1980.
9. Boiten, W. (1980). *Meetschot rioolwaterzuiveringsinrichting Nieuwgraaf te Duiven, bepaling van de afvoerrelatie, M1742.* Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, oktober 1980.
10. Boiten, W. (1982). *Afvoermeting met een V-schot van NKF Kabel te Delft.* Wageningen, Waterloopkundig Laboratorium, maart 1982.

• • •

Minder algengroei Veluwemeer mogelijk

Het 'doorspoelen' van het Veluwemeer met water uit de Flevopolder zal tot een blijvende vermindering van de algengroei in dit meer leiden. Dit blijkt uit een onderzoek van de Technische Hogeschool Twente (THT).
De fosfaten, die de groei van de zogenoemde blauwalgen kunnen veroorzaken, worden tijdens het doorspoelen gebonden aan het calciumcarbonaat (kalk) dat in het water uit de Flevopolder zit. Deze binding, die zich afzet op de bodem, is definitiever dan was verwacht. Het positieve gevolg is, dat er aanzienlijk minder fosfaten in het water komen. De overbemesting wordt hierdoor ook minder, aldus ir. A. Brinkman en ir. W. Raaphorst, die op dit onderzoek op 21 maart jl. aan de THT promoveerden.
Er zijn zelfs tekenen dat de mono-cultuur van de blauwalgen voorgoed kan worden doorbroken met het doorspoelen met kalkrijk water. Hierdoor zullen ook andere algen en de voor het Veluwemeer normale plantengroei terug kunnen keren. Maar voor definitieve aanpak van het algenprobleem op het Veluwemeer zien de beide onderzoekers toch een vermindering van de instroom van fosfaten via de waterzuiveringen van Elburg en Harderwijk en vanuit de beken die op het Veluwemeer uitkomen.
De waterkwaliteit van het Veluwemeer verslechterde sinds de tweede helft van de jaren zestig. Vanaf 1970 is het water troebel en heeft de blauwalg alle andere plantengroei verdreven. De snoek, die moet kunnen zien om te jagen, is verdwenen. De visstand wordt gedomineerd door de brasem. Het in gebruik nemen van waterzuiveringsinstallaties in Elburg en Harderwijk bracht geen verbetering want de fosfaten, die in de bodem van het meer gebonden waren aan ijzer-oxyde, kwamen vrij en zorgden voor handhaving van het te hoge fosfaat-gehalte. (ANP)