

Debietmeting met een rechthoekige scherpe overlaat

Inleiding

In tal van rioolwaterzuiveringsinstallaties worden de hoeveelheden gezuiverd water — vóór de lozing op openbaar water — gemeten met behulp van een meetschot in de effluentgoot.

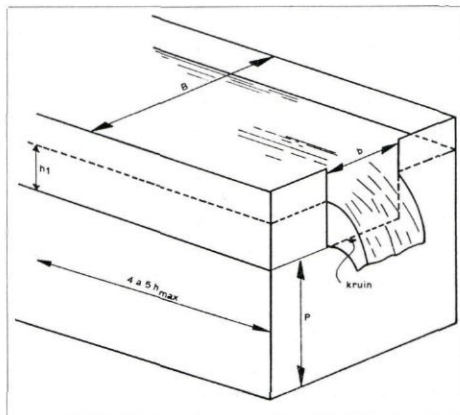
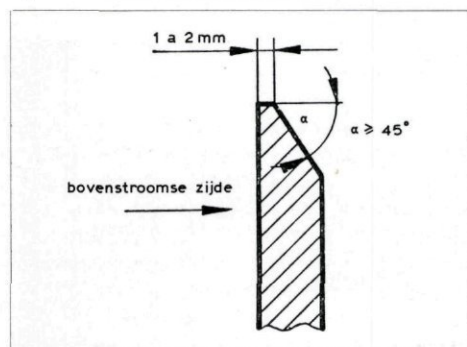
Het meetschot valt in de categorie 'scherpe overlaten met horizontale kruin'. Met behulp van een afvoerformule wordt het debiet afgeleid uit de overstorthoogte; dat is het verschil tussen de waterstand op enige afstand bovenstrooms van de overlaat en de kruinhoogte.



W. BOITEN
Waterloopkundig
Laboratorium Wageningen

De voordelen van een scherpe overlaat zijn de vrij lichte constructie en de grote mate van betrouwbaarheid in het verband tussen debiet en overstorthoogte. De scherpe overlaat kan niet worden toegepast als er verontreinigd water wordt afgevoerd en evenmin als het beschikbare verval klein is. In deze gevallen kan het debiet worden gemeten met een venturi-meetgoot. De scherpe overlaat is uitsluitend betrouwbaar indien de vormgeving van de meetinrichting in het algemeen, en die van de overstortrand in het bijzonder, in overeenstemming is met de daarvoor geldende normen [5]. Scherpe overlaten staan er voor bekend, dat beschadiging en vervuiling van de overstortrand en afwijkingen in de constructie het verband tussen debiet en overstorthoogte gemakkelijk beïnvloeden. In dit artikel wordt allereerst de rechthoekige scherpe overlaat, zoals omschreven in de normen, behandeld. Vervolgens wordt aan de hand van een praktijkvoorbeeld de aandacht gevestigd op de gevolgen van een afwijkende vormgeving op het verband tussen debiet en overstorthoogte. Ten slotte wordt aangetoond, hoe de

Afb. 1 - Detail van de overstortrand.



Afb. 2 - Principe-schets van de rechthoekige scherpe overlaat.

werkelijke afvoerformule werd vastgesteld met behulp van modelonderzoek.

De rechthoekige scherpe overlaat volgens de normen

Scherpe overlaten worden zuiver verticaal opgesteld, loodrecht op de zijwanden van de meetgoot.

De kruin moet volgens afb. 1 worden uitgevoerd, waarbij het plaatmateriaal slijtvast en corrosiebestendig behoort te zijn.

Bovenstrooms moet er een normale snelheidsverdeling zijn in het dwarsprofiel over een lengte van tienmaal de afvoerbreedte. Benedenstrooms wordt geëist dat de waterstand onder alle omstandigheden ten minste 5 cm onder de kruin ligt, en dat de overstortende straal volledig is belucht.

De overstorthoogte wordt gemeten op een afstand van ten minste viermaal de maximale overstorthoogte bovenstrooms van de overlaat. De kruin is zuiver horizontaal. Teneinde de overstorthoogte nauwkeurig te kunnen vaststellen, dienen waterstand en kruinhoogte beide met een nauwkeurigheid van enkele millimeters te worden gemeten.

Afbeelding 2 geeft een principe-schets van de overlaat.

Er zijn drie types rechthoekige scherpe overlaten:

a. met een maximale contractie.

Zowel in de breedte als in de hoogte is de contractie van de stroomlijnen bij het naderen van de overlaat maximaal, als de bodem en de wanden van de goot voldoende afstand hebben tot de bodem en de opstaande kanten van de overlaat.

b. met een gedeeltelijke contractie.

De afmetingen van de goot zijn ten opzichte van die van de overlaat ontoereikend om een maximale contractie van de stroomlijnen te weeg te brengen.

c. met een twee-dimensionale stroming.

De breedte van de overlaat is gelijk aan de breedte van de goot, $b/B = 1$, waardoor er alleen in de hoogte nog een contractie van de straal optreedt. Het verband tussen debiet en overstorthoogte wordt tot uitdrukking gebracht in de afvoerformule volgens Kindsvater-Carter:

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

waarin:

Q het debiet (m^3/s)

C_e de karakteristieke afvoercoëfficiënt (—)

g de versnelling t.g.v. de zwaartekracht

(m/s^2) met $g = 9,81 m/s^2$ wordt $\frac{2}{3} \sqrt{2g} =$

$2,953 m^{1/2}/s$

b_e effectieve afvoerbreedte (m)

$$b_e = b + k_b$$

b breedte van de overlaat (m)

k_b correctie op de breedte volgens afb. 3 (m)

h_e effectieve overstorthoogte (m)

$$h_e = h_1 + 0,001$$

h_1 overstorthoogte (m)

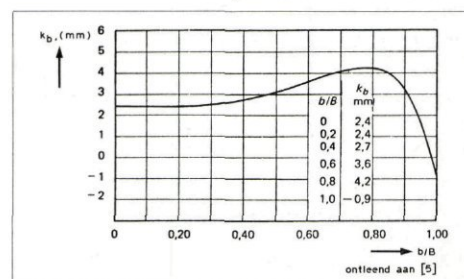
De afvoercoëfficiënt C_e is een functie van de beide parameters die voor de contractie maatgevend zijn: b/B en h_1/P . Afbeelding 4 geeft de op proeven gebaseerde waarden van $C_e = a + a' (h_1/P)$.

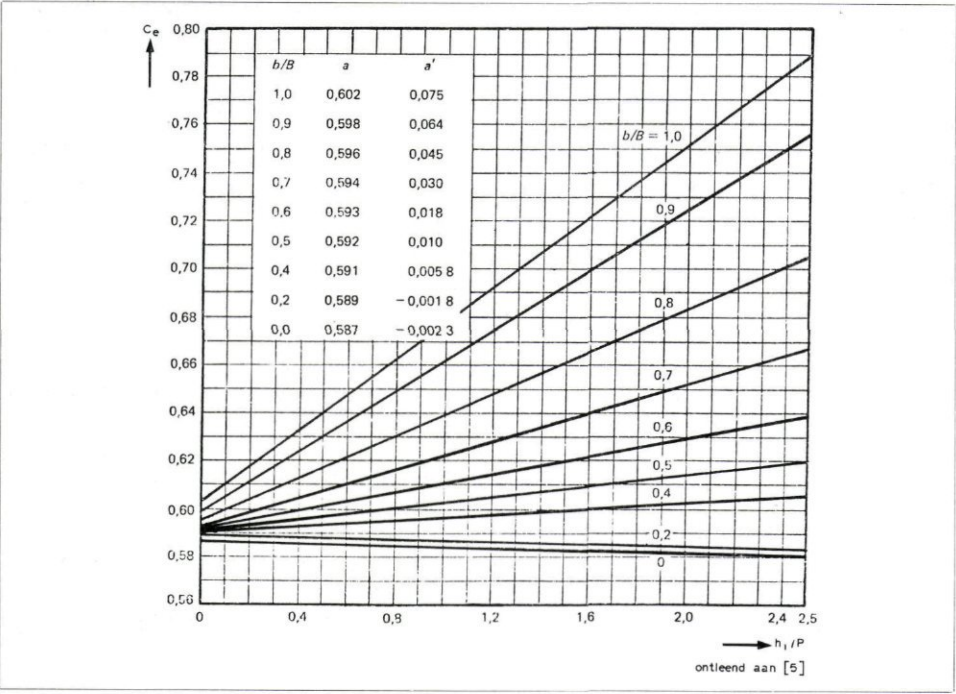
Aan de grootheden h_1/P , h_1 , b en P zijn de volgende begrenzingen gesteld, waarbinnen de voornoemde afvoerformule geldt is:

met zijdelingse contractie types a en b	zonder zijdelingse contractie type c
$h_1/P \leq 2,5$	$h_1/P \leq 1,0$
$0,03 m < h_1 < 0,60 m$	$0,03 m < h_1 < 0,75 m$
$b \geq 0,15 m$	$b \geq 0,30 m$
$P \geq 0,10 m$	$P \geq 0,10 m$
$(B-b) \geq 0,20 m$	

De nauwkeurigheid van de afvoercoëfficiënt C_e wordt gegeven met een betrouwbaarheidsniveau van 95 % en is afhankelijk van h_1/P . Voor X_{C_e} de te verwachten fout in C_e , kan worden aangehouden:

Afb. 3 - Waarde van k_b als functie van b/B .





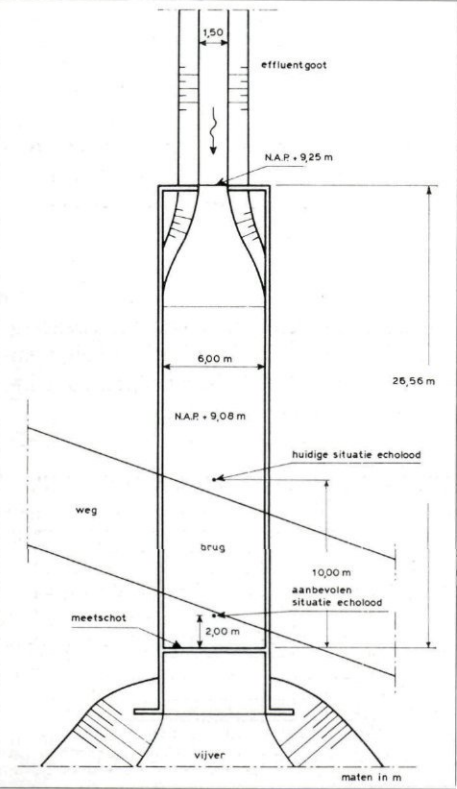
Afb. 4 - Afvoercoëfficiënt $C_e = a + a' (h_1/P)$.

- $h_1/P < 1,0$ $X_c < 1,5 \%$
- $1,0 < h_1/P < 1,5$ $X_c < 2 \%$
- $1,5 < h_1/P < 2,5$ $X_c < 3 \%$

De nauwkeurigheid waarmee het debiet wordt afgeleid uit de overstorthoogte wordt aangeduid met de te verwachten procentuele fout X_Q :

$$X_Q = \sqrt{X_c^2 + (1,5 X_h)^2}$$

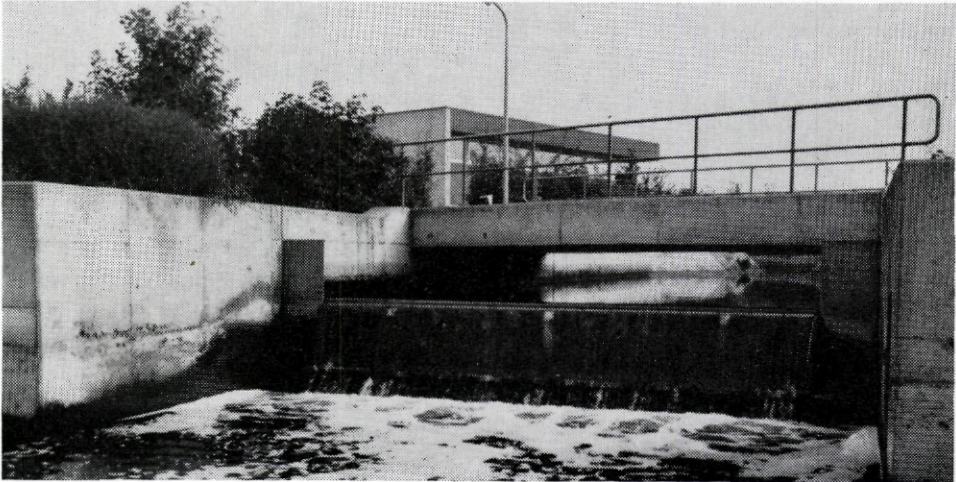
Afb. 5 - Het aanvoerkanaal naar de overlaat.



waarin:
 X_Q de procentuele fout in het debiet (%)
 X_c de procentuele fout in C_e (%)
 X_h de procentuele fout in de bepaling van de overstorthoogte h_1
 $X_h = 100 \delta_h / h_1$ waarin δ_h de absolute fout in h_1 (m).
De absolute fout δ_h is samengesteld uit een fout in de bepaling van de bovenwaterstand δ_{bw} en een fout in de nulpuntsbepaling δ_{kh} .
In de formule wordt δ_h als volgt weergegeven:
$$\delta_h = \sqrt{\delta_{bw}^2 + \delta_{kh}^2}$$

Bij een zorgvuldige voorbereiding mag worden uitgegaan van:
 $\delta_{bw} = 0,003 \text{ m}$
 $\delta_{kh} = 0,002 \text{ m}$.

Afb. 6 - Benedenstrooms aanzicht van de overlaat.



Beschrijving en beoordeling van een scherpe overlaat met een afwijkende vormgeving

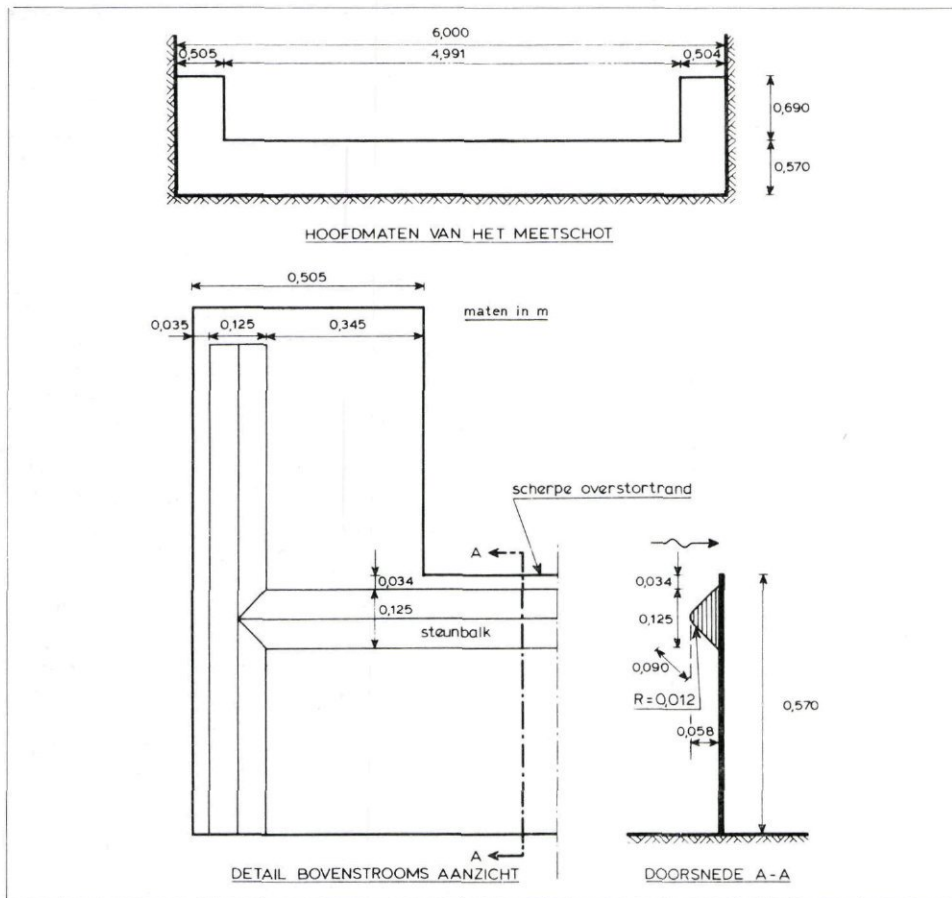
In de rioolwaterzuiveringsinstallatie Nieuwgraaf te Duiven bevindt zich aan het eind van de effluentgoot een scherpe overlaat (afb. 5 en 6). Tussen het Zuiveringsschap en het Rijksheffingenburo bestond een verschil van mening over de nauwkeurigheid van de debietmeting. Het Rijksheffingenburo was van mening dat de debieten 10 à 15 % meer zouden bedragen dan die, bepaald met de afvoerformule. Dit was gebaseerd op vergelijking van debieten bepaald met de overlaat, met debieten op basis van de pompcapaciteit van een tussengemaal voor capaciteiten kleiner dan 8000 m³/uur.

- Bij het ontwerp van de zuiveringsinstallatie is uitgegaan van de volgende afvoeren:
- maximale afvoer $Q = 13200 \text{ m}^3/\text{uur}$
 $= 3,67 \text{ m}^3/\text{s}$
 - droogweer afvoer $Q = 4700 \text{ m}^3/\text{uur}$
 $= 1,31 \text{ m}^3/\text{s}$.

Het trapeziumvormig profiel van de goot (bodembreedte 1,50 m, bodempeil NAP + 9,25 m en taluds 1 : 1) gaat op 26,56 m bovenstrooms van het meetschot over in een rechthoekig profiel (bodembreedte 6,00 m en bodempeil NAP + 9,08 m). Op circa 10 m voor deze overgang eindigt een flauwe maar lange bocht naar rechts in de effluentgoot.

De rechthoekige scherpe overlaat heeft een kruinbreedte $b = 4,991 \text{ m}$, en een kruinhoogte $P = 0,57 \text{ m}$ boven de bodem van de aanvoergoot (afb. 7). Met een gootbreedte $B = 6,00 \text{ m}$ wordt $b/B = 0,832$. De stroming over de overlaat wordt gekenmerkt door een gedeeltelijk contraherende straal. De afvoerformule luidt:

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



Afb. 7 - Maatvoering overlaat rzi Nieuwgraaf.

Voor $b/B = 0,832$ wordt $k_b = 0,0042$ m. De overstorthoogte h_1 wordt gemeten met behulp van een echolood (afb. 8). Bij een maatvoering, geheel in overeenstemming met de normen [5], zal voor $b/B = 0,832$ de afvoercoëfficiënt $C_e = 0,598 + 0,050 h_1/P$ bedragen. Met $b = 4,991$ m wordt $b_e = b + k_b = 4,9952$ m.

Tegen de bovenstroomse zijde van de scherpe overlaat is een verstevigingsbalk aangebracht op enkele centimeters onder de kruin.

Uit een aantal bezoeken ter plaatse werd een indruk verkregen van het stroombeeld bij verschillende afvoeren.

Mogelijke foutenbronnen in de bepaling van het debiet met de hiervoor beschreven overlaat zijn:

a. slechte aanstroming.

Langs de rechteroever van de aanvoergoot doet zich vanaf het begin van de rechtehoekige bak een neer voor. Oorzaken zijn een ongelijke snelheidsverdeling ten gevolge van de flauwe bocht bovenstrooms en de enigszins abrupte overgang tussen beide profielen. Naarmate de afvoer toeneemt, wordt de neer groter en sterker, waarmee de aanstroomcondities verslechteren. Het is moeilijk te voorspellen welke de effecten zijn van een niet ideale aanstroming op de afvoerrelatie. Uit een —

enkele jaren geleden — door het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerd onderzoek [3] is gebleken dat een verstoord stroombeeld bij Thomson overlagen verbeterd kan worden door het plaatsen van een duikschot. Een duikschot is een verticaal geplaatste wand, loodrecht op de stroomrichting en over de volle breedte van de goot, waarbij de onderkant van het schot zich enkele decimeters boven de bodem van de goot bevindt. Met betrekking tot de onderhavige meet-

inrichting werden de volgende twee wijzigingen aanbevolen:

— verplaatsing van het echolood naar de raai op 2 meter bovenstrooms van het meetschot, waar de waterspiegel rustiger is dan in de huidige raai

— installatie van een duikschot aan het eind van het overgangsprofiel, waardoor een aanzienlijk gunstiger aanstroming zal ontstaan.

b. verstoring van de afvoerrelatie door de steunbalk.

Uit een ander door het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerd onderzoek [4] is gebleken dat de aanwezigheid van een obstakel tegen de bovenstroomse zijde van een Thomson meetoverlaat kan leiden tot een verhoging van de afvoercoëfficiënt, hetgeen overeenkomt met een verlaging van de overstorthoogte en daarmee resulteert in een te lage voorspelling in het optredend debiet.

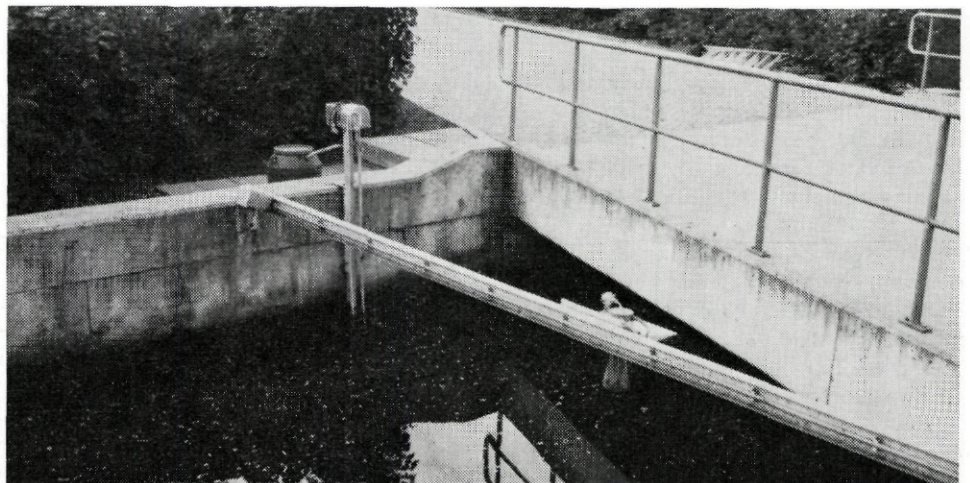
c. onvolkomenheden in de nulpuntsijking en de reproductie van de overstorthoogte door het echolood.

Door een nauwkeurige waterpassing en enkele controle-metingen van overstorthoogtes kan de fout hierin minimaal worden gehouden.

Vooral de afwijkende vormgeving van de overlaat door de aanwezigheid van de steunbalk op enkele centimeters onder de overstortrand, was aanleiding tot het vermoeden dat de afvoerformule niet in overeenstemming zou zijn met die volgens de geldende normen.

De onder a. en c. genoemde mogelijke onvolkomenheden kunnen ter plaatse op eenvoudige wijze worden verkleind of weggenomen. De eventuele verstoring van de afvoerbetrekking door de steunbalk maakte een nader onderzoek met behulp van een model noodzakelijk.

Afb. 8 - Bovenstrooms wordt de waterstand gemeten met een echolood.



TABEL I - Meetresultaten van het half drie-dimensionaal model en de berekening van de afvoercoëfficiënt C_e hieruit.

Model $n_1 = 3,75$		P = 0,152 m			
		b/2 = 0,666 m			
		B/2 = 0,800 m			
Meetserie overlaat volgens de normen (geen obstakels)					
Meting no.	Model Q/2 (10^{-3} m ³ /s)	Q (10^{-3} m ³ /s)	h_1 (10^{-4} m)	h_1/P (-)	C_e (-)
1	3,80	7,59	208	0,137	0,598
2	8,00	16,01	347	0,228	0,606
3	10,17	20,33	410	0,270	0,605
4	14,91	29,81	525	0,345	0,613
5	20,13	40,26	640	0,421	0,619
6	28,15	56,29	798	0,525	0,622
7	35,07	70,13	918	0,604	0,630
8	42,17	84,34	1032	0,679	0,637
9	52,60	105,20	1195	0,786	0,640
10	63,07	126,15	1342	0,883	0,642
11	69,81	139,63	1427	0,939	0,653

Overlaat met steunbalk					
Meting no.	Model Q/2 (10^{-3} m ³ /s)	Q (10^{-3} m ³ /s)	h_1 (10^{-4} m)	h_1/P (-)	C_e (-)
1	3,79	7,58	205	0,135	0,611
2	8,05	16,10	336	0,221	0,631
3	10,26	20,53	396	0,260	0,631
4	14,59	29,90	510	0,335	0,638
5	20,21	40,42	622	0,409	0,643
6	28,17	56,35	774	0,509	0,651
7	35,11	70,22	889	0,585	0,660
8	42,26	84,52	1003	0,660	0,664
9	52,78	105,56	1156	0,760	0,670
10	62,94	125,87	1301	0,856	0,674
11	70,09	140,17	1385	0,911	0,680

De motieven hiervoor waren:

— het vaststellen of er inderdaad een verstoring ten gevolge van de afwijkende vormgeving is

— het bepalen van de werkelijke afvoerformule, behorend bij de afwijkende vormgeving.

In een half driedimensionaal model is de afvoerformule vastgesteld van de overlaat zonder én met de steunbalk.

Vaststelling werkelijke afvoerformule op basis van modelonderzoek

De overlaat is in het laboratorium geijkt voor debieten, die overeenkomen met 700 m³/uur tot 13200 m³/uur in werkelijkheid.

Gezien de symmetrie van de meetinstallatie was het voldoende, een half model te bouwen. Dit maakte een kleinere schaalfactor mogelijk, hetgeen ten goede komt aan de meetnauwkeurigheid. Gekozen werd voor een schaalfactor $n_1 = 3,75$.

De halve overlaat werd achtereenvolgens doorgemeten zonder en met steunbalk. Tabel I geeft een overzicht van beide meetseries en de daaruit berekende afvoercoëfficiënt C_e . Deze werd afgeleid uit de afvoerformule:

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

h_e effectieve overstorthoogte $h_e = h_1 + 0,001$ m

gemeten werden Q/2 en h_1 .

De debieten werden gemeten met een electromagnetische debietmeter, de overstorthoogtes werden met een peilnaald bepaald.

De betrekkingen tussen h_1/P en C_e zijn in afb. 9 uitgezet.

— de meetpunten voor de volgens de normen gebouwde overlaat komen goed overeen met het uit de literatuur [5] afkomstige verband tussen h_1/P en C_e : $C_e = 0,598 + 0,050 h_1/P$

— de gevonden meetpunten voor de overlaat met steunbalk liggen eveneens op een rechte lijn. Een regressieberekening door de elf meetpunten leverde de vergelijking $C_e = 0,609 + 0,080 h_1/P$. Uit de afb. is te zien, dat de afvoercoëfficiënt door het plaatsen van de steunbalk met 3 à 6 % toeneemt. De vergelijking $C_e = 0,609 + 0,080 h_1/P$ kan worden gebruikt voor het opstellen van de werkelijke afvoerbetrekking voor de betreffende overlaat. De fout in de bepaling van de afvoercoëfficiënt C_e , bepaald in het model, bedraagt ten hoogste $X_e = 1$ à 1,5 %.

waarin:

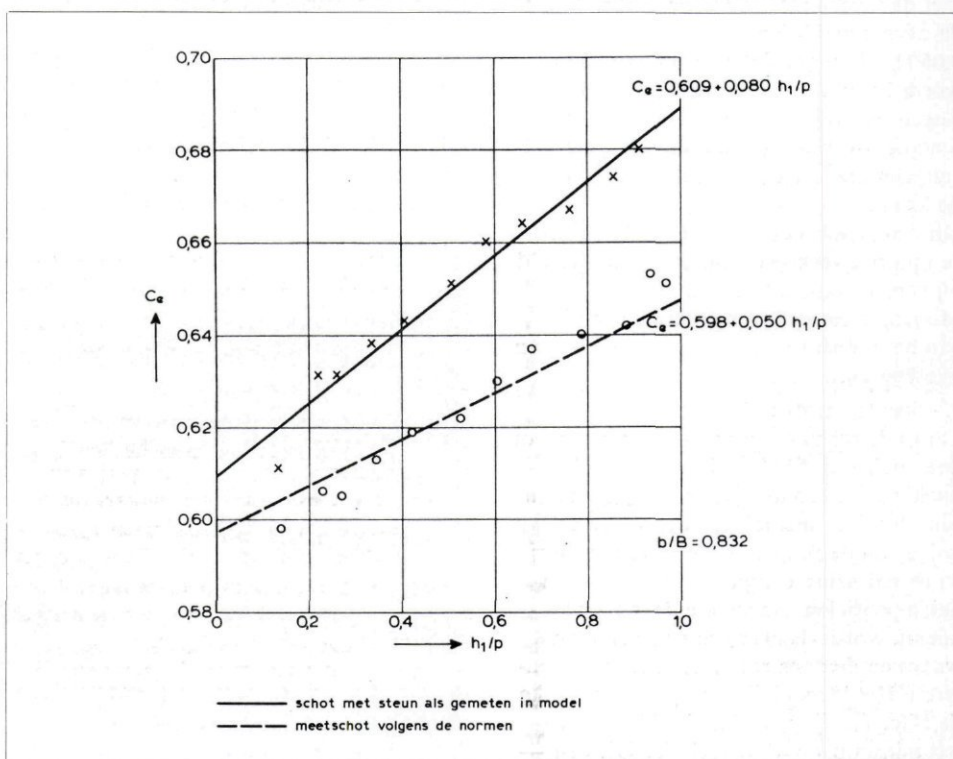
Q debiet (m³/s)

b_e effectieve breedte $b_e = b + k_b = 1,3309 + 0,0042 = 1,3351$ m

In tabel II is de berekeningsgang aangegeven voor het vaststellen van de afvoerbetrekking voor de situaties:

I de door het Zuiveringsschap gebruikte betrekking is gebaseerd op een ontwerp-

Afb. 9 - Vergelijking meetresultaten voor de standaard meetoverlaat en de overlaat met steunbalk.



TABEL II - Vergelijking van de debieten bepaald met de afvoerformules voor de meetoverlaat volgens de normen en de overlaat met steunbalk.

$$Q = 2/3 \sqrt{2g} \cdot C_e \cdot b_e \cdot h_e^{1,50}$$

$$C_e = f(h_1/P; b/B)$$

$$b_e = b + k_b$$

$$h_e = h_1 + 0,0001$$

$$2/3 \sqrt{2g} = 2,953$$

$$\text{kanaalbreedte } B = 6,00 \text{ m}$$

$$\text{kruinhoogte } P = 0,57 \text{ m}$$

		Volgens norm (I)	Met steunbalk (II)
afvoercoëfficiënt	(-)	$C_e = 0,597 + 0,051 h_1/P$	$C_e = 0,609 + 0,080 h_1/P$
stuwbreedte	(m)	$b = 4,991$	$b = 5,000$
breedte-correctie	(m)	$k_b = 0,0041$	$k_b = 0,0044$
effectieve breedte	(m)	$b_e = 5,0041$	$b_e = 4,9952$
afv. formule	(m ³ /s)	$Q = 14,78 \cdot C_e \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50}$	$Q = 14,75 \cdot C_e \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50}$
afv. formule	(m ³ /uur)	$Q = 53197 \cdot C_e \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50}$	$Q = 53102 \cdot C_e \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50}$

h_1/P (-)	h_1 (m)	Volgens norm		Met steunbalk		$f = Q_{II}/Q_I$ (-)
		C_e (-)	Q_I m ³ /uur	C_e (-)	Q_{II} m ³ /uur	
0,135	0,077	0,604	700	0,620	717	1,025
0,221	0,126	0,608	1465	0,627	1506	1,028
0,260	0,148	0,610	1867	0,630	1924	1,030
0,335	0,191	0,614	2748	0,636	2840	1,034
0,409	0,233	0,618	3720	0,642	3857	1,037
0,509	0,290	0,623	5202	0,650	5416	1,041
0,585	0,333	0,627	6437	0,656	6722	1,044
0,660	0,376	0,631	7766	0,662	8134	1,048
0,760	0,433	0,636	9670	0,670	10169	1,052
0,856	0,488	0,641	11654	0,682	13578	1,058
0,911	0,519	0,643	12835	0,677	12302	1,056

kruinbreedte $b = 5,000$ m en een afvoercoëfficiënt C_e volgens de normen

$$C_{eI} = 0,597 + 0,051 h_1/P \text{ en } b_e = 5,0041 \text{ m}$$

$$Q_I = 14,78 C_{eI} \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50}$$

II De op de ijking gebaseerde betrekking is gebaseerd op de gemeten kruinbreedte $b = 4,991$ m en een afvoercoëfficiënt C_e , voor het schot met steunbalk, bepaald uit het modelonderzoek.

$$C_{eII} = 0,609 + 0,080 h_1/P \text{ en } b_e = 4,9952 \text{ m}$$

$$Q_{II} = 14,75 C_{eII} \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50} \text{ geldig voor } 0,07 \text{ m} < h_1 < 0,52 \text{ m.}$$

In de laatste kolom van de tabel is de verhouding $f = Q_{II}/Q_I$ vermeld.

Onder verwaarlozing van andere foutenbronnen, kan worden geconcludeerd dat de in het verleden berekende afvoeren met 3 à 6 % moeten worden verhoogd om de werkelijke afvoeren te vinden.

Samenvatting

1. Ter verbetering van de h_1 -meting werd aanbevolen:

— verplaatsing van het echolood naar de raai, 2,00 m bovenstrooms van het meetschot

— installatie van een duikschot in de raai aan het eind van het overgangsprofiel.

2. De steunbalk tegen de bovenstroomse zijde van de overlaat is verantwoordelijk voor een verhoging van de afvoercoëfficiënt variërend van 3 % tot 6 %, afhankelijk van de grootte van de afvoer.

3. De nieuwe afvoerformule voor de bestaande installatie luidt:

$$Q = 14,75 C_e \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50} \quad \text{in m}^3/\text{s}$$

$$\text{of}$$

$$Q = 53102 C_e \cdot (h_1 + 0,001)^{1,50} \quad \text{in m}^3/\text{uur}$$



Afb. 10 - Ijking van de overlaat in een half driedimensionaal model.

Hierin is

$$C_e = 0,609 + 0,080 h_1/P$$

h_1 = de overstorthoogte in meters

$$P = 0,57 \text{ m}$$

4. Teneinde de overstorthoogte steeds zo nauwkeurig mogelijk te meten, verdient het aanbeveling de overstortrand geregeld te ontdoen van vervuilingen op en tegen de bovenstroomse zijde van de scherpe rand. Daarbij dient beschadiging van deze rand vermeden te worden.

Literatuur

1. Bos, M. G. *Discharge Measurement Structures*. Publicatie van de werkgroep 'Dimensionering kleine kunstwerken' uitgegeven door ILRI, Wageningen, 2e druk 1978. Bij het Waterloopkundig Laboratorium verschenen als publicatie 161.
2. British Standards Institution. *Methods of measurement of liquid flow in open channels*. BS 3680, part 4A: Thin plat weirs and venturi flumes. 1965, London.
3. Stichting Toegepast Onderzoek Reiniging Afvalwater (STORA). *Metten en bemonsteren van afvalwaterstromen*. II Afvoerrelaties in meetputten met Thomson meetschotten. 1978, Rijswijk.
4. Waterloopkundig Laboratorium. *Aangroeiing op een Thomson meetschot*. Rapport modelonderzoek M1674. 1980, Delft.
5. International Organization for Standardization. *Waterflow measurement in open channels using weirs and venturi-flumes*. ISO 1438, part 1: Thin plate weirs. First edition April 1980.
6. Waterloopkundig Laboratorium. *Meetschot rioolwaterzuiveringsinstallatie Nieuwgraaf te Duiven, bepaling van de afvoerrelatie*. Verslag modelonderzoek M1742, oktober 1980, Delft.
7. Boiten, W. *Debietmeting met een V-vormige korte overlaat*. H₂O 26/80, december 1980.

Symbolen en eenheden

b	gemeten breedte van rechthoekige scherpe overlaat	m
b_e	effectieve breedte van de overlaat	m
B	breedte aanvoerkanal	m
C_e	karakteristieke afvoercoëfficiënt	-
f	factor die de verhoging van het debiet aangeeft	-
g	versnelling t.g.v. de zwaartekracht	m/s ²
h_1	overstorthoogte	m
h_e	effectieve overstorthoogte	m
k_b	correctie op de gemeten breedte van de scherpe overlaat	m
n_1	lengteschaal	-
Q	debiet	m ³ /s
R	afrondingsstraal	m
X_c	fout in de bepaling van C_e	%