

## 1. Inleiding

Op 16 januari 2006 verleende het Waterschap Rijn en IJssel te Doetichem per brief 06-00520 opdracht aan de Sectie Waterhuishouding (leerstoelgroep Hydrologie en Kwantitatief Waterbeheer) van Wageningen Universiteit tot het opstellen van de afvoerrelatie van de overlaat in de Berkel te Rekken, aanvullend op een WL onderzoek uit 1974.

De opdracht was conform de offerte 06/002 WB/ah d.d. 9 januari 2006, waarin werd voorgesteld de calibratie uit te voeren als een twee-dimensionale ijking van de overstortrand voor het bereik  $1,2 < h_l/L < 4,0$  (de hogere afvoeren).

$h_l$  = overstorthoogte (m), gemeten op enige afstand bovenstrooms van de overlaat, met als 0-niveau het lage middengedeelte van de overlaat.

$L$  = lengte van het horizontale gedeelte van de overlaat gezien in de stroomrichting (= 0,40 m).

Bij het opstellen van de afvoerrelatie is gebruik gemaakt van een eerder door het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerd onderzoek (R911) uit 1974 voor het bereik  $h/L \leq 0,57$ .

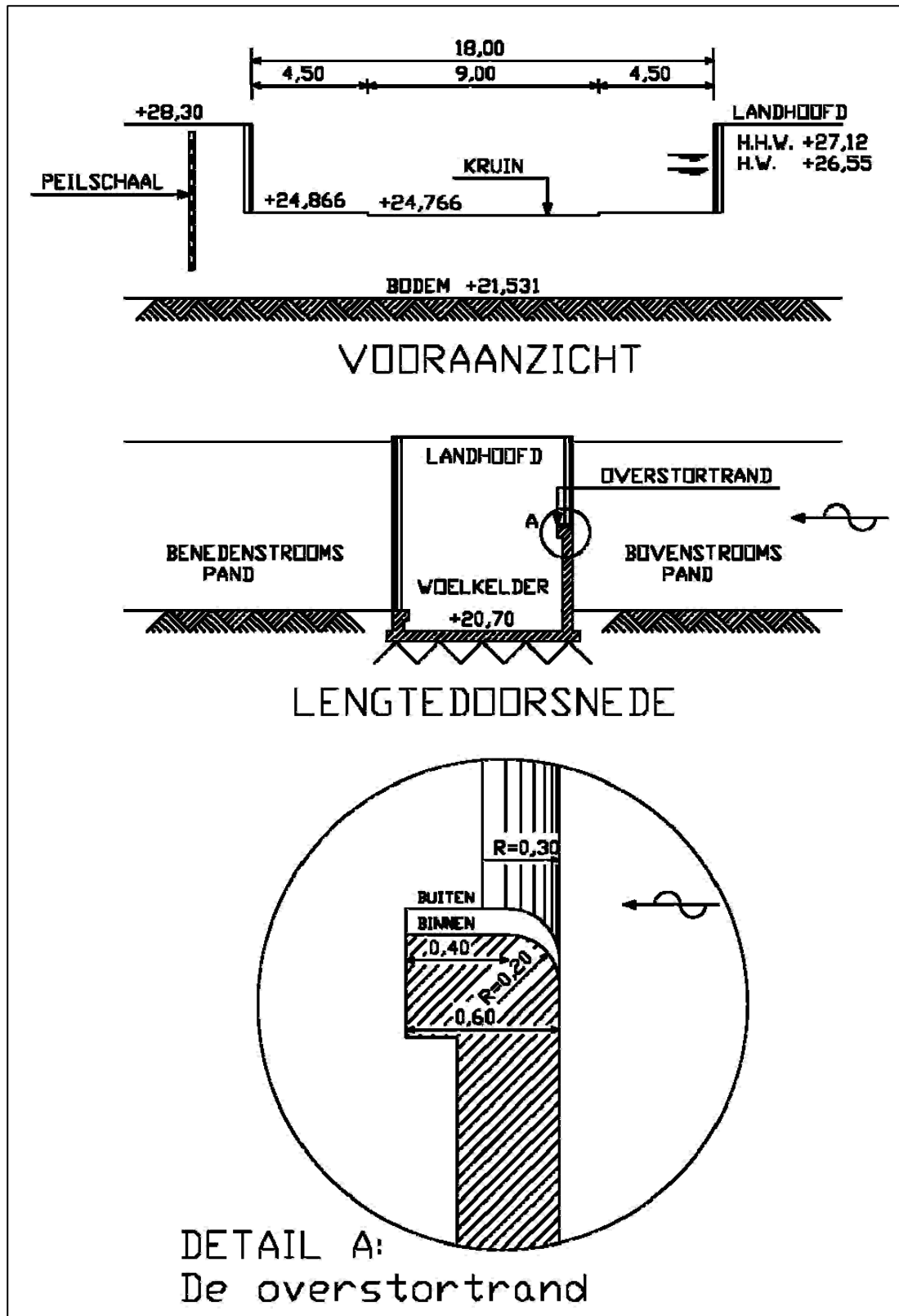
Het huidige onderzoek heeft plaatsgevonden aan een twee-dimensionaal schaalmodel, schaal  $n_l = 10$ , in een stroomgoot met een breedte van ca. 1,0 m in het hydraulica laboratorium van de leerstoelgroep in gebouw “De Nieuwlanden” te Wageningen.

De metingen en uitwerking daarvan zijn uitgevoerd door student Martin Mulder als onderdeel van zijn afstudeeronderzoek naar de waterbalans van de Berkel bovenstrooms van Rekken. Het geheel stond onder leiding van Wubbo Boiten en Anton Dommerholt, respectievelijk gastmedewerker en medewerker van de leerstoelgroep.

## 2. Beschrijving van de overlaat.

De stuw bevindt zich aan het einde van een zandvang in de Berkel in de omgeving van het dorp Rekken. De stuw is aangelegd tussen twee landhoofden en is in vooraanzicht rechthoekig van vorm. De totale breedte bedraagt 18,0 m, waarbij een middengedeelte van 9,0 m breed 0,10 m lager is dan de beide zijgedeelten (zie figuur 1). In de stroomrichting gezien is de overlaat een lange overlaat met een horizontale kruin met een lengte  $L = 0,40$  m en een bovenstroomse afronding met een straal  $R = 0,20$  m. Voor  $h/L \leq 0,57$  is de afvoerrelatie vast te stellen aan de hand van ISO-4374, Liquid flow measurement in open channels, Round-nose horizontal broad-crested weir. In bovengenoemd rapport R-911 is dit ook reeds gedaan aan de hand van de voorloper van ISO-4374, namelijk de British Standard B.S. 3680: Part 4B, Long base weirs.

Bij  $h/L$ -waarden  $> 0,57$  functioneert de overlaat niet meer als een lange overlaat en dient de afvoerrelatie vastgesteld te worden door middel van calibratie. Deze calibratie is in het huidige onderzoek uitgevoerd voor ca.  $0,55 < h/L < ca. 4,0$ , dus voor een iets groter bereik dan in de offerte beschreven, zodat een goede aansluiting wordt verkregen met de ISO-standard.



Figuur 1

### 3. Modelonderzoek.

In het twee-dimensionale schaalmodel 1:10 is een reeks metingen uitgevoerd voor ongestuwde afvoer. De overstortende straal was voortdurend belucht. De breedte  $B$  van de rechthoekige goot bedroeg 0,998 m. De reeks metingen besloeg het traject van  $h_1/L = 0,535 - 4,16$  ( $L_{\text{model}} = 0,04$  m).

In tabel I zijn de meetgegevens en de coëfficiënten  $C_D$  en  $C_V$  vermeld. Bovendien is het debiet ( $q_{\text{prot}}$ ) per m breedte voor het prototype berekend.

De afvoercoëfficiënt  $C_D$  is bepaald uit de afvoerformule voor een lange overlaat:

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

waarin:

$Q$	=	debiet ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
$g$	=	versnelling van de zwaartekracht (= $9,81 \text{ m/s}^2$ )
$B$	=	breedte van de overlaat (= $0,998 \text{ m}$ )
$C_D$	=	afvoercoëfficiënt van de overlaat (-)
$C_V$	=	coëfficiënt voor de aanstroomsnelheid = $(H_1/h_1)^{3/2}$ (-)
$h_1$	=	overstorthoogte t.o.v. het lage middengedeelte (m)
$H_1$	=	energiehoogte t.o.v. het lage middengedeelte = $h_1 + v_1^2/2g$ (m)
$v_1$	=	gemiddelde stroomsnelheid ter plaatse van meetpunt $h_1$ (m/s)

Met behulp van de  $C_D$ -waarden uit ISO 4374 ( $h/L < \text{ca. } 0,55$ ) en die zijn bepaald in het schaalmodel ( $h/L > \text{ca. } 0,55$ ) is de afvoerrelatie voor de gehele overlaat samengesteld.

Vanwege de ruime afmetingen van het dwarsprofiel bovenstrooms van de overlaat is aangenomen dat in het prototype  $h_1 \approx H_1$ , hetgeen inhoudt dat  $C_V \approx 1$ .

De  $C_D$ -waarde uit ISO-4374 wordt als volgt berekend:

$$C_D = \left(1 - \frac{0,006 \cdot L}{B}\right) \cdot \left(1 - \frac{0,003 \cdot L}{h_1}\right)^{3/2}$$

met:  $L = 0,40$  m en  $B = 9,00$  m levert dat op:

$$C_D = 0,9997 \cdot \left(1 - \frac{0,0012}{h_1}\right)^{3/2}$$

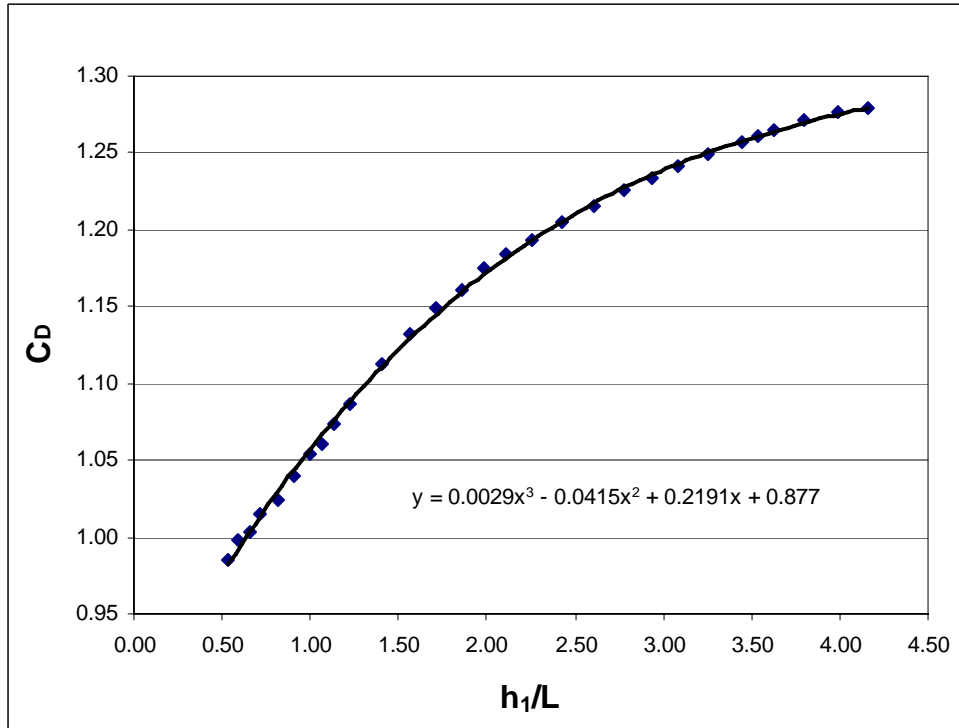
De minimale waarde van  $h_1$  waarvoor deze formule nog geldig is bedraagt  $0,06$  m.

**Tabel I**

model		$h_l/L$ (-)	$C_V$ (-)	$C_D$ (-)	prototype	
$h_l$ (m)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)				$h_l$ (m)	$q$ (m <sup>2</sup> /s)
0,0214	0,00525	0,535	1,0002	0,985	0,214	0,1664
0,0237	0,00620	0,593	1,0002	0,998	0,237	0,1965
0,0261	0,00720	0,653	1,0003	1,003	0,261	0,2281
0,0284	0,00827	0,710	1,0003	1,015	0,284	0,2620
0,0325	0,01022	0,813	1,0004	1,025	0,325	0,3238
0,0364	0,01229	0,910	1,0006	1,039	0,364	0,3894
0,0399	0,01430	0,998	1,0007	1,054	0,399	0,4531
0,0424	0,01576	1,060	1,0008	1,060	0,424	0,4994
0,0453	0,01763	1,133	1,0009	1,074	0,453	0,5586
0,0491	0,02014	1,228	1,0011	1,087	0,491	0,6382
0,0560	0,02513	1,400	1,0014	1,113	0,560	0,7963
0,0625	0,03014	1,563	1,0018	1,132	0,625	0,9550
0,0684	0,03507	1,710	1,0022	1,150	0,684	1,1112
0,0744	0,04020	1,860	1,0026	1,161	0,744	1,2738
0,0794	0,04485	1,985	1,0030	1,175	0,794	1,4211
0,0845	0,04968	2,113	1,0035	1,185	0,845	1,5742
0,0901	0,05511	2,253	1,0039	1,193	0,901	1,7462
0,0970	0,06223	2,425	1,0046	1,205	0,970	1,9718
0,1041	0,06986	2,603	1,0053	1,216	1,041	2,2136
0,1110	0,07761	2,775	1,0060	1,226	1,110	2,4592
0,1174	0,08504	2,935	1,0068	1,234	1,174	2,6946
0,1233	0,09215	3,083	1,0074	1,242	1,233	2,9199
0,1299	0,10036	3,248	1,0083	1,249	1,299	3,1800
0,1377	0,11025	3,443	1,0092	1,256	1,377	3,4934
0,1413	0,11504	3,533	1,0097	1,261	1,413	3,6452
0,1452	0,12026	3,630	1,0102	1,264	1,452	3,8106
0,1519	0,12946	3,798	1,0112	1,271	1,519	4,1021
0,1596	0,14017	3,990	1,0122	1,276	1,596	4,4414
0,1664	0,14968	4,160	1,0132	1,279	1,664	4,7428

Voor de modelmetingen is  $C_D$  als functie bepaald van  $h_1/L$  via regressie. Dit leverde de volgende betrekking op (zie ook figuur 2):

$$C_D = 0,0029 \cdot \left(\frac{h_1}{L}\right)^3 - 0,0415 \cdot \left(\frac{h_1}{L}\right)^2 + 0,2191 \cdot \frac{h_1}{L} + 0,877$$



**Figuur 2.**  $C_D$ -waarden als functie van  $h_1/L$ , zoals bepaald uit de modelmetingen en geldig voor  $0,55 < h_1/L < 4,16$ .

Vooraf bij hogere afvoeren is het mogelijk dat bij de landhoofden een zijdelingse insnoering van de overstortende straal plaats vindt. Deze is afhankelijk van de afrondingsstraal van het landhoofd (in dit geval is de straal 0,30 m) en is een functie van  $h_1$ . Gegevens hierover zijn bekend uit een onderzoek dat in 1982 is uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium (S170-X), “Loss of width by lateral contraction on compound weirs”. De contractie bij de aansluiting van het lage middengedeelte op de 0,10 m hogere zijgedeelten blijkt verwaarloosbaar. Voor het verlies aan breedte bij de landhoofden is de volgende lineaire betrekking bepaald:

$$B_{verlies} = 0,113 h_1 \text{ (m)}$$

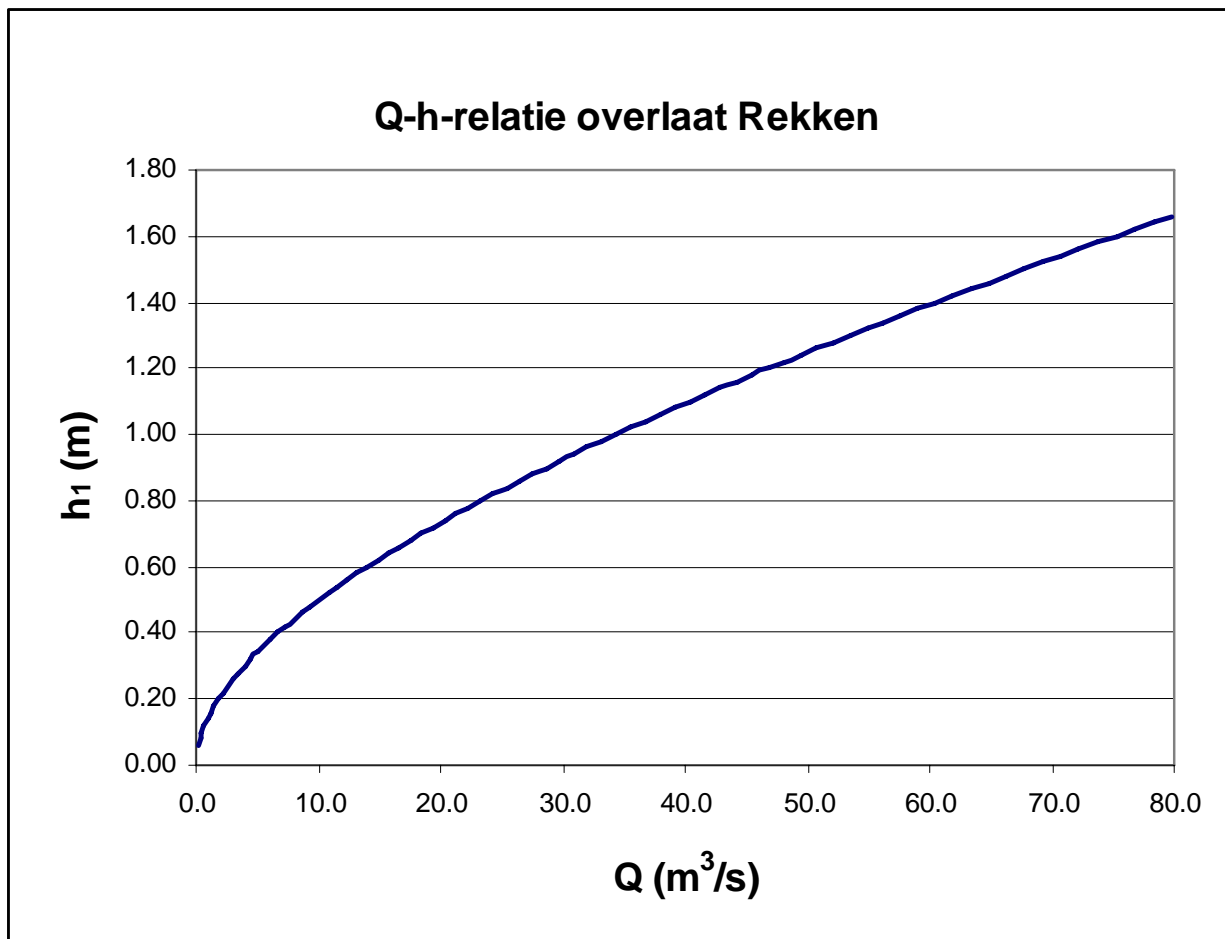
De afvoerrelatie voor de totale overlaat wordt nu als volgt berekend:

$$Q = \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot B \cdot C_D \cdot h_1^{3/2} + \left(\frac{2}{3}\right)^{3/2} \cdot g^{1/2} \cdot (B - B_{verlies}) \cdot C_D \cdot (h_1 - 0,1)^{3/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

Enigszins vereenvoudigd levert dit:

$$Q = 15,35 \cdot C_D \cdot h_1^{3/2} + 1,705 \cdot (9,00 - 0,113 \cdot h_1) \cdot C_D \cdot (h_1 - 0,1)^{3/2} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

In tabel II zijn de resultaten van deze berekening weergegeven. In figuur 3 is de  $Q$ - $h$ -relatie grafisch weergegeven.



**Figuur 3** Afvoerrelatie van de overlaat in de Berkel bij Rekken

**Tabel II**

$h_1$ (m)	$h_1/L$ (-)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$h_1$ (m)	$h_1/L$ (-)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$h_1$ (m)	$h_1/L$ (-)	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)
0,06	0,15	0,219	0,60	1,50	13,888	1,14	2,85	42,552
0,08	0,20	0,339	0,62	1,55	14,725	1,16	2,90	43,822
0,10	0,25	0,476	0,64	1,60	15,582	1,18	2,95	45,105
0,12	0,30	0,668	0,66	1,65	16,458	1,20	3,00	46,400
0,14	0,35	0,910	0,68	1,70	17,353	1,22	3,05	47,708
0,16	0,40	1,189	0,70	1,75	18,267	1,24	3,10	49,028
0,18	0,45	1,499	0,72	1,80	19,199	1,26	3,15	50,359
0,20	0,50	1,836	0,74	1,85	20,150	1,28	3,20	51,702
0,22	0,55	2,188	0,76	1,90	21,118	1,30	3,25	53,057
0,24	0,60	2,586	0,78	1,95	22,104	1,32	3,30	54,423
0,26	0,65	3,009	0,80	2,00	23,108	1,34	3,35	55,801
0,28	0,70	3,456	0,82	2,05	24,128	1,36	3,40	57,189
0,30	0,75	3,926	0,84	2,10	25,165	1,38	3,45	58,588
0,32	0,80	4,409	0,86	2,15	26,218	1,40	3,50	59,999
0,34	0,85	4,937	0,88	2,20	27,288	1,42	3,55	61,419
0,36	0,90	5,489	0,90	2,25	28,374	1,44	3,60	62,851
0,38	0,95	6,065	0,92	2,30	29,475	1,46	3,65	64,293
0,40	1,00	6,665	0,94	2,35	30,591	1,48	3,70	65,745
0,42	1,05	7,289	0,96	2,40	31,723	1,50	3,75	67,207
0,44	1,10	7,935	0,98	2,45	32,870	1,52	3,80	68,680
0,46	1,15	8,604	1,00	2,50	34,031	1,54	3,85	70,163
0,48	1,20	9,295	1,02	2,55	35,207	1,56	3,90	71,655
0,50	1,25	10,007	1,04	2,60	36,397	1,58	3,95	73,158
0,52	1,30	10,742	1,06	2,65	37,601	1,60	4,00	74,671
0,54	1,35	11,497	1,08	2,70	38,819	1,62	4,05	76,193
0,56	1,40	12,274	1,10	2,75	40,050	1,64	4,10	77,726
0,58	1,45	13,071	1,12	2,80	41,294	1,66	4,15	79,268

Regressie toegepast op de cijfers uit tabel II levert de volgende betrekkingen op tussen  $h_I$  en  $Q$ .

<b><math>0,06 \text{ m} \leq h_I \leq 0,14 \text{ m}</math></b>	<b><math>Q = 364,9 h_I^3 - 56,16 h_I^2 + 8,348 h_I - 0,1582 \text{ (m}^3/\text{s)}</math></b>
<b><math>0,14 \text{ m} \leq h_I \leq 0,44 \text{ m}</math></b>	<b><math>Q = -6,756 h_I^3 + 38,79 h_I^2 + 2,768 h_I - 0,2187 \text{ (m}^3/\text{s)}</math></b>
<b><math>0,44 \text{ m} \leq h_I \leq 1,66 \text{ m}</math></b>	<b><math>Q = -4,756 h_I^3 + 32,71 h_I^2 + 7,258 h_I - 1,194 \text{ (m}^3/\text{s)}</math></b>

Alle met deze regressies berekende debieten wijken minder dan 1% af van de debieten zoals vermeld in tabel II.

Bij  $0,10 \text{ m} \leq h_I \leq 0,16 \text{ m}$  zijn de overstorthoogtes voor de twee hoge gedeeltes van de overlaat  $< 0,06 \text{ m}$  en is de formule voor  $C_D$  uit ISO 4374 dus niet geldig. Om toch aansluiting te krijgen met de overstorthoogtes van  $0,06 - 0,10 \text{ m}$  is deze formule hier wel toegepast.

De onnauwkeurigheid van de afvoerrelatie is daardoor voor  $h_I$ -waarden  $< 0,16 \text{ m}$  uiteraard aanmerkelijk groter dan voor de hogere afvoeren.

N.B. Voor het bereiken van een zo groot mogelijke nauwkeurigheid is het natuurlijk van het grootste belang het nul-niveau van de waterstandsregistratie zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen en regelmatig te controleren. Ook dient de kruin van de overlaat regelmatig schoon gemaakt te worden, zodat hier geen aangroei van algen o.i.d. plaats kan vinden.