

NN31545.0852

NOTA 852

januari 1975

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

DEBIETBEPALING MET EEN THOMSON 90° MEETSTUW

IN VERDRONKEN TOESTAND

ing. J.G.S. de Wilde en ing. H. Humbert

Nota's van het Instituut zijn in principe interne communicatiemiddelen, dus geen officiële publikaties.

Hun inhoud varieert sterk en kan zowel betrekking hebben op een eenvoudige weergave van cijferreeksen, als op een concluderende discussie van onderzoeksresultaten. In de meeste gevallen zullen de conclusies echter van voorlopige aard zijn omdat het onderzoek nog niet is afgesloten.

Bepaalde nota's komen niet voor verspreiding buiten het Instituut in aanmerking

ISN 263144

I N H O U D

	biz.
I. INLEIDING	1
II. BESCHRIJVING MEETOPSTELLING	2
III. RESULTATEN	3
IV. CORRECTIEMETHODE VOOR AFVOERBEREKENING	7
V. CONCLUSIE	11
LITERATUUR	14

I. INLEIDING

Voor het meten van afvoeren in open waterlopen wordt dikwijls gebruik gemaakt van een Thomson meetschot (v-notch).

Dit komt voornamelijk doordat dit type meetstuw eenvoudig van constructie is, gemakkelijk geplaatst kan worden en geschikt is voor nauwkeurige debietmeting, ook van kleine debieten. Het meetschot bestaat uit een vlakke plaat voorzien van een driehoekig gevormde uitsnijding waarvan de tophoek naar beneden gericht is. Hij behoort tot de 'scherpe overlatten'.

Indien de overstorthoogte van het doorstromende water bekend is kan het debiet bepaald worden aan de hand van één vaste afvoerhoogte (Q-h) relatie van de betreffende overlaat. Deze éénduidige relatie blijft bestaan zolang de waterstraal vrij overstort, met andere woorden zolang het peil van het benedenstroomse water de waterhoogte bovenstrooms niet beïnvloedt. Indien deze vrije overstort op enigerwijze teniet wordt gedaan, (als het benedenstroomse water het bovenstroomse gaat beïnvloeden) dan spreekt men van een verdronken stuw. De éénduidige Q-h relatie bestaat dan niet meer.

De noodzaak van een vrije overstort vereist bij het gebruik van het Thomsonschoot een aanzienlijke opstuwing. In vele gevallen is dit ongewenst en zou het gebruik van dit soort meetschot onmogelijk zijn. In het natuurgebied 'de Weerribben' (HUMBERT, 1975) is men, mede als gevolg van de reeds genoemde voordelen tot plaatsing, overgegaan tot een lage opstelling van de meetstuw. Hierdoor verkeert de stuw praktisch altijd in een verdronken toestand. Aanvankelijk werd verondersteld dat de verdrinkingsgraad de 30% grens, tot waar de éénduidige relatie tussen waterhoogte en debiet voor een Thomson meetschot blijft bestaan (KRAIJENHOFF VAN DE LEUR, 1968), zelden

zou worden overschreden. In de praktijk bleek echter deze grens ruimschoots te worden overschreden en kwamen verdrinkingsgraden tot 95% voor.

De verdrinkingsgraad wordt hier gehanteerd als het quotient tussen de hoogte van het beneden- en het bovenwater, beide gemeten ten opzichte van de onderste punt van het meetschot.

In deze nota wordt een ijkproces beschreven waarmee de relatie tussen debiet en waterhoogte voor iedere verdrinkingsgraad nauwkeurig kan worden afgeleid.

II. BESCHRIJVING MEETOPSTELLING

Het onderzoek is verricht in de modelgoot welke beschreven werd door DE WILDE (1971). Van de daarin genoemde methode voor het nauwkeurig bepalen van het debiet werd gebruik gemaakt. De afmetingen van het meetschot zijn afgeleid van die van praktijk-exemplaren zoals ze onder andere worden toegepast bij metingen in het natuurgebied 'de Weerribben' (HUMBERT, 1975). In fig. 1 zijn de meetopstelling en de plaatsen waar de waterhoogten worden gemeten weergegeven.

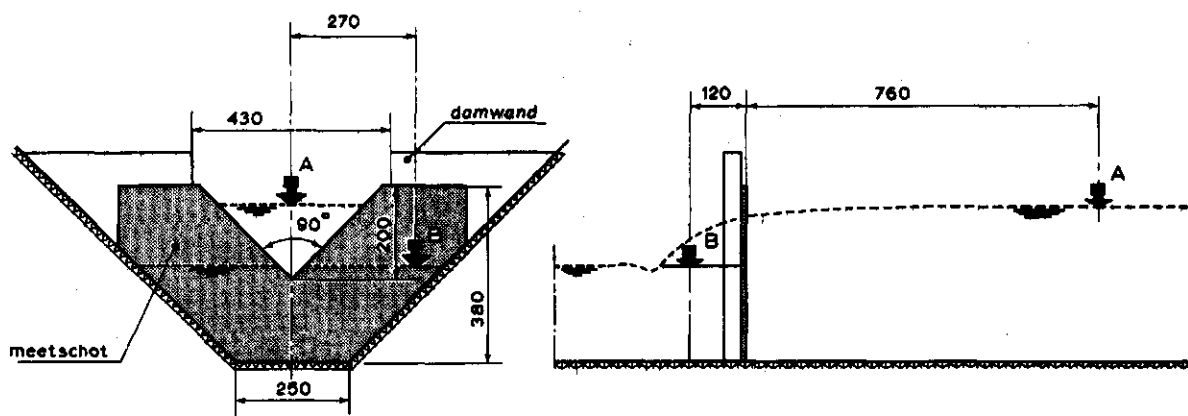


Fig. 1. Situatieschets van de meetopstelling

Het bovenstroomse meetpunt A bevindt zich op een afstand van 3,5 - 4 maal de maximum overstorthoogte voor het meetschot. De benedenstroomse waterstand wordt gemeten in B. Hierbij kan een afleesnauwkeurigheid verkregen worden welke varieert tussen 0,1 mm bij lage en 0,5 mm bij hoge afvoeren. In het veld worden meetschotten van 3 mm dikke roestvaststaalplaat toegepast. Bij de ijking was het meetschot gemaakt van 3 mm dikke aluminiumplaat, waarbij evenals bij de veldopstelling de randen van de meetopening niet waren afgeschuind.

Er zijn geen voorzieningen getroffen om het zogenaamde 'kleven' van de overstortende waterstraal tegen te gaan.

Voor het doen ontstaan van de diverse verdrinkingsgraden werd het benedenstroomse water trapsgewijs opgestuwd. Dit werd bereikt door aan het einde van de modelgoot een in hoogte verstelbare overstort te plaatsen. Bij de metingen werd een constant debiet ingesteld en werd in ongestuwde toestand de overstorthoogte gemeten. Vervolgens werd de benedenwaterstand met stappen van 25 mm omhooggebracht tot een zo groot mogelijke verdrinkingsgraad werd bereikt. In totaal werd bij 7 verschillende debieten variërend van 0,8 tot 16 l/sec gemeten.

III. RESULTATEN

In ongestuwde toestand (vrije overstort), waarbij het benedenstroomse water beneden het laagste punt van het meetschot staat, is voor een bepaald debiet een overstorthoogte h_1 nodig. Wordt het benedenwater opgestuwd dan zal dit bij hetzelfde debiet resulteren in een extra opstuwing Δh van de bovenstroomse waterstand, die groter wordt naarmate de verdrinkingsgraad en/of het debiet toeneemt. Indien we (zie fig. 2) de bovenstroomse (gestuwde) waterhoogte ten opzichte van de onderkant van het meetschot h_1 noemen en de benedenstroomse waterhoogte h_2 dan wordt de verdrinkingsgraad gedefinieerd door $\frac{h_2}{h_1}$. De extra opstuwing Δh kan nu worden bepaald uit metingen h_1 in gestuwde en ongestuwde toestand met hetzelfde debiet.

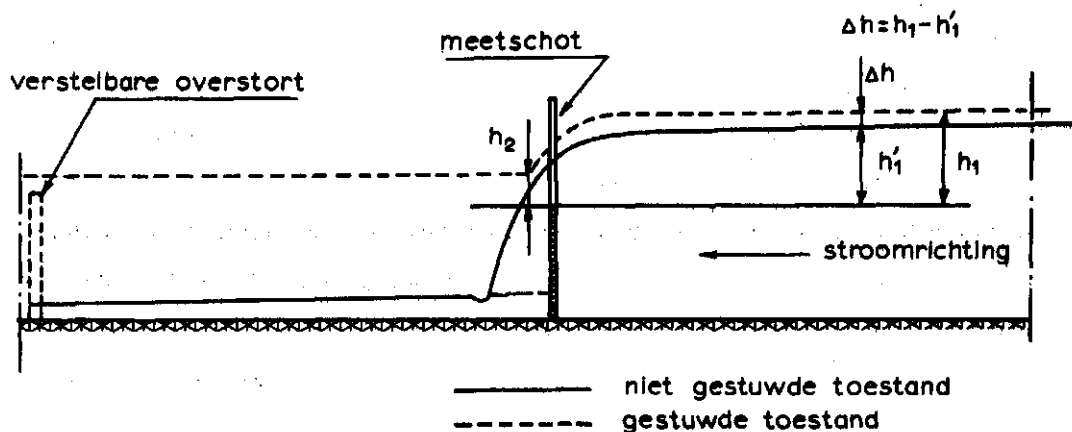


Fig. 2. Waterhoogten

De mate waarin de opstuwung Δh toeneemt met de verdrinkingsgraad is voor verschillende debieten weergegeven in fig. 3.

Met behulp van de verzamelde meetgegevens was het mogelijk bij bepaalde debieten en elke verdrinkingsgraad de opstuwung Δh te bepalen, omdat de waterhoogten h_1 en h_2 voor elke meting bekend waren en h_1' was bepaald bij de meting in ongestuwde toestand.

Voor het berekenen van het debiet uit geregistreeerde peilen, zal men bij voorkeur werken met een ijkcurve waarin het debiet continue is aangegeven. Een dergelijke serie ijkcurven voor bepaalde waarden van de verdrinkingsgraad is weergegeven in fig. 4. Voor de constructie van deze figuur zijn, voor de aangegeven verdrinkingsgraden, uit fig. 3 de bijbehorende waarden van Δh afgelezen. Vervolgens is de waarde van h_1 berekend uit het verband $\Delta h = h_1 - h_1'$. Met behulp van een dergelijke grafische voorstelling is het mogelijk om voor de hier beschreven Thomson meetstuw, met een tophoek van 90° , het debiet te bepalen in verdrongen toestand indien de waterhoogten h_1 en h_2 door meting bekend zijn. Veelal zal de optredende verdrinkingsgraad tot interpolatie in de grafiek noodzaken. Hierdoor kunnen grote onnauwkeurigheden in de bepaling van het debiet optreden. Om dit te voorkomen is een andere werkwijze ontworpen waarop later in hoofdstuk IV wordt ingegaan.

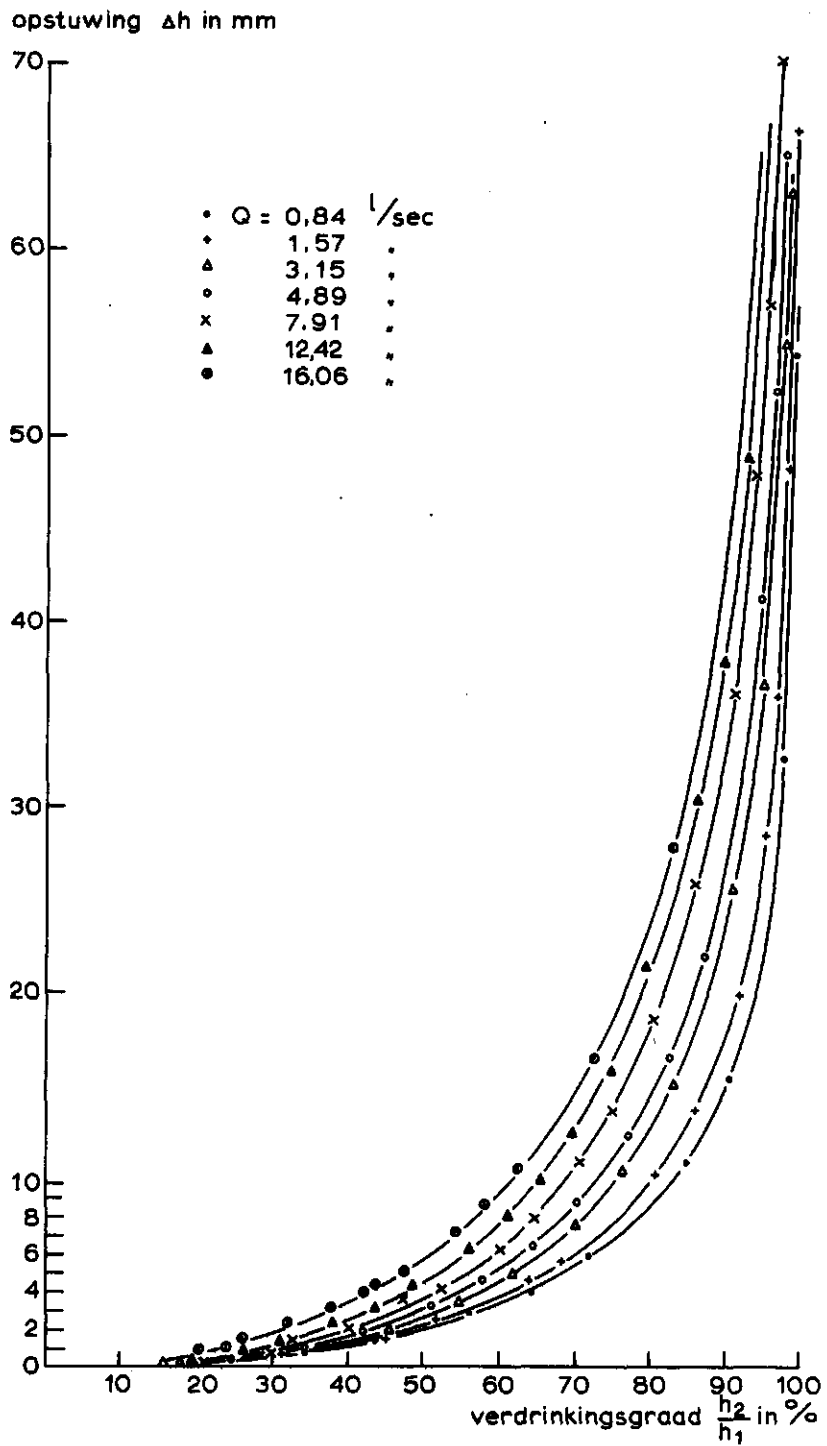


Fig. 3. Relatie tussen de opstuwung en de verdrinkingsgraad bij diverse afvoeren

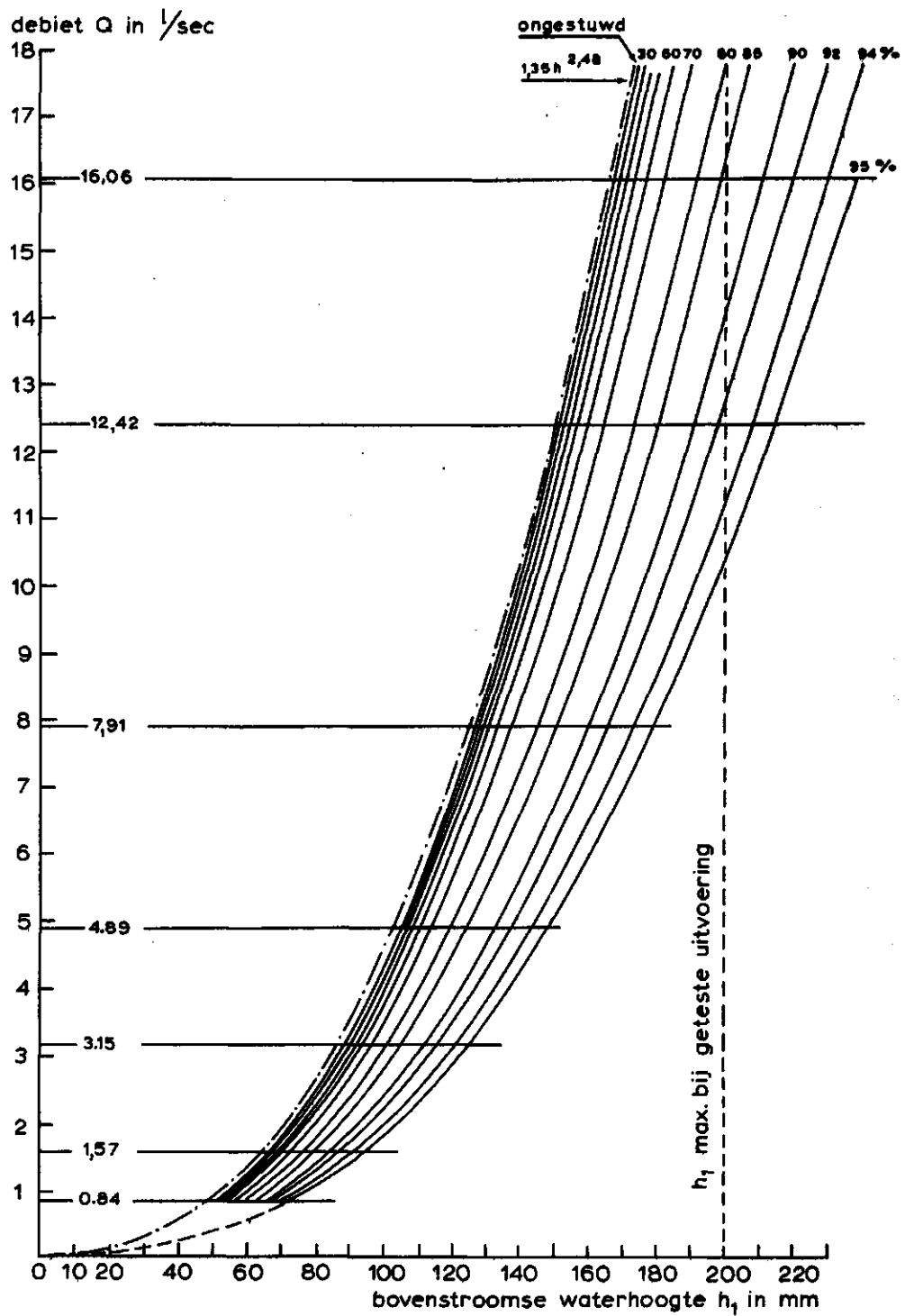


Fig. 4. Relaties tussen het debiet en de bovenstroomse waterhoogte bij verschillende verdrinkingsgraden

IV. CORRECTIEMETHODE VOOR AFVOERBEREKENING

De afvoerformule voor een Thomson meetschot (basishoek 90°) in niet gestuwde toestand wordt weergegeven door de formule (zie KRAYENHOFF-PITLO, 1974)

$$Q = 1,38 h_1^{2,48} \quad (\text{m}^3/\text{sec})$$

Deze relatie wordt in fig. 4 weergegeven door de streep-stiplijn. De door ons gevonden relatie tussen Q en h_1 in ongestuwde toestand (zie fig. 4) vertoont slechts een gering verschil met deze formule. Het debiet volgens de formule zou voor ons geval gemiddeld 4% te hoog zijn, te weten circa 8% voor debieten rond de 1 l/sec en circa 1,7% voor debieten rond de 17 l/sec. Deze verschillen moeten geweten worden aan de invloed van de afwerking van de rand van de meetopening. Bij normaal uitgevoerde Thomson schotten is deze rand afgeschuind.

De algemene formule voor het verband tussen overstorthoogte en afvoer wordt weergegeven door $Q = b \cdot h_1^a$.

Het is mogelijk de in fig. 4 gegeven ijkcurven voor bepaalde verdrinkingsgraden volgens deze algemene formule weer te geven. Hiervoor kunnen we met behulp van de h_1' waarden en de Δh waarden uit fig. 3 voor alle daarin opgenomen debieten Q en daarbij gewenste verdrinkingsgraden de bijbehorende h_1 bepalen.

Voor deze waarden van Q en h_1 is het mogelijk om per verdrinkingsgraad door lineaire vereffening de regressielijnen te bepalen van de vorm $\log Q = a \log h_1 + \log b$, waaruit de vermenigvuldigingsfaktor b en de exponent a volgen.

Berekening van de parameters a en b leverde de volgende waarden:

Verdrinkingsgraad	a	b	Afvoerformule
95%	2,532	0,6081	$Q = 0,6081 h_1^{2,532}$
94%	2,543	0,6725	$Q = 0,6725 h_1^{2,543}$
92%	2,556	0,7766	$Q = 0,7766 h_1^{2,556}$
90%	2,574	0,8814	$Q = 0,8814 h_1^{2,574}$
85%	2,576	1,0326	$Q = 1,0326 h_1^{2,576}$
80%	2,570	1,1269	$Q = 1,1269 h_1^{2,570}$
70%	2,559	1,2576	$Q = 1,2576 h_1^{2,559}$
60%	2,547	1,3291	$Q = 1,3291 h_1^{2,547}$
50%	2,539	1,3782	$Q = 1,3782 h_1^{2,539}$
40%	2,533	1,4080	$Q = 1,4080 h_1^{2,533}$
30%	2,528	1,4265	$Q = 1,4265 h_1^{2,528}$
0 (ongestuwd)	2,525	1,4492	$Q = 1,4492 h_1^{2,525}$

Het verband tussen de faktor b en de verdrinkingsgraad wordt weergegeven in fig. 5a. In fig. 5b is het verband tussen de exponent a en de verdrinkingsgraad weergegeven.

Met behulp van deze beide relaties, welke een vloeiend verloop te zien geven, is het mogelijk om voor een Thomson 90° meetschot, zowel de exponent a als de vermenigvuldigingsfaktor b voor iedere verdrinkingsgraad tussen 0 en 95% te bepalen.

Aangezien de waterhoogten h_1 en h_2 gemeten worden, waardoor de verdrinkingsgraad $\frac{h_2}{h_1}$ bekend is geworden, zijn met behulp van de figuren 5a en 5b de parameters van de afvoerformule $Q = b \cdot h_1^a$ te bepalen en kan de afvoer Q worden berekend.

Deze methode van afvoerbepaling, waarbij de parameters a en b gecorrigeerd worden afhankelijk van de verdrinkingsgraad kan vooral goed gebruikt worden indien de geregistreeerde peilen middels rekenautomaten wordt verwerkt.

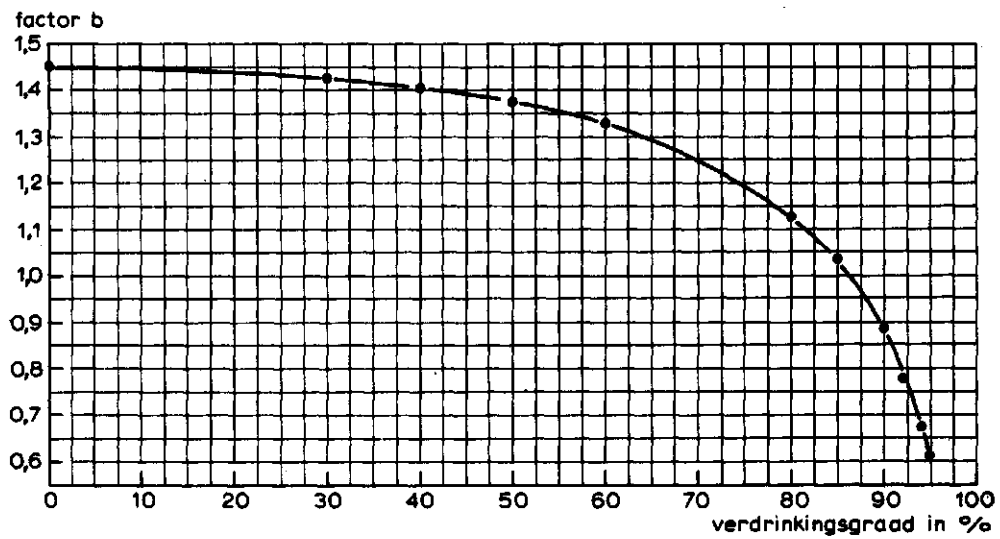


Fig. 5a. Verband tussen de factor b en de verdrinkingsgraad

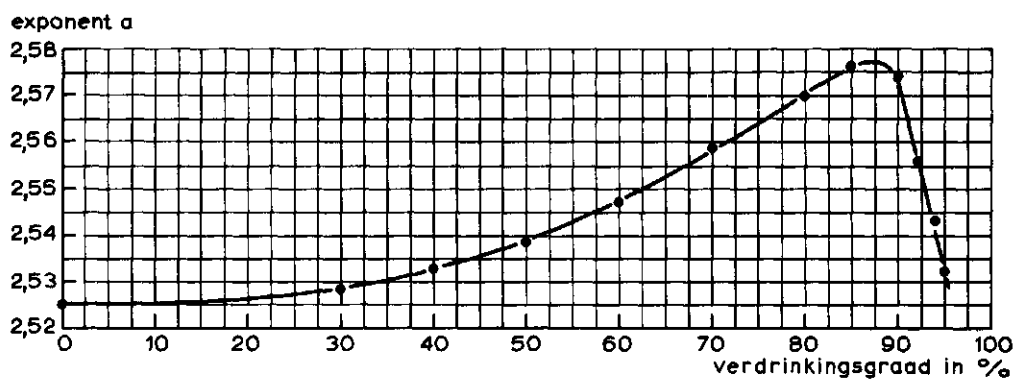


Fig. 5b. Verband tussen de exponent a en de verdrinkingsgraad

Om na te gaan welke fout gemaakt wordt, als de afvoer wordt berekend volgens de voorgestelde formules is bij een klein en bij een groot debiet het procentuele verschil met het tijdens het ijken gemeten debiet weergegeven (zie tabellen 1 en 2). Uit de tabellen volgt dat de gemaakte fout bij gebruik van de hier voorgestelde methode voor berekening van de afvoer, zeer klein is. Het gemiddelde verschil bij het kleine debiet is circa 1,82% en bij het grote debiet circa 0,83%.

Tabel 1. Bepaling van het afvoerverschil bij een laag debiet
($Q = 0,000836 \text{ m}^3/\text{sec}$)

Verdrin- kingsgraad	h_1 in m	$Q = b \cdot h_1^a$ (waarden voor a en b bepaald met behulp van fig.5) in m^3/sec	Verschil in %
0 (onge- stuw)	0,0517	$Q = 1,45 h_1^{2,525} = 0,000818$	- 2,15
30	0,0523	$Q = 1,425 h_1^{2,5285} = 0,000819$	- 2,03
40	0,0530	$Q = 1,41 h_1^{2,533} = 0,000827$	- 1,08
50	0,0539	$Q = 1,375 h_1^{2,539} = 0,000828$	- 0,96
60	0,0552	$Q = 1,30 h_1^{2,5475} = 0,000811$	- 2,99
70	0,0573	$Q = 1,25 h_1^{2,558} = 0,000832$	- 0,48
80	0,0607	$Q = 1,125 h_1^{2,5705} = 0,000838$	0,24
85	0,0633	$Q = 1,03 h_1^{2,576} = 0,000842$	0,72
90	0,0671	$Q = 0,885 h_1^{2,574} = 0,000845$	1,08
92	0,0693	$Q = 0,79 h_1^{2,557} = 0,000858$	2,63
94	0,0721	$Q = 0,67 h_1^{2,542} = 0,000837$	0,12
95	0,0739	$Q = 0,60 h_1^{2,5533} = 0,000775$	- 7,3

Tabel II. Bepaling van het afvoerverschil bij een hoog debiet
($Q = 0,016063 \text{ m}^3/\text{sec}$)

Verdrin- kingsgraad	h_1	$Q = b \cdot h_1^a$ (waarden voor a en b bepaald met behulp van fig.5) in m^3/sec	Verschil in %
0 (onge- stuw)	0,1672	$Q = 1,45 h_1^{2,525} = 0,015850$	- 1,33
30	0,1691	$Q = 1,425 h_1^{2,5285} = 0,015928$	- 0,84
40	0,1709	$Q = 1,41 h_1^{2,533} = 0,016060$	- 0,02
50	0,1732	$Q = 1,375 h_1^{2,539} = 0,016032$	- 0,19
60	0,1767	$Q = 1,3 h_1^{2,5475} = 0,015714$	- 2,17
70	0,1821	$Q = 1,25 h_1^{2,558} = 0,016024$	- 0,24
80	0,1912	$Q = 1,125 h_1^{2,5705} = 0,016004$	- 0,37
85	0,1986	$Q = 1,03 h_1^{2,576} = 0,016011$	- 0,32
90	0,2112*	$Q = 0,885 h_1^{2,574} = 0,016170$	+ 0,67
92	0,2200*	$Q = 0,79 h_1^{2,557} = 0,016451$	+ 2,42
94	0,2300*	$Q = 0,67 h_1^{2,542} = 0,015980$	- 0,52
95	-	$Q = 0,6 h_1^{2,5533} = -$	-

* theoretische waarden
(door extrapolatie verkregen)

V. CONCLUSIE

In principe is het Thomson meetschot bedoeld voor het nauwkeurig meten van debieten in die gevallen waarbij voldoende verval beschikbaar is om continue een vrije overstort te waarborgen. Uit de in deze nota besproken ijkresultaten blijkt echter dat dit stuwtype ook in verdronken toestand zeer goed gebruikt kan worden voor het meten van afvoerhoeveelheden. Geconcludeerd kan worden dat met de hiervoor omschreven methode een grote mate van nauwkeurigheid kan worden bereikt.

Berekeningen toonden aan dat bij een klein debiet een gemiddeld verschil van 1,8% met de gemeten afvoer werd gevonden. Dit verschil nam bij een groot debiet af tot 0,8%.

Bij een eventuele toepassing van een Thomson meetstuw in verdronken toestand moet men wel bedenken dat de in deze nota gevonden formules en grafisch bepaalde waarden van de parameters in de algemene formule $Q = b \cdot h^a$ alleen gelden als de volgende voorwaarden in acht worden genomen. Deze voorwaarden zijn:

- a. de doorstroomopening van het meetschot, gemaakt van 3 mm dikke plaat, mag niet voorzien zijn van een afschuining
- b. de plaatsing van het meetschot en de meetpunten moet overeenkomen met hetgeen is aangegeven in fig. 1. Dit laatste is vooral van belang omdat de aan- en afvoer condities een rol kunnen spelen.

Indien niet aan bovenstaande voorwaarden kan worden voldaan zal een ijking van de opstelling moeten worden uitgevoerd om de parameters in de formules voor de gewijzigde omstandigheden te bepalen.

Indien aan de voorwaarden van punt b niet kan worden voldaan, kunnen de juiste condities toch worden geschapen door een gootvormige constructie, voorzien van meetschot in zijn geheel in de damwand te plaatsen. Fig. 6 toont een dergelijke constructie.

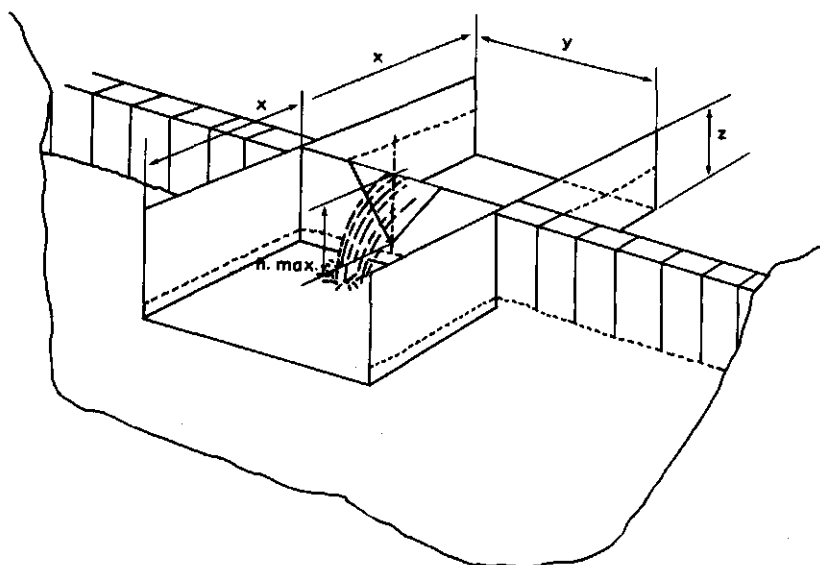


Fig. 6. Gootvormige Thomson meeteenheid geplaatst in damwand

Afhankelijk van de maximum overstorthoogte (h_{\max}), dus grootte van het meetschot kan de waarde van de afmeting x uit fig. 6 bepaald worden.

De goot- of bakvormige constructie kan zo stevig worden uitgevoerd dat het als drager van de te plaatsen peilschrijver(s) kan dienen. Hiermee wordt dan een eenvoudig op te stellen prefab meeteenheid verkregen.

LITERATUUR

- HUMBERT, H. 1975. Een methodiek voor de debietberekening van
continue verdronken meetstuwen uit geregistreerde peilen.
ICW nota nr. 855
- KRAYENHOFF VAN DE LEUR, D.A. 1968. Collegediktaat Hydraulica
Landbouwhogeschool, Wageningen
- KRAYENHOFF, D.A. en R.H. PITLO, 1974. Korte inleiding tot de
hydraulica. Landb.hogeschool, Wageningen 452-01
- WILDE, J.G.S. DE, 1971. Modelonderzoek open leidingen. Hydraulisch
gladde en ruwe wand. nota ILW 614