waterloopkundig laboratorium

duwvaartsluizen in de Philipsdam

akoestisch debietmeten

notitie onderzoek

R1517 - II

augustus 1980

duwvaartsluizen in de Philipsdam

akoestisch debietmeten

notitie onderzoek

R1517 - II

augustus 1980

INHOUD

		Blz.
1.	Inleiding	1
2.	Samenvatting	2
3.	Situatie	3
4.	Probleemstelling	5
5.	Aanstroming ter plaatse van meetsektie	7
5.1	Stroming naar de kolk (opwaarts uitwisselen/nivelleren)	8
5.2	Stroming vanaf de kolk (neerwaarts uitwisselen/nivelleren)	9
5.3	Stroming tengevolge van doorslingerverschijnsel	11
6.	Beïnvloeding stroombeeld	12
6.1	Turbulentie en turbulentie-intensiteit	12
6.2	Viskositeit	13
6.3	Aanwezigheid lucht	14
6.4	Aangroei van organismen	15
6.5	Dichtheidsverschillen	17
6.6	Invloed $\partial Q/\partial t$	17
7.	Reproduceerbaarheid	20
8.	Absolute nauwkeurigheid	23

LITERATUUR

FIGUREN

BIJLAGE I - Akoestische debietmeting; Philipsdamsluizen

BIJLAGE II - Ervaring binnen het Waterloopkundig Laboratorium met akoestische debietmeting

BIJLAGE III - Afschatting nauwkeurigheid bij ijking debietmeter

1. Inleiding

Voor de bepaling van de uitwissel- c.q. nivelleervolumina van de duwvaartsluizen wordt gedacht aan de toepassing van akoestische debietmeters. Bij het schrijven van de rapporten (WL-R 1253; RWS-WT-F 77.10C.00) is uitgegaan van een nauwkeurigheid van 1 à 2%. In een later stadium is hierover echter twijfel ontstaan en zijn waarden van 5 à 10% genoemd.
Op de laatste vergadering van de werkgroep Besturing en Instrumentatie dd. 22 mei 1979 is daarom besloten dat de bestaande WL-notitie over dit onderwerp verder zou worden uitgewerkt, ten einde meer duidelijkheid te krijgen omtrent de uiteindelijke nauwkeurigheid die met een dergelijke meetmethode kan worden bereikt. Daarnaast zou worden aangegeven welke ervaringen binnen het Waterloopkundig Laboratorium bestaan met het gebruik van akoestische debietmeten; zie hiervoor bijlage II.

Bij het opstellen van de notitie is uitgegaan van het gebruik van meerdere debietmeters per riool (2 à 4), terwijl verder het principe van akoestisch debietmeten bekend is verondersteld. Voor een korte uiteenzetting hiervan wordt verwezen naar [1], alsmede bijlage I.

In de voorliggende notitie wordt een onderscheid gemaakt tussen de reproduceerbaarheid van de meting en de absolute nauwkeurigheid die kan worden bereikt.
De aspekten die hierbij een rol spelen worden gevormd door de wijze van aanstroming van het water naar de meetsektie en de mate waarin het stroombeeld onafhankelijk is van het debiet.
Het blijkt dat een 'harde' voorspelling in de vorm van kwantitatieve gegevens moeilijk is te geven, maar dat het geheel meer een beschrijvend karakter draagt, waarbij getracht wordt aan te geven waar zich eventueel problemen kunnen voordoen.

Voorliggende notitie is opgesteld door ir. R.G. Haas mede aan de hand van gesprekken welke zijn gevoerd met dr. A.C.E. Wessels, hoofd Afdeling Ontwikkeling Meetmethoden, alsmede met dr. D.M. Oldenziel van de afdeling Pompen en Industriële Circulaties.
Van deze laatste is tevens een bijdrage opgenomen (bijlage I) waarin het principe van de akoestische debietmeting wordt uiteengezet.

2. Samenvatting

In deze notitie wordt een opsomming gegeven van de faktoren die van invloed zijn op de reproduceerbaarheid van de meting. Daarbij wordt uitgegaan van een aantal debietmeters (2 à 4) per riool.
Tijdens permanentie ($\partial Q/\partial t = 0$) blijkt er nauwelijks beïnvloeding van de reproduceerbaarheid op te treden.
Bij het op gang komen en vertragen van het debiet ($\partial Q/\partial t \neq 0$) kunnen echter tijdelijk vormveranderingen in het snelheidsprofiel ontstaan. Hierdoor kan bij het samenstellen van de gegevens van de afzonderlijke debietmeters tot het totale debiet per riool een onnauwkeurigheid optreden. De verwachting is echter dat deze afwijkingen gering zullen zijn.
Los hiervan zal de aangroei van organismen ter plaatse van de meetsektie leiden tot een beïnvloeding van de reproduceerbaarheid op de lange termijn. Het verdient dan ook aanbeveling ter plaatse van de meetsektie preventieve maatregelen te treffen, danwel regelmatig onderhoud te plegen.
Verder zal door de aangroei in de riolen het snelheidsprofiel 'voller' worden, waarbij ijking zal moeten uitwijzen of de korrektiefaktoren (α_i) per debietmeter moeten worden aangepast.

De absolute nauwkeurigheid die bij een dergelijke meting kan worden bereikt is voornamelijk afhankelijk van de wijze waarop uit de gegevens van de afzonderlijke debietmeters het totale debiet wordt samengesteld. De korrektiefaktoren (α_i) die hiervoor per debietmeter noodzakelijk zijn kunnen via een ijking in prototype worden bepaald. In een eerste afschatting van een dergelijke ijking is een nauwkeurigheid afgeschat van 3,5%.

Inmiddels is, voordat deze notitie is verschenen, door Rijkswaterstaat gekozen voor een andere aanpak, waarbij via modelonderzoek het snelheidsprofiel wordt vastgesteld. Daarbij wordt uitgegaan van één debietmeter per riool, met uitbreidingsmogelijkheid tot twee per riool.

3. Situatie

Het duwvaartsluizenkomplex zal in eerste instantie bestaan uit twee duwvaartsluizen, terwijl rekening wordt gehouden met de uitbreidingsmogelijkheid voor een derde sluis.

De akoestische debietmeting vindt plaats in de riolen die de verbinding vormen tussen de ruimte onder de geperforeerde vloer in de sluiskolken en de bekkens en kanaal Slaak, zie figuur 1. In elke sluiskolk takken 2 riolen aan, wat voor de te bouwen sluiskolken neerkomt op 6 riolen. De hoofdafmetingen zijn 5,5 m breed × 4.75 m hoog, maar vóór de aansluiting op de kolk gaan deze over in de afmetingen 8,60 m breed × 4,75 m hoog. Ten zuiden van de zuidelijkste kolk (kolk 1 in fig. 1) splitsen de riolen zich richting hoge bekken, kanaal Slaak en lage bekken.
De lokatie van de meetsektie bevindt zich tussen kolk 1 en het eerste splitsingspunt, waarbij gemeten wordt in alle 6 de riolen (zie fig. 2).

De situering van de meetsektie op deze plaats houdt in dat de meetsektie aan de zuidzijde wordt begrensd door het eerste splitsingspunt dat in alle riolen aanwezig is. De onderste rioolstraat buigt na dit splitsingspunt af naar het hoge bekken, terwijl de bovenste rioolstraat doorloopt naar het tweede splitsingspunt, alwaar de vertakking plaatsvindt naar kanaal Slaak en het lage bekken.
Aan de noordzijde van de meetsektie moet een onderscheid gemaakt worden voor de situatie van kolk 1 en die van de overige 2 kolken. In geval van kolk 1 wordt de meetsektie aan de noordzijde onmiddellijk begrensd door de schoepenbocht, die de overgang van de riolen naar de ruimten onder de geperforeerde vloer vormt. In geval van kolk 2 en 3 bevindt deze schepenbocht zich op enige afstand (ca. 15, resp. 30 maal de rioolbreedte B = 5,50 m) van de meetsektie, zodat in feite kan worden gesproken van een begrenzing door een recht riool; zie fig. 2 / tabel 3.1.

In de meetsektie zelf dient eveneens een onderscheid te worden gemaakt in de riolen van kolk 1 en die van kolk 2 en 3. De riolen van kolk 1 hebben namelijk een doorsnede van 8,60 m breed × 4,75 m hoog, maar in de meetsektie worden deze door de middelste geleiding van de schoepenbocht verdeeld in twee sekties van ieder 4,05 m breed. Als gevolg hiervan vormen de sekties, welke aan de buitenzijde van de rioolstraat liggen, de meest ongunstige situaties, omdat hier de meetsektie vrijwel direkt (ca. 1 maal de rioolbreedte B = 4,05 m) aan de schoepenbocht grenst. Bij de meer naar binnen gelegen sekties van de

riolen van kolk 1 is deze afstand alweer groter, namelijk ca. 4 maal de rioolbreedte B = 4,05 m.
De riolen van kolk 2 en 3 hebben verder de normale hoofdafmetingen 5,50 m breed * 4,75 m hoog.
De meetsektie bestaat per riool uit een nader te bepalen aantal vertikale meetraaien. In deze meetraaien wordt gemeten met behulp van een zogenaamd meetkruis, waarbij de transducenten zijn aangebracht in de bodem respektievelijk het plafond van het riool. Toepassing van een dergelijke meetopstelling betekent dat eventuele meetfouten, die ontstaan doordat de stroming in het riool niet geheel volgens de as van het riool is gericht, worden voorkomen.
Bij de keuze van het aantal meetraaien en mogelijk zelfs van verdeling van de meetraaien over de breedte van het riool zal rekening dienen te worden gehouden met de te verwachten asymmetrie in het snelheidsprofiel. Dit teneinde de afwijkingen in de uitmiddeling per eenheid van breedte zoveel mogelijk te reduceren (zie hoofdstuk 8).

4. Probleemstelling

Zoals gesteld dient een onderscheid te worden gemaakt tussen de reproduceerbaarheid van de meting en de absolute nauwkeurigheid die hierbij kan worden bereikt. De reproduceerbaarheid wordt gepaald door de mate waarin het stroombeeld onafhankelijk is van het debiet, terwijl verder externe faktoren als onder andere aangroei, aanwezigheid van luchtbellen en dichtheidsverschillen een rol kunnen spelen.
In de hiernavolgende beschouwing zal op deze faktoren worden ingegaan, waarbij wordt aangegeven waar zich eventueel problemen kunnen voordoen.

Indien de reproduceerbaarheid van de meting redelijkerwijze is gewaarborgd, wil dit echter nog niet zeggen dat exakt het juiste debiet wordt gemeten. In de meting kan een konstante afwijking optreden. De wijze waarop uit de verschillende debietmeters het totale debiet per riool wordt samengesteld kan hierbij van grote invloed zijn; bij de verdeling van de debietmeters over de breedte van het riool dient dan ook rekening te worden gehouden met de vorm van het snelheidsprofiel daar ter plaatse.

Teneinde de wijze van samenstellen te demonstreren wordt in het nu volgende voorbeeld uitgegaan van drie debietmeters per riool.

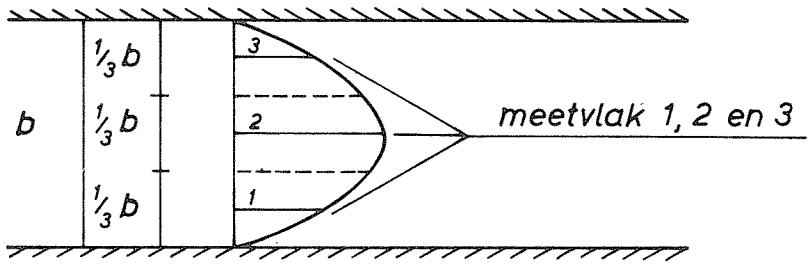


Fig. 4.1 Snelheidsprofiel bij meetsektie (horizontale drs. riool)

Het totale debiet per riool wordt nu als volgt samengesteld:

$$Q_{tot} = \sum_{i=1}^{3} Q_i = \sum_{i=1}^{3} \alpha_i . 1/3 \; b.h.\bar{U}_i$$

waarin: Q_i = debiet per strookbreedte

α_i = korrektiefaktor per strookbreedte

1/3 b = strookbreedte

h = rioolhoogte

$\bar{U}_i$ = over de vertikaal gemiddelde snelheid ter plaatse van meetvlak

De korrektiefaktor α_i die per debietmeter in rekening moet worden gebracht om tot het totale debiet per riool te komen, zal via ijking in prototype moeten worden vastgesteld.

5. Aanstroming ter plaatse van meetsektie

Het is voor de werking van de sluis van belang te weten hoeveel water er van en naar de kolk wordt getransporteerd tijdens het uitwisselen en nivelleren. Dit betekent dat het uitwissel- respektievelijk nivelleervolume moet kunnen worden vastgesteld bij stroming in het riool in beide richtingen. De in hoofdstuk 3 aangegeven begrenzingen van de meetsektie kunnen daarbij moeilijkheden opleveren vanwege hun ingewikkelde geometrie. Hierdoor ontstaat namelijk de kans dat voor bepaalde stromingssituaties het snelheidsprofiel ter plaatse van de meetsektie niet gelijkmatig verdeeld is over de gehele doorsnede. Het snelheidsprofiel zal bijvoorbeeld afhankelijk van de stromingsrichting kunnen variëren. Bij stroming richting kolk speelt daarbij ook het feit of gebruik wordt gemaakt van het hoge bekken of het doorlaatwerk (andere aanstroomkonditie). Dit heeft tot gevolg dat in de meetsektie per riool verschillende snelheidsprofielen kunnen voorkomen afhankelijk van de stromingssituatie.

Het al of niet voorkomen van een gelijkmatig verdeeld snelheidsprofiel wordt daarbij beoordeeld aan de eis dat de ongestoorde aanstroomlengte naar de meetsektie minimaal 40 maal de rioolbreedte moet bedragen alvorens eventueel aanwezige onregelmatigheden in het snelheidsprofiel volledig zijn uitgedempt; één en ander is ontleend aan de eisen die worden gesteld aan de instroomlengte bij debietmetingen met behulp van meetflenzen volgens de ISO-normen.
Aan het gedeelte benedenstrooms van de meting worden verder geen eisen gesteld.

In tabel 5.1 zijn voor de stromingsrichtingen van en naar de kolk de verschillende van belang zijnde begrenzingen met de daarbij behorende afstanden uitgedrukt in de betreffende rioolbreedte (B) weergegeven.

	stroming naar de kolk		stroming vanaf de kolk	
	begrenzing	afstand tot meetsektie	begrenzing	afstand tot meetsektie
kolk 1	splitsingspunt	2,8 B	schoepenbocht	bijna nul
kolk 2	splitsingspunt	4,4 B	schoepenbocht	15 B
kolk 3	splitsingspunt	4,4 B	schoepenbocht	30 B

Tabel 5.1 Van belang zijnde begrenzingen per stromingsrichting

5.1 Stroming naar de kolk (opwaarts uitwisselen/nivelleren)

In deze stromingssituatie wordt in alle riolen de begrenzing gevormd door het splitsingspunt. Voor de beoordeling van het effekt van het splitsingspunt kan gebruik worden gemaakt van de resultaten van het onderzoek M 1420 'Splitsingspunt riolen' [2]; vormgevingsonderzoek tot minimalisering van de verlieskoëfficiënten van de splitsingspunten in de riolen.
Uit de stroombeeldfoto's alsmede snelheidsmetingen ter plaatse van het splitsingspunt kan worden afgeleid dat de stroomsnelheidsverdeling ter plaatse van de meetsektie redelijk uniform zal zijn, zodat ten aanzien hiervan mag worden gesproken van een ongestoorde aanstroming. Hierbij moet echter nog een onderscheid gemaakt worden in stroming vanaf:

a. hoge bekken - figuur 5.1a
b. kanaal Slaak - figuur 5.1b (stroming vanaf lage bekken komt niet voor)

ad a) Stroming vanaf hoge bekken (fig. 5.1a)

Een extra komplikatie vormt de vóór het splitsingspunt gelegen bocht, wat uiteraard voor de in de binnenbocht gelegen riolen het meest ongunstig is; straal van de hartlijn van het riool in de binnenbocht is R = 8,20 m en in de buitenbocht R = 43,80 m, waarbij de ingesloten hoek $\alpha = 67^{o}30'$ bedraagt.
De kombinatie bocht-splitsingspunt is niet in model onderzocht, zodat hiervan ook geen resultaten beschikbaar zijn. Er kan echter verwacht worden dat de asymmetrie die achter de bocht in de stroming zal optreden geen extra effekten zal introduceren ter plaatse van het splitsingspunt.
Dit betekent dat ter plaatse van de meetsektie een asymmetrisch snelheidsprofiel zal optreden, waarbij de situatie in de binnenbocht het meest ongunstig zal zijn.

ad b) Stroming vanaf kanaal Slaak (fig. 5.1b)

Hier is voor het eerste splitsingspunt nog een tweede splitsingspunt aanwezig (fig. 1), alsmede een daarvoor gelegen bocht; straal van de hartlijn van het riool in de binnenbocht is R = 6,75 m en in de buitenbocht R = 39,25 m, waarbij de ingesloten hoek $\alpha = 37^{o}$ bedraagt.
Alhoewel de hoek die het water moet maken kleiner is zal ook hier achter de bocht een asymmetrisch snelheidsprofiel ontstaan.
Verder bedraagt de afstand tussen beide splitsingspunten ca. 12 maal de rioolbreedte B = 5,50 m, terwijl de afstand eerste splitsingspunt-meetsektie ca. 2,8 (kolk 1) respektievelijk 4,4 maal de rioolbreedte (kolk 2 en 3) bedraagt.
Er moet dan ook rekening mee gehouden worden dat bij stroming vanaf kanaal

Slaak een asymmetrisch snelheidsprofiel ter plaatse van de meetsektie kan optreden; zij het in mindere mate dan bij stroming vanaf het hoge bekken.

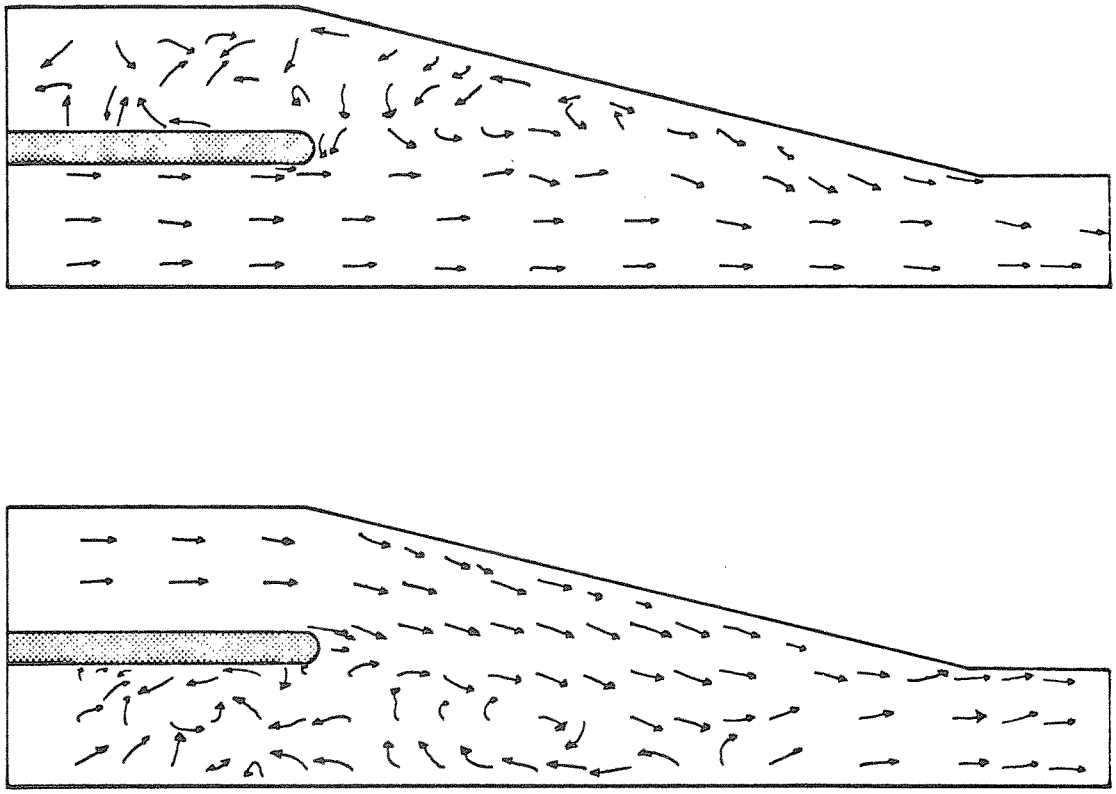


Fig. 5.1 Stroombeelden ter plaatse van splitsingspunt

5.2 Stroming vanaf de kolk (neerwaarts uitwisselen/nivelleren)

Over het effekt van het snelheidsprofiel ter plaatse van de meetsektie kan slechts een schatting worden gegeven.
Aan de resultaten van het onderzoek M 1384 'Vormgeving aansluiting riolen-kolk' [3] kunnen geen konklusies worden ontleend. Bij dit onderzoek is namelijk hoofdzakelijk gelet op een goede stroomverdeling in de kolk en zijn er geen metingen in het riool uitgevoerd.

In figuur 3 is het stroompatroon geschetst zoals dit in grote lijnen zal optreden. Daarbij is aangenomen dat de stroming in de ruimte onder de geperforeerde vloer gelijkmatig verdeeld is, wat neerkomt op 1/12 Q per schoepensektie; Q is debiet per riool.
In de binnenbocht van de schoepensekties 1, 3 en 5 zal zich geen neer kunnen ontwikkelen, omdat dit wordt tegengegaan door de stroming in de aangrenzende sekties. Wel zullen hier wat kleinere loslaatwervels kunnen ontstaan aan de uiteinden van de langsschotten.
De orde van grootte van de overige neren is bepaald aan de hand van de schematisatie volgens figuur 5.2.
Verder zullen ook aan de uiteinden van de schoepen kleinere loslaatwervels ontstaan.

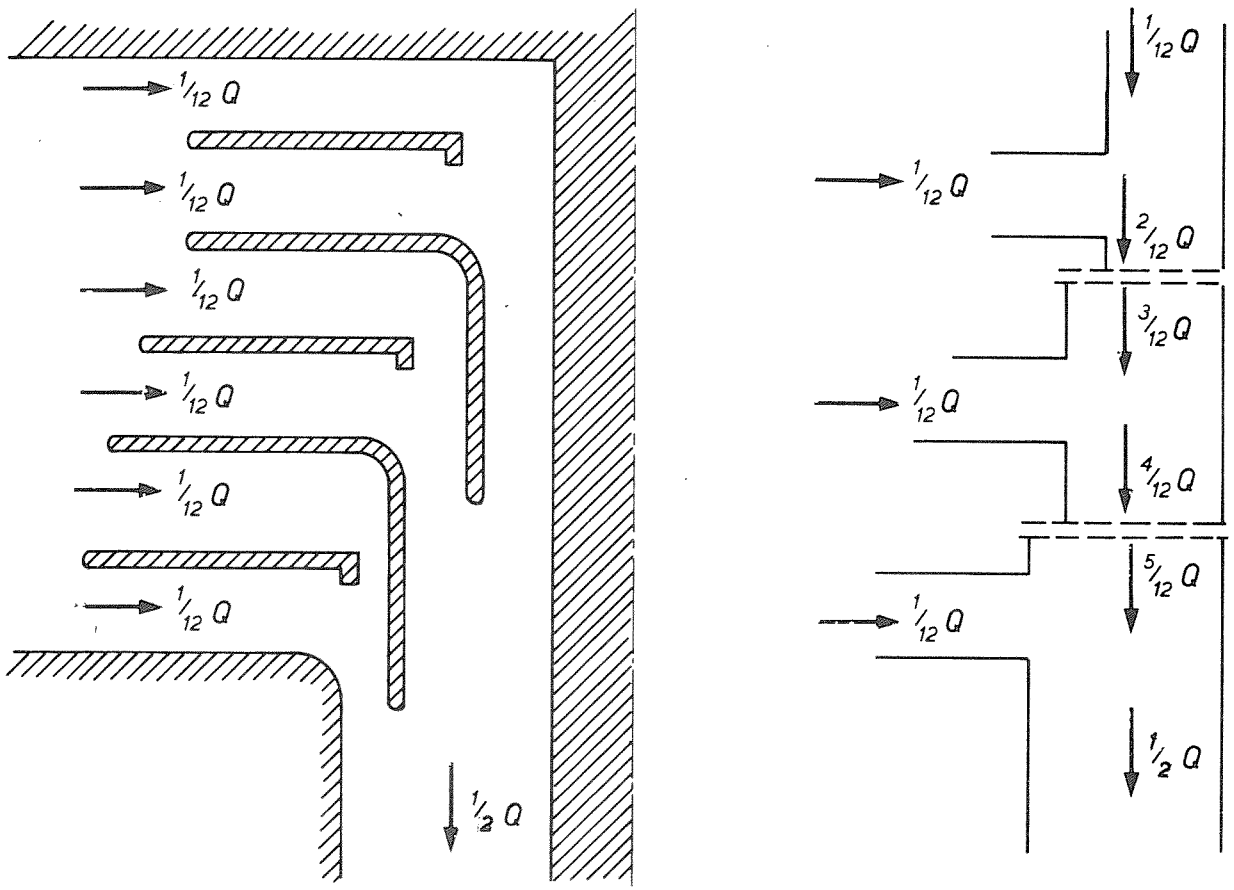


Fig. 5.2 Schematisatie schoepenbocht

Uit het geschetste stroompatroon in figuur 3 blijkt dat, uitgaande van de aannamen genoemd in figuur 5.2, zich ook voor de meest ongunstige situatie (buitenste rioolsektie van kolk 1) in de meetsektie geen belangrijke neren zullen voordoen. Wel zullen zich kleine wervels voordoen als gevolg van loslaatverschijnselen. Ditzelfde geldt voor de meer naar binnen gelegen rioolsektie van kolk 1, zij het dat hier de situatie gunstiger is.
In geval van de riolen van kolk 2 en 3 zullen dergelijke problemen zich in het geheel niet voordoen. Wel moet in alle gevallen rekening worden gehouden met een onregelmatig snelheidsprofiel ter plaatse van de meetsektie; in alle gevallen is de afstand kleiner dan 40 maal de rioolbreedte. Uiteraard vormen ook hier de riolen van kolk 1 de meest ongunstige situatie, maar ook voor de riolen van kolk 2 en 3 is de mogelijkheid nog aanwezig.

5.3 Stroming tengevolge van doorslingerverschijnsel

In notitie R 1517-I [8] is aangegeven dat door de aanwezigheid van de schoonmaakschachten in de riolen debietslingeringen zullen optreden. De meest ongunstige situatie treedt daarbij op als de rioolschuiven worden gesloten. Al naar gelang de stromingsrichting in het riool vindt er daarna een extra vullen danwel ledigen van de schoonmaakschachten plaats.
Dit betekent dat na de sluiting van de rioolschuif het debiet in het riool niet nul wordt, maar van teken zal omdraaien, zodat er nivellatie kan plaatsvinden tussen de kolk en de verschillende schachten.

Indien nu in een dergelijke situatie extra vullen van de schachten plaatsvindt (stroming vanaf de kolk) dan verandert daarna de stroming van richting en vindt er stroming naar de kolk plaats. Het snelheidsprofiel dat hierdoor ter plaatse van de meetsektie ontstaat zal afwijken van hetgeen in paragraaf 5.1 is vermeld. In deze situatie stroomt het water namelijk uit alle drie de riooltakken tegelijk terug naar de kolk.

Wat de vorm van het snelheidsprofiel in een dergelijke situatie zal worden is in deze bureaustudie moeilijk af te schatten. Wel kan gesteld worden dat het hier slechts om relatief kleine hoeveelheden water gaat. Een eventueel verhoogde onnauwkeurigheid in deze fase zal dan ook nauwelijks van invloed zijn op het totaal van de meting.
In het nu volgende gedeelte zal deze stromingssituatie dan ook niet verder in beschouwing worden genomen.

6. Beïnvloeding stroombeeld

In de hiernavolgende beschouwing wordt een aantal faktoren opgesomd die het stroombeeld zouden kunnen beïnvloeden.
Achtereenvolgens komen aan de orde:

- Turbulentie en turbulentie-intensiteit
- Viskositeit
- Aanwezigheid lucht
- Aangroei organismen
- Dichtheidsverschillen
- Invloed $\partial Q/\partial t$

6.1 Turbulentie en turbulentie-intensiteit

Voor wat betreft het stromingstype in de meetsektie dient te worden nagegaan of in alle gevallen mag worden uitgegaan van turbulente stroming. Onder turbulentie worden daarbij willekeurige snelheidsfluktuaties in de tijd en ruimte verstaan (fig. 6.1); tweedimensionale wervels en neren vallen hier niet onder.

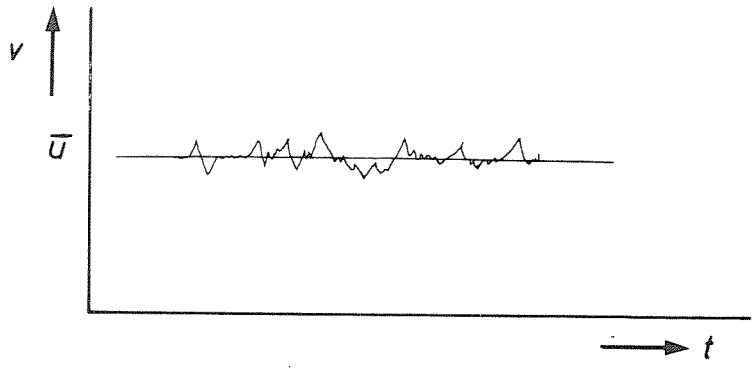


Fig. 6.1 Snelheidsregistratie in vast punt voor snelheidsrichting u

Uitgaande van figuur 6.1 kan voor de snelheid op ieder willekeurig tijdstip t worden gesteld:

$$U = \bar{U} + u$$

waarin: $\bar{U}$ = gemiddelde stroomsnelheid

u = fluktuerende snelheidskomponent

Uitgaande van de voorwaarde:

$$Re = \frac{\bar{U}R}{\nu} > 2400 \quad [5]$$

Waarin: Re = Reynoldsgetal
$\bar{U}$ = gemiddelde stroomsnelheid
R = hydraulische straal
ν = kinematische viskositeit

zal bij een rioolsnelheid $\bar{U} > 0{,}02$ m/s reeds turbulentie optreden.
Vermoedelijk zal turbulentie ook al bij lagere snelheden optreden als gevolg van de aanwezigheid van schoepenbocht, splitsingspunt etc.
De aanwezigheid van turbulentie hoeft geen enkel bezwaar te vormen voor de nauwkeurigheid van de meting, zolang de turbulentie volgens een volledig willekeurig patroon tot stand komt; de optredende snelheidsfluktuaties zullen dan per snelheidsmeting (tijdsduur 0,05 à 0,1 sec.) worden uitgemiddeld.

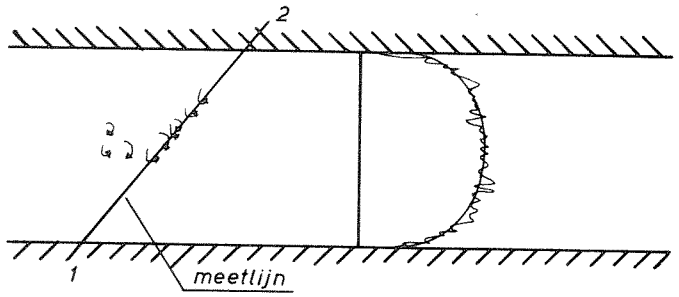


Fig. 6.2 Snelheidsmeting bij turbulentie (vertikale drs. riool)

Verder zal de turbulentie-intensiteit ($u' = \sqrt{u^2}$), welke een maat is voor de snelheidsfluktuaties die optreden ten opzichte van de gemiddelde stroomsnelheid vrijwel konstant zijn; voor de invloed van $\partial Q/\partial t$ wordt verwezen naar paragraaf 6.6.

6.2 Viskositeit

Eén van de faktoren die de stroomverdeling kan beïnvloeden wordt gevormd door de viskositeit. De stroming langs de wand vormt hierbij een belangrijk aspekt. Wanneer de ruwheid van de wand voldoende groot is, zal de weerstand weinig invloed van de viskositeit ondervinden. De verhouding u^*/u_{gem} zal dan onafhankelijk van het getal van Reynolds zijn; u^* = schuifspanningssnelheid, u_{gem} = profielgemiddelde snelheid.
Als grenzen worden in het algemeen gegeven [5]:

$$Re^{*} = \frac{u^{*} k_s}{\nu} > 60$$

waarin: Re^{*} = Reynoldsgetal betrokken op wandruwheid
u^{*} = schuifspanningssnelheid
k_s = Nikuradse ruwheid
ν = viskositeit van het water

Uitgaande van u_{gem} = 1,5 m/s en k_s = 0,005 m volgt hieruit voor het Reynoldsgetal Re^{*} = 375. Dit betekent dus dat tijdens permanentie ($\partial Q/\partial t = 0$) geen beïnvloeding van de viskositeit is te verwachten.

6.3 Aanwezigheid lucht

De aanwezigheid van lucht kan problemen opleveren bij de reproduceerbaarheid van de meting. De voortplantingssnelheid (c) van geluid in water wijkt sterk af van die in een lucht/watermengsel, waardoor bij de aanwezigheid van lucht een afwijking in de gemeten snelheid van het water kan ontstaan [4].

Zoals in bijlage I is uiteengezet wordt een akoestische puls heen en terug langs een meetlijn gestuurd, waaruit dan de snelheid van het water wordt afgeleid. Indien zich ter plaatse van deze meetlijnen luchtbellen in het water bevinden dan vormt dit voor de meting weinig bezwaar als het geluidssignaal zowel heen als terug deze luchtbellen passeert. Het apparaat meet dan de afwijkende voortplantingssnelheid en het resultaat wordt hierop gekorrigeerd. Er zullen echter afwijkingen in de resultaten optreden indien het geluidssignaal bijvoorbeeld alleen heen de luchtbel passeert en terug niet meer.

Voor de Philipsdamsluizen bestaat weinig gevaar voor luchtaanzuigen bij de schuiven; deze eis wordt in R 1506 [9] aan het te kiezen schuifprogramma gesteld. Verder zal de kans van luchtinsluitingen via kolk en schoonmaakschachten eveneens gering zijn.
Een globale kontrole van de kans op intredende luchtbellen vanuit de schoonmaakschacht in het omarmend zoet langs het hellende plafond naar de meetsektie heeft aangetoond dat dit bij de heersende rioolsnelheden van 1,5 à 2,0 m/s niet zal optreden. Er mag dan ook verwacht worden dat lucht geen problemen zal opleveren.

6.4 Aangroei van organismen

Bij de Philipsdamsluizen wordt aangenomen dat aangroei van de riolen zal plaatsvinden.
Door de werkgroep Aangroei [7] zijn een aantal maatregelen bestudeerd, welke in grote lijnen kunnen worden ingedeeld in preventieve (vooraf) en curatieve (achteraf) maatregelen. Indien mocht worden overgegaan tot preventieve maatregelen dan zal dit zeker alleen de meer kwetsbare onderdelen van de sluis betreffen.
Indien de meetsektie hiertoe gerekend wordt kan er een onderscheid worden gemaakt in:

a. aangroei van riolen en meetsekties; geen preventieve maatregelen.
b. aangroei van riolen alleen; preventieve maatregelen ter plaatse van meetsektie.

Als gevolg van de aangroei zullen de volgende verschijnselen zich voordoen:

- afname inwendige doorsnede van het riool.
- toename wandruwheid.
- gasvorming.

- afname inwendige doorsnede van het riool

De afname van de doorsnede zal leiden tot een verhoging van de stroomsnelheid; deze verhoging bedraagt ca. 10% uitgaande van de aanname van 10 cm aangroei op wanden en plafond en 20 cm op de bodem.

- toename wandruwheid

De toename van de wandruwheid zal leiden tot een vormverandering van het snelheidsprofiel. Bij toenemende ruwheid zal het snelheidsprofiel 'voller' worden.

- gasvorming

De aangroei zal voor een groot gedeelte bestaan uit mosselen, zeepokken etc. Bij het afsterven van dergelijke organismen bestaat de kans op gasvorming.

ad a) aangroei van riolen en meetsektie

Wanneer de transducers in de bodem en het plafond zijn gemonteerd zullen ze op den duur overdekt worden, waardoor een verzwakking van het signaal ontstaat. In het algemeen is de meetapparatuur dusdanig afgesteld, dat bij een bepaalde verzwakking van het signaal de meting wordt afgebroken. Om dit te voorkomen zal op het punt van aangroei dus regelmatig kontrole noodzakelijk

zijn. Het alternatief van montage van de transducenten op enige afstand van de bodem en het plafond (bijlage I) valt echter te ontraden, omdat dan steeds moet worden afgeschat hoeveel water achter de transducenten langs stroomt.

De toename van de snelheid zal goed worden gereproduceerd, maar op welke doorsnede deze snelheid moet worden betrokken zal problemen opleveren. Ook de verandering van het snelheidsprofiel kan moeilijkheden geven. De vormverandering van het snelheidsprofiel in het vertikale vlak van de meetlijnen (// stroomrichting) behoeft hierbij geen problemen op te leveren. In bijlage I wordt aangetoond dat de snelheid lineair over de meetlijn wordt gemiddeld, zodat de snelheid onafhankelijk van de vorm van het snelheidsprofiel wordt gemeten. In het vlak $\perp$ stroomrichting wordt de snelheid echter gemiddeld over een aantal strookbreedten; afhankelijk van het aantal debietmeters. Omdat de vormverandering van het snelheidsprofiel zich ook in de breedte zal voordoen kan hierdoor een afwijking ten opzichte van de ijkwaarde ontstaan.

Tenslotte kan de vorming van gasbelletjes, -vooral als ze blijven opgesloten in de afgestorven mossellaag ter plaatse van de meetsektie-, de meting beïnvloeden.

ad b) aangroei van riolen alleen

Ook als de meetsektie zelf beschermd is tegen aangroei zal met de lengte waarover deze bescherming moet plaatsvinden rekening dienen te worden gehouden, om het ontstaan van neren en wervels langs de wanden van de meetsektie tegen te gaan; zie figuur 6.3.

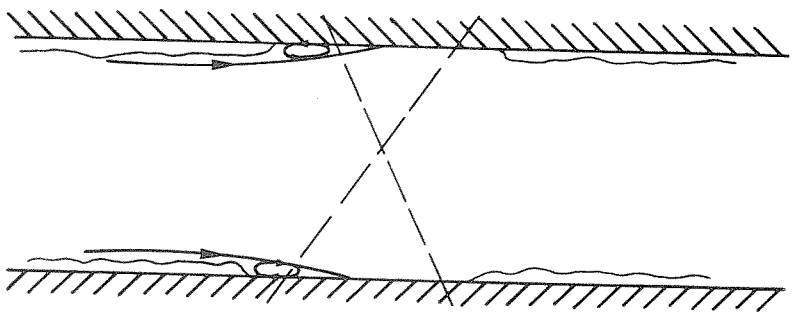


Fig. 6.3 Aangroei bij meetsektie

Wat betreft de vormverandering van het snelheidsprofiel moet worden aangenomen dat dit zich ondanks het beschermen van de meetsektie toch zal voordoen. Verwacht mag worden dat het snelheidsprofiel zich over de korte afstand niet zal aanpassen, zodat hier dezelfde problemen als bij ad a zijn te verwachten. Verder zal ook gasvorming kunnen optreden, maar verwacht wordt dat zich geen opeenhoping van gasbelletjes ter plaatse van de meetsektie zal voordoen.

6.5 Dichtheidsverschillen

De aanwezigheid van dichtheidsverschillen zou aanleiding kunnen geven tot afwijkingen in het stroombeeld. Tevens zal de meting zelf beïnvloed worden door een eventueel aanwezig dichtheidsverschil, omdat de voortplantingssnelheid c afhankelijk is van de dichtheid.

Er mag verwacht worden dat zich in de meetsektie geen momentane dichtheidsverschillen zullen voordoen. Ook indien er bij het eind neerwaarts uitwisselen zoet water onder het schot door de riolen in wordt gezogen, dan zal bij de passage van de schoepenbocht vrijwel volledige menging optreden.
Wel kunnen zich in de tijd variabele dichtheden voordoen ter plaatse van de meetsektie, vooral indien wordt overgegaan tot het toepassen van luchtbellenschermen. Dit behoeft echter, uitgaande van het meetprincipe volgens bijlage I, geen probleem op te leveren.

6.6 Invloed $\partial Q/\partial t$

Bij de bepaling van de invloed van $\partial Q/\partial t$ is gebruik gemaakt van een schematisch debietverloop zoals beschreven in [6]. Als voorbeeld is hierbij gekozen het schutten van een schip vanaf het Zijpe naar het Zoommeer in de hoogwaterfase; (fig. 6.4) waterstand Zijpe NAP +1,25 m.

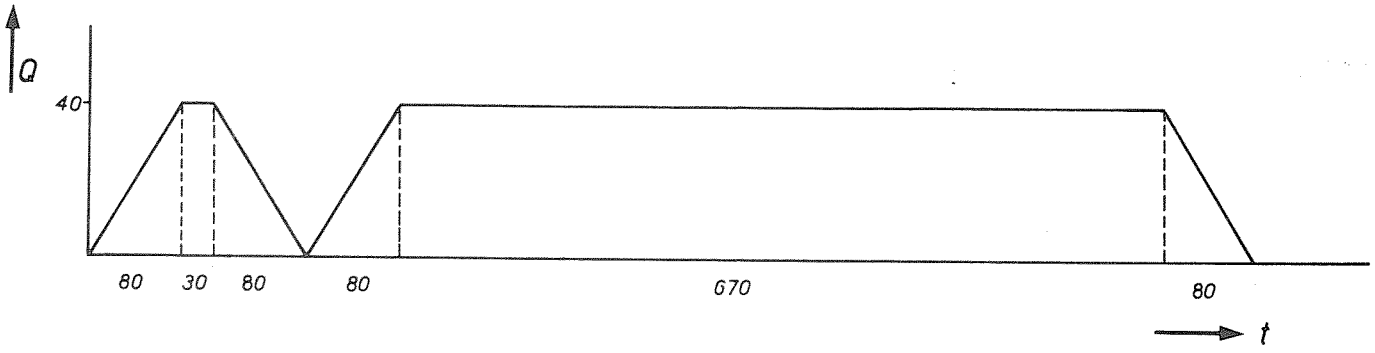


Fig. 6.4 Debiet per riool tijdens nivelleren en uitwisselen tijdens een schutting van het Zijpe naar het Zoommeer

Teneinde het totale uitwissel/nivelleervolume te kunnen bepalen zal de akoestische debietmeter ook dienen te werken in de periode van niet-permanente stroming tijdens het toe- en afnemen van het debiet. In deze perioden treedt een éénparig versnelde/vertraagde beweging op.
De grootte-orde van deze versnelling/vertraging kan op de volgende manier worden afgeleid.
Voor de debietprogramma's van de sluis wordt per riool uitgegaan van $\partial Q/\partial t = 0{,}5$. Hieruit volgt voor de versnelling/vertraging $a \approx 10^{-2}$ m/s^2.

De debietmeting kan nu door de volgende twee faktoren worden beïnvloed:

- invloed van het niet-konstant zijn van de snelheid op de meting.
- invloed van de versnelling/vertraging op het stroombeeld.

- invloed van het niet-konstant zijn van de snelheid op de meting

De tijd benodigd voor één meting ten opzichte van de aanwezige versnelling/vertraging ($a \approx 10^{-2}$ m/s^2) is relatief klein ($t \approx 0{,}05$ à $0{,}1$ s), zodat bij een juiste keuze van de bemonsteringstijd de debietvariatie met redelijke nauwkeurigheid kan worden vastgesteld.

- invloed van de versnelling/vertraging op het stroombeeld

Het versnellen/vertragen uit zich in het water als drukgradiënt in de buisrichting. Deze gradiënten in de stromingsrichting hebben een belangrijke invloed op de snelheidsverdeling en de schuifspanningsverdeling in de grenslaag, waarbij ook de turbulentie-intensiteit zich zal wijzigen. Bij een versnelling (negatieve drukgradiënten) zullen de wandschuifspanningen relatief toenemen en het snelheidsprofiel 'voller' worden; dit is hetzelfde als bij de toename van de wandruwheid.
Bij een vertraging (positieve drukgradiënt) zal, doordat de drukgradiënt over de gehele doorsnede werkt, vooral de stroming vlak bij de wand relatief het sterkst worden afgeremd, zodat minder volle snelheidsprofielen ontstaan.

Een belangrijk aspekt wordt verder nog gevormd door het feit dat het versnellen wordt gestart vanuit een situatie in rust ($u_{gem} = 0$). Dit betekent dat tijdens het opstarten de viskositeit een rol zou kunnen spelen.
Als grens voor de aanwezigheid van een viskeuze sublaag wordt in het algemeen gegeven [5]:

$$Re^{*} = \frac{u^{*} k_s}{\nu} < 5$$

waarin: Re^{*} = Reynoldsgetal betrokken op wandruwheid
u^{*} = schuifspanningssnelheid
k_s = Nikuradse ruwheid
ν = viskositeit van het water

Hierbij vormt $5 < Re^{*} < 60$ dan een overgangsgebied naar de situatie waarin alleen de wandruwheid een rol speelt.
Uitgaande van deze grenzen kan worden afgeleid dat voor $u_{gem} < 0{,}02$ m/s ($k_s = 0{,}005$ m) viskositeit een rol zou kunnen spelen. Voor het overgangsgebied geldt dan $0{,}02 < u_{gem} < 0{,}24$ m/s.
Uitgaande van de versnelling $a \approx 0{,}01$ m/s^2 betekent dit dat er maximaal in de eerste 24 sekonden van de meting beïnvloeding van de viskositeit zou kunnen optreden, welke zich zal uiten in een vormverandering van het snelheidsprofiel. Een zelfde beschouwing kan verder voor het vertragen worden opgezet.

7. Reproduceerbaarheid

Aan de hand van de beschouwingen uit hoofdstuk 5 en 6 zal nu in het kort worden ingegaan op de diverse aspekten die zouden kunnen leiden tot beïnvloeding van de reproduceerbaarheid.

- Aanstroming ter plaatse van meetsektie (permanentie $\partial Q/\partial t = 0$)

Uit het voorgaande komt naar voren dat in alle stromingssituaties de mogelijkheid aanwezig is dat er ter plaatse van de meetsektie in de riolen een asymmetrisch stroomprofiel zal optreden. Per riool is deze asymmetrie afhankelijk van de stromingssituatie.
Een dergelijke asymmetrie van het snelheidsprofiel behoeft geen belemmering te vormen voor de akoestische debietmeting. Door bij de keuze van het aantal debietmeters per riool hiermee rekening te houden kan het debiet met voldoende nauwkeurigheid worden vastgesteld.
De eventuele aanwezigheid van kleine wervels ($< \frac{1}{4}B$) zullen slechts bijdragen tot de fluktuaties maar verder geen wezenlijke invloed hebben op het debiet.

- Turbulentie en turbulentie-intensiteit (permanentie $\partial Q/\partial t = 0$)

Verwacht wordt dat de turbulentie volgens een volledig willekeurig patroon tot stand zal komen. Aangezien de meter een lineaire output geeft, zullen de optredende snelheidsfluktuaties dan per snelheidsmeting worden uitgemiddeld, zodat de aanwezigheid van turbulentie geen bezwaar behoeft te vormen voor de reproduceerbaarheid van de meting. Verder wordt verwacht dat zich bij permanentie een vrijwel konstante turbulentie-intensiteit zal instellen wat verder geen problemen zal opleveren.

- Viskositeit (permanentie $\partial Q/\partial t = 0$)

Tijdens permanentie zal er geen beïnvloeding van de reproduceerbaarheid door viskositeit optreden.

- Aanwezigheid lucht

Bij de Philipsdamsluizen bestaat weinig gevaar voor het intreden van lucht in de riolen, zodat ook hier geen beïnvloeding van de reproduceerbaarheid wordt verwacht.

- Aangroei organismen

Verwacht wordt dat aangroei de reproduceerbaarheid van de meting zal beïnvloeden; dit betreft aangroei ter plaatse van de meetsektie. Tevens zal de aangroei ter plaatse van de meetsektie aanleiding geven tot verzwakking van het signaal. Het verdient dan ook aanbeveling om de meetsektie, indien aangroei plaatsvindt, regelmatig te onderhouden.
Ook als er geen aangroei plaatsvindt ter plaatse van de meetsektie, maar wel in de aangrenzende riolen kan beïnvloeding van de reproduceerbaarheid optreden. Door de aangroei zal de wandruwheid van de riolen toenemen, waardoor het snelheidsprofiel 'voller' zal worden, wat aanleiding kan geven tot een konstante afwijking in het gemeten debiet ten opzichte van de ijkwaarde.

- Dichtheidsverschillen

Verwacht mag worden dat zich in de riolen geen momentane dichtheidsverschillen zullen voordoen, zodat hiermee geen problemen zullen ontstaan.
Een in de tijd variërende dichtheid vormt verder geen bezwaar voor de meting.

- Invloed $\partial Q/\partial t$

Bij een juiste keuze van de bemonsteringstijd van de meting zal het versnellen/vertragen van het water weinig invloed hebben op de reproduceerbaarheid van de snelheidsmeting.
Daarnaast spelen dan nog de volgende faktoren een rol:

- turbulentie-intensiteit
  Deze zal afwijken ten opzichte van de situatie bij permanentie. Dit behoeft de reproduceerbaarheid echter niet te beïnvloeden, omdat mag worden aangenomen dat ook in de niet-permanente situatie de turbulentie volgens een willekeurig patroon tot stand zal komen.
  Een afwijking in de turbulentie-intensiteit betekent dan slechts dat de grootte van de snelheidsfluktuaties zich zullen wijzigen.
- viskositeit
  Alleen in de eerste fase (max. 24 s) van het versnellen, c.q. de laatste fase van het vertragen, zal de viskositeit een rol kunnen spelen. Dit zal zich uiten in een vormverandering van het snelheidsprofiel. Er mag echter verwacht worden dat deze afwijkingen in het snelheidsprofiel zich steeds op dezelfde wijze zullen voordoen.

- aanwezigheid drukgradiënt
  Ook door de aanwezigheid van de drukgradiënt zullen er vormveranderingen in het snelheidsprofiel optreden, waarbij de verwachting is dat de reproduceerbaarheid hiervan eveneens weinig zal worden beïnvloed.

Indien nu verder een onderscheid wordt gemaakt in de permanente situatie ($\partial Q/\partial t = 0$) en de niet-permanente situatie ($\partial Q/\partial t \neq 0$) dan kan het volgende worden gekonkludeerd:

- Tijdens permanentie blijkt er geen noemenswaardige beïnvloeding van de reproduceerbaarheid te zullen optreden; aangroei niet meegerekend.
- Tijdens de niet-permanente situatie dient rekening te worden gehouden met een beperkte beïnvloed van de reproduceerbaarheid. Dit ontstaat door de tijdelijke vormverandering van het snelheidsprofiel. Deze verandering vindt niet alleen in het vertikale vlak plaats (geen bezwaar) maar ook in het horizontale vlak. Hierdoor zullen de korrektiefaktoren (α_i) per debietmeter, welke tijdens permanentie zijn afgeleid, niet meer geheel voldoen. De verwachting is echter dat de verandering van het snelheidsprofiel gering zal zijn.
- De aangroei van organismen kan beïnvloeding van de reproduceerbaarheid op de langere termijn inhouden. Uit dien hoofde verdient het aanbeveling om ter plaatse van de meetsektie preventieve maatregelen te treffen, danwel regelmatig onderhoud te plegen, teneinde de beïnvloeding zoveel mogelijk te beperken.
  Daarnaast zal door de aangroei in het riool de wandwrijving toenemen waardoor het snelheidsprofiel 'voller' wordt. Dit zou betekenen dat de korrektiefaktoren (α_i) per debietmeter dienen te worden bijgesteld; ijking dient uit te wijzen of dit werkelijk noodzakelijk is.

8. Absolute nauwkeurigheid

De absolute nauwkeurigheid wordt bepaald door de systematische afwijking van de apparatuur en door de wijze waarop uit de gegevens van de verschillende debietmeters het totaaldebiet per riool wordt samengesteld.
Bij de verdeling van de debietmeters over de breedte van het riool zal met de vorm van het optredende snelheidsprofiel rekening moeten worden gehouden. Zoals uit hoofdstuk 5 blijkt zal zich per stromingssituatie een ander (asymmetrisch) snelheidsprofiel instellen, waardoor het geheel extra gekompliceerd wordt. Van te voren kan aan de hand van een vrij grove schatting van de vorm van het snelheidsprofiel per stromingssituatie worden bekeken of het aanbeveling verdient de strookbreedte te variëren. Zonder nader modelonderzoek zal het nodig zijn uit te gaan van een aantal hypothetische snelheidsverdelingen.
Daarna zal echter in prototype een ijking moeten worden verricht om de korrektiefaktoren α_i (hoofdstuk 4) te kunnen vaststellen. Tevens zal uit deze ijking blijken of per stromingssituatie een andere korrektiekoëfficiënt moet worden aangehouden.
In dit verdere hoofdstuk zal nu worden getracht een eerste aanzet te geven tot een dergelijke ijking teneinde een indruk te krijgen van de nauwkeurigheid die kan worden bereikt.
De eerste gedachten gaan hierbij uit naar het gebruiken van de kolk als zogenaamde 'ijkbak', waarbij dan per riool de verschillende stromingssituaties moeten worden geijkt.
Dit houdt in dat de afmetingen van de kolk met voldoende nauwkeurigheid bekend dienen te zijn als funktie van de hoogte.
Het gedeelte van de kolk dat zich boven NAP +1,00 m bevindt is daarbij het meest interessant, omdat over dat gedeelte het kolkoppervlak konstant is.
Indien er verder van uitgegaan wordt dat er geen andere hulpmiddelen, zoals pompen etc, worden toegepast, dan kan de kolk worden gevuld tot , respektievelijk geledigd worden vanaf NAP +1,85 m.

Stroming richting kolk:
Het hoge bekken kan vanuit het lage bekken worden opgepompt tot NAP +1,85 m (hoogte ringdijk om hoge bekken), terwijl in de kolk kan worden gestart met een zeer laag peil gelijk aan het minimum peil van het lage bekken.

Bij stroming vanaf kanaal Slaak kan slechts worden uitgegaan van het gemiddelde vloedpeil, terwijl in de kolk weer kan worden gestart met een zeer laag peil gelijk aan het minimum peil van het lage bekken.

Stroming richting bekkens/kanaal Slaak:
Via het hoge bekken kan de kolkwaterstand worden opgezet tot NAP +1,85 m, waarna kan worden genivelleerd met het lage bekken.

Voor wat betreft de methode van ijken kan nog een onderscheid worden gemaakt in:

- statische ijking
  Hierbij wordt gestart vanuit een rustsituatie, waarna een bepaald debietprogramma wordt gerealiseerd (door trekken en sluiten van de rioolschuif), wat opnieuw resulteert in een rustsituatie. Dit betekent dat het totale volume ($\int Qdt$) kan worden geijkt.
- dynamische ijking
  Hierbij kunnen afzonderlijk trajekten van het debietprogramma worden geijkt, waardoor onderscheid kan worden gemaakt in versnellen, permanentie, vertragen. Met deze methode kan voor ieder snelheidstrajekt een aparte nauwkeurigheid worden afgeleid.

Bij de verdere beschrijving zal nu worden uitgegaan van de laatste ijkingsmethode.
Van belang hierbij is de nauwkeurigheid, waarmee de kolkafmetingen bekend zijn, alsmede de afwijkingen die kunnen ontstaan in de metingen van de kolkwaterstand.
Uit het voorbeeld in bijlage III blijkt dat vooral de nauwkeurigheid waarmee de waterstand in de kolk kan worden bepaald, alsmede de grootte van het verval dat in beschouwing wordt genomen, van belang is voor de nauwkeurigheid waarmee het debiet kan worden bepaald. De in het rekenvoorbeeld afgeschatte nauwkeurigheid van 3,5% moet worden gezien als een eerste indruk van de te bereiken nauwkeurigheid.

Tot slot van dit hoofdstuk dient nog het volgende te worden opgemerkt. Indien het snelheidsprofiel per stromingssituatie van te voren beter bekend is (bijvoorbeeld door middel van modelonderzoek) kan vermoedelijk worden volstaan met minder debietmeters per riool. Tevens zal dan ook de ijking in prototype veel eenvoudiger kunnen verlopen; alle stromingssituaties kunnen van te voren in model worden gesimuleerd.
Inmiddels is, voordat deze notitie is verschenen, voor deze oplossing gekozen, waarbij wordt uitgegaan van één debietmeter per riool, met uitbreidingsmogelijkheid tot twee per riool.

LITERATUUR

[1] Brief no. S 78-0801
Notitie Hydro-Instrumentatie over akoestische debietmeting

[2] WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
Duwvaartsluizen in Philipsdam; splitsingspunt riolen
Verslag onderzoek M 1420, november 1976

[3] WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
Duwvaartsluizen in Philipsdam; Vormgeving aansluiting riool-kolk
Verslag onderzoek M 1383, december 1977

[4] WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
Foutenanalyse van de akoestische looptijdmethode toegepast in bellenmengsels
Verslag onderzoek R 1381, mei 1979

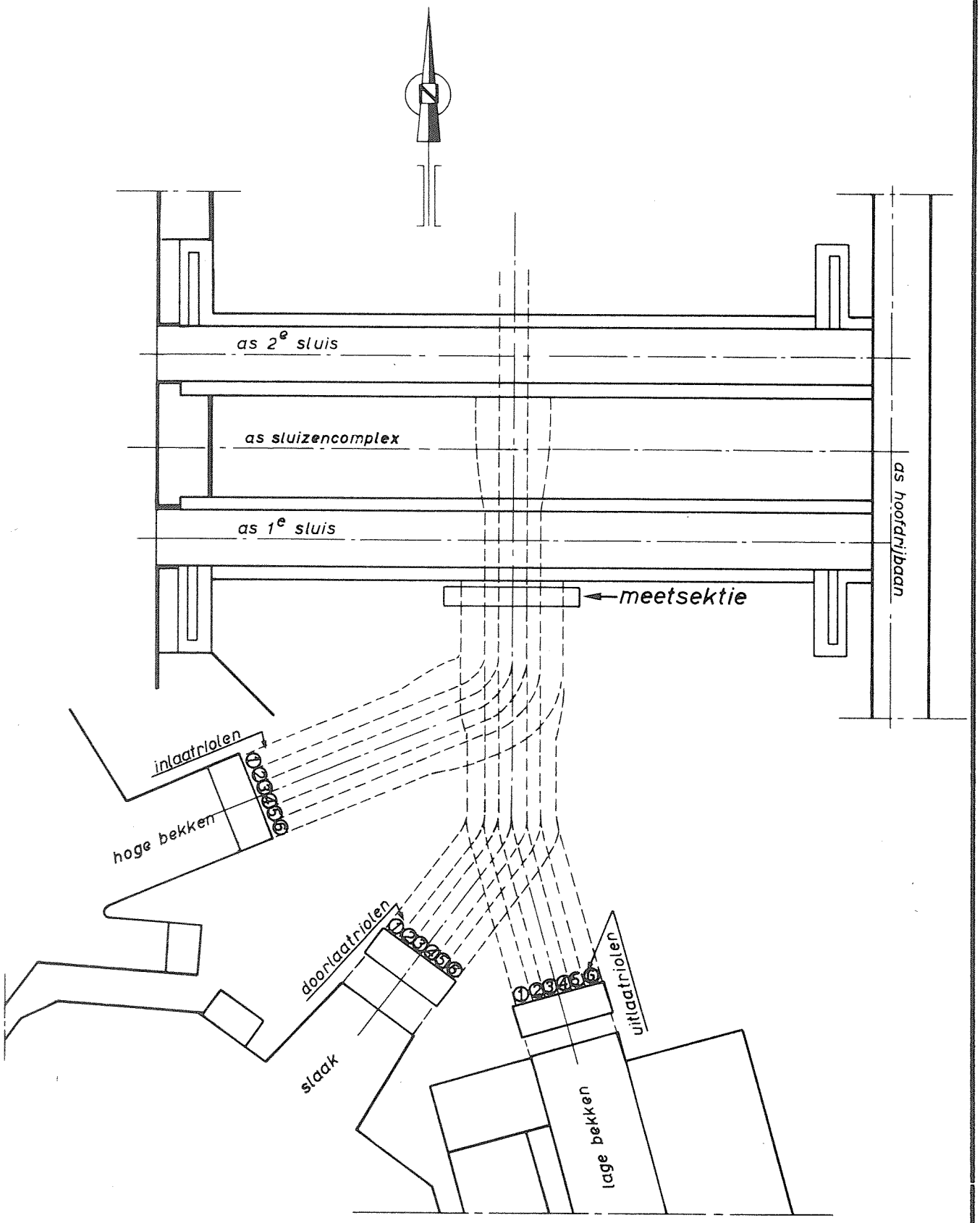
[5] WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
Kursus Wetenschappelijke Staf 1977/1978, Turbulentie

[6] RIJKSWATERSTAAT en WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
Duwvaartsluizen in Philipsdam; Beschrijving van de sluis, het schutproces en het onderzoek
Nota F 77.10C.00/WL R 1253-1, juni 1978

[7] RIJKSWATERSTAAT
Aangroei Philipsdamsluizen
Nota nr. DD.WWO 79-20.003, februari 1980

[8] WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
Duwvaartsluizen in de Philipsdam; Schachten in riolen: maximale schachtwaterstanden en slingerverschijnselen
Notitie onderzoek R 1517-1, juni 1980

[9] WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM
Duwvaartsluizen in de Philipsdam; Krachten op schuiven
Verslag onderzoek R 1506 (in voorbereiding)



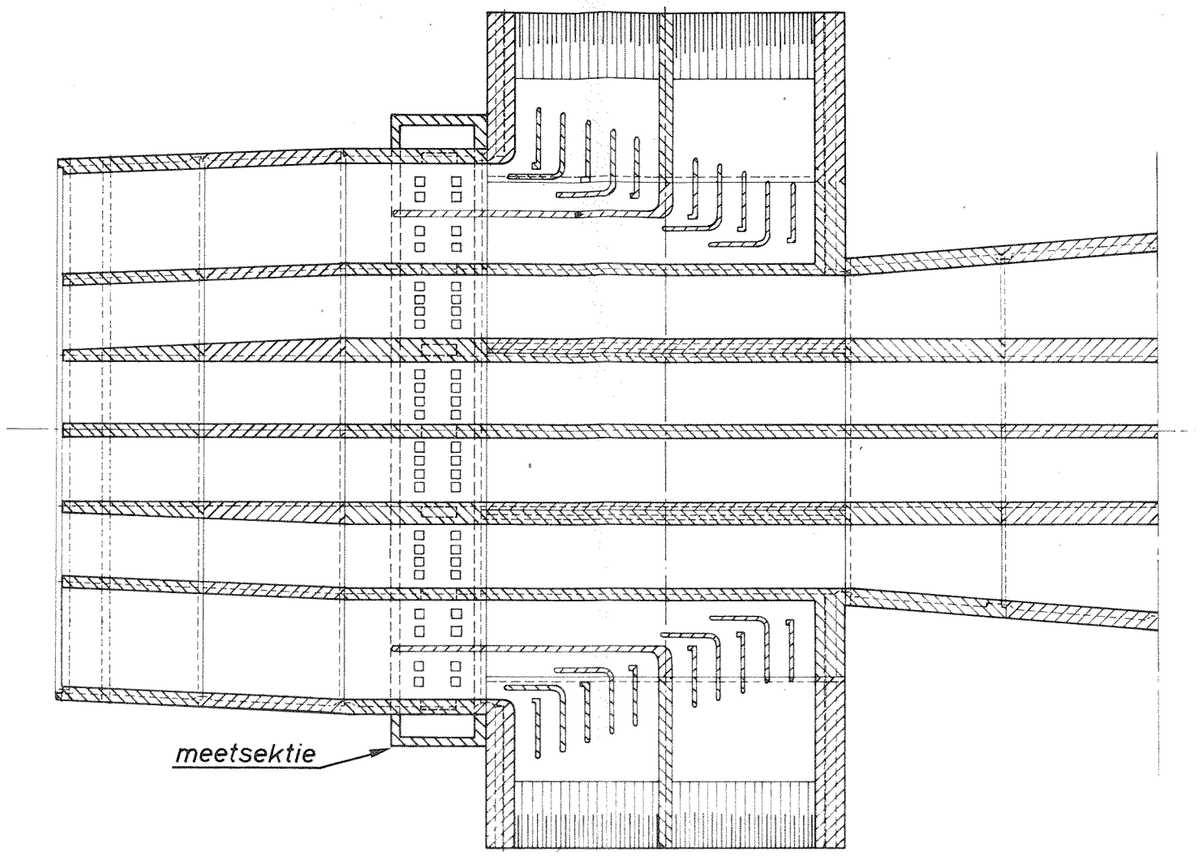
RIOLENSTELSEL

A4

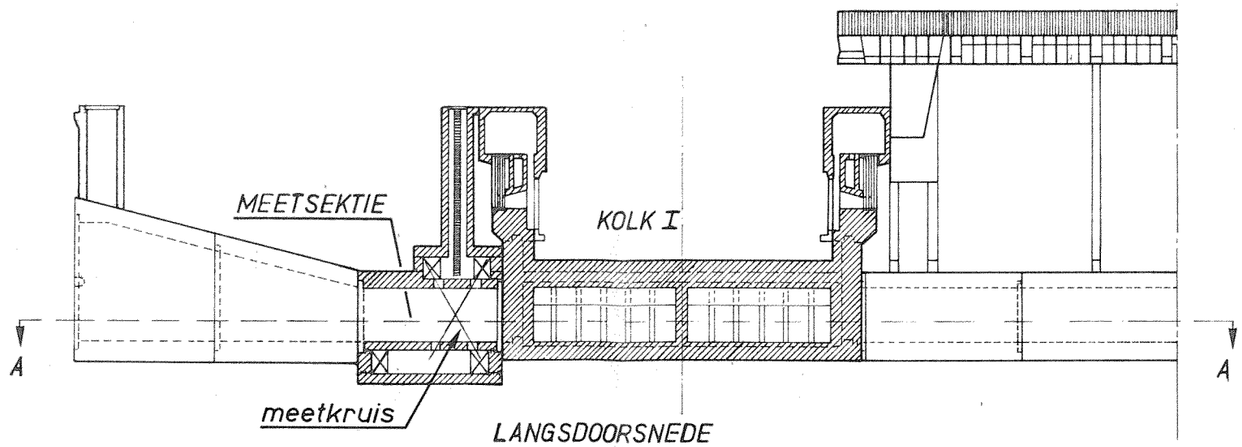
DELFT HYDRAULICS LABORATORY

R 1517 - II

FIG. 1

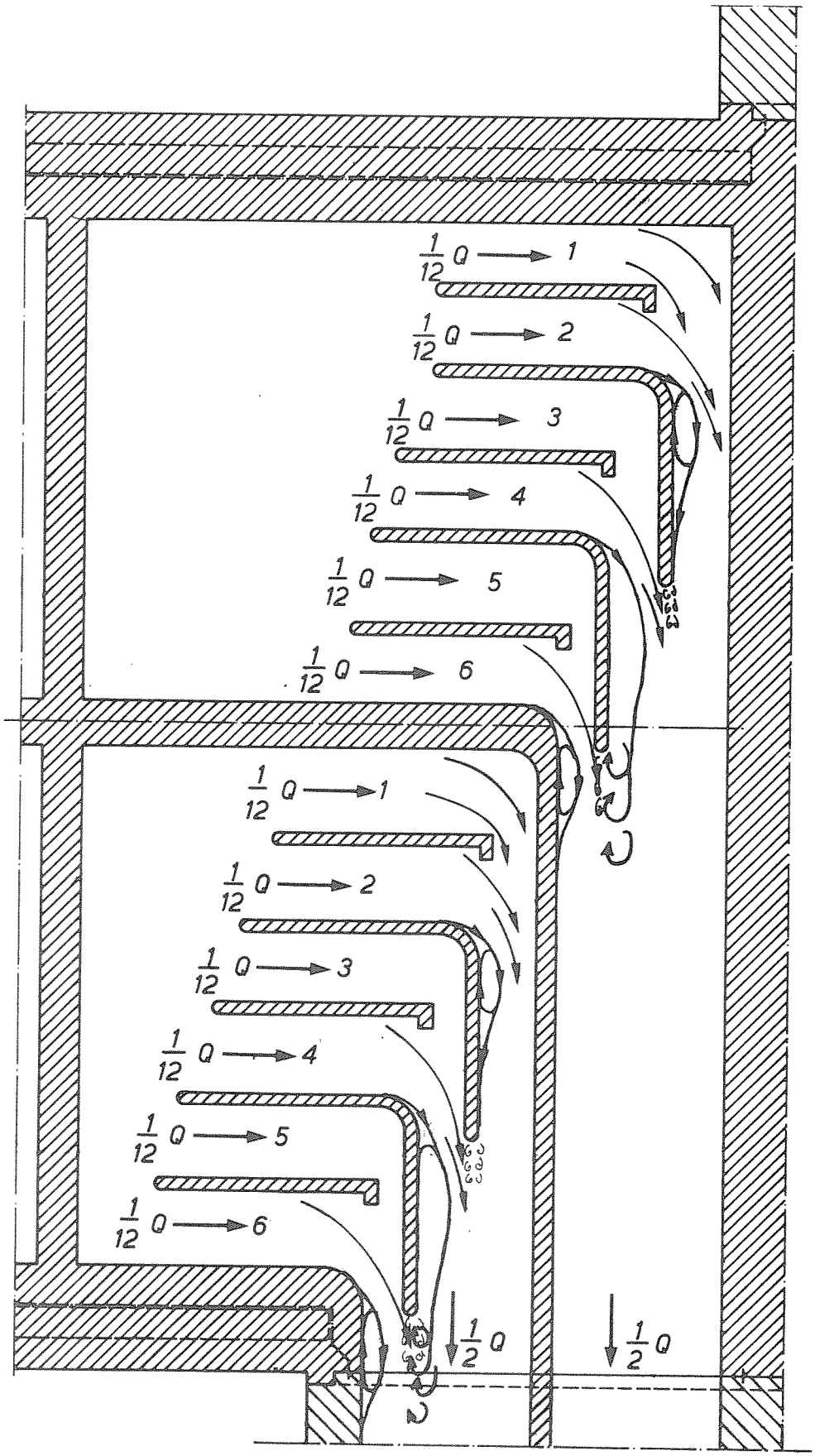


DOORSNEDE A - A



LANGSDOORSNEDE

DOORSNEDEN MEETSEKTIE		
		A3
WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM	R 1517 - II	FIG. 2



STROOMBEELD SCHOEPENBOCHT

A4

WATERLOOPKUNDIG LABORATORIUM

R 1517 – II

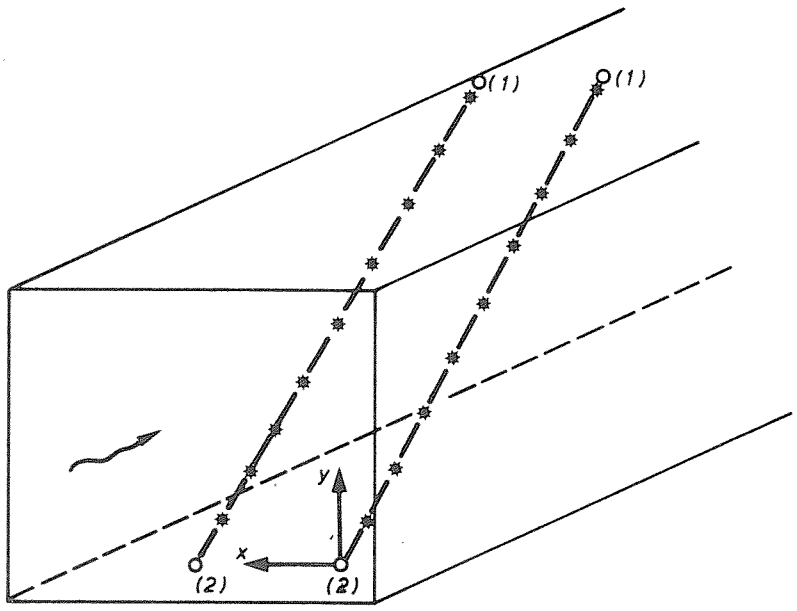
FIG. 3

BIJLAGE I Akoestische debietmeting; Philipsdamsluizen

Dr. D.M. Oldenziel, 5 juli 1979.

Situatie

In de riolen voor het ledigen en vullen van de schutkolk worden akoestische debietmeters geplaatst waarmee het uitwissel/nivelleervolume moet worden bepaald. Omdat de geometrie aan weerskanten van de meetsektie ingewikkeld is en de stroming van richting verandert, mag worden verwacht dat het stroomsnelheidsprofiel afhankelijk van de stroomrichting zal zijn.
Verder treden er tengevolge van het toe- en afnemen van het debiet versnellingen/vertraging van de stroomsnelheid op. Deze versnellingen/vertragingen zijn echter gering (orde 10^{-2} ms^{-2}), zodat het stroomsnelheidsprofiel onafhankelijk hiervan mag worden verondersteld. (Dit is nog een kwestie van gevoel; dit feit is niet kwantitatief afgeschat!)
Voor de situatie zie figuur 1.



Figuur 1: Situering van de meetopstelling

Meetprincipe

Het uitwisselvolume, respektievelijk nivelleervolume, wordt in principe bepaald door:

$$
\begin{aligned}
V &= \int Q.dt \\
&= \iint v.dO.dt \\
&= \iiint v(x,y)dx\ dy\ dt \\
&= \iint \left[\int v(x,y)\ dy\right]\ dx\ dt
\end{aligned}
\qquad (1)
$$

waarin: O : oppervlak dwarsdoorsnede riool

Q : debiet

t : tijd

x : ordinaat in breedterichting riool

y : ordinaat in hoogterichting riool

V : volume

v : stroomsnelheid langs as riool

De uitdrukking tussen de teksthaken wordt door de debietmeter bepaald. Wanneer een aantal debietmeters geplaatst wordt kan het volume afgeleid worden uit:

$$V = \int \frac{\Delta x}{n} \sum_{i=1}^{n} \left[\int v_i(y)dy\right]\ dt \qquad (2)$$

waarin: Δx: h.o.h. afstand van de meetlijnen

n : aantal meetlijnen

Met behulp van de akoestische debietmeter kan de gemiddelde watersnelheid langs de akoestische bundel worden bepaald door de reciproke waarde van de looptijd vanaf transducer 1 naar transducer 2 te meten.

Deze wordt gegeven door:

$$\frac{1}{t_1} = \frac{c + v'}{L} \qquad (3)$$

waarin: L : lengte meetlijn

c : voortplantingssnelheid van geluid in water

v': snelheidskomponent langs meetlijn; $v' = v \cos\alpha$

De reciproke waarde van de looptijd vanaf transducer 2 naar transducer 1 wordt gegeven door:

$$\frac{1}{t_2} = \frac{c - v'}{L} \qquad (4)$$

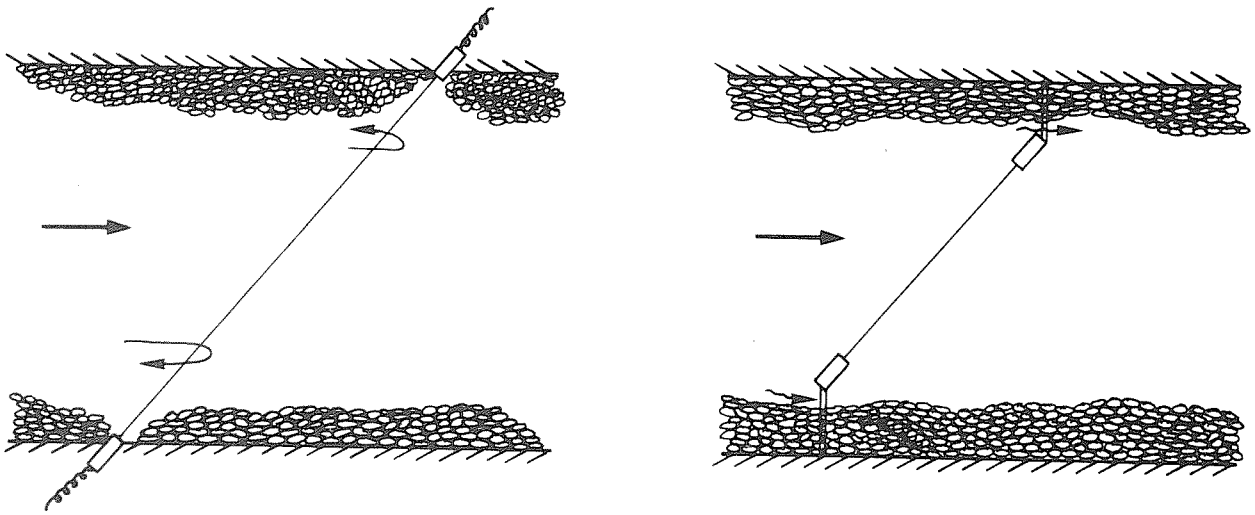
Uit vergelijkingen (3) en (4) volgt:

$$v' = \frac{L}{2}\left(\frac{1}{t_1} - \frac{1}{t_2}\right) = \frac{L}{2}\left(\frac{t_2 - t_1}{t_1 t_2}\right) \qquad (5)$$

Hieruit kan worden afgeleid dat wanneer $(1/t_1 - 1/t_2)$ elektronisch korrekt wordt gemeten de snelheid lineair over de meetlijn wordt gemiddeld. Hiermee kan dus onafhankelijk van het stroomprofiel in het meetvlak het debiet worden gemeten.

Aangroei van organismen

Wanneer de transducers in de wanden worden gemonteerd zullen ze altijd het goede debiet meten. Zie figuur 2a. Het gevaar dreigt echter dat de transducers worden overdekt en het geluid sterk wordt gedempt, zodat een goede werking na verloop van tijd niet meer is gegarandeerd.



Figuur 2: Afbeelding van de aangroei problematiek

Een alternatief is de montage van de transducers op enige afstand van de kokerwand. Het probleem is nu dat met dezelfde nauwkeurigheid als de opgegeven (of gemeten) nauwkeurigheid van de debietmeter de verandering in de doorstroomopening als funktie van de tijd bekend moet zijn. Met andere woorden: er moet steeds worden afgeschat hoeveel water achter de transducenten langs stroomt.

Konklusie

- De debietmeter middelt de snelheid lineair over de meetlijn en het debiet kan worden gemeten onafhankelijk van het snelheidsprofiel in het meetvlak.
- Let op aangroei. Beter is te konstateren dat de transducers het niet meer doen dan achteraf bij te veel zoutindringing te konstateren dat de aangroei buiten verwachting is geweest.

Bijlage II

Ervaring binnen het Waterloopkundig Laboratorium met akoestische debietmeting

Naast de beschouwing over akoestische debietmeting in de Philipsdamsluizen is toegezegd dat zou worden nagegaan welke ervaring binnen het Waterloopkundig Laboratorium aanwezig is met akoestische debietmeting.

Binnen het laboratorium is reeds enige tijd ervaring opgedaan met deze meetmethode ten behoeve van toepassing in het Getijmodel Rijnmond te Delft.
In samenwerking met de technisch-physische dienst (TPD) van TNO zijn in de jaren '77 en '78 ijkingen van deze debietmeter uitgevoerd. Deze ijking is uitgevoerd in de WL-vestiging te Wageningen.
Het probleem dat zich hierbij voordeed was het feit dat men te maken had met een open waterloop, zodat naast de stroomsnelheid tevens de waterstand bij de bepaling van het debiet diende te worden meegenomen. Er is uitgegaan van 8 meetraaien boven elkaar. Onderzocht zijn de lineariteit, de mate van onafhankelijkheid van de waterstand in het model (voor dit probleem niet van belang) en de gevoeligheid voor ongelijkmatige aanstroming. Het bleek daarbij dat, ondanks de aanwezigheid van een zekere afhankelijkheid van de waterstand in het model, er een nauwkeurigheid kan worden bereikt die lag binnen de 2%; alleen bij een zeer lage stroomsnelheid was dit 3%.
Verder bleek, dat bij een sterke verstoring van de ideale aanstroming, bewerkstelligd door het profiel vlak voor de meter voor 50% af te sluiten, de debietafwijking binnen deze 2% bleef.

Bijlage III

Afschatting nauwkeurigheid bij ijking debietmeter

Rekenvoorbeeld opwaarts nivelleren tot 1,85 m:
Stel de kolkwaterstand komt bij het begin van de ijking overeen met het minimum peil van het lage bekken. Via het hoge bekken dat is volgepompt tot NAP +1,85 m kan nu met de kolk worden genivelleerd. Het gedeelte van NAP +1,00 m tot NAP +1,85 m zal geen diskontinuïteiten te zien geven van zowel de kolkwaterstand h(t) als het debiet Q(t) (fig. III-1), omdat de kolk hier konstante afmetingen bezit. Met behulp van de bekende kolkafmetingen en de gemeten kolkwaterstand kan nu het volume $\int^{t} Q_i dt$ worden bepaald, waaruit dan een waarde voor Q_i kan worden afgeleid.

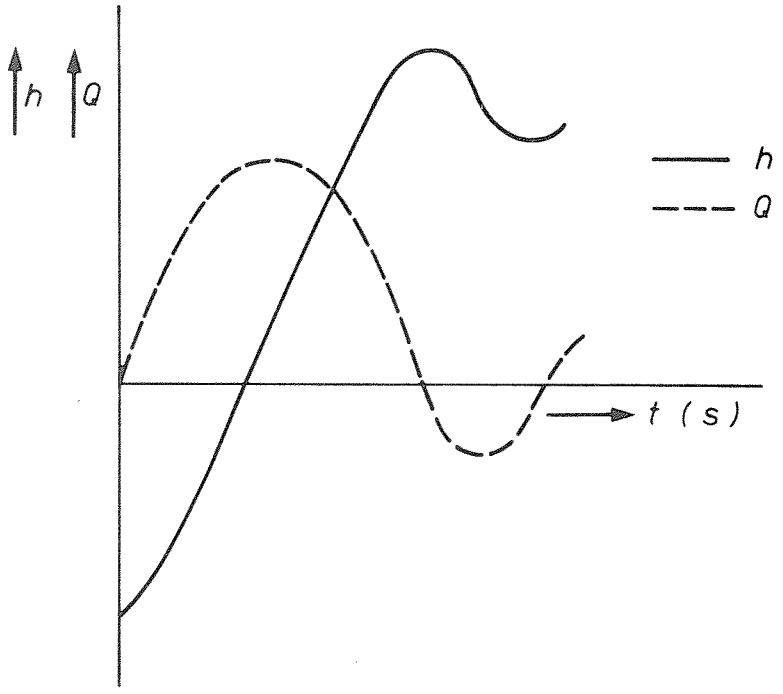


Fig. III.1 Geschetst h(t)- en Q(t)-verloop bij opwaarts nivelleren

Het volume wordt nu op de volgende manier gemeten:

$$V_I = \sum^{n} Q_i dt \qquad (1)$$

waarin: Q_i = debiet op tijdstip t_i

dt = bemonsteringstijd debietmeter

Daarnaast kan in de kolk eveneens een volumetoename worden afgeleid:

$$V_{II} = L * B * (h_2-h_1) \qquad (2)$$

waarin: L = kolklengte
B = kolkbreedte
h_2-h_1 = waterstandsverschil

Uit gelijkstellen van (1) en (2) kan dan een gemiddelde waarde voor Q worden bepaald, maar tevens hieruit een indruk worden verkregen van de nauwkeurigheid die kan worden bereikt.

$$Q_{gem} = \frac{V_{II}}{n\ dt} \qquad (3)$$

Nauwkeurigheidsbeschouwing:
Voor het waterstandsverschil (h_2-h_1) geldt dat de waterstand kan worden gemeten met een maximale toevallige fout van Δh.
De totale maximale toevallige fout in het waterstandsverschil wordt dan:

$$\Delta(h_2-h_1) = \Delta h_1 + \Delta h_2 \qquad (4)$$

Het is daarbij gebruikelijk om uit te gaan van de gemiddelde kwadratische fout:

$$|\Delta\ (h_2-h_1)| = \sqrt{\Delta h_1^{\,2} + \Delta h_2^{\,2}} \qquad (5)$$

Voor de relatieve fout volgt hieruit:

$$|f_{(h_2-h_1)}| = \frac{\sqrt{\Delta h_1^{\,2} + \Delta h_2^{\,2}}}{h_2-h_1} \qquad (6)$$

Voor het volume V_{II} geldt nu verder dat de lengte L en breedte B gemeten kunnen worden met een maximale toevallige fout van ΔL respektievelijk ΔB.
De fout in V_{II} wordt dan:

$$\Delta V_{II} = \frac{\partial V_{II}}{\partial L} * \Delta L + \frac{\partial V_{II}}{\partial B} * \Delta B + \frac{\partial V_{II}}{\partial (h_2-h_1)} * \Delta(h_2-h_1) \qquad (7)$$

Hieruit volgt:

$$\Delta V_{II} = B(h_2-h_1)\ \Delta L + L(h_2-h_1)\ \Delta B + B\ L\ \Delta\ (h_2-h_1) \qquad (7a)$$

De relatieve fout wordt dan:

$$f_{V_{II}} = \frac{\Delta V_{II}}{V_{II}} = \frac{\Delta L}{L} + \frac{\Delta B}{B} + \frac{\Delta(h_2-h_1)}{(h_2-h_1)} \qquad (8)$$

Uitgaande van de gemiddelde kwadratische relatieve fout wordt dit:

$$|f_{V_{II}}| = \sqrt{|f_L|^2 + |f_B|^2 + |f_{(h_2-h_1)}|^2} \qquad (9)$$

Op dezelfde wijze kan voor het gemiddelde debiet Q_{gem} de nauwkeurigheid worden bepaald uitgaande van een maximale toevallige fout Δ dt in de tijdsmeting.
Hieruit volgt:

$$|f_{Q_{gem}}| = \sqrt{|f_{V_{II}}|^2 + |f_{dt}|^2} \qquad (10)$$

Substitutie van (6) en (9) in (10) geeft tenslotte:

$$|f_{Q_{gem}}| = \sqrt{\left(\frac{\Delta L}{L}\right)^2 + \left(\frac{\Delta B}{B}\right)^2 + \left(\frac{(\Delta h_1^2+\Delta h_2^2)^{\frac{1}{2}}}{h_1-h_2}\right)^2 + \left(\frac{\Delta dt}{dt}\right)^2} \qquad (11)$$

Stel nu:

$L = 280 \text{ m}$ $\qquad$ $\Delta L = \Delta B = \pm 0{,}05 \text{ m}$

$B = 24{,}10 \text{ m}$ $\qquad$ $\Delta h_1 = \Delta h_2 = \pm 0{,}02 \text{ m}$

$h_1 = \text{NAP} + 1{,}00 \text{ m}$ $\qquad$ $\Delta dt = 0$

$h_2 = \text{NAP} + 1{,}85 \text{ m}$

dan volgt hieruit voor de nauwkeurigheid van het debiet:

$$|f_{Q_{gem}}| = \left|\frac{\Delta Q_{gem}}{Q_{gem}}\right| = \left[(2.10^{-4})^2 + (21\times10^{-4})^2 + (332{,}76\times10^{-4})^2 + 0\right]^{\frac{1}{2}} = 3{,}33\%$$

Het blijkt dat vooral de waterstandsmeting in de kolk de belangrijkste bijdrage levert aan de nauwkeurigheid waarmee het debiet kan worden bepaald.
De in het rekenvoorbeeld geschatte nauwkeurigheid van $\pm$ 0,02 m is o.a. afhankelijk van de te gebruiken meetapparatuur, meetbereik etc..
Tevens lijkt het zinnig om de mogelijkheid na te gaan van grotere vervallen, waarbij danwel het variabele kolkoppervlak in rekening dient te worden gebracht.

waterloopkundig laboratorium postbus 177 delft