

NOTA 1167

mei 1980

Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding
Wageningen

ALTERRA
Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

WERKGROEP NOORD-HOLLAND XIII

DE METHODIEK VAN DE DEBIETMETINGEN AAN INLAATDUIKDERS
IN EEN AANTAL POLDERS IN NOORD-HOLLAND

ing. H.J. Meijer

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

I N H O U D

| | Blz. |
|--|------|
| 1. INLEIDING | 1 |
| 2. BESCHOUWING VAN INLAATDUIKERS | 2 |
| 3. METINGEN IN EEN VOLSTROMENDE DUIKER | 4 |
| 3.1. Propellermethode | 4 |
| 3.2. Tracermethode | 8 |
| 4. METINGEN IN NIET-VOLSTROMENDE DUIKERS | 11 |
| 4.1. De verdunningsmethode | 11 |
| 5. ALGEMENE OPMERKINGEN | 14 |
| 6. LITERATUUR | 15 |

ALTERRA

Wageningen Universiteit & Research centre
Omgevingswetenschappen
Centrum Water & Klimaat
Team Integraal Waterbeheer

1. INLEIDING

Bij het opstellen van water- en stoffenbalansen van een polder kan met inlaatgegevens naast afvoer, neerslag, verdamping en berging een restterm worden bepaald. Deze restterm geeft, afhankelijk van de geohydrologische situatie, aanwijzing omtrent kwel of wegzijging zowel kwantitatief als kwalitatief.

In het kader van het onderzoek Noord-Holland is van een aantal polders de waterinlaat zo nauwkeurig mogelijk bepaald.

De inlaat vindt veelal plaats vanuit de boezem door middel van duikers. Bij het bepalen van de ingelaten hoeveelheid van een duiker dienen de administratieve gegevens, de tijden van openstelling en bepaalde schuifstanden te worden vertaald in een hoeveelheid water.

De duikers vertonen onderling een grote variatie in lengte, diameter en gebruik.

De met de uit de stromingsleer bekende formules gelden voor volstromende duikers met volle schuifopening. Bij de veel voorkomende gedeeltelijke opening zijn de factoren niet exact te bepalen en leveren de berekeningen slechts een globale benadering.

Het ijken van een duiker in situ is dan ook voor de nauwkeurigheid noodzakelijk.

In het volgende zal eerst een overzicht worden gegeven van bij inlaten voorkomende situaties, vervolgens een toelichting op de ontwikkelde en toegepaste meetmethoden en enkele voorbeelden over het berekenen van inlaathoeveelheden volgens de beschreven methodieken.

2. BESCHOUWING VAN INLAATDUIKERS

Een inlaatduiker bestaat uit 3 elementen: de inlaatopening met de toevoer, de verbindingsbuis en de uitmonding.

In Noord-Holland komen grote variaties in de constructie van de verschillende duikers voor. Deze kunnen betrekking hebben op de volgende begrippen:

- a. Aanwezigheid van een insteekkolck aan de inlaatzijde
- b. De oeverbescherming
- c. De oeverbegroeiing
- d. De aanwezigheid van een krooshek en de vorm en de plaats hiervan ten opzichte van de inlaatopening
- e. Het regelsysteem van de inlaatopening
- f. Het gebruikte materiaal, de vorm en de lengte van de verbinding sleiding tussen de invoer- en uitstroomkant
- g. De plaats van uitstroming ten opzichte van het wateroppervlak
- h. De plaats van uitstroming ten opzichte van de oever van de watergang
- i. Peilverschil tussen boezem- en polderpeil

Uit het voorgaande is duidelijk dat als gevolg van deze constructieverschillen voor de meeste duikers een aangepaste meetmethode moet worden gebruikt.

Als illustratie van de gebruikte termen is in de fig. 1a en 1b schematisch een duikersituatie weergegeven zoals onder andere bij duiker Purmer nr 12 voorkomt. Bij deze duiker was het mogelijk meerdere meetmethoden toe te passen zodat een vergelijking hiervan mogelijk wordt.

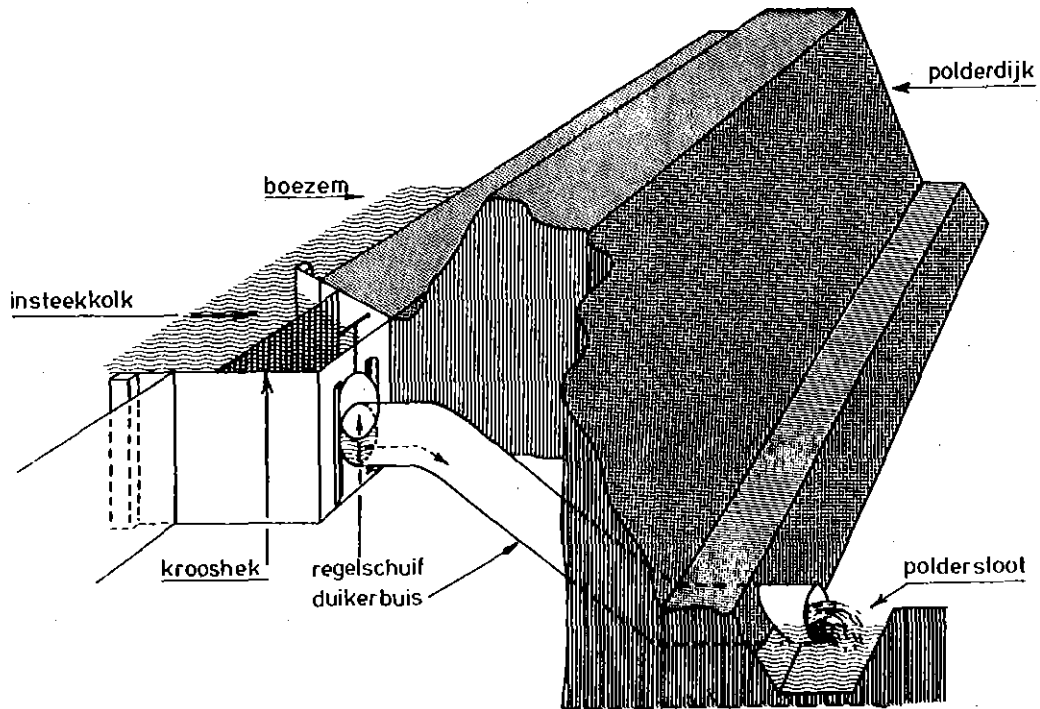


Fig. 1a. Schematisch profiel van een inlaatduiker

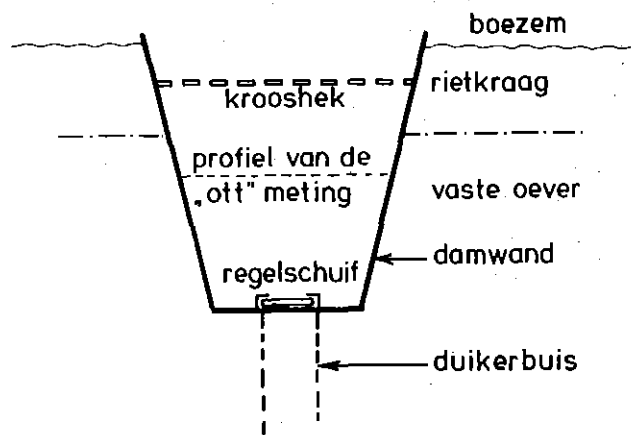


Fig. 1b. Bovenaanzicht van een inlaatduiker

3. METINGEN IN EEN VOLSTROMENDE DUIKER

Bij deze leidingen bevinden zich zowel de instroom- als de uitstroomopening onder het wateroppervlak van respectievelijk boezem- en poldersloot.

Een debiet is het produkt van stroomsnelheid en natte doorsnede van de transportweg. De laatste is door opmeten vast te stellen. Voor het meten van de stroomsnelheid zijn in Noord-Holland toegepast:

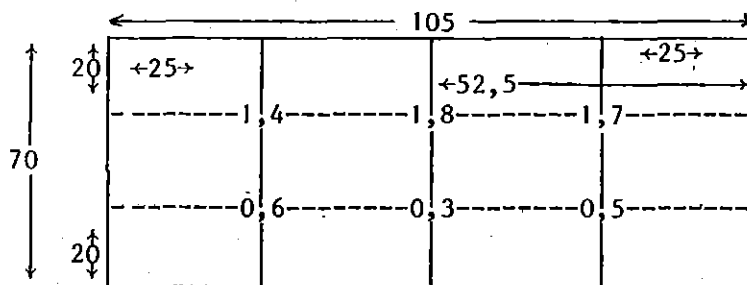
1. propellermethode
2. tracermethode

3.1. P r o p e l l e r m e t h o d e

Bij deze methode moet een doorstroomprofiel bij voorkeur voldoende ruime afmetingen hebben opdat de invloed van de grensvlakken op het totale oppervlak kan worden verwaarloosd. Omdat de stroomsnelheid niet homogeen is over het gehele profiel dient op meerdere plaatsen in dit profiel te worden gemeten. Het wordt hiervoor in een aantal vakken verdeeld. Bij een niet rechthoekige vorm kan dit problemen geven. Vervolgens wordt van elk vak de stroomsnelheid bepaald. Uit het gemiddelde hiervan volgt dan de gemiddelde stroomsnelheid. Bovenstaande verwerking van de meetresultaten levert een betrouwbaar eindresultaat. Voor een meer precieuzere berekening uit meetgegevens, vooral toegepast voor grotere stroomprofielen en met onregelmatig stroombeeld, wordt een uitgebreidere bewerking toegepast. In dit geval wordt van elke meetraai, met inachtneming van de 0-waarde die aan de randen van het meetprofiel bestaat, een profiel op schaal getekend. De met een planimeter bepaalde oppervlakken van deze profielen leveren dan het debiet van de duiker.

Als voorbeeld volgt hier de uitwerking van een propellermeting van het in fig. 2 aangegeven profiel, gelegen op ca. 0,75 m voor de instroomopening.

Vakverdeling van het doorstroomprofiel



Oppervlakte $1,05 \times 0,70 \text{ m} = 0,735 \text{ m}^2$

Fig. 2. Vlakverdeling voor propellermeting

Gemeten op de kruispunten met het kleine type OTT molen schoep nr 3 \emptyset 5 cm.

De in de figuur vermelde waarden zijn het aantal omwentelingen uit een gemiddelde van 5 metingen. Bij schoep 3 dient de omrekeningsfactor te worden toegepast, indien:

$$\begin{aligned} n < 0,68 & \quad v = 0,2080 n + 0,046 \\ n 0,68 - 2,55 & \quad v = 0,2493 n + 0,018 \\ n > 2,55 & \quad v = 0,2540 n + 0,006 \end{aligned}$$

resultierend in de volgende stroomsnelheden in m/s

| | | |
|-------|-------|-------|
| 0,367 | 0,466 | 0,441 |
| 0,171 | 0,108 | 0,15 |

gemiddeld 0,284 m/s.

Hieruit resulteert een debiet van:

$$0,735 \text{ m}^2 \times 0,284 \text{ m/s} = 0,208 \text{ m}^3/\text{s}$$

In fig. 3 is de uitgebreide methode met de meetprofielen over de raaien weergegeven. De oppervlaktebepaling resulteert in een debiet van 187 l/s.

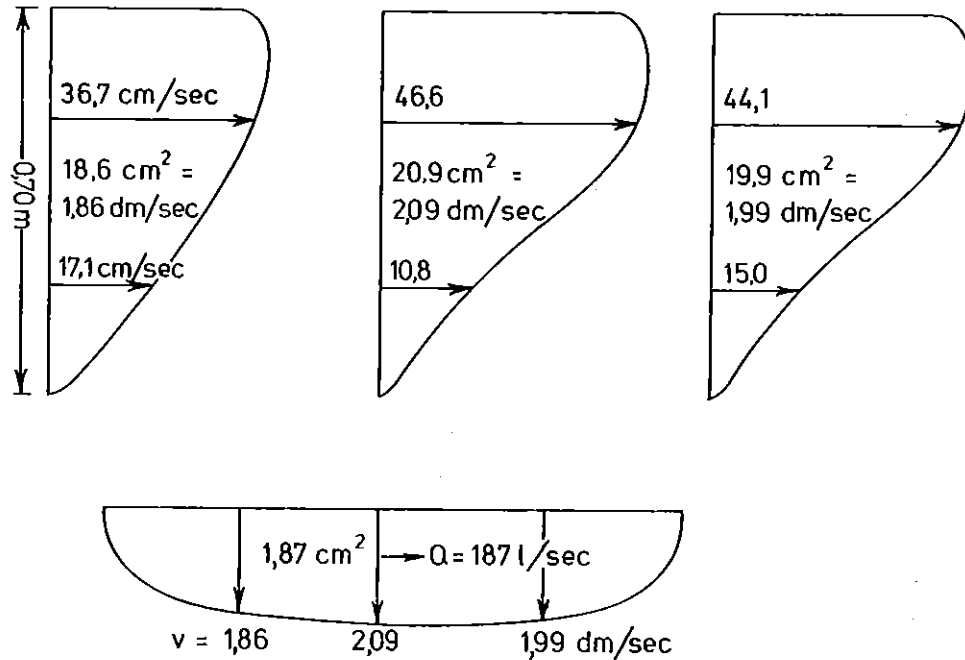


Fig. 3. Meetprofielen van propellermeting

Indien de uitstroomzijde van een duikerbuis volstromend is, zal ook hier een propellermeting een gegeven over de stroomsnelheid kunnen verstrekken. Meer nog dan in een rechthoekig profiel is de snelheidsverdeling over een buisprofiel sterk variabel. Deze variatie is afhankelijk van de lengte en vorm van de voorliggende duikerbuis, de diameter en het debiet. Een meting met een propeller met een diameter welke 75% of meer van de buisdiameter heeft, geeft een resultaat met geringe afwijking. Bedraagt de diameter van de propeller echter minder dan 75% van de diameter van de buis dan moet deze meetmethode slechts als een oriënterende indicatie worden beschouwd

Bos, ILRI Publ. 20.

Voorbeeld: De buis is volstromend. De situatie van de duiker is als voren. Diameter van de uitstroomopening van de duikerbuis is 0,30 m. Diameter van de propeller van de OTT molen 0,05 m (= < 75% van de buisdiameter).

Aantal omwentelingen van de propeller geplaatst in het centrum van de buis: 10/s schoep nr 3.

Snelheid volgens factor $v = 0,2540 n + 0,006$

Hieruit resulteert een debiet van: $0,0707 \text{ m}^2 \times 2,546 \text{ m} = 0,180 \text{ m}^3/\text{s}$.

3.1.1. Techniek

Bij de door het ICW verrichte propellermetingen is gebruik gemaakt van instrumenten van het merk OTT.

Een op een horizontale as bevestigde propeller wordt in het doorstroomprofiel op een vooraf vastgestelde plaats gebracht. Door de stroombeweging gaan de propeller en de as draaien. Op deze as zijn elektrische contacten aangebracht. Via deze contacten worden de omwentelingen van de as omgezet in impulsen. De registratie van de impulsen kan op een teller per tijdseenheid of op een meetbrug in aantal impulsen per seconde plaatsvinden. Het verkregen aantal omwentelingen vermenigvuldigd met een voor propellertype en snelheidstraject geijkte factor geeft als uitkomst de stroomsnelheid. Het is mogelijk, afhankelijk van de stroomsnelheid een aantal technische alternatieven toe te passen. Er kunnen propellers met een verschillende spoed worden gebruikt, te gebruiken voor trajecten met lage of hoge stroomsnelheden.

Een alternatief, voorkomend bij het grote type Arkansas van OTT, is de mogelijkheid een nokkenwielte te vervangen. Hierdoor kan één signaal per 1, 2, 5 of 10 omwentelingen van de propeller worden gegeven.

De signaalmelding kan geschieden door impulsenteller, een belsignaal of een meetbrug met directe aflezing. Ook hier hangt de keuze af van het te verwachten aantal en de aard van de omwentelingen. Door bewuste keuze kunnen onregelmatige stroomsnelheden tijdens de primaire waarneming reeds enigszins worden gemiddeld onder andere door een langere tijdsduur te meten of één der bovenstaande

alternatieven toe te passen. Elke gekozen variatie heeft een gelimiteerd meettraject.

Het produkt van stroomsnelheid en oppervlakte resulteert in een volume. De keuze van meetsysteem is afhankelijk van factoren zoals de stroomsnelheid of de turbulentie van het water.

Bij een lage stroomsnelheid is de energie gering en dient de wrijvingsweerstand in de meetapparatuur te overwinnen om deze in werking te kunnen stellen.

Bij een zeer hoge stroomsnelheid daarentegen ontstaat door de traagheid van de mechanische bewegende onderdelen bij snelle opeenvolgende impulsen een vervloeiing hiervan.

Toepassing van de meetbrug met directe aflezing van het aantal omwentelingen per seconde kan hier uitkomst geven, mede door de mogelijkheid voor het kiezen uit 3 schaalbereiken over 0-60 omw/s.

3.2. Tracermethode

Met het water verplaatsen zich ook de daarin aanwezige stoffen. Als deze stoffen eigenschappen bezitten die afwijken van die van het water kunnen zij worden waargenomen. Door nu tijdens continue stroming van water, zoals bij metingen aan inlaatduikers voorkomt, deze vreemde stoffen gecontroleerd toe te voegen, kan uit het meten van de verplaatsingstijd van deze stoffen over de lengte van de duiker ook die van het water worden bepaald.

De voor deze methode te gebruiken stoffen moeten visueel of in oplossing waarneembaar zijn. Voor visuele waarneming kunnen kleurstoffen zoals kaliumpermanganaat en uranine of fijn verdeelde vaste stoffen zoals papiersnippers worden gebruikt.

De op te lossen stoffen worden zodanig gekozen dat ze waarneembaar zijn door bijvoorbeeld het geleidingsvermogen van het water te veranderen.

Hoewel door ons in vergelijking met de propellermethode met tracers goede resultaten zijn verkregen wordt de tracermethode als minder nauwkeurig beschouwd en zal pas in tweede instantie worden toegepast (WARMERDAM, 1974). Bij visuele waarneming kan het moment van in- en uittreden van het gebruikte middel in en uit de duikerbuis,

als deze zich onder water bevindt, niet exact worden vastgesteld. In modelproeven is gebleken dat in dit geval tussen het moment van verlaten van de buis en het aan de oppervlakte zichtbaar worden van kleurstof een tijd van 3 tot 6 seconden kan verlopen. Bij korte duikers, waarin de verblijfstijd van een kleurstofinjectie van korte duur is, is deze tijd, door turbulentie en troebeling niet vast te stellen en als zodanig een niet te accepteren fout. De methode is in deze situatie niet aan te bevelen.

Indien de uitmonding van de duikerbuis zich gedeeltelijk of geheel boven water bevindt en de buis wel tot het einde volstromend is, dan is deze kleurstofinjectie toepasbaar. Het is goed mogelijk op eenvoudige wijze de injectie vlak voor de instroomopening te brengen.

Het gebruik van een zoutoplossing als tracer is bij volstromende duikers doeltreffender doch vereist technische apparatuur. Direct voor en achter de duikerbuis dient dan een elektrode te worden aangebracht. Deze elektroden worden elk aangesloten op een weerstandsmeter die de veranderingen in het geleidingsvermogen kan aangeven. Als in plaats van een kleurstof een oplossing van een met het geleidingsvermogen veranderende stof, bijvoorbeeld pekkel wordt gebruikt, zal het passeren van deze oplossing bij de elektroden door uitslag van de meters zijn waar te nemen. Uit het tijdsverschil tussen de reactie van deze meters en de lengte van de duikers is de stroomsnelheid van het water in de duiker te bepalen.

Om een meetbaar effect door weerstandsverlaging, vooral aan de uitstroomzijde, te verkrijgen dient de concentratie van de injectiepekkel hoog te zijn. Het toedienen vooral bij grote debieten moet in een zeer korte tijd gebeuren.

Het injecteren van 5 liter pekkel vraagt ca. 1 seconde. Bij een debiet van 200 liter per seconde betekent dit een 40-voudige verdunning. Uit veldmetingen is gebleken dat bij een duikerlengte van 50 m een pekkelwolk bij de uitmonding gedurende 5 seconden is waar te nemen, hetgeen nogmaals een 5-voudige verdunning betekent. In de wolk is de concentratie niet homogeen doch verloopt met aan en aflopende concentratie rondom een top. Voor het beoordelen van het moment van de juiste concentratie is ervaring vereist.

Voorbeeld: In de volgende berekening is een opbrengstbepaling met toepassing van de tracermethode vermeld.

Kleurstof

Lengte van de duikerbuis 21,20 m, diameter 0,30 m en oppervlakte doorsnee $0,0707 \text{ m}^2$.

Aangenomen wordt dat ook in de bochten de buis dezelfde vorm heeft. Inhoud is dan $1,5 \text{ m}^3$.

De in de instroomopening geïnjecteerde uranine kleurstof is met een intense kleuring in de uitstroomopening na 6 seconden zichtbaar. Debiet van de duiker

$$\frac{1,5 \text{ m}^3}{6} = 0,250 \text{ m}^3/\text{s} = 250 \text{ l/s}.$$

Pekel

Wordt in plaats van kleurstof een pekelinjectie toegepast in dezelfde duiker, dan is het tijdsverschil van reacties tussen de meetbruggen die zijn verbonden met de electroden eveneens 6 seconden. Deze electroden zijn direct voor en achter de openingen van de duikerbuis geplaatst. Het debiet is gelijk aan de bepaling met kleurstof.

4. METINGEN IN NIET-VOLSTROMENDE DUIKERS

In een niet volstromende inlaatduiker varieert het natte profiel, als gevolg van hellingen, vernauwingen of materiaalverschillen, zeer sterk over de totale lengte. Deze voor de berekening van het debiet noodzakelijke factor is niet vast te stellen. Het meten van de stroomsnelheid in een dergelijke duiker heeft dan ook geen zin. Ontbreekt ook de mogelijkheid een propellermeting voor de ingang van de duikerbuis te doen of voor het volumetrisch vaststellen van de afvoer, dan kan de verdunningsmethode worden toegepast.

4.1. D e v e r d u n n i n g s m e t h o d e

Het principe van de verdunningsmethode berust op het gecontroleerd toevoegen van een bekende stof aan een onbekende hoeveelheid vloeistof om daarna aan de hand van de concentratie van de stof in het mengsel het totaal-volume te berekenen (WARMERDAM, 1974).

De uitvoering van de methode is als volgt. Ter oriëntatie van het stromingspatroon wordt eerst bovenstrooms, vlak voor de duikermond, een hoeveelheid geconcentreerde kleurstof, bijvoorbeeld een uranine-oplossing ingegoten. Bij de uitstroomkant van de duiker wordt geobserveerd of een grondige menging van de toegevoegde stof aan het instromende boezemwater plaats vindt en waar deze menging zich bevindt.

Hierna wordt aan het instromende boezemwater (Q) bij de inlaatopening een nauwkeurig te meten hoeveelheid zoutoplossing (q) van een bekende concentratie gedurende enige tijd continu toegevoegd.

De geleidbaarheid (a) van het boezemwater verandert hierdoor tot bij de uitstroomopening, (b). Deze wordt dan gemeten op de van tevoren bepaalde plaats van de ideale menging.

Na meting van deze waarde moet deze verdunning worden gereconstrueerd. Hierbij wordt een kleine hoeveelheid (x , 1 à 2 cc) zoutoplossing met zoveel (y cc) boezemwater verdund tot het mengsel weer geleidbaarheid b heeft.

Volgens de vergelijking: $Q = q \cdot \frac{y}{x}$ cc/s is het debiet te berekenen. Deze methode wordt onder andere toegepast voor debietmetingen

in waterlopen met lagere afvoeren en een onregelmatig profiel, een situatie die overeenkomt met een onvolledig gevulde duikerbuis.

4.1.1. Techniek van de methode

De zoutoplossing wordt voor de duikermond toegevoegd in een constante stroom uit een tank of ton met een Mariotte systeem of een doseerkraan. Bij het toedienen van een kleine dosis over een tijd van enkele minuten kan de hoeveelheid bepaald worden met maatcilinder en stopwatch. Deze wijze van meting veroorzaakt echter een onderbreking in de continue toevoeging hetgeen bij de waarneming aan de uitlaatkant van de duiker zeer storend werkt. Bij de metingen in Noord-Holland is de methode toegepast waarbij de Mariotte fles met pekkel (30 kg) op een snelweger wordt geplaatst waarna de gewichtsvermindering per tijdseenheid kan worden bepaald. Uiteraard moet een correctie naar volume worden toegepast.

Om een meetbare verhoging van het vrij hoge geleidingsvermogen van het boezemwater te verkrijgen dient een grote dosis sterk geconcentreerde pekkel te worden toegevoegd. Het weegvermogen van de schaal, de hanteerbaarheid van de fles en de grote dosis werken hierbij als beperkende factoren en noodzaken tot snel werken.

De plaats van de injectie is belangrijk en moet op die plaats voor de instroomopening geschieden waar de directe stroming inwaarts voert. Verlies van injectievloeistof in draaikolken voor de duiker wordt hiermee voorkomen. Omdat door windinvloed de pekkel ongunstig kan worden verspreid en omdat vele duikeropeningen diep liggen moeten slangen aanwezig zijn om de juiste plaats van injectie, vlak boven het wateroppervlak te bereiken.

Tijdens een meting van een grote duiker met meerdere schuifstanden kunnen door sterke stroming in de monding van de duiker grote veranderingen in de toestroming van het water optreden. Deze veranderingen door verplaatsing van slib- of vuilafzettingen kunnen geleidelijk of plotseling plaatsvinden naarmate de stroomsnelheid toeneemt. Door aanvoer van water uit grotere diepte van de boezem verandert ook de temperatuur van het water. Omdat het geleidingsvermogen wordt beïnvloed door zowel de temperatuur als de concentratie van het water moeten deze factoren steeds onder de aandacht blijven.

Bij de ijking van de verdunningsgraad dient pekkel en boezemwater van dezelfde samenstelling en temperatuur als tijdens de meting te worden gebruikt. Een ijkmeting direct aansluitend aan de debietmeting verdient de voorkeur mits de situatie ter plaatse en de weersgesteldheid hiervoor gunstig zijn. Als alternatief kan echter met een pekkelmonster en een hoeveelheid boezemwater in het laboratorium onder meer ideale omstandigheden een ijking of eventuele herhalingen worden verricht.

Voorbeeld: In duiker Purmer nr 12 is volgens de zoutverdunningsmethode het debiet bepaald met de volgende gegevens. Verdunningsvloeistof bestaat uit 25 kg water met 4 kg zout, hetgeen resulteert in pekkel met s.g. 1,1.

Injectiehoeveelheid: 5 kg in 16 seconden = 313 g/s of 284 ml/s.

De geleidingswaarde na injectie in de uitstroomopening is 1660 μ mho. Deze waarde wordt bij ijking verkregen bij 2 ml pekkel en 1800 ml boezemwater.

Het debiet volgt hieruit van

$$284 \times \frac{1800}{2} = 255,6 \text{ l/s.}$$

5. ALGEMENE OPMERKINGEN

Bij kleine debieten met volstromende duikers die boven water uitmonden is het mogelijk met een maatcilinder of emmer en stopwatch een meting uit te voeren.

Bij grote debieten in sterk turbulent water is het contact tussen water en de electrode slecht. Het verdient dan aanbeveling de meting van het geleidingsvermogen in een watermonster te doen. Voor het kiezen van het juiste moment voor het nemen van dit monster is het kleuren van de pekkel met uranine een belangrijke steun.

6. LITERATUUR

HUMBERT, H. c.s. Ingelaten hoeveelheden boezemwater in een aantal Noordhollandse polders. ICW-nota 1980.nr 1200.

ILRI, publication 20. Discharge measurement structures 1976.

Ed. M.G. Bos.

WARMERDAM, P.M.M. Handleiding voor debietmetingen in open leidingen.

Vakgroep Hydraulica en Afvoerhydrologie, LH Wageningen 1974.