

Onderzoek naar de nauwkeurigheid van debietmetingen op basis van praktijkmetingen in leidingen

jhr. ir. H.M. de Brauw, Tauw bv
ir. H. de Man, Universiteit Utrecht
dr. ir. J. Kluck, Tauw bv
ir F.C. Boogaard, Tauw bv

Voor correspondentie: harry.debrauw@tauw.nl; h.deman@uu.nl

Trefwoorden: Debietmeting, meetnauwkeurigheid, snelheidsprofiel, deels gevulde riolen, cross correlatie

Debietmetingen helpen inzicht te verkrijgen in het functioneren van de afvalwaterketen. Het meten van nauwkeurige betrouwbare debieten blijkt in de praktijk echter lastig.

Dit artikel behandelt de resultaten van een onderzoek naar de nauwkeurigheid van de Accoustic Cross Correlation Profiler (ACCP) van NIVUS. Deze ultrasone debietmeter is bedoeld voor het meten van debieten in leidingen. Voor het onderzoek is gebruik gemaakt van de proefopstelling op de gemeentewerf te Breda, welke al eerder gebruikt is voor onderzoek naar de nauwkeurigheid van debietmetingen in deelsgepulde leidingen (de Man H., 2008). Destijds bleek dat de nauwkeurigheid van de geteste debietmeters bij gedeeltelijk gevulde leidingen zeer laag was.

Uit het nieuwe onderzoek volgt dat de ACCP, in tegenstelling tot de eerder geteste debietmeters, een grote meetnauwkeurigheid heeft onder de geteste omstandigheden.

Inleiding

Steeds meer gemeenten en waterschappen zijn bezig met het opzetten van meetnetten in het te beheren afvalwatersysteem. De combinatie van meten en modelleren geeft informatie over het functioneren van het systeem waarmee toekomstig beleid en investeringen beter bepaald kunnen worden. Debietmetingen zijn hierbij van groot belang. Het meten van nauwkeurige betrouwbare debieten blijkt in de praktijk echter lastig.

In een project voor onder meer STOWA bleek het belang van debietmetingen voor de bepaling van de hoeveelheid thermische energie die door het riool stroomt. Om de nauwkeurigheid van een potentieel geschikte debietmeter te onderzoeken heeft STOWA Tauw bv de opdracht gegeven metingen uit te voeren. De gemeente Breda heeft hiervoor een bestaande proefopstelling beschikbaar gesteld.

Dit artikel gaat in op de resultaten van een onderzoek naar de nauwkeurigheid van de Accoustic Cross Correlation Profiler (ACCP) van NIVUS. Deze ultrasone debietmeter is bedoeld voor het meten van debieten in gedeeltelijk gevulde en gevulde leidingen.

Nauwkeurigheid metingen

De nauwkeurigheid wordt in dit onderzoek uitgedrukt in precisie en betrouwbaarheid:

- De precisie(ϵ) van een meting komt tot uitdrukking in de spreiding van de meetdata, dit geeft een beeld van stabiliteit van de meting. De verhouding van de standaarddeviatie van de gemeten waarden tot het gemiddelde van de waarden is een maat voor de precisie. Hoe groter de spreiding des te lager de precisie.
- De betrouwbaarheid(β) van een meting komt tot uitdrukking in de afwijking van het gemiddelde van die meting tot de werkelijke waarde. Dit geeft een beeld van de mate van representatie van de meting, waarbij 100% volledig representatief is.

Grondslag van een debietmeting

Een debietmeting in een deels gevulde leiding bestaat gewoonlijk uit een snelheidsmeting en een waterniveaumeting. Bij een bekende buisdiameter is het daarmee mogelijk om de natte doorsnede te berekenen. Samen met een bekende stroomsnelheid resulteert hieruit het debiet. Aangezien sommige debietmeters niet de gemiddelde snelheid meten maar de snelheid op een bepaald punt is een correctiefactor nodig om de gemiddelde snelheid te berekenen. Hiervoor is dan een kalibratie-procedure ter plekke nodig. Voor de in dit onderzoek geteste ACCP is geen kalibratie nodig aangezien deze debietmeter de gemiddelde snelheid meet.

Proefopstelling

Om de nauwkeurigheid van debietmetingen te kwantificeren is gebruik gemaakt van de proefopstelling op de gemeentewerf van Breda. Deze is reeds eerder uitgebreid beschreven in rioleringswetenschap nr. 28 (Smits et al, 2007) en in rioleringswetenschap nr. 31 (de Man et al, 2008). De proefopstelling bestaat uit een vrijerval leiding van 50 meter met een diameter van 600mm. Een meetput is opgenomen voor het plaatsen van debietmeters. Het water wordt retour gepompt door een persleiding waarin een fabrieksgeijkte elektromagnetische debietmeter geplaatst is met een maximale afwijking in betrouwbaarheid van 0,5%. Deze debietmeter wordt gebruikt als referentie voor de te testen debietmeter. De pomp is instelbaar tussen ongeveer 175 en 520 m³/h. De proefopstelling wordt gevuld met grondwater wat een zekere mate van troebelheid heeft.

Debietmetingen

Het hoofddoel van dit onderzoek is het kwantificeren van de nauwkeurigheid van de NIVUS ACCP debietmeter onder verschillende omstandigheden. Hiertoe zijn 4 verschillende situaties gecreëerd die elk voor 3 verschillende debieten zijn getest (in totaal 12 proeven). Elke proef is uitgevoerd onder constante stromingscondities met een tijdsduur van 5 minuten en 6 keer per minuut een meetregistratie. Door de metingen te vergelijken met de fabrieksgeijkte debietmeter is voor elke proef de betrouwbaarheid bepaald. De precisie volgt uit de spreiding van de metingen.

De toegepaste debieten per situatie zijn circa 200, 340 en 480 m³/h. Dit komt overeen met de gemiddelde Nederlandse droog weer afvoer van respectievelijk 16.000, 27.000 en 38.000 huishoudens, of regenwaterafvoer met 20 l/s/ha van respectievelijk 3, 5 en 7 hectare. De vier verschillende situaties zijn:

1. Halfvolle buis met gestuwde uitstroming
2. Halfvolle buis met vrije uitstroming
3. Halfvolle buis met vrije uitstroming en profielverstoring
4. Volledig gevulde buis met gestuwde uitstroming en profielverstoring

De profielverstoring is toegepast om de invloed van slib op de bodem van de buis te simuleren. Hiervoor is, evenals in eerder onderzoek (de Man H., 2008), een staalplaat waarop grind is bevestigd met een hoogte van 52 mm, circa 0,5 meter bovenstrooms van de debietmeters aangebracht. De k-waarde (ruwheid) van het grind is geschat op 5 mm. Dit materiaal kan de principewerking van de apparatuur niet beïnvloeden.

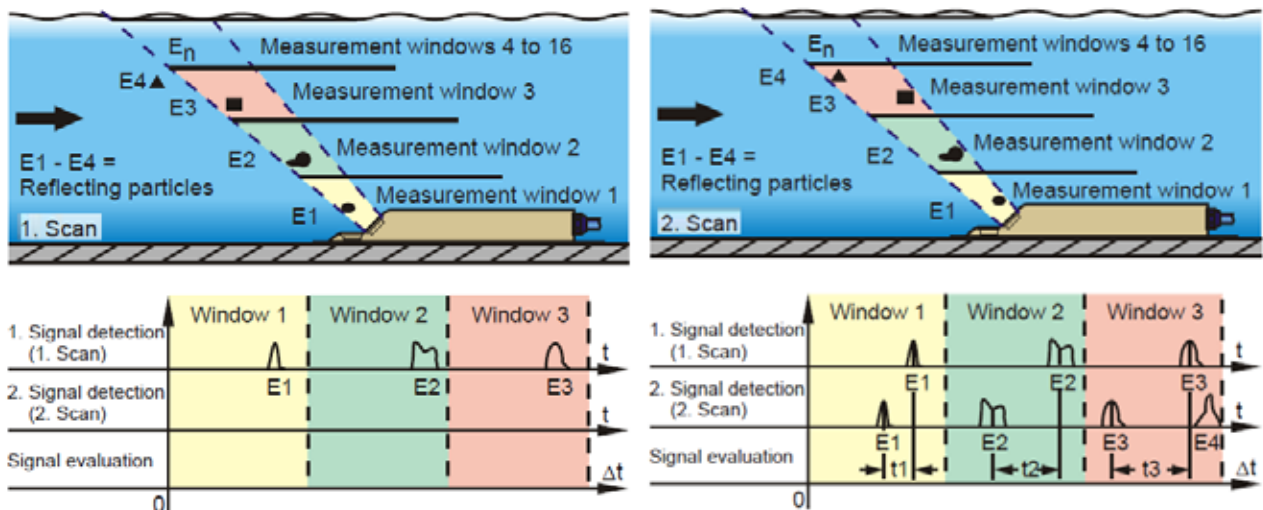


Figuur 1a
Figuur 1b en **1c**

ACCP is gemonteerd op de klemring die in het riool geplaatst wordt. Profielversterking met een hoogte van 52 mm die 0,5m bovenstrooms van de debietmeter geplaatst wordt.

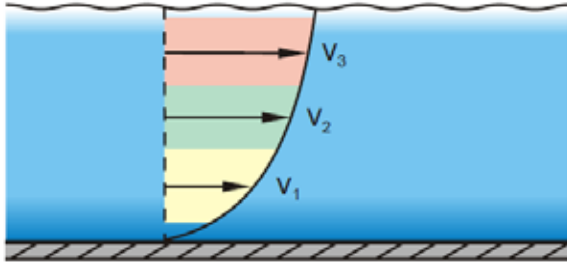
Werking NIVUS ACCP

De in dit onderzoek geteste debietmeter, de NIVUS Accoustic Cross Correlation Profiler (ACCP), werkt op basis van ultrasoon geluid. De hoogte van de waterkolom boven de in een leiding geplaatste sensor wordt gemeten door middel van hydrostatische drukmetingen en/of ultrasonische niveaumetingen. Bij de in dit artikel beschreven proeven is gebruik gemaakt van hydrostatische drukmetingen. Voor het bepalen van de stroomsnelheid wordt het stroomdoorvoerend oppervlak verdeeld in maximaal 16 meetvensters (het aantal is afhankelijk van de hoogte van de waterkolom). Van elk meetvenster wordt de stroomsnelheid bepaald door ultrasonische geluidsmetingen. Elke uitgezonden puls creëert een specifieke reflectie tegen de in het water meestromende deeltjes welke door de ACCP wordt opgevangen en onderscheiden. Door de tijdsduur van de eerste reflectie te vergelijken met de tijdsduur van de opvolgende reflectie kan, rekening houdend met de hoek van het signaal, de stroomsnelheid bepaald worden. Dit wordt geïllustreerd in figuur 2.



Figuur 2 De reflectie van meestromende deeltjes worden door de ACCP herkend en gelogd (links). Bij de volgende puls wordt de verschuiving ten opzichte van de eerste puls berekend (rechts).

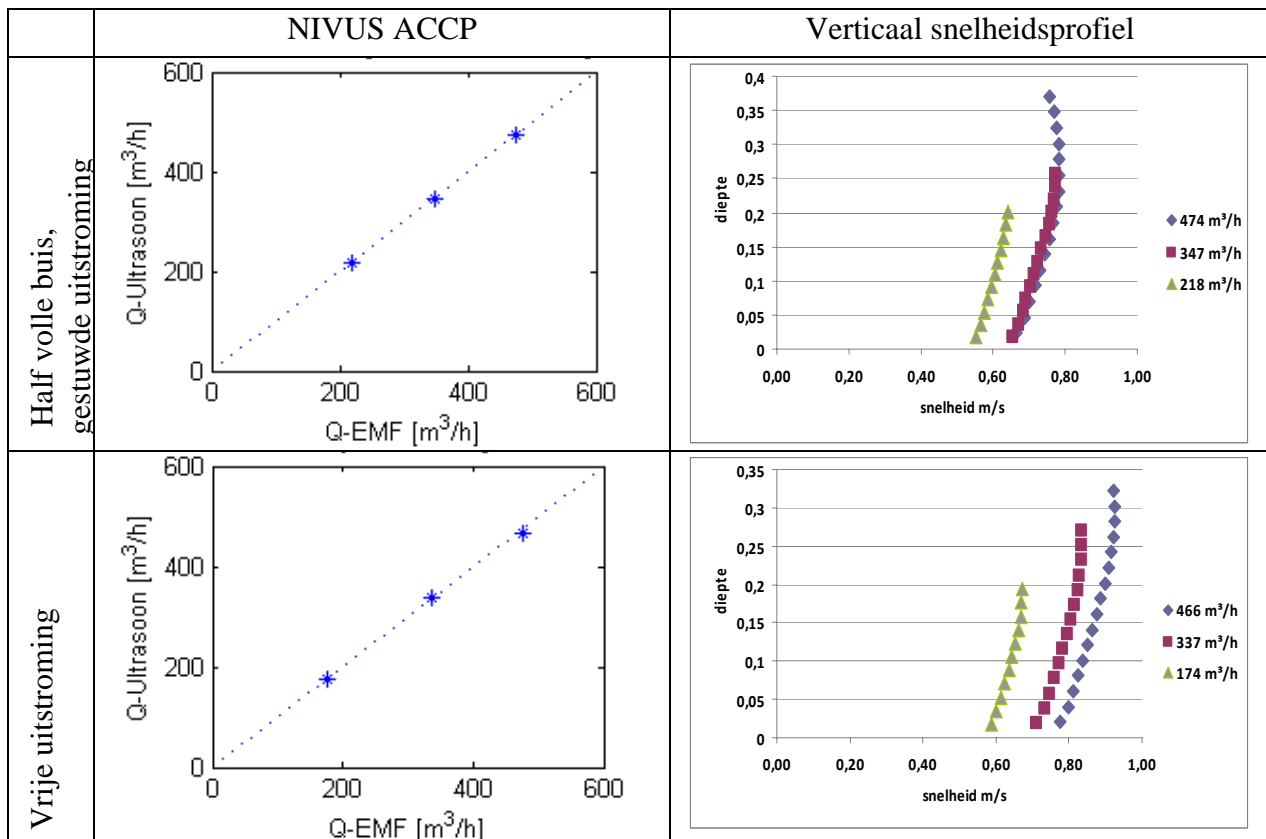
De stroomsnelheid wordt voor elk meetvenster gelogd waardoor inzicht verkregen wordt in het verticale stromingsprofiel. Op basis van hiervan wordt het debiet berekend. Aangezien deze techniek afhankelijk is van de snelheid van de deeltjes in het water, is het van belang dat enig sediment in het water aanwezig is om de meting te doen slagen.

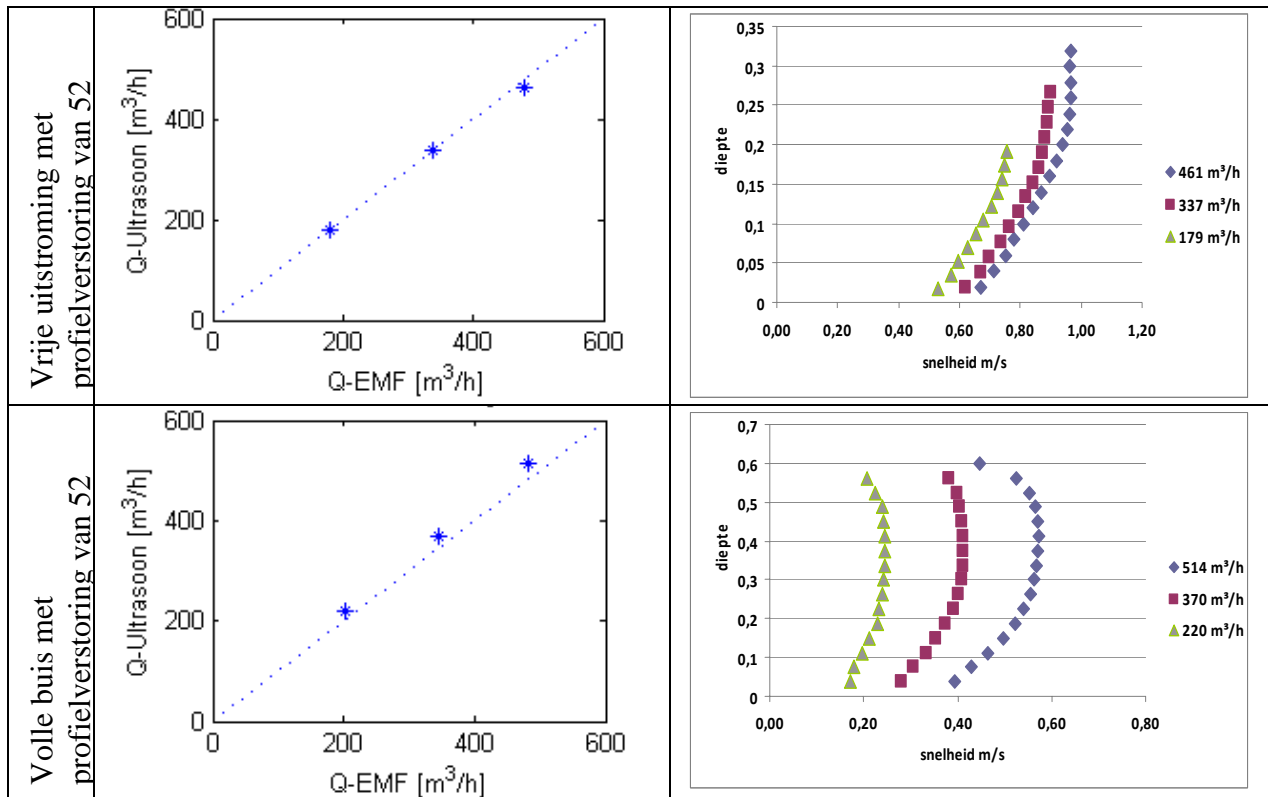


Figuur 3 Het verticale snelheidsprofiel volgt uit metingen van de stroomsnelheid in meerdere meetvensters.

Figuur 4 geeft de resultaten weer van metingen met de ACCP voor de drie verschillende debieten bij de vier verschillende situaties. De grafieken in de linker kolom van figuur 4 geven de resultaten ten opzichte van de fabrieksgeijkte EMF debietmeter in de persleiding weer. De betrouwbaarheid van de meting komt tot uitdrukking in de afwijking van de ster tot de stippellijn (de controlewaarde). Doordat de afwijking minimaal is liggen de punten vrijwel op de lijn.

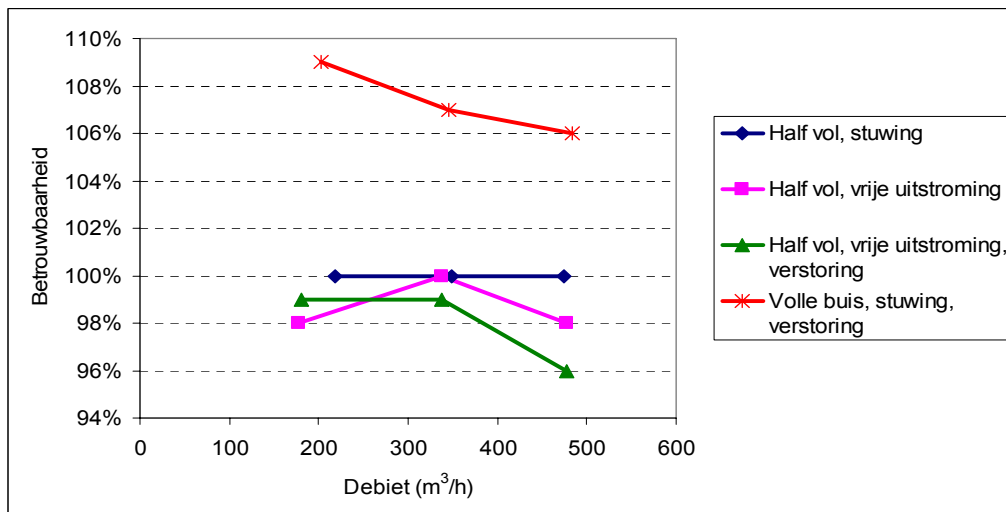
De grafieken in de rechter kolom van figuur 4 geven het verticale snelheidsprofiel weer. Hierin is ten eerste te zien dat het aantal gebruikte meetvensters afhankelijk is van de vulhoogte van de leiding. Tevens valt op dat het stromingsprofiel bij een volledig gevulde leiding een effect van wrijving langs de bovenzijde van de buis laat zien (onderste grafieken van figuur 4), zoals volgens de stromingstheorie verwacht mag worden. Een half gevulde leiding zal juist haar grootste snelheid hebben aan het wateroppervlak.





Figuur 4 De resultaten van metingen met de NIVUS ACCP geplot voor drie debieten onder vier verschillende hydraulische omstandigheden. De grafieken links geven de resultaten ten opzichte van de fabrieksgeijkte EMF debietmeter in de persleiding weer. Hierbij komt de betrouwbaarheid tot uitdrukking in de afwijking van de ster (het gemiddelde van de meting) tot de stippellijn (de controlewaarde). De grafieken rechts geven het verticale snelheidsprofiel weer.

Figuur 5 toont de percentuele afwijking in betrouwbaarheid. De proeven met de volle buis geven de grootste afwijking.



Figuur 5 De betrouwbaarheid van de metingen met de NIVUS ACCP geplot voor drie debieten onder vier verschillende hydraulische omstandigheden. Volledig betrouwbaar is 100%, meer dan 100% is een overschatting, minder dan 100% is een onderschatting.

De resultaten worden in tabel 1 gekwantificeerd. Hierin zijn naast de betrouwbaarheid (β) het peil (m) en de gemiddelde stroomsnelheid (v) opgenomen. De betrouwbaarheid blijkt voor de meeste metingen zeer goed te zijn, de maximale afwijking in betrouwbaarheid bedraagt 4% voor deels gevulde leidingen. (beta = 96%), Bij een volledig gevulde, gestuwde leiding met een verstoring van 53 mm blijkt de afwijking in betrouwbaarheid groter te zijn, namelijk maximaal 9%. (beta = 109%).

De precisie is voor alle metingen zeer goed. De spreiding is zo klein dat de waarde voor de precisie voor bijna alle proeven 1% is. Alleen bij de situatie met een volledig gevulde buis en verstoring is bij het lage debiet de spreiding groter (precisie 3%)

Tabel 1 De resultaten van metingen met de NIVUS ACCP vergeleken met de fabrieksgeijkte EMF voor 3 debieten onder vier verschillende hydraulische omstandigheden.

Meting	Omschrijving	Q-ACCP	Q-EMF	B	Peil	v_gem
		[m ³ /h]	[m ³ /h]	[%]	[m]	[m/s]
1.1	Half vol, stuwing	474	474	100%	0,37	0,72
1.2		347	348	100%	0,29	0,70
1.3		218	219	100%	0,24	0,58
2.1	Half vol, vrije uitstroming	466	477	98%	0,32	0,84
2.2		337	337	100%	0,27	0,76
2.3		174	177	98%	0,19	0,61
3.1	Half vol, vrije uitstroming, Verstoring	461	478	96%	0,32	0,84
3.2		337	338	99%	0,27	0,77
3.3		179	181	99%	0,19	0,64
4.1	Volle buis, stuwing	514	483	106%	0,60	0,51
4.2		370	345	107%	0,60	0,36
4.3		Verstoring	220	202	109%	0,60

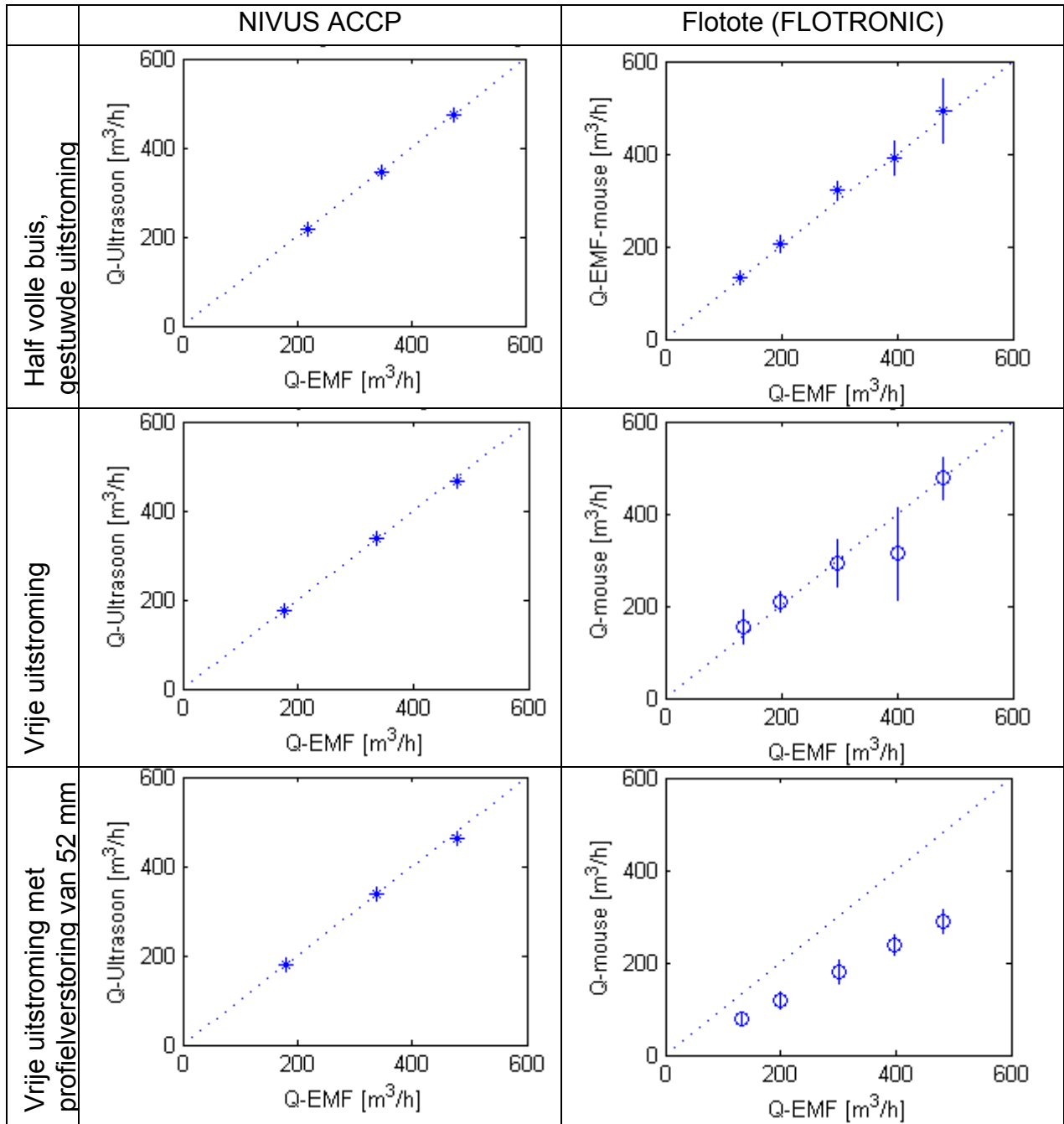
* Voor de volledig gevulde buis werd een drukhoogte groter dan de diameter (0,60 m) gemeten. Voor de bepaling van het debiet wordt dan automatisch uitgegaan van de buisdiameter als maximale hoogte.

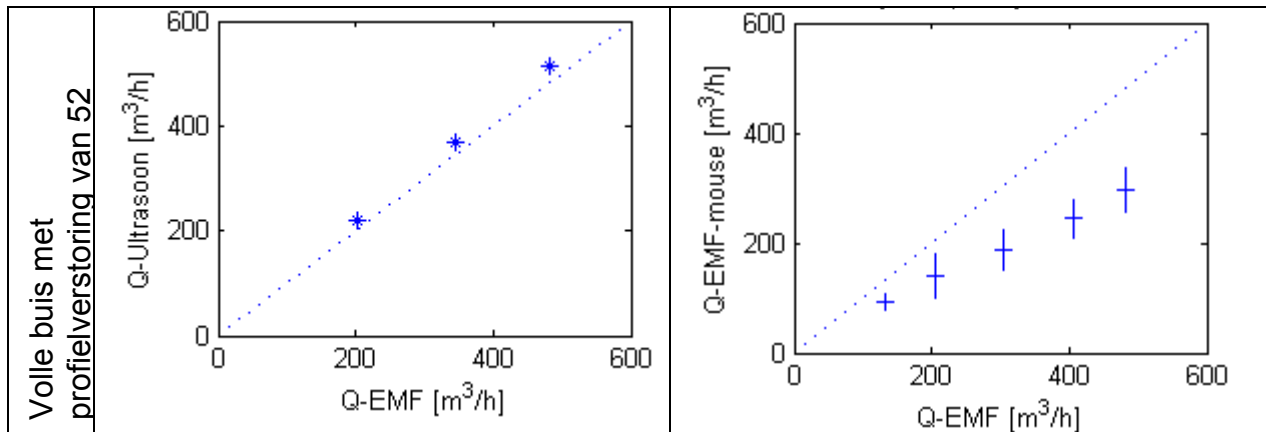
Vergelijking met eerder onderzoek

In een eerder onderzoek (de Man, 2008) is de FloTote op eenzelfde wijze getest als de ACCP in dit onderzoek. De resultaten van het onderzoek van 'de Man, 2008' zijn hier ter vergelijking opgenomen.

Het meetprincipe van de FloTote is gebaseerd op elektromagnetische puntmeting nabij de bodem. Het debiet wordt berekend op basis van de hoogtemeting, de snelheidsmeting en een correctiefactor. De correctiefactor wordt doorgaans bepaald door een in-situ kalibratie.

Figuur 6 geeft de resultaten weer van de debietmetingen met de ACCP (linker grafieken) en de FloTote (rechter grafieken). In deze grafieken is de spreiding (precisie) van de meting weergegeven als een verticale streep, terwijl de ster de gemiddelde waarde van de meting illustreert. De precisie van de ACCP metingen blijkt te klein om zichtbaar te zijn. De betrouwbaarheid komt tot uitdrukking in de afwijking van de ster tot de stippellijn (de representatieve waarde). Duidelijk is dat de ACCP op zowel precisie als betrouwbaarheid veel beter scoort.





Figuur 6 De resultaten van NIVUS ACCP (linker grafieken) vergeleken met de FloTote (rechter grafieken). De mate van spreiding (imprecisie) wordt weergegeven als een verticale streep. De betrouwbaarheid komt tot uitdrukking in de afwijking van de ster (het gemiddelde van de meting) tot de stippellijn (de representatieve waarde).

Discussie

De ACCP geeft in dit onderzoek een opmerkelijk hoge nauwkeurigheid. Dit is opvallend aangezien in de bepaling van het debiet alleen gemeten wordt over de verticaal in het midden van de buis. Het snelheidsverschil dat optreedt over de breedte wordt niet meegenomen. Uit eerder onderzoek van de Man is gebleken dat het snelheidsprofiel in de meetopstelling niet uniform over de breedte verdeeld is. Mogelijk is in het midden toevallig een goed gemiddelde gemeten. Dit zou nader onderzocht moeten worden.

Voor de bepaling van het debiet is de waterdiepte van belang. De nauwkeurigheid van deze heeft een direct verband met de foutenmarge. Bij een afwijking van 1 cm bij een diepte van 20 cm is de fout door de waterdiepten circa 5%. Zodoende is een accurate installatie van de hoogtemeting van groot belang voor het bepalen van het debiet. Dit aspect dient meegenomen te worden bij de locatiekeuze van de debietmeter.

De metingen zijn uitgevoerd bij situaties met minimaal 19 cm waterdiepte. In het riool is de afvoer regelmatig kleiner dan dat. Het zou goed zijn ook inzicht te hebben in de nauwkeurigheid bij zeer beperkte debieten en vullingen. Helaas is het niet mogelijk om in de proefopstelling met lagere waterdieptes te werken.

De proeven zijn uitgevoerd met troebel grondwater. Afvalwater in de riolering bevatten meer en grovere bestanddelen. Het is niet duidelijk of deze de nauwkeurigheid sterk beïnvloeden.

De maximale stroomsnelheid in de volledig gevulde leiding varieerde tussen 0,2 en 0,6 m/s. In de praktijk kunnen deze snelheden variëren tussen nul en enige meters per seconde. Het is interessant te onderzoeken hoe nauwkeurig de ACCP dan presteert.

Conclusie

Op basis van de hiervoor beschreven resultaten zijn de volgende conclusies getrokken:

- De NIVUS ACCP is nauwkeuriger dan eerder geteste debietmeters voor gedeeltelijk gevulde leidingen.
- Op basis van de metingen is de maximale afwijking in betrouwbaarheid van de NIVUS ACCP debietmeter voor gedeeltelijk gevulde leidingen 2%. Dit is zeer nauwkeurig voor een debietmeter die geen kalibratie nodig heeft.
- In een volledig gevulde buis is de debietmeter minder nauwkeurig. Hierbij gaf de debietmeter een overschatting van 6% tot 10%.
- De meetresultaten vertonen een grote precisie: de spreiding in de meetresultaten is zeer klein.

Aanbevelingen

Op basis van de uitgevoerde experimenten wordt het volgende aanbevolen:

- De huidige pomp van de testopstelling blijkt bij minimaal debiet alsnog de buis voor bijna de helft te vullen. Hierdoor was het niet mogelijk om het waterpeil verder te verlagen en zo metingen onder 'dwa condities' uit te voeren. Aanbevolen wordt om de meetopstelling aan te passen opdat deze test alsnog uitgevoerd kan worden.
- Er zijn geen metingen gedaan van een situatie met een volledig gevulde buis zonder profielverstoring. Hoewel een grote onnauwkeurigheid bij deze situatie niet te verwachten valt is het voor de compleetheid van het onderzoek wel aan te raden.
- Het effect van vervuiling van de sensor door slib en ander materiaal is niet onderzocht, maar het is mogelijk dat dit grote onnauwkeurigheden geeft. Daarom wordt aanbevolen om de apparatuur en de leiding regelmatig te inspecteren en schoon te maken.
- De sensor meet de snelheid in de middelste vertikaal. Dit leidt in dit geval tot een nauwkeurig gemiddelde. Onderzocht zou moeten worden of dit in andere gevallen ook zo is.
- De keuze voor een debietmeter dient op basis van meerdere criteria plaats te vinden, naast meetnauwkeurigheid zijn andere factoren als kosten, ervaring, eenvoudigheid installeren, gevoeligheid voor vervuiling, levensduur, onderhoud van belang. Deze criteria zijn in dit onderzoek niet opgenomen.

Dankwoord

De auteurs zijn Firma Eijkelkamp en NIVUS erkentelijk voor het ter beschikking stellen van het benodigde materiaal en het investeren van de nodige manuren. Het onderzoek is mogelijk gemaakt door een bijdrage van STOWA.

Referenties

De Man H., 2008

'On the applicability of discharge measuring techniques in partially filled conduits',
Afstudeerscriptie TU Delft

De Man H. et al, 2008

Onderzoek naar de nauwkeurigheid van debietmetingen in deels gevulde leidingen
Rioleringswetenschap nr.31

Smits J., Klootwijk M., Moens M., 2007

"Praktijktest debietmeters proefopstelling Breda", Rioleringswetenschap, jaargang 7, nr. 28, december 2007.