



Pieter Filius, Waterschap Velt en Vecht
Hans ten Kate, Ten Kate-Kool Partner in Watermanagement

Veldkalibratie binnen handbereik?

Met het beschikbaar komen van draagbare digitale akoestische en elektromagnetische stroomsnelheidsmeters is een nieuwe snelle manier van veldkalibratie van stuwen, gemalen en inlaten mogelijk geworden. Door veldkalibratie uit te voeren kunnen de peilregulerende kunstwerken op een kostenbesparende manier geschikt worden gemaakt als debietmeetpunt. Bij Velt en Vecht zijn in de afgelopen drie jaar op deze manier 40 objecten gekalibreerd. Hierbij kwam aan het licht dat debietbepaling door toepassing van de standaard afvoerformule voor stuwen, met name bij hoge afvoer, kan leiden tot foutieve uitkomsten.

Nog niet zo lang geleden werden stuwen, die ook functioneerden als meetkunstwerk, geijkt met behulp van een schaalmodellen of door middel van een Ott-molen¹⁾. Het op deze wijze kalibreren van stuwen en inlaten is een tijdrovende en daardoor kostbare zaak. De peilregulerende functie van deze kunstwerken sluit een nevenfunctie als meetobject niet uit. Met het beschikbaar komen van draagbare digitale akoestische en elektromagnetische stroomsnelheidsmeters is een nieuwe manier van veldkalibratie van peilregulerende kunstwerken, zoals stuwen, gemalen en inlaten, mogelijk.

Door de toenemende vraag naar afvoergegevens ontstaat de noodzaak voor het uitvoeren van debietmetingen op strategische meetpunten in het watersysteem. Nadeel van het inrichten van nieuwe debietmeetpunten is dat naast de investering (30.000-50.000 euro per locatie) het ook een uitbreiding inhoudt van taken betreffende beheer, onderhoud en communicatieverbindingen. Door gebruik te maken van de reeds aanwezige infrastructuur in de vorm van telemetrische, geautomatiseerde stuwen, gemalen en inlaten wordt op een kostenbesparende manier informatie over het watersysteem ingewonnen.

Bij een aantal controlemetingen in opdracht van Waterschap Velt en Vecht bleek dat de gebruikte standaard afvoerformules niet geheel overeenkomen met de in het veld gemeten afvoerrelatie voor het betreffende kunstwerk. Bij inlaten speelt hetzelfde probleem. Gemalen hebben dit probleem niet, doch hier spelen andere zaken die de

theoretisch berekende hoeveelheid doet afwijken van gemeten hoeveelheden (slijtage en ijking in fabriek in plaats van de veldsituatie).

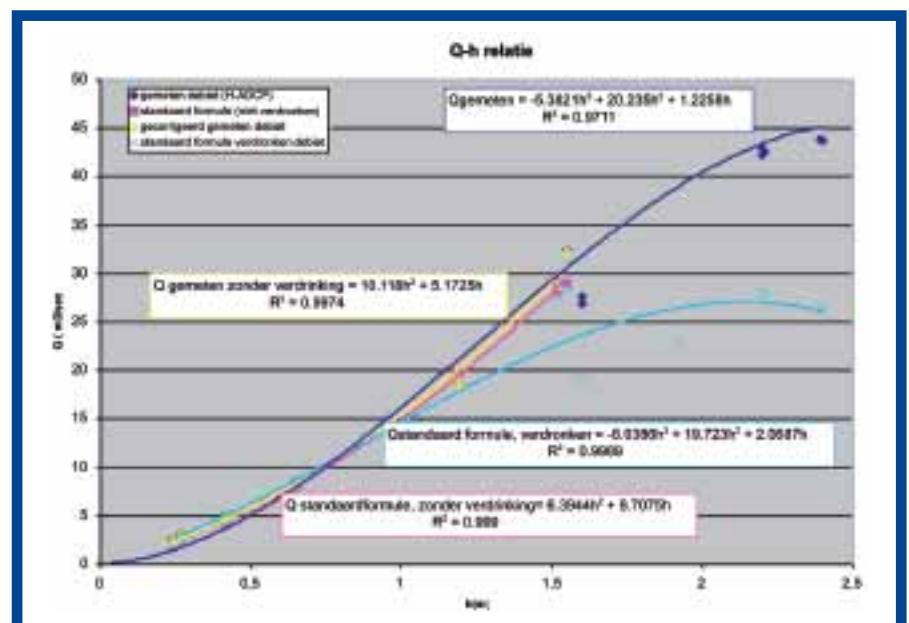
Het berekende debiet op een PLC-onderstation of in de telemetriehoofdpost is niet altijd betrouwbaar, omdat in veel gevallen gebruik wordt gemaakt van algemene (standaard) afvoerformules. Dit komt doordat de vorm van de stuwen of inlaten en de toestroom afwijken van de vorm waar de standaard formule voor geldt.

Daarnaast bestaat de noodzaak zo nauwkeurig mogelijke debietmetingen uit te voeren voor het toepassing in afvoermodellen. Dit omdat anders de uitkomsten van het afvoermodel te onbetrouwbaar zijn. Dergelijke nauwkeurige metingen zijn door toepassing van nieuwe meettechniek nu ook voor het lagere afvoerbereik mogelijk.

Uitvoering veldkalibratie

Door in het veld de relatie tussen het debiet en de overstortende straal (navolgend Q-h relatie genoemd) te bepalen, is het mogelijk van een normaal peilregelende stuw toch

Afb. 1:



een meetpunt te maken. Voorwaarde is dat de veldkalibratie onder alle mogelijke omstandigheden plaatsvinden, dus naast de normale afvoer ook bij hogere en extreme afvoer. Extrapolatie van de Q-h-relatie (die is bepaald onder normale afvoer) naar hogere afvoer is door het optreden van gestuwde afvoer door verdrinking minder betrouwbaar. Bij de laatste hoogwatergolf van afgelopen januari zijn metingen bij stuwen uitgevoerd, waaruit blijkt dat toepassing van de standaard afvoerformule niet tot een goed resultaat leidt (zie afbeelding 1: verschil tussen de berekende (licht blauwe lijn) en gemeten debiet (donker blauwe lijn)). Een bijkomend voordeel van de veldkalibratie bij hoog water is dat de invloed van verdrinking van de stuwen direct meegenomen wordt in de nieuwe afvoerrelatie.

Voor het kalibreren van stuwen zijn meerdere methoden toepasbaar beschikbaar. In de afgelopen jaren is het aantal meetprincipes niet uitgebreid, maar het aantal meetapparaten dat voor debietmetingen op de markt beschikbaar is, wel.

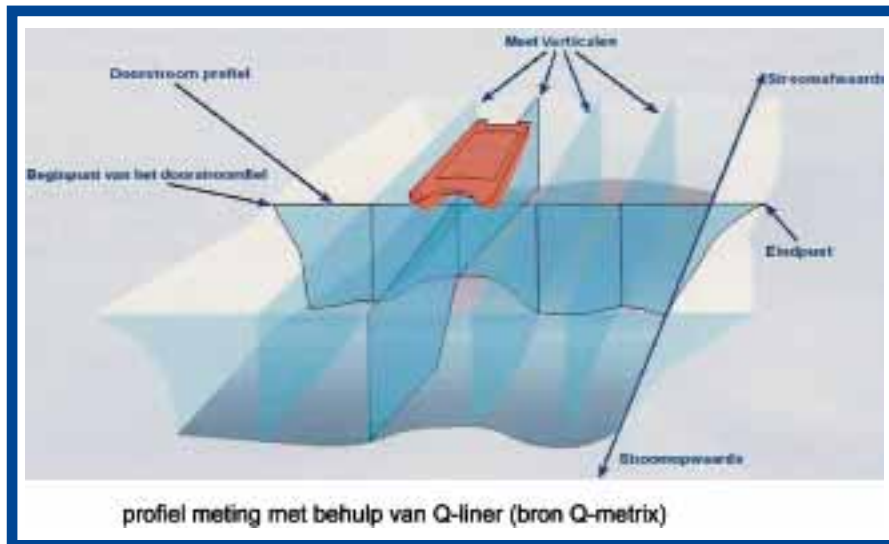
Bij de ijkingen van kunstwerken wordt hoofdzakelijk gebruik gemaakt van de standaard 'velocity area'-methode. Door de metingen meerdere keren te herhalen bij verschillende waterstanden en klepstanden wordt de relatie tussen de klep-/schuifstand, de waterpeilen en het debiet bepaald. Voorheen werd dit vooral gedaan het alom bekende molentje van Ott, waarbij men kan zien wat er gebeurt. Tegenwoordig zijn er meetapparaten op de markt waarbij alles digitaal opgeslagen en verwerkt wordt. Voor het meten van de watersnelheid en eventueel ook het profiel kunnen bij de 'velocity area'-methode drie meetprincipes ingezet²⁾: elektromagnetische stroomsnelheidsbepaling, de zogeheten bewegende bootmethode met behulp van ADCP én ultrasonoor.

De nieuwe meetprincipes zijn niet zichtbaar en voelbaar; de uitkomsten zijn puur digitaal en getalmatig, vaak gebaseerd op de hydraulische snelheidsverdeling. Met deze apparatuur kan sneller gemeten worden. De verwerking is ook minder arbeidsintensief. Op locatie is eenvoudig inzicht te verkrijgen in de passerende hoeveelheid water en de verandering hierin bij statuswijziging. Door de grotere snelheid van meten is het eenvoudiger een groter aantal metingen uit te voeren en zijn per meting de omstandigheden daardoor relatief gelijkmatiger dan voorheen met de Ott-molen. Hierdoor wordt een grotere nauwkeurigheid gerealiseerd.

Voor de in-situ meetomstandigheden geldt dat er geen extra water tussen het meetpunt en kunstwerk bijkomt of afgaat, de stroming in het water niet te turbulent is, het stroomprofiel redelijk gelijkmatig verdeeld is (dus niet meten in een bocht of bij asymmetrisch dwarsprofiel) en de inslag van luchtbellen (na een stuw) en teveel plantengroei storende factoren zijn.

Kalibratiemeting bij stuw Hardenberg

Stuw Hardenberg maakt onderdeel uit van



Afb. 2:

het watersysteem van de Overijsselse Vecht en bestaat uit drie identieke klepstuwen en een vispassage. De gegevens van de peilen en de klep worden tegenwoordig met behulp van telemetrie automatisch verzameld en opgeslagen met een frequentie van eens per 15 minuten. Het debiet werd tot voor kort met een standaardformule voor klepstuwen berekend. Het totale debiet dat het kunstwerk passeert, is de optelsom van het water dat de drie stuwkleppen en de vispassage passeert. Bij afvoerpieken is de stuw verdrongen³⁾.

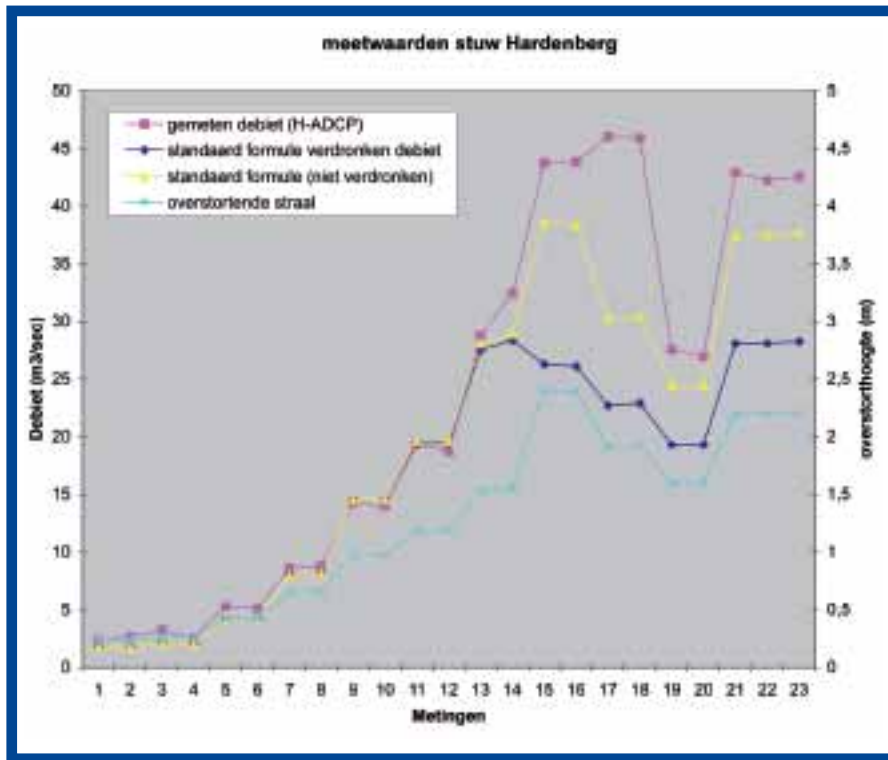
Bij Waterschap Velt en Vecht is voor de klepstuwen de standaard formule ingevoerd: $1,7 \times m \times \text{breedte stuw} \times h^{2/3}$, waarbij m de stuwconstante is (1,16), de breedte van de stuw negen meter en h de overstortende straal is (waterpeil stuwpan-d-klepstand).

De ijking van de stuw heeft op verschillende dagen plaatsgevonden met behulp van een ADCP (type Nortek - Q-liner). De debietmeting gebeurde bovenstrooms in de instroomopening van de stuw. Omdat

De stuw bij Hardenberg.

grote variatie in het bovenpeil tijdens de meting niet wenselijk is, is met de twee andere kleppen het totale debiet dat over de stuw ging en daarmee het waterpeil bovenstrooms ongeveer constant gehouden. Bij de hoogwatermetingen zijn alleen de kleppen geblokkeerd, opdat deze niet van stand veranderen tijdens de meting. Gezien de korte meetduur kan het peil tijdens de metingen kan als constant worden beschouwd. Iedere meting is minimaal twee keer bij dezelfde klepstand uitgevoerd.

Meting van het debiet van een locatie gebeurt door middel van meerdere metingen in een dwarsprofiel. De Q-liner meet nauwkeurig de stroomsnelheid en het diepteprofiel van een meetverticaal. Hieruit wordt per verticaal de debietwaarde berekend. Door de waarden van de meetverticalen bij elkaar op te tellen wordt het debiet van het dwarsprofiel berekend (zie ook afbeelding 2). De Q-liner maakt gebruik van de dopplertechniek. Met behulp van software wordt het debiet berekend. Het systeem bestaat uit een doppler stromings-



Afb. 3:

meter, een stabiele boot, een PDA, een radio-verbinding en bijbehorende software.

Door een dwarsprofiel in gelijkwaardige verticalen te verdelen, ontstaat een goed inzicht in de verdeling van de stroomsnelheid in het profiel. De gehele meting is achteraf na te kijken. Van iedere meetverticaal wordt de snelheid en diepte bepaald. Alle metingen worden digitaal opgeslagen en verwerkt.

Het debiet is bij zeven gelijkwaardige klepstanden gemeten. Tijdens de eerste meetdag varieerde het peil van het bovenpand tussen 6,66 en 6,73 meter ten opzichte van N.A.P. Tijdens de metingen vond bij de twee laagste stuwstanden beperkte verdrinking plaats. Om een beter inzicht in het verloop van de afvoerrelatie te hebben is op 20 januari, 14 en 16 februari en 2 maart 2007 bij een verdrinkingspercentage van respectievelijk 95, 85, 80 en 93 procent gemeten. Afbeelding 3 toont de resultaten.

Bij de stuw worden de voor de berekening gebruikte waterpeilen beneden- en bovenstrooms gemeten, op ruime afstand van de stuw. Middels de kleinste kwadratenmethode zijn regressielijnen berekend voor de gemeten en berekende waarden. Zonder verdrinking is dit een tweedegraads vergelijking en met verdrinking een derdegraads. Afbeelding 1 geeft de regressielijnen weer van de Q-h-relaties op basis van de meetresultaten van de stuw. Tevens zijn hierin de berekende waarden (met behulp van de standaardformule) opgenomen om de verschillen tussen de standaard formule en de gemeten waarden inzichtelijk te maken.

In de grafieken, tot een overstorthoogte van 1,5 meter (zonder verdrinking), komen de huidige formule (paars) en de meetresultaten (blauw) redelijk goed overeen. Bij verdrinking

wijkt de praktijkmeting duidelijk af van de berekende hoeveelheid passerend water. Procentueel bedraagt de afwijking onder niet verdrongen toestand vijf tot 25 procent. Bij verdrinking is de theoretische berekening aanzienlijk kleiner dan wat gemeten is. Extrapolatie van de meetgegevens naar grotere afvoer is met de standaardformule niet mogelijk.

De nieuwe afvoerformule voor de stuw is: $Q = -5,3821h^{^3} + 20,235h^{^2} + 1,2258h$, waarbij Q de afvoer is (in kubieke meter per seconde) en h het peil van het stuwpand-klepstand (in meter). Hierbij is $R^2 0,9711$.

In perioden met grote afvoerpieken vindt regelmatig afvoer onder verdrongen toestand plaats. Bij zo'n situatie dienen op een standaard berekende afvoer correcties (reductiefactor) uitgevoerd te worden op basis van de verdrinkingsgraad en de klepstand. Bij piekafvoeren is bij verschillende verdrinkingsgraden gemeten, met een maximum van ongeveer 95 procent. Verdrinking heeft een remmende werking, maar in afbeelding 1 is te zien dat juist meer afvoer gemeten is dan dat volgens de theoretisch standaardformule wordt berekend bij een dergelijke mate van verdrinking. De reductie is duidelijk minder dan in theorie berekend wordt. In de nieuwe derdegraads polynoomformule is verdrinking inbegrepen.

Conclusies

Voordelen van in-situ kalibratie

- Het kunstwerk wordt bemeten zoals het in de praktijk functioneert. Alle plaats-specifieke eigenaardigheden worden meegenomen, bijvoorbeeld bij de onjuiste plaatsing van een waterstandsmeting (staan vaak te dicht op het kunstwerk) of bij afwijkingen in de gebruikte constanten

voor de aan- en afvoerleiding, alsook het door lokale omstandigheden anders functioneren van het kunstwerk;

- Het geschikt maken van een bestaande stuw door veldkalibratie is veel goedkoper dan het inrichten van een nieuw permanent meetpunt. Investerings zijn niet nodig en extra beheer en onderhoud evenmin;
- Grote afwijkingen in het functioneren van kunstwerken worden opgemerkt. Er zijn kunstwerken die anders gedimensioneerd zijn dan in eerste instantie is aangegeven;
- Bij automatisering van de kunstwerken wordt in de telemetrie vaak een standaard formule ingevoerd. Deze komt niet altijd overeen met de wijze waarop het kunstwerk functioneert;
- Voordeel van de veldjking met een H-ADCP of een elektromagnetische stroomsnelheidsmeter is dat ze redelijk snel uitgevoerd kunnen worden. Afhankelijk van het kunstwerk en de beschikbaarheid van water kost het ijkken van een locatie een halve tot een hele dag aan meetwerk en nog één à twee dagen aan het uitwerken en rapporteren van de meetgegevens. Dit biedt dus grote voordelen voor het bepalen van de Q-h onder de meest voorkomende afvoersituatie boven het maken van een schaalmodel van het betreffende kunstwerk of het inrichten van een geheel nieuw debietmeetpunt.

Nadeel van in-situ kalibratie

- In eerste instantie wordt alleen het onderste deel van de Q-h-relatie, dat onder normale omstandigheden water afvoert, Voor de afvoer onder extreme omstandigheden moeten zich de juiste omstandigheden voordoen. Extrapolatie van de gegevens is niet altijd even betrouwbaar;
- Met hoogwatergolven en verandering van het profiel door sedimentatie of begroeiing rond het kunstwerk wordt geen rekening gehouden.

LITERATUUR

- 1) STOWA (1994). Handboek debietmetingen in open waterlopen. Rapport 94-13.
- 2) Voet M., P. Cabus en T. van Hoestenbergh (2004). Ultrasonore snelheidsensoren bij het meten van debieten in onbevaarbare waterlopen. Water nr. 16, pag. 2-12.
- 3) Ten Kate H. (2006). IJking stuwen van de Vecht: Junne, Marienberg, Hardenberg, De Haandrik.