Kanttekeningen bij Hatsi-kD in Stromingen 8 (2002), nummer 2

1 De piekafvoer van een hoogwatergolf

In deze inleiding, voorafgaand aan de vuistregels 64 en 65, staan twee principiële onjuistheden bij de verklaring van de Manning-formule:

$$Q_s = \frac{1}{n} \cdot A_s \cdot h^{\frac{2}{3}} \cdot I^{\frac{1}{2}} \qquad (1)$$

- niet de waterdiepte h is de correcte parameter, maar de hydraulische straal $R = A_s / P$ waarin P de natte omtrek is. R wordt berekend uit de gemiddelde waarden $\overline{A_s}$ en $\overline{P}$ over het meettraject (zie Boiten 2000, pag. 106). Alleen voor relatief brede profielen nadert R tot h.
- niet het bodemverhang is relevant als parameter I, maar het verhang I_H van de energiehoogte (waterstand plus snelheidshoogte), in het engels: slope of the energy gradient. Het bodemverhang I_b is meestal grillig, en kan over een korte afstand ook nul bedragen of zelfs negatief zijn.
  Alleen voor een meettraject dat uniform is in dwarsprofiel en ruwheid, hebben bodemverhang I_b, waterspiegelverhang I_h en het verhang I_H van de energiehoogte, dezelfde waarde bij permanente stroming (steady flow).
  In de praktijk wordt vaak met het waterspiegelverhang I_h gewerkt, hetgeen zeer acceptabel is als het meettraject voldoende lang is.

De correcte Manning-formule luidt dan:

$$Q_s = \frac{1}{n} \cdot A_s \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot I_h^{\frac{1}{2}} \qquad (2)$$

Het verzamelen van maximale waterstanden (high water marks, flood marks) langs bij voorkeur beide oevers van het meettraject vergt een aantal uren waterpassen, maar is niet echt lastig.

Een groter probleem vormt het inschatten van Mannings coëfficiënt n.

Voor het bepalen van Mannings coëfficiënt n zijn er diverse oplossingen:

a herleiden van n uit een aantal metingen (Q, A, R en I_h) bij hoge afvoeren onder 'steady flow' omstandigheden, waarna n wordt uitgezet als een functie van de waterstand.
Dit is de meest betrouwbare methode, wel lastig en tijdrovend.

b afleiden van n uit de diameter van het bodemmateriaal via berekening van de Chezy-coëfficiënt, die dan wordt omgezet in een Manning coëfficiënt. Deze methode is voor 'natural streams' niet aan te bevelen, omdat de ruwheid van de waterloop uitsluitend wordt gebaseerd op een effen tapijt van een uniforme bodemruwheid (waardoor de werkelijke ruwheid wordt onderschat).

c zoeken van n in een goed handboek zoals 'Open Channel Hydraulics' (Ven Te Chow, 1959). Deze auteur geeft uitgebreide informatie, zowel om n te berekenen uit een aantal karakteristieke componenten (zoals bodemruwheid, mate van onregelmatigheid, begroeiing en mate van meandering), als ook om n te ontlenen aan een tabel, waarin deze wordt gegeven voor allerlei verschillende types waterlopen (in een aantal gevallen ondersteund met foto's).
Deze methode is aan te bevelen voor een grote diversiteit aan waterlopen, inclusief 'natural streams'.

d berekenen van n met de formule van Jarret (1990)

$$n = 0{,}32\, I_h^{0{,}38} \cdot R^{-0{,}16}$$

Deze relatie wordt met succes toegepast voor bergbeken en bergrivieren, waarvan de bodem uit grof materiaal bestaat $D >$

0,06 m, en geldend voor de bereiken $0{,}002 < I_h < 0{,}030$ en $0{,}50 < R < 2{,}00$ m.

Ter illustratie worden de n-waarden bepaald met de oplossingen c en d voor een bergbeek, die als volgt is gekarakteriseerd: hydraulische straal R = 1,00 m, waterspiegelverhang I_h = 0,005 en bodemmateriaal: 'cobbles' $0{,}06 < D < 0{,}20$ m.

- 'Open Channel Hydraulics': n = 0,040
- Jarret: n = 0,043

Hoewel de overeenkomst in resultaten heel acceptabel lijkt, is de onbetrouwbaarheid voor beide methodes 20 à 30 %.
Voor beide oplossingsmethodes is wel wat te zeggen:

- 'Open Channel Hydraulics' biedt de mogelijkheid om de – hiervoor genoemde – karakteristieke componenten in te voeren.
- Jarret gaat er terecht van uit dat de ruwheid van een bergbeek wordt bepaald door het verhang en de diepte (en impliciet door een zekere mate van meandering).

2 *De vereenvoudigde slope-area methode volgens Riggs (vuistregel 65)*

Riggs publiceerde in 1976 'A simplified slope-area method for estimating flood discharges in natural channels'.
In vuistregel 65 wordt de formule van Riggs als volgt gepresenteerd:

$$Q = 3{,}39 \cdot A^{1{,}295} I_h^{0{,}316} \qquad (4)$$

Dit is de formule die Riggs in 1974 publiceerde, gebaseerd op gegevens van Barnes (1967), en er van uitgaande dat de ruwheidscoëfficiënt log-lineair zou zijn met het verhang I_H van de energiehoogte, $n{::}I_H^C$ (de gegevens van Barnes omvatten een groot bereik aan debieten: $1 < Q < 3000$ m^3/s).

Twee jaren daarna analyseerde Riggs de basisgegevens opnieuw, en kwam hij tot de conclusie dat n niet log-lineair was met I_H. Deze hernieuwde analyse bracht Riggs in 1976 tot de volgende formule:

$$Q = 1{,}55 \cdot A^{1{,}33} \cdot I_H^{0{,}05-0{,}056 \log I_H} \qquad (5)$$

Deze empirische formule staat bekend als de vereenvoudigde slope-area methode van Riggs, en onderscheidt zich als volgt van de conventionele slope-area methode:

- conventioneel $\quad Q = f(n, R, I_H, A)$
- volgens Riggs $\quad Q = f(I_H, A)$

Riggs formule is derhalve op twee aannames gebaseerd:

- de ruwheid n is gerelateerd aan het verhang (concludeert Jarret in 1990 ook).
- de hydraulische straal R is gerelateerd aan de oppervlakte van de dwarsdoorsnede.

Het verschil in afvoer tussen de formules (4) en (5) is voor verhangen $I > 0{,}0005$ slechts gering: $X_Q < |5\%|$.

Voor de minder steile rivieren wordt het debiet met formule 4 echter systematisch overschat (voor de Nederlandse hoofdrivieren met $I \approx 0{,}00015$ bedraagt de overschatting circa 25%).

Tenslotte: de onderlinge vergelijking tussen de conventionele slope area methode (vgl. 2) en die van Riggs (vgl. 5).

Ter illustratie worden de debieten bepaald voor een bergbeek met de al eerder genoemde karakteristieken: R = 1,00 m I_h = 0,005 en 'cobbles' op de bodem. Verder bedraagt in dit voorbeeld de breedte B = 20 m en zijn de taluds steil.

- conventionele methode, waarbij n is bepaald met vgl. 3, geeft Q = 36,5 m^3/s
- volgens Riggs (vgl. 5) wordt Q = 37,2 m^3/s.

En alweer, hoewel de overeenkomst heel acceptabel lijkt, blijft de onbetrouwbaarheid in beide methodes 20 à 30% (standard error).

Literatuur

Barnes, H.H. jr. (1967) Roughness characteristics of natural channels; U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1849.

Boiten, W. (2000) Hydrometry; IHE Delft Lecture Note Series, Balkema, Rotterdam.

Chow, Ven Te (1959) Open Channel Hydraulics; McGraw-Hill Book Company, London.

Jarret, R.D. (1990) Hydraulics in Mountain Rivers; in: Channel Flow Resistance: Centennial of Mannings Formula.

Riggs, H.C. (1974) Proposed hydrologic analyses of streamflow for Brazil; U.S. Geological Survey open-file report.

Riggs, H.C. (1976) A simplified slope-area method for estimating flood discharges in natural channels; in: *Journal Research US Geological Survey*, vol 4, nr 3.

Wubbo Boiten

Wageningen Universiteit
wubbo.boiten@users.whh.wau.nl

Reactie op de kantekeningen van Wubbo Boiten naar aanleiding van de Hatsi-kD in Stromingen 8 (2002), nummer 2.

Het is leuk om een reactie op mijn Hatsi-kD's te krijgen. Je weet immers nooit of een stukje aanspreekt, of überhaupt gelezen wordt. Wubbo Boiten geeft een leuke illustratie van de te verwachten nauwkeurigheden bij het gebruik van verschillende *slope-area methods*. Dank daarvoor. Wubbo gaat een beetje te ver als hij in zijn aankondiging melding maakt van principiële onjuistheden. Het betreft hier namelijk helemaal geen onjuistheden.

De eerste 'onjuistheid' ging over het gebruik van de gemiddelde diepte in plaats van de hydraulische straal. Bij vuistregel 62 heb ik dat reeds toegelicht, maar ik zal het nu iets uitgebreider doen. In alluviale rivieren is de hydraulische straal nagenoeg gelijk aan de gemiddelde waterdiepte, omdat een natuurlijke waterloop vele malen (tientallen malen) breder is dan diep (zie ook vergelijking (12) van vuistregel 66). In door de mens gemaakte waterlopen, zoals bijvoorbeeld irrigatiekanalen of pijpleidingen, hoeft dat natuurlijk niet zo te zijn. Het is daarom dat vooral ingenieurs met de hydraulische straal werken, voor natuurlijke waterlopen is dat niet noodzakelijk. Het maakt de formules nodeloos ingewikkeld; iets wat we bij een Hatsi-kD juist willen voorkomen.

De tweede 'onjuistheid' die hij noemt is waar, maar tevens een waarisme (truism in het engels). Iedereen weet dat het werkelijke verhang het energieverhang is, wat bij geringe versnellingen gelijk is aan het waterverhang, en wat bij permanente stroming gelijk is aan het bodemverhang. In de *slope-area method* ga ik dan ook uit van het waterverhang, zoals ik bij vuistregel 64 en 65 uitleg. Inderdaad schrijf ik bij de Manning-formule van vergelijking (1) dat I het bodemverhang is. Maar ook dat is correct, omdat de Manning-formule geldt voor permanente stroming waarbij het energieverhang gelijk is aan het bodemverhang. Deze twee opmerkingen over principiële onjuistheden zijn dus weliswaar correct, maar voor Hatsi-kD's niet noodzakelijke verfijningen.

Wat de meer ingewikkelde formule van Riggs betreft (formule (5) van Boiten) ben ik het met Boiten eens. Deze formule staat in hetzelfde artikel dat ik aanhaal en wordt geacht nauwkeuriger te zijn. Ik heb deze formule bewust niet in mijn Hatsi-kD genoemd omdat ik de grotere nauwkeurigheid niet vind opwegen tegen de grotere complexiteit. Het gaat hier immers om vuistregels. Ik ben er ook helemaal niet van overtuigd dat de ingewikkelde formule fysisch beter is dan de simpele formule van vuistregel 65. Het is nog een leuke klus om een fysische verklaring te vinden voor het fenomeen dat Riggs heeft waargenomen: dat de ruwheid een functie is van het verhang. Dit sluit, wat mij betreft, goed aan bij het werk van Lacey en zijn volgelingen dat ik in vuistregels 66 en 67 behandel. Ook past het goed in de gedachten die ik in mijn eerste Hatsi-kD's geuit heb (in Stromingen 7 (2001), nrs 1 en 2) over de klaarblijkelijke regelmaat en ordening die wij in de hydrologie aantreffen, die niet verklaard kan worden uit puur en alleen de behoudswetten voor impulsie en massa. Er zijn mechanismen van zelforganisatie die maken dat wetmatigheden als de Unit Hydrograph, het Lineair Reservoir, de Muskingum-methode, en de formule van Lacey bestaan (zie Savenije (2001)).

Literatuur

Savenije, H.H.G. (2001) Equifinality, a blessing in disguise?; HP Today Invited Commentary, in: *Hydrological Processes*, vol **15**, pag 2835–2828.

Huub Savenije

TU Delft
hsa@ihe.nl