Hatsi-kD

De piekafvoer van een hoogwatergolf

In de vorige Hatsi-kD hebben we gezien hoe een hoogwatergolf zich voortplant. In dit artikel wil ik (Huub Savenije) iets vertellen over de afvoerpiek en de maximale waterstanden die langs de rivier optreden bij het passeren van de afvoergolf. Soms (vooral in afgelegen gebieden) kan de grootte van de afvoerpiek pas achteraf bepaald worden. Het enige dat ons dan ter beschikking staat is de verzameling van maximale waterstanden. Een lastig praktijkprobleem. Maar dit zou geen Hatsi-kD zijn als daar niet een oplossing voor was.

Tijdens het passeren van een afvoergolf is de stroming niet permanent (de afgeleiden naar de tijd zijn niet nul) en dus gaat op zo'n moment de bestaande relatie tussen afvoer en water stand (de Q–h-kromme) niet op. De Q–h-kromme is gebaseerd op de formule van Manning (of Chézy) en geeft een eenduidige relatie tussen waterstand en afvoer volgens:

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

waar Q_s de (stationaire) afvoer is, A_s het stroomvoerend dwarsprofiel, n is Manning's coëfficiënt, h de waterdiepte, en I het bodemverhang. In de aanloop naar de piek echter zijn de afvoeren groter dan deze formule aangeeft en na het passeren van de piek kleiner. Dit komt doordat het waterverhang bij een opgaande golf groter is dan het bodemverhang en kleiner is bij een afgaande golf. Dit effect kan gecompenseerd worden middels de formule van Jones (zie bijv. Jansen e.a. (1979), p. 75).

Vuistregel 64

Bij het passeren van een afvoergolf wijkt de afvoer af van de Q–h-kromme volgens de formule van Jones. Hierbij is bij het stijgen van de waterstand de afvoer groter dan normaal en bij het dalen van de golf kleiner dan normaal:

$$Q = Q_s \sqrt{1 + \frac{1}{cI} \frac{\partial h}{\partial t}} \qquad (2)$$

Hierin is c de voortplantingssnelheid van de hoogwatergolf die in de vorige Hatsi-kD gedefinieerd is als:

$$c = \frac{5}{3} \frac{B_s}{B} \bar{v} \qquad (3)$$

waar B_s de stroomvoerende breedte is, B de totale breedte en $\bar{v}$ de gemiddelde snelheid over het dwarsprofiel.

We zien in de formule van Jones dat $Q = Q_s$ op de top van de golf, als de afgeleide naar de tijd nul is, conform vuistregel 62. Helaas is dit niet helemaal waar, omdat het punt waar $\partial h/\partial t = 0$ niet precies samenvalt met het punt waar $\partial Q/\partial t = 0$. Maar als benadering is het goed genoeg. Met de formule van Jones kan men het afvoerverloop van de hoogwatergolf bepalen door de waargenomen waterstandsvariatie te combineren met de vaste Q–h-kromme. Dit is nuttig om de juiste afvoergolf te bepalen. De formule kan ook gebruikt worden om afvoermetingen te compenseren die tijdens het passeren van de golf gedaan zijn, zodat de Q–h-relatie kan worden aangevuld met nieuwe metingen. Maar over de afvoerpiek geeft de formule geen nieuwe informatie.

Wat doen we als we na het passeren van een hoogwatergolf alleen maar sporen vinden van de maximale waterstanden (zogenaamde *flood marks)?* Deze verzameling

maximale waterstanden komt overeen met de verzameling lokale maxima waar $\partial h/\partial t = 0$. Het waargenomen verhang is dus gelijk aan het verhang dat plaatsvond tijdens de afvoerpiek. Manning's formule (vergelijking 1) kan dus worden toegepast op het verhang van de maximale waterstanden om de plaatselijke afvoerpieken te bepalen. De methode die we daarvoor gebruiken heet de 'slope–area' methode. We meten het verhang en het dwarsprofiel in het veld en passen dan vergelijking 1 toe. Probleem hierbij is dat we de ruwheid van Manning moeten schatten. Gelukkig komt op dit punt meneer Riggs ons te hulp. De hypothese van Riggs (1976) is dat in een natuurlijke rivier de ruwheid een functie is van het verhang. Volgens hem passen de ruwheid en het verhang zich wederzijds aan elkaar aan, middels duinvorming en meandering. Bovendien is de diepte afhankelijk van het dwarsprofiel. De betrekking geldt met name voor grote afvoeren waarbij de bedding bijna vol is. Dit leidt tot de volgende vuistregel.

Vuistregel 65

Er blijkt een impliciete relatie te zijn tussen de ruwheid, het dwarsprofiel en het verhang, waardoor de piekafvoer slechts een functie is van het dwarsprofiel en het verhang. Dit is de vereenvoudigde slope-area methode van Riggs, die gegeven wordt door:

$$Q = 3.39 A^{1.295} I^{0.316}$$

Riggs (1976) beschrijft in zijn artikel dat, hoewel zijn methode niet exact is, zijn methode consistentere resultaten oplevert dan die van een 'panel of experts' die onafhankelijk van elkaar een schatting van de ruwheid maken en dat deze resultaten dichter bij de correcte waarde liggen. Blijkbaar is de menselijke fout bij het inschatten van de ruwheid groter dan de fout van de vereenvoudiging.

Hoewel de methode van Riggs erg simpel lijkt, is hij in de praktijk zeker niet gemakkelijk toe te passen. Om I te bepalen is een uitgebreide survey nodig, waarbij snel grote relatieve fouten gemaakt worden in de waterpassing. Daarnaast moet voor A een relatieve waarde gevonden worden over een representatief traject (over een lengte van ongeveer tien maal de breedte), wat soms nog een hele klus is. Maar met deze methode kunnen we een afvoerpiek bepalen in een stuk van de rivier waar nog geen Q–h-relatie is. Dat is toch pure winst. Riggs' vergelijking is geen vuistregel om licht te negeren.

Huub Savenije
TU-Delft/IHE-Delft
hsa@ihe.nl

Literatuur

Jansen, P.Ph., L. van Bendegom, J. van den Berg, M. de Vries en A. Zanen (red) (1979) Principles of river engineering; the non-tidal alluvial river; Pitman Publishing, London.

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, pag 285–291.