

Lineaire verblijftijdsverdeling wel degelijk optimaal voor demping van stootvormige, stochastische en periodieke kwaliteitsfluctuaties

Naschrift van ir. H. M. Haitjema op het artikel van Kees Maas, *H₂O* (10) 1977, nr. 13, blz. 302

Om te beginnen wil ik de redactie van *H₂O* dank zeggen voor de mij geboden gelegenheid een antwoord te geven op de kritiek van de heer Maas op mijn artikel in *H₂O* (10) 1977, nr. 6. Voorts ben ik de heer Maas dankbaar voor de uitgebreide en diepgaande kanttekeningen die hij bij mijn artikel heeft gemaakt. Deze reactie stelt mij in de gelegenheid om een aantal essentiële punten uit mijn artikel nog eens toe te lichten of te verbeteren. Ik ben vooral ingenomen met de kritiek van Maas op mijn slordige aanduiding van het begrip



IR. H. M. HAITJEMA
Vakgroep Geotechniek
TH Delft

optimale demping. Als gevolg hiervan ontbrak in mijn artikel ook een goede definitie van het begrip 'optimaal systeem', waarbij het optimale, hier natuurlijk, louter en alleen gerelateerd is aan de demping van kwaliteitsfluctuaties. Maas spreekt het vermoeden uit dat ik met een optimaal systeem bedoel een systeem waarvan het uitgangssignaal steeds lager is dan het maximum van het uitgangssignaal van elk ander systeem. Na lezing en herlezing van deze formulering van Maas zou ik een optimaal systeem als volgt willen definiëren:

Een systeem is optimaal als het uitgangssignaal steeds kleiner is dan of gelijk is aan het maximum uitgangssignaal van elk ander systeem.

Deze definitie sluit nauw aan bij de formulering van Maas, maar houdt rekening met het feit dat meerdere systemen optimaal kunnen zijn. In mijn artikel heb ik willen aantonen dat:

- voor een stootbelasting als ingangssignaal een systeem met een lineaire cumulatieve frekwentieverdeling van de verblijftijden optimaal is met betrekking tot de demping van deze stootbelasting.
- dit zelfde geldt voor een ingangssignaal dat bestaat uit een stochastische kwaliteitsfluctuatie.
- in het geval van een periodiek ingangssignaal **volledige** demping kan worden gerealiseerd met een lineaire verblijftijdsverdeling, mits de omvang van de verblijftijdsverdeling gelijk genomen wordt aan een geheel aantal malen de periode van het ingangssignaal.

Maas stelt dat dit niet het geval is, want:

- Haitjema heeft slechts een deelverzame-

ling beschouwd van alle denkbare systemen.

- Er bestaat minstens één voorbeeld waarbij de lineaire verblijftijdsverdeling wordt overtroffen.

ad 1.

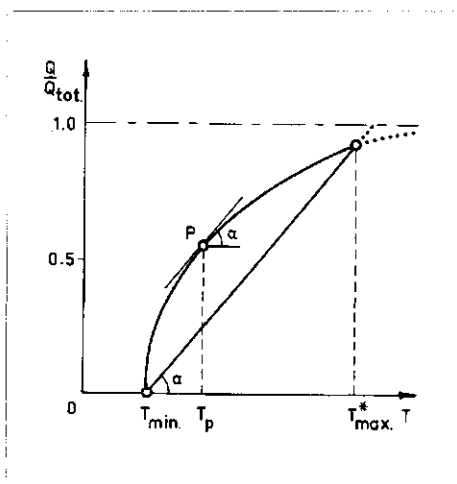
De bewering dat de in mijn artikel behandelde systemen met verblijftijden tussen T_{\min} en T_{\max} slechts een deelverzameling vormt uit de verzameling van alle denkbare systemen is beslist onjuist! Immers genoemde grenzen mogen iedere *denkbare* waarde aannemen, d.w.z. $0 \leq T_{\min} < T_{\max} \leq \infty$, zodat ook ieder *denkbaar* systeem in mijn artikel in beschouwing is genomen.

ad 2.

Maas presenteert een systeem, een kanaal met één enkele put op afstand L , waarvan hij beweert dat dit, mits L voldoende groot is, een betere demping oplevert dan een systeem met een lineaire verblijftijdsverdeling. Maas verwacht hier echter *vorm* en *omvang* van de verblijftijdsverdeling. Dit kan als volgt worden toegelicht: Indien men stelt dat een windmolen met rechte vlakke wieken een optimaal rendement geeft, dan is deze stelling alleen dan gefalsificeerd als een windmolen met anders gevormde, maar **even grote** wieken een hoger rendement afgeeft. Maas moet onderkennen dat het woord **lineair** op de vorm van de verblijftijdsverdeling slaat en dat mijn bewering, dat die vorm optimaal is, alleen kan worden gefalsificeerd door verblijftijdsverdelingen van verschillende vorm maar gelijke omvang, dat is $T_{\max} - T_{\min}$, te vergelijken.

Nu is de omvang van de verblijftijdsverdeling van het systeem van Maas onbepaald, d.w.z. $T_{\max} = \infty$. Indien we deze bovengrens $T_{\max} = \infty$ substitueren in een systeem met lineaire verblijftijden dan volgt

Afb. 1 - Vergelijking van een lineaire en een niet-lineaire cumulatieve frekwentieverdeling van de verblijftijden op het interval $T_{\min} - T_{\max}$



voor de response van een puls C_1 :

$$c_{uit(t)} = \lim_{T_{\max} \rightarrow \infty} \{C_1 / (T_{\max} - T_{\min})\} = 0$$

Dit resultaat is beter dan of hoogstens gelijk aan het resultaat van welk ander systeem dan ook, maar heeft slechts een mathematische betekenis. Het hanteren van het begrip oneindig grote verblijftijd is niet zo zinvol, omdat hier ook slechts een oneindig klein deel van het totale debiet van het systeem bij hoort. Het is daarom zinvoller, om voor een vergelijking tussen het voorbeeld van Maas en een lineaire verblijftijdsverdeling, in het voorbeeld van Maas, een soort maximum verblijftijd T_{\max}^* te kiezen zodanig dat nog slechts enkele debietsprocenten een verblijftijd hebben groter dan T_{\max}^* . In afb. 1 is een verblijftijdsverdeling geschetst van het type dat hoort bij het voorbeeld van Maas evenals de daarmee te vergelijken lineaire verdeling. Aangehouden kan worden dat de response van een stootbelasting op een tijdstip T_p na infiltratie van de stootbelasting, evenredig is aan de helling van de raaklijn in punt P van de verblijftijdsverdeling (zie hiervoor mijn artikel in *H₂O* (10), nr. 6. In afbeelding 1 is punt P zo gekozen dat de helling juist overeenkomt met die van de lineaire verdeling. Voor tijdstippen tussen T_{\min} en T_p na infiltratie is de response dus groter dan voor de lineaire verdeling. Dit ongeacht de grootte van de afstand L tussen put en kanaal, hetgeen immers slechts een andere schaal langs de horizontale verblijftijden-as impliceert. Ik meen daarom dat het in mijn artikel gestelde, te weten een lineaire cumulatieve frekwentieverdeling is met betrekking tot het dempen van stootvormige, stochastische en periodieke kwaliteitsfluctuaties optimaal, geenszins door Maas is gefalsificeerd. Volledigheidshalve wijs ik er nog eens op dat ten aanzien van kwaliteitsfluctuaties die aan bepaalde voorwaarden voldoen (niet stochastische kwaliteitsfluctuaties) de lineaire verdeling niet altijd de optimale is, zoals ook aan de hand van een voorbeeld in mijn artikel is gedemonstreerd.

Ik sluit mij geheel aan bij de verhandeling van Maas over periodieke kwaliteitsfluctuaties, inclusief de opmerking dat de eigenschap om hierbij volledige demping te kunnen bewerkstelligen geen exclusieve eigenschap is van een lineair systeem. In mijn artikel heb ik dit dan ook niet beweerd. In de conclusie van mijn artikel staat: 'In het geval van periodieke kwaliteitsfluctuaties kan met een lineaire verblijftijdsverdeling volledige demping worden bereikt,'

Maas gaat in zijn commentaar verder dan de strekking van mijn artikel, door de introductie van het begrip 'ontwerpnorm' en

door een filosofie over de praktische realiseerbaarheid van een en ander. Omdat mij op dit punt duidelijk de handschoen wordt toegeworpen wil ik niet nalaten deze op te rapen. Maas geeft niet precies aan wat hij bedoelt met het begrip 'norm', maar van de in het woordenboek gegeven synoniemen acht ik het woord 'richtsnoer' zeker van toepassing. Bij gebruik van dit woord geeft men aan dat in de praktijk om bijv. constructieve, milieutechnische of economische redenen concessies kunnen worden gedaan met betrekking tot de optimale verblijftijdsverdeling. Ondanks die concessies blijft die lineaire verdeling natuurlijk toch richtsnoer.

De bewering dat het praktisch onmogelijk is een verblijftijdsverdeling op een bepaalde golfenlengte (bijv. 1 jaar) af te stemmen, laat ik geheel voor rekening van Maas. Bij een infiltratie-onttrekkingsstelsel op basis van volkomen putten en bronnen kan verticale stroming in het betreffende pakket wel worden verwaarloosd. Kennis van de verdeling van diverse horizontale doorlatendheden over de pakkethoogte is dan voldoende om bij een gegeven situering een correcte verblijftijdsverdeling te berekenen.

Ten aanzien van de omvang van verblijftijdsverdelingen in de praktijk kan nog wel iets algemeen worden opgemerkt. Niet zelden zal bij het ontwerpen van een systeem de eis worden gesteld, dat het stroomgebied gesloten en beperkt van omvang moet zijn. Men denke hierbij bijv. aan de Veluwe infiltratie plannen. Deze eis brengt een verblijftijdsverdeling met zich mee die gelegen is op een in wezen beperkt verblijftijdsinterval. Ik schrijf 'in wezen beperkt' omdat er een geringe, voor de demping onbelangrijke, debietsfractie kan zijn met zeer grote verblijftijden. Deze beperkte stroomgebieden en daarmee beperkte verblijftijdsintervallen accentueren nog eens het belang van het streven naar een optimale vorm van de verblijftijdsverdeling.

Ook met betrekking tot de kwaliteit van het toegevoerde water kunnen een paar algemene opmerkingen worden gemaakt. Daar het toegevoerde water in het algemeen uit oppervlakte water zal bestaan zullen vele kwaliteitsparameters zoals temperatuur, zoutgehalte, concentraties van koolwaterstoffen, zware metalen etc. naast elkaar voorkomen, terwijl hun variaties in de tijd niet altijd vooraf bekend zullen zijn. Met andere woorden er dient voor de input van het systeem in eerste instantie rekening te worden gehouden met stochastische kwaliteitsfluctuaties. Sommige parameters kunnen echter een periodiek karakter hebben, zoals bijv. de temperatuur en (soms) in mindere mate het zoutgehalte.

Het is dus zinvol om er naar te streven, de omvang van de reeds gekozen lineaire verdeling op de meest belangrijke periodieke fluctuatie af te stemmen. In dit verband hebben de door Maas voorgestelde polynomen van Legendre, als frekwentieverdeling van de verblijftijden, geen praktische waarde, omdat zij inferieur zijn met betrekking tot het dempen van de eveneens te verwachten stochastische kwaliteitsfluctuaties.

Op grond van de resultaten uit mijn eerdere artikel en op grond van bovenstaande overwegingen zie ik, geheel in strijd met de conclusie van Maas, de lineaire cumulatieve frekwentieverdeling van de verblijftijden als een praktische ontwerpnorm voor infiltratie-onttrekkings-systemen.

