Johannes Kop

Ontwerpcapaciteit van leidingen

Bij de openbare watervoorziening hebben vermaasde leidingnetten het nadeel dat in bepaalde delen stroomverlammingen en dode zones kunnen optreden, waarin sedimentatie van (organisch) materiaal kan optreden en kwaliteitsverslechtering van het water. Vermaasde leidingnetten hebben echter het voordeel dat bij leidingbreuk waterlevering via een omweg kan blijven plaatsvinden en dat bij lokale verhoogde waterafname (bijvoorbeeld bij brand) het eventuele negatieve effect daarvan op de druk- en waterverdeling veelal op acceptabele wijze over het net kan worden uitgesmeerd. Kiest men uit waterkwaliteitsoverwegingen voor een vertakt net, dan dient men voor de ontwerpcapaciteit van de leidingen de maximale capaciteit per huisaansluiting, de plaats en capaciteit van brandkranen*, specifieke leveringen aan bedrijven en het verschijnsel 'afvlakking' in gedachten te houden.

Onder 'afvlakking' wordt verstaan dat het debiet aan het begin van een aanvoerleiding minder zal zijn dan de som van de maximale capaciteiten van ieder op de leiding aangesloten aftappunten. Afvlakking is in wezen een kansmodel. Hoe groot is immers de zekerheid of onzekerheid dat men bij toepassing van afvlakking op een bepaald moment alle maximaal debietvragende aftappunten van het gevraagde water kan voorzien?

Afvlakking is ook een bekend verschijnsel in de irrigatietechniek. Ook hier doet zich het verschijnsel voor dat een groot aantal identieke aftappunten op één leiding is aangesloten. Bekend uit Indonesië is de zogeheten Tegalse capaciteitslijn, die het verband aangeeft tussen de hoeveelheid water per 'bouw' per seconde voor verschillende te bevloeien oppervlakken, uitgaande van 100 liter per seconde per bouw voor een areaal van 200 bouws[2),3)]. In de Franse irrigatieprojecten in Noord-Afrika werd de Algerijnse capaciteitscurve gehanteerd. Beide krommen waren op empirie gestoeld. De Algerijnse curve voldeed aan een verdeling volgens het binomium van Newton[4)]. Beregeningsstelsels lijken het meest op vertakte drinkwaterstelsels onder druk. De Fransman Clément ontwierp - gebaseerd op kansrekening - hiervoor ontwerp-afvlakkingscurven[5)]. In zijn dictaat 'Wateraanvoer, -verdeling en afvoer' gaat professor Schoemaker in op de toe te passen kansrekeningen voor verschillende soorten afvlakkingscurven[6)].

Gezien de overlappingen met irrigatie in het algemeen en beregening in het bijzonder is de ontwerpregel voor afvlakking - zoals gehanteerd in Nederland voor vertakte leidingnetten voor de huishoudelijke watervoorziening - vergeleken met de afvlakkingsregel volgens het binomium van Newton, zoals toegepast in de irrigatietechniek**.

Maximale capaciteit per aftappunt

Bij de levering van drinkwater wordt normaliter een maximale afnamecapaciteit per huisaansluiting van één liter per seconde (3,6 kubieke meter per uur) aangehouden. Dit komt goed overeen met de geciteerde 3,7 kubieke meter per uur in het boek 'Drinkwaterprincipes en praktijk'[1)].
Even een zijsprong naar de irrigatietechniek: bij oppervlaktebevloeiing door middel van open leidingen hangt de maximale capaciteit per aftappunt af van de soort oppervlaktebevloeiing[7)]. Bij irrigatie door middel van leidingen onder druk (druppelirrigatie, beregening) worden normaliter respectievelijk de streng - waaraan een x-aantal druppelaars zijn gekoppeld - of de 'lateral' - die een y-aantal 'sprinklers' bedient (afhankelijk van de Amerikaanse rechthoekige opstelling, Europese rechthoekige opstelling, Europese driehoekige opstelling, etc.) als 'aftappunt' beschouwd[8)].

Afvlakking

Bij het ontwerpen van de capaciteit van aanvoerleidingen ten behoeve van huishoudelijk waterverbruik wordt verondersteld dat de ontwerpcapaciteit - bij een voldoende aantal huisaansluitingen *n* (*n* groter of gelijk aan 10) - kleiner zal zijn dan het product van het aantal bediende huisaansluitingen en de maximale capaciteit per huisaansluiting

(m^3/s). In Nederland hanteert men daarvoor thans veelal de gesimplificeerde formule[1]:

$Q_t = Q \sqrt{n}$

waarin Q_t de capaciteit van de aanvoerleiding (m^3/s) is,
Q de maximale capaciteit per huisaansluiting (m^3/s) en n het aantal huisaansluitingen.

Constateringen in de praktijk zouden uitwijzen dat deze simplificatie wel leidt tot afwijkingen bij $n > 100$[1]. Dit lijkt niet zo vreemd, als men bedenkt dat bij bijvoorbeeld 900 aansluitingen een ontwerpcapaciteit van slechts 30 Q voldoende zou zijn. Dit wijst op een zeer gering dekkingspercentage.
In de irrigatietechniek wordt in het algemeen de ontwerpcapaciteit van de aanvoerleidingen gebaseerd op een van te voren vastgesteld dekkingspercentage van $(1- W_y) \times 100\%$, waarin W_y de onzekerheidscoëfficiënt is. Daarbij wordt vaak een dekkingspercentage van 95 procent of meer aanbevolen.

Uitwerking begrip 'dekkingspercentage'

Stelt men de capaciteit van een aanvoerleiding die n aftappunten bedient, gelijk aan de gesommeerde (maximale) capaciteit van de aftappunten - met ieder een (maximaal) debiet van Q (m^3/s), dan geldt dat als geen enkel aftappunt gesloten is:
$Q_t = nQ$, bij een dekkingspercentage van 100% en een 'onzekerheidscoefficient' $W_y = W_0 = 0$.

Als één aftappunt afgesloten is, wordt $W_y = W_1 = 1/2^n$ en wordt het dekkingspercentage: $(1 - W_1) \times 100\% = (1 - 1/2^n) \times 100\%$.
Bij twee afgesloten aftappunten geldt:

$$W_2 = \frac{1 + n/1}{2^n}$$

Met behulp van het binomium van Newton vinden we voor y afgesloten aftappunten:

$$W_y = \frac{1 + \frac{n}{1} + \frac{n(n-1)}{2!} + \ldots + n\frac{(n-1)(n-2)\ldots(n-y+2)}{(y-1)!}}{2^n}$$

Dit levert de hiernaast staande tabellen op***.

Vergelijking met de aanbevolen ontwerpcapaciteit voor (vertakte) drinkwaterstelsels geeft het volgende resultaat: (zie tabel 2)

Zou bijvoorbeeld voor de ontwerpcapaciteit van de aanvoerleiding bij beregeningsstelsels de aanbevolen norm voor de (vertakte) drinkwaterstelsels worden gehanteerd, dan ontstaat het volgende beeld: (zie tabel 3)

Eerste conclusie

De discrepantie tussen de ontwerpnormen voor (centrale) aanvoerdebieten in (vertakte) drinkwaterstelsels in Nederland en vergelijkbare stelsels in de irrigatietechniek elders in de wereld is opvallend groot, met name het verschil in het dekkingspercentage. Nadere bezinning hierover en eventueel nader onderzoek zou wellicht nuttig kunnen zijn.

Tabel 1: ***Relatie tussen dekkingspercentage en reductie in aan te voeren debiet.***

dekkings-percentage	onzekerheids-coëfficiënt W_y (%)	totaal aantal aftappunten	aantal virtueel afgesloten aftappunten (y)	Q_t/Q
99,9	0,1	100	35	65
99	1	100	39	61
95	5	100	42	48
90	10	100	44	56
99,9	0,1	1.000	453	547
99	1	1.000	464	536
95	5	1.000	474	526
90	10	1.000	480	520

Tabel 2: ***Vergelijking van de resulterende ontwerpcapaciteit van de aanvoerleiding bij een dekkingspercentage van 95 procent en de resulterende ontwerpcapaciteit volgens de ontwerpnorm $Q_t = Q \sqrt{n}$.***

netgegevens	totaal aantal aftappunten		
	n = 100	n = 1.000	n = 10.000
dekkingspercentage	95	95	95
onzekerheidscoëfficiënt W (%)	5	5	5
virtueel aantal afgesloten aftappunten y	42	474	5.000 (afgerond)
virtueel aantal aangesloten aftappunten (n-y)	58	526	5.000 (afgerond)
resulterende Q_t/Q	58	526	5.000 (afgerond)
Q_t/Q volgens $Q_t = Q \sqrt{n}$	10	31,6	100

Tabel 3: ***Virtueel aantal aangesloten aftappunten en dekkingspercentage bij beregeningsstelsels bij hantering van de ontwerpnorm $Q_t = Q \sqrt{n}$.***

netgegevens	totaal aantal aftappunten		
	n = 100	n = 1.000	n = 10.000
Q_t/Q volgens $Q_t = Q \sqrt{n}$	10	31,6	100
ingevoerde Q_t/Q	10	31,6	100
virtueel aantal aangesloten aftappunten (n-y)	10	32	100
virtueel aantal afgesloten aftappunten y	90	968	9.900
resulterende onzekerheids-coëfficiënt W (%)	≈ 100	≈ 100	≈ 100
resulterende dekking (%)	< 1	<< 1	<<< 1

LITERATUUR

1) De Moel P., J. Verberk en J. van Dijk (2005). Drinkwater - principes en praktijk (tweede herziene druk). Sdu Uitgevers.
2) Ravesteijn W. en J. Kop (2004). Bouwen in de Archipel. Burgerlijke openbare werken in Nederlands-Indië en Indonesië 1800-2000. Walburg Pers.
3) Ravesteijn W. (1997). De zegenrijke Heeren der Wateren. Irrigatie en staat op Java 1832-1942. Delft University Press.
4) Kop J. (1963). Reductie van irrigatiedebieten. De Ingenieur nr. 35.
5) Clément R. (1966). Calcul des débits dans les réseaux d'irrigation fontionnant à la demande. La Houille Blanche nr. 5, pag. 553-575.
6) Schoemaker H. (1980). Wateraanvoer, -verdeling en afvoer. Collegedictaat f18-deel I. Technische Hogeschool Delft.
7) Achtnich W. (1980). Bewässerungslandbau. Verlag Eugen Ulmer.
8) Molenaar A. (1960). Irrigation by sprinkling. FAO.

* De capaciteit per brandkraan is in Nederland normaliter 25 liter per seconde[1].

** De volgende beschouwing laat het vraagstuk van bedrijfslevering en andere specifieke leveringen buiten beeld, alsmede het invullen van de eisen met betrekking tot het blussen van branden.

*** met dank aan de ingenieurs L. Dorst en J. Wessels van het ingenieursbureau Boorsma in Drachten voor het geleverde rekenwerk.