Kwantiteitsproblemen bij transport, opslag en distributie

Voordracht uit de 38e vakantiecursus in drinkwatervoorziening 'Bedrijfsmatige aspecten van transport en distributie', gehouden op 9 en 10 januari 1986 aan de TH Delft.

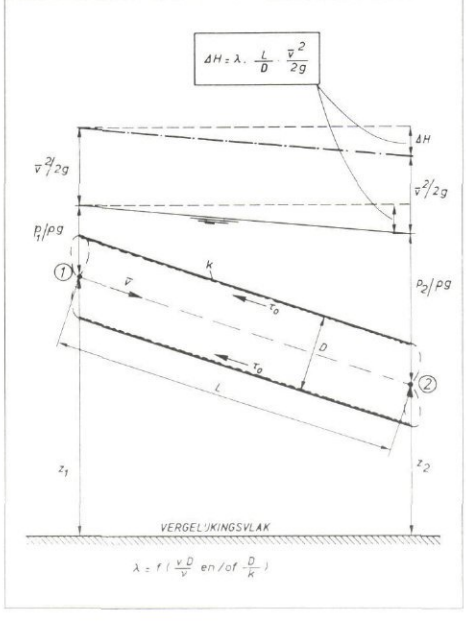
1. Inleiding

Om transport van water van een bepaald punt naar een gekozen plaats te laten plaatsvinden, is niet alleen een medium tussen beide punten vereist, waar doorheen het transport kan plaatsvinden, maar ook een potentiaalverschil, om de weerstand die het stromend water van het medium ondervindt te overwinnen.
De hoeveelheid water die per tijdseenheid – bij een bepaald potentiaalverschil – door het medium stroomt, is afhankelijk van de vorm van de doorsnede en de aard van

IR. J. HIETER
directeur DWL 's-Gravenhage

het medium, de afstand waarover het water moet worden getransporteerd en de temperatuur van het water. De aard van het medium kan worden gekarakteriseerd door onder andere de wandruwheid.
In afb. 1 is voor een ronde buis, waarin het water met een gemiddelde snelheid van V m/sec stroomt, het verlies aan potentiële energie per volume-eenheid vloeistof aangegeven, welk verlies – wil het water blijven stromen – moet worden gecompenseerd door het toevoegen van een zelfde hoeveelheid energie.
De wijze waarop het potentiaalverschil tot stand wordt gebracht en de vorm en het materiaal van het medium hebben van de oudheid af tot heden grote veranderingen ondergaan.
Het is bekend, dat men reeds in de oudheid in

Afb. 1.



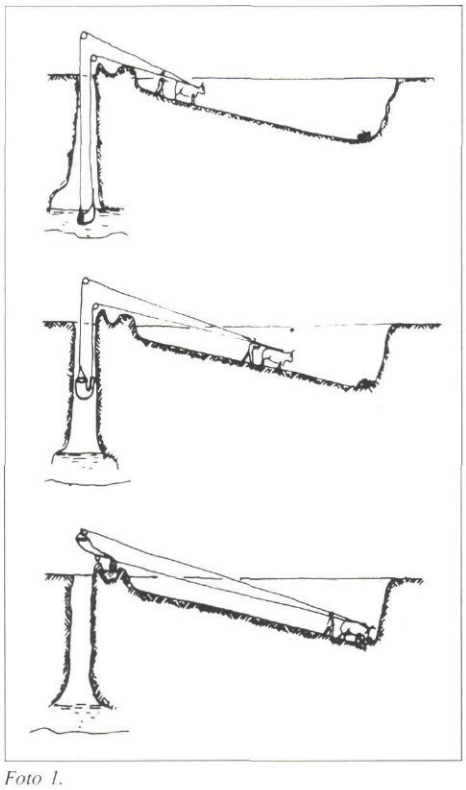


Foto 1.

geaccidenteerde streken het van nature aanwezig hoogteverschil benutte voor het transport van water.
In de meer vlakke landstreken moest men zijn toevlucht nemen tot het op kunstmatige wijze aanbrengen van het benodigde potentiaalverschil waarvoor men behalve kracht ook opvoermiddelen nodig had.
Men was daarbij aangewezen op de spierkracht van mens en dier, waaraan in latere tijden (omstreeks 1500) de energie van de wind en die van stromend water kon worden toegevoegd.
De foto's 1, 2 en 3 geven een impressie van de wijze, waarop men in het verleden de beschikbare kracht en werktuigen inzette ten behoeve van het transport van water.
Foto 1 laat zien hoe ingenieus de Indiërs het water in leren zakken opschepten en het door de kracht van een dier naar een hoger niveau brachten.
Foto 2 toont de tredmolen, die in een draaiende beweging gehouden wordt, door een in de molen lopende persoon; de horizontale as van deze molen drijft een ketting met emmers aan, waarmee het water naar boven wordt getransporteerd, terwijl foto 3 laat zien hoe de Japanners op hun eigen manier het water over een kleine hoogte opvoeren.
De windkracht wordt in Nederland voor het eerst in het jaar 1341 als krachtbron ingeschakeld; in dat jaar wordt een vaste molen gebouwd in Windesheim bij Zwolle, die uiteraard alleen maar dienst kon doen als de wind gunstig was.

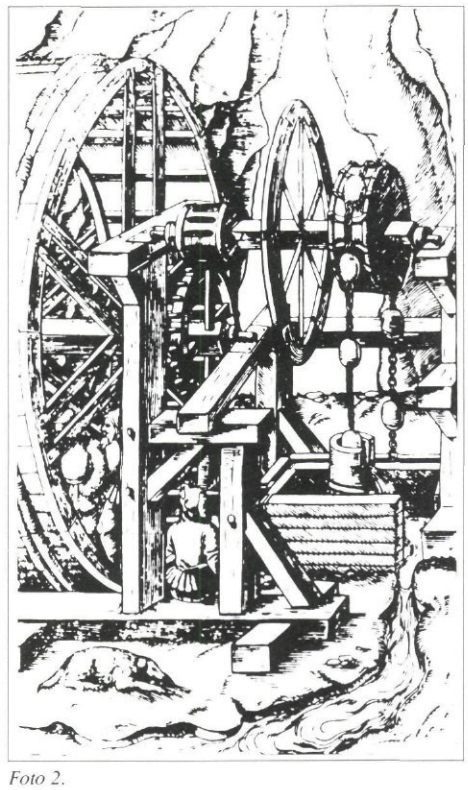


Foto 2.

Pas in het jaar 1573 verschijnt de eerste bovenkruier, waarvan men de wieken in elke gewenste windrichting kon zetten.
Door deze windmolens aangedreven schepraderen konden het water tot 1,5 à 2 meter opzetten, terwijl een hoogte van 3,5 à 4 meter kon worden bereikt als men in plaats van schepraderen schroefvijzels installeerde (afb. 2).
Bij wateronttrekkingen aan rivieren kon men het stromende rivierwater schepraderen laten aandrijven, met behulp waarvan de kinetische energie van het water kon worden omgezet in potentiële energie.

Foto 3.

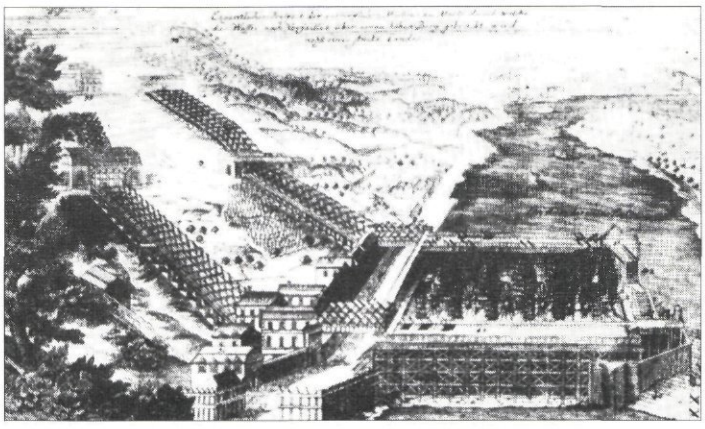


Foto 4.

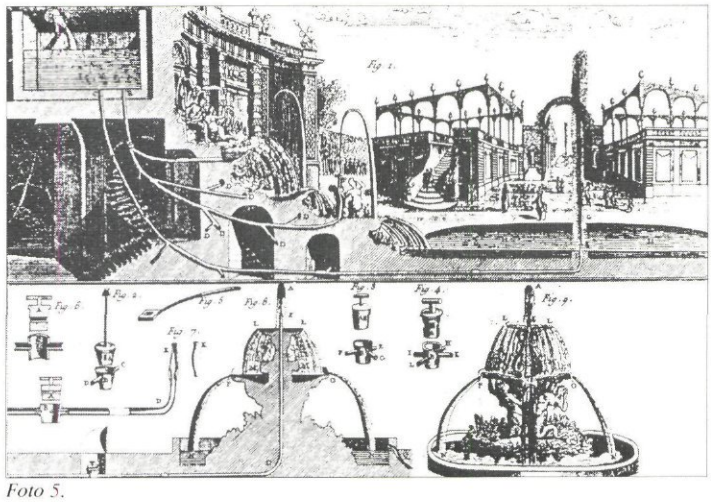


Foto 5.

Tot in de achttiende eeuw was het door waterraderen opgewekte vermogen maar enkele pk's en daarom was het voor die tijd een ongekende prestatie van Lodewijk XIV om in 1688 een waterkrachtcentrale in de Seine te bouwen, die – ten behoeve van het spuiten van de fonteinen in de tuinen van Versailles – per uur 208 m³ water maar liefst 160 meter moest opvoeren en derhalve een vermogen van ten minste 124 pk moet hebben gehad. Foto 4 geeft u een beeld van het gigantische werk.
Hoeveel eenvoudiger werd het doel van spuitende fonteinen bereikt bij paleis het Loo te Apeldoorn, dat eveneens in de jaren 1685-1692 werd gebouwd. Hier werden, de op ±20 km afstand op een hoogte van 55 meter boven NAP gelegen sprengen afgetapt en via elsenhouten buizen werd het water naar de tuinen in het Loo getransporteerd. Foto 5 toont hiervan een beeld.
Het is nu bijna onvoorstelbaar dat de afhankelijkheid van spierkracht, windkracht en de kracht van stromend water voor het aandrijven van technische installaties tot 1785 heeft geduurd, toen James Watt zijn stoommachine zo ver had ontwikkeld, dat deze als nieuwe, economisch werkende krachtbron kon worden toegepast.
De eerste van de in ons land sedert 1852 opgerichte drinkwaterleidingbedrijven konden dan ook voor het watertransport de door middel van stoomkracht aangedreven plunjerpompen toepassen.
Plunjerpompen waren rond het begin van onze jaartelling al bij de Egyptenaren bekend, zoals blijkt uit de op foto 6 afgebeelde pomp, die in 1929 uit het Nemiemeer is opgevist. Volgens de overleveringen zou het een pomp zijn geweest voor brandbestrijding op schepen, die keizer Caligula (37 voor Chr.-42 na Chr.) heeft laten bouwen.
De plunjerpomp is in feite een zuigerpomp en levert daardoor een niet continu debiet, waardoor, vooral bij de grotere pompen, windketels vereist zijn.
De omzetting van de heen- en weergaande zuigerbewegingen van de stoommachine in een roterende beweging bracht de mogelijkheid van de continue aandrijving. Deze ontwikkeling bood de mogelijkheid tot het toepassen van de centrifugaalpomp, die nu algemeen bij de drinkwatervoorziening wordt toegepast.
Het centraal opwekken van energie in de vorm van elektriciteit en de hoge mate van betrouwbaarheid van deze energiedrager heeft de stoommachine in de waterleidingbedrijven doen verdwijnen. Daar waar men toch onafhankelijk van het elektriciteitsnet wil zijn, staan verbrandingsmotoren ter beschikking die veelal aan generatoren zijn gekoppeld en waarmee de benodigde stroom voor het aandrijven van de pompen kan worden verkregen.
Bij het transport van het water spelen zowel de opvoerhoogte als het te verpompen debiet een grote rol, en beide grootheden zijn via de karakteristiek van de leiding onlosmakelijk aan elkaar verbonden. Tot voor kort installeerde men in het algemeen pompen met een vast toerental, die dan ook een nagenoeg constante hoeveelheid water verpompten; wilde men de hoeveelheid verhogen, dan moest men een pomp met een grotere capaciteit inschakelen.
Door de huidige vermogenselektronica zijn thans elektrische aandrijvingen leverbaar met een regelbaar toerental, waarmee men binnen de voor de pomp geldende grenzen in feite traploos elke gewenste hoeveelheid water kan verpompen, met een acceptabel rendement en aanvaardbare investeringen.
Het medium dat voor het watertransport werd en wordt gebruikt heeft sedert de oudheid eveneens grote ontwikkelingen ondergaan.
Hoewel bekend is, dat al ver voor onze jaartelling drukleidingen zijn toegepast o.a. bij Pergamon, waarin drukken van enkele honderden meters waterkolom moeten hebben geheerst, pasten de Romeinen voor het transport van water uit de Tiber ten behoeve van de drinkwatervoorziening van de stad Rome bij voorkeur vrij-vervalleidingen toe. Deze leidingen werden samengesteld uit gemetselde kanalen van

Afb. 2.

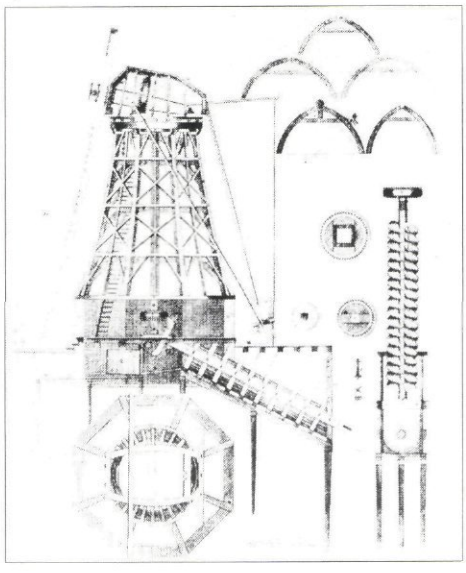
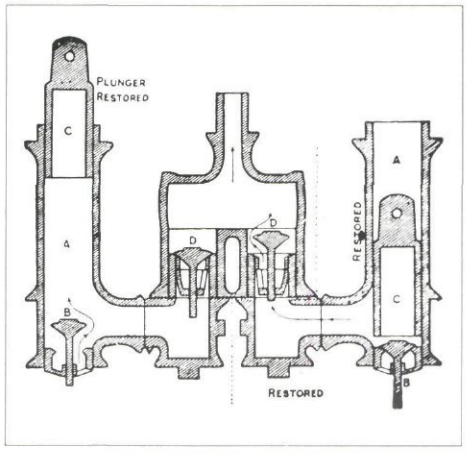
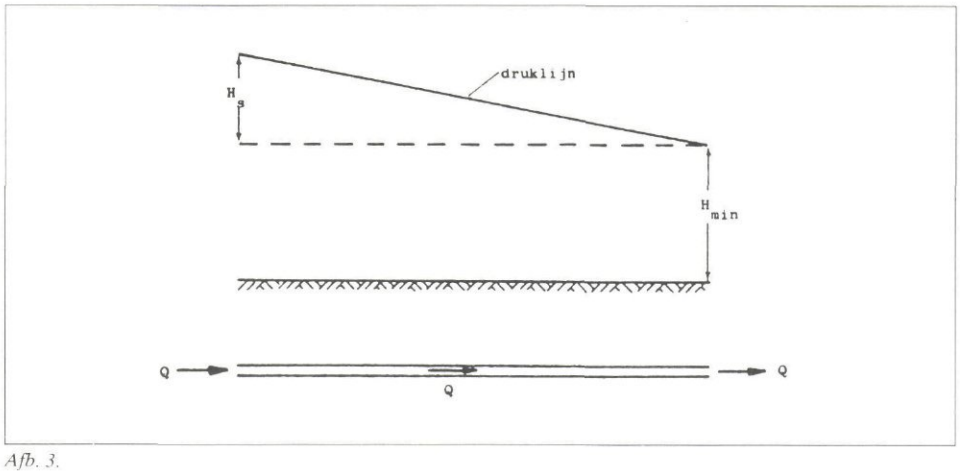


Foto 6.



natuursteen, die, wanneer smalle dalen moesten worden gekruist, overgingen in aquaducten, waarvan een aantal bewaard is gebleven. De huisaansluitingen werden destijds gemaakt van buizen van aardewerk of van lood.
De eerste gietijzeren leiding, die in Europa nabij Dillenburg is gelegd, dateert uit 1445, en nadien zijn er nog vele duizenden kilometers leiding van dit materiaal gelegd.
Hoewel voor de Tweede Wereldoorlog reeds buizen van asbestcement, van gietijzer, van beton en van gewapend beton werden toegepast is de ontwikkeling van nieuwe materialen voor buizen zoals staal, voorgespannen beton, polyvinylchloride, polyethyleen, al dan niet met glasvezel versterkte polyester en nodulair gietijzer na 1945 tot stand gekomen.
De hedendaagse openbare watervoorziening van ons land kan, dank zij de hiervoor vermelde grof geschetste ontwikkelingen op het gebied van energie, van machines, van werktuigen en van buizen, beschikken over een watertransport en -distributiesysteem, waarin het water onder druk wordt getransporteerd van bron naar kraan, hetgeen de continuïteit van de levering waarborgt en een goede bescherming geeft tegen besmetting van buitenaf.
Bovendien blijkt dit systeem erg doelmatig te zijn, omdat de kosten – naar prof. Huisman in de vakantiecursus van 1974 heeft aangetoond – per m³ per ton-kilometer op één na de laagste zijn van alle beschikbare massatransportsystemen. Alleen het massatransport per mammoet-tanker blijkt een fractie goedkoper.
De conclusie lijkt dan ook gerechtvaardigd dat, als er zich al problemen in kwantitatief opzicht bij de openbare drinkwatervoorziening voordoen, deze niet hun oorsprong vinden in het ontbreken van adequate hulpmiddelen.



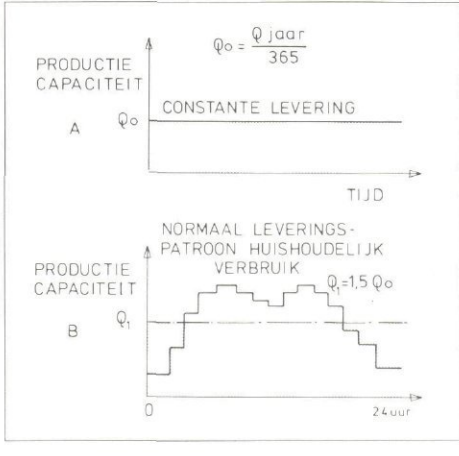
Afb. 3.

2. De relatie tussen produktie en distributie

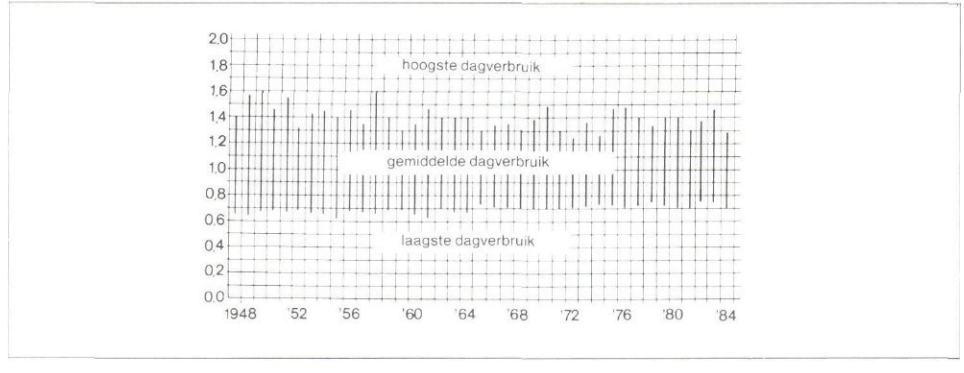
De taak, die door de Waterleidingwet aan de waterleidingbedrijven is opgelegd, is kort en bondig in artikel 4 van die wet geformuleerd namelijk: 'zorg te dragen, dat de levering van deugdelijk drinkwater aan de verbruikers in zijn distributiegebied gewaarborgd is in zodanige hoeveelheid en onder zodanige druk als het belang der volksgezondheid vereist' (afb. 3).
Door dit wetsartikel worden, in feite op een tijdloze basis, de voorwaarden gesteld waaraan op elk aansluitpunt in het distributienet de door de klant verlangde hoeveelheid water aanwezig moet zijn.
Aan deze wettelijke verplichting voegen de waterleidingbedrijven – vanwege hun monopoliepositie – stilzwijgend de maatschappelijke verplichting toe om het gestelde doel met de minste financiële en energetische inspanningen te bereiken.
Uit mijn inleiding hebt u kunnen opmaken dat een verdeelstelsel van transport- en distributieleidingen tussen de produktiemiddelen en de afnemers aan beide verplichtingen kan voldoen.
De vraag rijst nu hoe zo'n verdeelstelsel kan worden opgebouwd. Ik zou me alleen tot het transportgedeelte van het verdeelstelsel willen beperken, omdat het distributiegedeelte elders is behandeld.

2.1. Zoals reeds is opgemerkt, moet de capaciteit van de produktiemiddelen en die van het stelsel van leidingen tussen de produktie en de afnemers tijdloos kunnen voldoen aan de momentane behoefte aan water in het verzorgingsgebied.
Is deze waterbehoefte over de tijd gemeten constant (afb. 4) dan zullen de produktiemiddelen en de leidingen moeten worden berekend op deze behoefte.
Om aan de eerdergenoemde maatschappelijke verplichtingen te kunnen voldoen zal voor de bepaling van de leidingdiameter worden gezocht naar die diameter, waarvoor het totaal aan contant gemaakte jaarlijkse kapitaals- en energiekosten gedurende de levensduur van de leiding het laagst zullen zijn.
Hoewel dit vraagstuk primair van economische aard is, spelen bij de vaststelling van de diameter ook factoren mee die hun grond vinden in het te voeren beleid, in de vereiste veiligheid ten aanzien van het transportleidingnet, alsmede in de handhaving van de kwaliteit van het drinkwater tijdens het transport.
De factoren die in hoofdzaak bepalend zijn voor de op economische gronden gebaseerde bepaling van de leidingdiameter zijn:
a. de te transporteren hoeveelheid water per tijdseenheid;

Afb. 4.

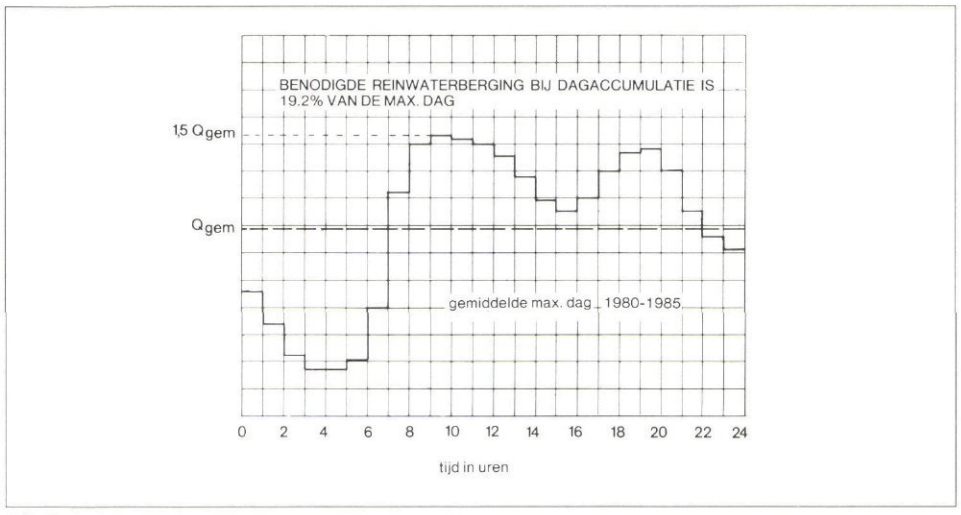


Afb. 5.



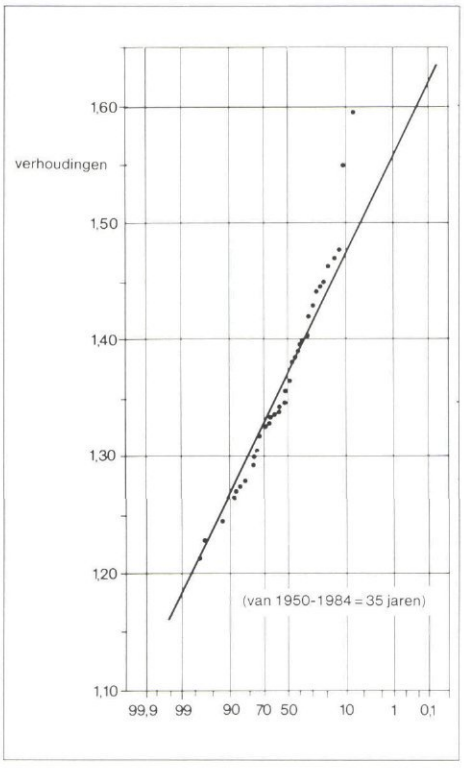
b. de hoogte van de aanlegkosten en de kosten van de buizen;
c. de energiekosten per kWh;
d. het rendement van pomp + motoren;
e. de duur waarover de leiding wordt afgeschreven;
f. de rentestand;
g. de te verwachten geldontwaarding;
h. de wandruwheid van het leidingmateriaal.
Voor de wijze waarop dit vraagstuk kan worden opgelost moge kortheidshalve worden verwezen naar de mededelingen nrs. 58 en 59 van het KIWA en naar de aanvulling die prof. Huisman hierop in 'H_2O' van 5 maart 1985 heeft gepubliceerd.

2.2. In werkelijkheid is het waterverbruik vrijwel nooit constant, doch wisselt het voortdurend, van uur tot uur, van dag tot dag en van maand tot maand.
Zouden zowel bij de produktie als bij de distributie geen aanvullende voorzieningen worden getroffen dan zouden zowel de produktie- als transportmiddelen moeten worden gedimensioneerd op de benodigde hoeveelheid water op het uur van de grootste verbruiken, gedurende de dag met de grootste waterbehoefte, die statistisch moet worden vastgesteld, uit een lange reeks van jaren.
Daar zo'n piekbehoefte maar zelden zal optreden, is ze op economische gronden niet doelmatig als ontwerp-criterium van produktiemiddelen en transportleidingen.
Uit mijn betoog zal blijken dat door het opnemen van reinwaterreservoirs in het systeem van produktiemiddelen en in dat van transportleidingen de ongelijkmatigheidsfactor waarmee de genoemde middelen moeten worden berekend aanmerkelijk kleiner kan zijn, dan in het systeem zonder reinwaterkelders.
De nivellering van de pieken in waterproduktie en in transport door de reinwaterkelders wordt veroorzaakt door deze kelders in perioden met laag gebruik te vullen en hun inhoud in tijden met hoger dan normaal gebruik te gebruiken.
Voor de berekening van de inhoud van de reinwaterkelders is het nodig de wisselingen van het uur- en daggebruik over een groot aantal jaren te kennen. Deze wisselingen verschillen per bedrijf en zijn onder andere afhankelijk van de samenstelling en leefgewoonten van de bevolking, en van de grootte en ongelijkmatigheid van de leveringen aan de industrie.
De benodigde inhoud van reinwaterberging zal derhalve van bedrijf tot bedrijf verschillen.
In het volgende wordt – als voorbeeld – uitgegaan van de wisselingen in het uur-, dag- en weekgebruik, zoals die gemeten zijn in het Haagse verzorgingsgebied dat zoals bekend hoofdzakelijk huishoudelijk gebruik kent.
In afb. 5 is het verloop van het maximumdagverbruik over de periode 1945 t/m 1984

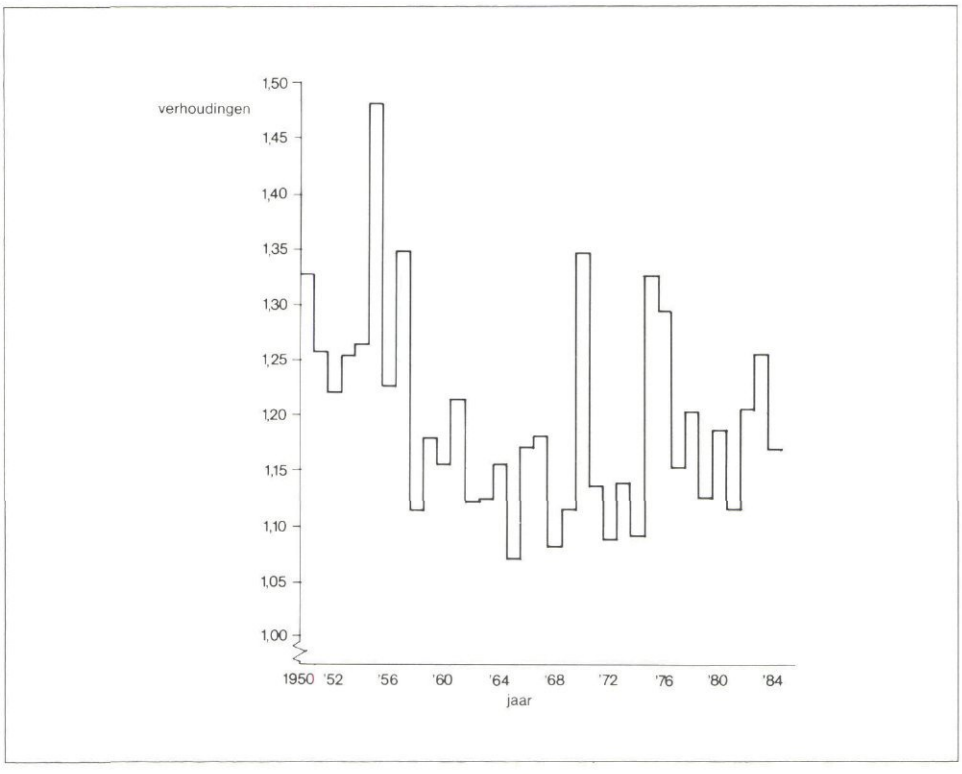


Afb. 7.

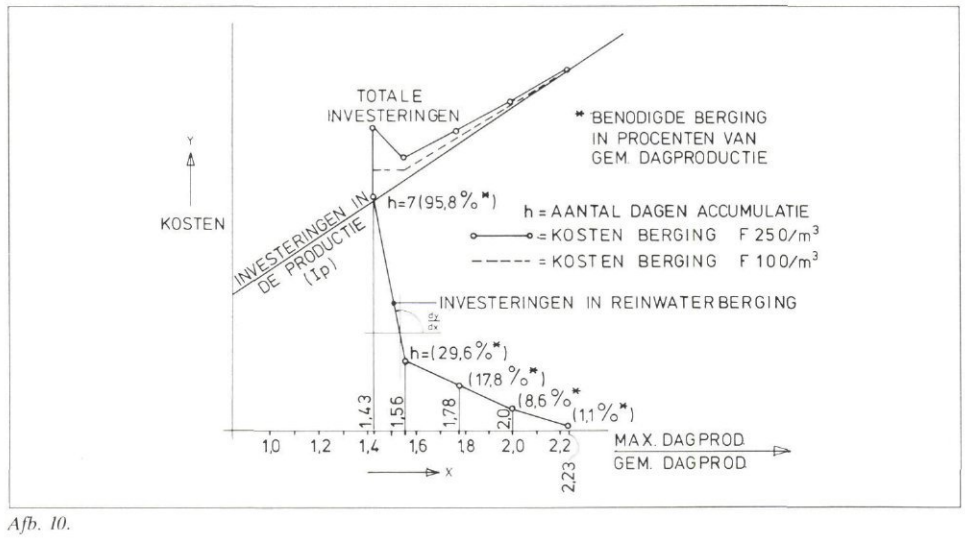
Afb. 6.



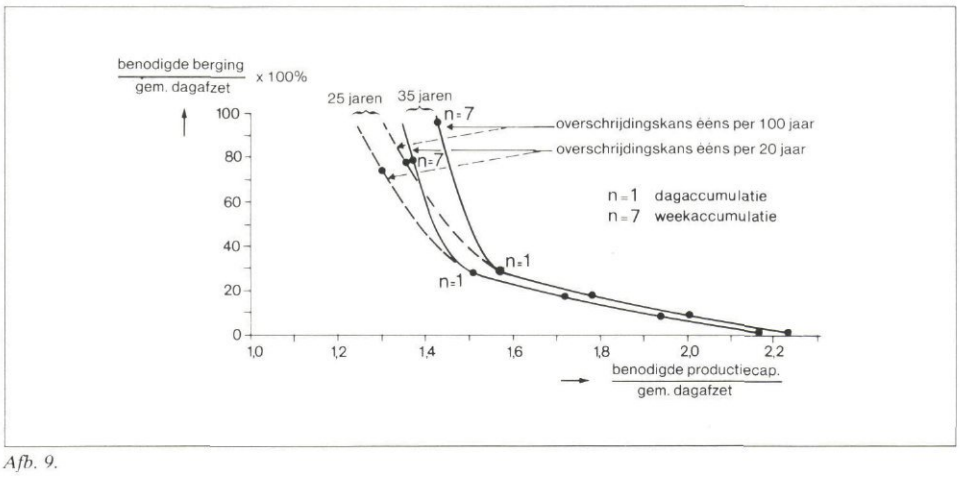
Afb. 8.



aangegeven, in verhouding tot het gemiddelde dagverbruik.
Uit deze grafiek blijkt, dat het quotiënt van het verbruik op de maximum- en gemiddelde dag in de beschouwde periode varieert van 1,6 tot 1,25.
In afb. 6 zijn de quotiënten van afb. 5 op waarschijnlijkheidspapier uitgezet, waaruit blijkt dat het quotiënt 1,56 éénmaal per 100 jaar zal kunnen worden overschreden.
De verhouding tussen het momentane uurverbruik en het gemiddelde uurgebruik op de maximumdagen is aangegeven in afb. 7.
Het maximumuurverbruik op de maximumdag blijkt 1,5 maal het gemiddelde uurverbruik op deze dag te zijn en wanneer zoals is betoogd het quotiënt van de maximumdag en de gemiddelde dag 1,56



Afb. 10.



Afb. 9.

bedraagt, is het maximumuurverbruik op de maximumdag 1,5 x 1,56 = 2,34 groter dan het over het gehele jaar gerekende gemiddelde uurverbruik.
Zouden geen reinwaterkelders worden toegepast in het Haagse voorzieningsgebied, dan zou de theoretische capaciteit van de winnings-, zuiverings- en transportmiddelen het 2,34-voudige van het gemiddelde uurverbruik over het jaar moeten zijn.
Wordt daarentegen reinwaterberging toegepast, met een zodanige inhoud dat in het momentane uurverbruik op de maximumdag kan worden voorzien door een suppletie uit de reinwaterberging op het geproduceerde gemiddelde uurverbruik op die dag, dan behoeft de capaciteit van de winnings-, zuiverings- en transportmiddelen niet groter te zijn dan 1,56 x het gemiddelde uurverbruik over het jaar.
De bij dit uitgangspunt behorende inhoud van de reinwaterberging kan uit het diagram van het momentane uurverbruik van de maximumdag (afb. 7) worden berekend door het sommeren van de uurverbruiken welke groter zijn dan het gemiddelde uurverbruik van die dag.

In dit voorbeeld bedraagt de benodigde reinwaterberging 19,2% van de maximumdag en derhalve 1,56 x 19,2 = 29,9% van de gemiddelde dag.
Op dezelfde wijze als de variatie van het uurverbruik over de maximumdag door reinwaterkelders kan worden opgenomen, kan ook de variatie van het dagverbruik over de maximumweek door reservoirs worden afgevlakt.

In afb. 8 zijn, ook weer voor het verzorgingsgebied van Den Haag, over de periode 1950 t/m 1984 de quotiënten van de maximumweken ten opzichte van de gemiddelde week aangegeven in een histogram. Merkwaardig hierbij zijn de relatief grote verhoudingsgetallen van 1950 t/m 1955.
In afb. 9 is daarom onderscheid gemaakt tussen de gehele periode van 35 jaar, waarin uiteraard deze pieken zijn verwerkt en de periode vanaf 1960 (dus een periode van 25 jaar), waarin ze niet voorkomen, terwijl bovendien de gevoeligheid van de berekening ten aanzien van de overschrijdingskansen van de maximumweek zijn aangegeven.
Analoog aan die bij dagaccumulatie kan de reinwaterberging bij weekaccumulatie worden berekend. Deze bedraagt voor het Haagse verzorgingsgebied 95,8% van het gebruik op de gemiddelde dag bij een overschrijdingskans van 1 x per 100 jaar.
Vergelijken we de uitkomsten van de dag- met die van weekaccumulatie, dan blijkt de verhouding tussen de benodigde en de gemiddelde produktiecapaciteit per uur van 1,56 af te nemen tot 1,43 waartegenover staat dat de inhoud van de reinwaterberging van 29,6% oploopt tot 95,8% van de gemiddelde dag, eveneens bij een overschrijdingskans van de maximumweek van eens per 100 jaar.

2.3. *Bepaling van de grootte van de reinwaterberging*

Zowel bij dag- als weekaccumulatie kan men de gekapitaliseerde en contant gemaakte besparingen aan investeringen op de winnings-, zuiverings- en transportmiddelen uitrekenen en deze afwegen tegen de eveneens contant gemaakte investeringen in de reinwaterkelders, vermeerderd met de jaarlijkse kosten van energieverlies.

Welke oplossing zal worden gekozen wordt mijns inziens niet alleen door economische overwegingen bepaald, doch evenzeer door overwegingen met betrekking tot de mogelijke negatieve invloed van een langdurig verblijf in de reinwaterkelders op de kwaliteit van het water.
Vanzelfsprekend is het niet noodzakelijk volledige dag- of weekaccumulatie toe te passen, want theoretisch kan elke reinwaterberging op het traject van uur- tot en met weekaccumulatie tot de economische oplossingen behoren. Voor uitvoerige berekeningen voor 2-, 3-, 4-, 5- en 6-daagse accumulatie moge worden verwezen naar mededeling nr. 36 van het KIWA, die handelt over plaats en capaciteit van reinwaterkelders.

Ter illustratie moge het volgende voorbeeld (zie afb. 10)* dienen van een afweging voor het uitbreiden van de winnings- en zuiveringswerken of het bouwen van een reinwaterberging op het pompstation.
De laatste keuze is in het voorbeeld gemaakt om de invloed van de transportmiddelen vooralsnog niet mee te wegen, terwijl voor de eenvoud ook de economische levensduur van de winningsmiddelen gelijkgesteld is aan die van de zuiveringswerken en aan die van de reinwaterberging.
Wanneer de investeringen in de winnings- (= K_w) en zuiveringsmiddelen (= K_z) lineair toenemen met het quotiënt x van de benodigde maximale dag- en de gemiddelde dagproduktie, zoals door de lijn Ip in afb. 10 is aangegeven, dan moeten voor het bepalen van de totale investeringen hierbij nog worden opgeteld de investeringen voor de benodigde reinwaterberging (= K_b) bij de verschillende quotiënten, die behoren bij week- of dagaccumulatie of delen daarvan.

$$I\ totaal = \frac{Q\ etmaal}{24} \cdot (K_w + K_z) \cdot x + Q\ etmaal \cdot \frac{y}{100} \cdot Kb.$$

$$I\ totaal = Q\ etmaal \left[\frac{(K_w + K_z)}{24} \cdot x + \frac{K_b}{100} \cdot y\right]$$

Hierin is:
x het quotiënt van de maximale en de gemiddelde dagproduktie;
y de inhoud van de berging in procenten van de gemiddelde dag;
K_w de kosten van de winningsmiddelen per m^3/h;
K_z de kosten van de zuiveringswerken per m^3/h;
K_b de kosten van de berging per m^3 inhoud.

De voorwaarde, waaraan moet worden voldaan om deze totale investeringen te minimaliseren, is:

$$\frac{I\ totaal}{dx} = 0 \dashrightarrow$$

$$Q\ etmaal \left[\frac{(K_w + K_z)}{24} + \frac{Kb}{100} \times \frac{dy}{dx} = \right] 0$$

$$of\ \frac{dy}{dx} = -\frac{(K_w + K_z)}{24} \times \frac{100}{K_b};$$

omdat y in % van de gemiddelde dag is uitgedrukt in afb. 10, moet $\frac{dy}{dx}$ door 100 worden gedeeld voor de goede interpretatie.

Voor het geval ($K_w + K_z$) groot is ten opzichte van K_b wordt dy/dx : 100 groter en zal het optimum liggen bij weekaccumulatie of een deel daarvan. Is daarentegen ($K_w + K_z$) klein ten opzichte van K_b dan zal dagaccumulatie of een gedeelte daarvan voordeliger zijn.
Zou bij een bedrijf de winning bestaan uit ondiepe putten met een capaciteit van 2,5 m^3/h, die met inbegrip van de bijbehorende afvoerleidingen *f* 10.000,– per stuk zouden kosten, en de zuivering bij dit bedrijf zou bestaan uit een snelfiltratie (met v = 5 m/h), gevolgd door een langzame zandfiltratie (met v = ⅓ m/h), waarvan de investeringen respectievelijk *f* 11.000,– en *f* 2.000,– per m^2 zouden vergen, dan zijn K_w en K_z als volgt te becijferen.

$$K_w = \frac{f\ 10.000,-}{2,5} = f\ 4.000,-/m^3/h \text{ en } K_z = \frac{f\ 11.000,-}{5} + \frac{f\ 2.000,-}{1/3}$$

$K_z = f\ 2.200,- + f\ 6.000,- = f\ 8.200,-/m^3/h$,
zodat $K_w + K_z = f\ 12.200,-/m^3/h$.
Zou de reinwaterberging *f* 250,– per m^3 kosten dan is

$$dy/dx : 100 = -\frac{12.200}{24} \times \frac{1}{250} = -2,03.$$

Uit afb. 10 blijkt dat voor deze propositie de dagaccumulatie de kleinste investering vraagt. Zou weekaccumulatie tot de goedkoopste oplossingen kunnen behoren, dan moet volgens afb. 10 de waarde van dy/dx : 100 = –5,09 zijn en dus $\frac{K_w + K_z}{24} \times \frac{1}{K_b} = 5,09$.

Bij gelijkblijvende kosten van de winnings- en zuiveringsmiddelen uit het eerste voorbeeld kunnen nu de kosten van de reinwaterberging per m^3 voor dit geval berekend worden uit

$$K_b = \frac{12.200}{24} \cdot \frac{1}{5,09} = f\ 100,- \text{ per } m^3.$$

Bij lage investering voor winning en zuivering en hoge investering voor reinwaterberging, verschuift de goedkoopste oplossing in de richting van gedeeltelijke dagaccumulatie. Met nadruk zij nogmaals gesteld, dat zowel de benodigde reinwaterberging als de investeringen voor deze berging voor de winnings- en de zuiveringsmiddelen van bedrijf tot bedrijf verschillen en dat aan de gegeven cijfers geen andere waarde dan die van een voorbeeld mag worden toegekend.

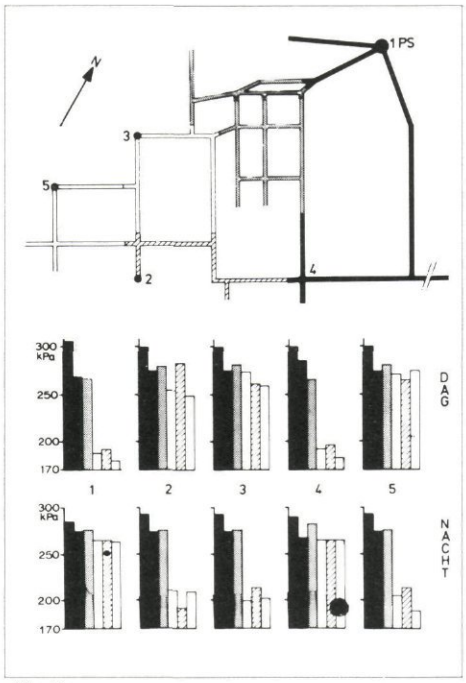
2.4. *Overige functies van de reinwaterberging*

Tot nu toe is alleen gesproken over de reinwaterberging als middel tot het op economische wijze afvlakken van pieken in de dagelijkse of wekelijkse behoefte aan drinkwater. Er zijn echter bedrijfsomstandigheden denkbaar, waarin eveneens zinvol van de reinwaterberging gebruik kan worden gemaakt. Bijvoorbeeld als opslag van spoelwater voor filters of ter veiligstelling van de drinkwatervoorziening van een gebied in het geval zich storingen in het produktie- of in het transportproces voordoen.
Vanzelfsprekend moet de extra benodigde reinwaterberging voor de zojuist genoemde bijkomende functies van de reinwatervoorraad worden gesupponeerd op die welke nodig is voor piekafvlakking.

2.5. *Plaats van de reinwaterberging*

In de tijd dat stoom de kracht voor het aandrijven van de pompen leverde, en daarna toen de levering van elektriciteit nog niet zo betrouwbaar was als nu, was er alle reden voor om de reinwatervoorraad bij de pompstations te vestigen.
Nu de levering van de elektriciteit door de koppeling van de netten op nationale en internationale schaal betrouwbaar is, langdurige storingen een lage frequentie hebben en daarenboven de meet- en regeltechniek zover gevorderd is dat de niet op de pompstations gebouwde reinwaterkelders van de machinekamer uit als een pompstation met beperkte capaciteit kunnen worden bediend en bewaakt, is de mogelijkheid aanwezig de reinwaterberging behalve voor het afvlakken van pieken in winning en zuivering ook te benutten voor het afvlakken van pieken in het watertransport naar het verzorgingsgebied.
In beginsel kan dit, zoals reeds eerder is betoogd, worden bereikt door gedurende de nachturen – dus in de tijd waarin het verzorgingsgebied gewoonlijk weinig water vraagt – de reinwaterkelders te vullen en de alsdan opgebouwde reinwatervoorraad gedurende de piekleveringen over de dag in te zetten. De transportleidingen van het pompstation af zouden dan ook *theoretisch* ten minste behoren te zijn berekend op een capaciteit van het gemiddelde uur op de maximale dag.
Dit impliceert dat een reinwaterkelder bij voorkeur moet worden gebouwd zo dicht mogelijk bij het transportsysteem, en in het centrum van de grootste (huishoudelijke) gebruiken, om extra investeringen in het leidingnet te voorkomen.
Wanneer voorbijgegaan wordt aan de planologische vraagstukken die het vestigen van reinwaterkelders in met name stedelijke gebieden met zich meebrengt, dan kan de beste plaats voor een dergelijke berging worden gekozen uit een aantal alternatieve oplossingen die met behulp van een computer worden berekend.
Daarvoor dient het transportleidingnet te worden geschematiseerd en moeten de relevante eigenschappen van de verschillende onderdelen op de gebruikelijke wijze worden bepaald, alsmede de plaats en de grootte van de onttrekkingen en voedingen vastgesteld.
Op eenvoudige wijze kunnen de effecten van de verschillende mogelijke vestigingsplaatsen voor een reinwaterkelder op het gehele

* Afb. 10 is een geschematiseerde weergave van afb. 9, in het geval van een overschrijdingskans van éénes per 100 jaar bij de 35-jarige periode.



Afb. 11.

transportleidingnet worden berekend bij de vastgestelde leveringscapaciteit van de kelder.
De plaats van de kelder die de druk over een zo groot mogelijk deel van het verzorgingsgebied op peil houdt, lijkt de meest aangewezen vestigingsplaats van de reinwaterkelder.
Ter illustratie is in afb. 11 het Haagse transportleidingnet schematisch weergegeven en zijn de drukken in het net bepaald bij 5 verschillende vestigingsplaatsen van de reinwaterkelder zowel voor de situatie overdag (inzetten van kelder) als voor de situatie 's nachts (vullen van de kelder).
De locatie keuze 5 blijkt de beste te zijn.
Als het effect van de reinwaterkelder bekend is, kan ook worden berekend welke extra transportcapaciteit nodig is van het pompstation af om hetzelfde effect op de druk in het verzorgingsgebied te verkrijgen.
De investeringen voor de reinwaterkelder en die voor uitbreiding in het transportleidingnet kunnen nu ook tegen elkaar worden afgewogen.

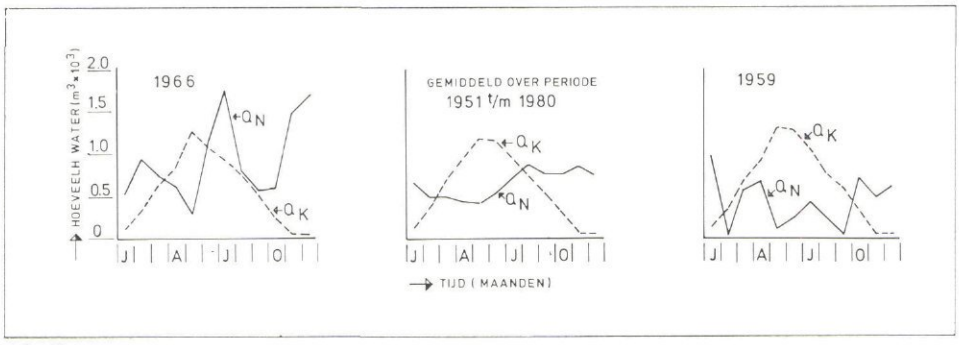
2.6. *Hoogteligging van de reinwaterkelders in het voorzieningsgebied*
Op grond van veiligheid in het transportsysteem en tevens ter beperking van het energieverlies, verdient het de voorkeur het niveau van de reinwaterberging zo hoog mogelijk te leggen en het liefst zelfs op drukhoogte. De inhoud van de kelder kan onder die omstandigheden worden gebruikt onafhankelijk van de elektriciteit.
Deze bovengrens van de hoogteligging zal wellicht alleen in geaccidenteerde gebieden in aanmerking komen, daar in de vlakke gebieden de funderingen van dergelijke hoog te bouwen kelders vrijwel altijd bijzonder hoge investeringen zullen vergen.
De benedengrens van de aanlegdiepte van een reinwaterkelder wordt bepaald door de grondwaterstand ter plaatse, tenzij stringente maatregelen worden getroffen die het binnendringen van grondwater in de reinwaterkelder voorkomen. Veelal zal de aanlegdiepte van de kelder boven het grondwater worden gekozen.

2.7. *De verdeling van de benodigde reinwaterberging in een geschikt aantal eenheden, alsmede de keuze van de toe te passen materiaalsoort voor reinwaterkelders*
In de Vakantiecursus van 1970 heeft de heer A. J. N. Horstmeier, destijds adjunct-directeur van de N.V. Waterleidingmaatschappij Gelderland (WMG), het verband tussen de hoogte van de investeringen en de grootte van de reinwaterkelders gegeven, alsmede de invloed van de materiaalkeuze op de investeringen.
Alhoewel de prijzen sedert 1969 zijn gestegen, meen ik toch dat het relatieve verband van zijn onderzoekingen bewaard is gebleven.
Afhankelijk van de aard van het verzorgingsgebied lijkt het niet gewenst de benodigde reinwaterberging in te kleine eenheden op te delen, omdat niet alleen de investeringen in de bouw groter zullen zijn, maar ook de elektrische aansluitingen, de kosten van meet- en regeltechniek en de kosten van bediening, onderhoud en dergelijke hoger zullen uitvallen.
Rotterdam in een eerder artikel de nodige

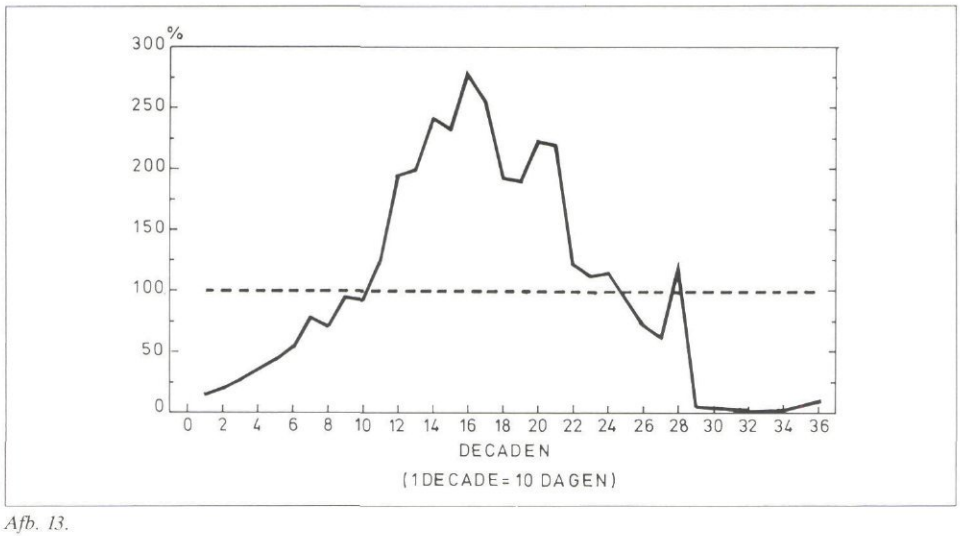
2.8. *Met het transport en de distributie van water verband houdende aspecten*
Aan de bedrijfsmatige aspecten en leveringszekerheid bij distributie, heeft de heer J. J. de Jong van de Drinkwaterleiding aandacht besteed zodat ik mij daarvan ontslagen mag achten. Daarbij kwamen ter sprake de door de waterleidingbedrijven te treffen voorzieningen op het gebied van de stroomopwekking die nodig zijn wanneer het openbare elektriciteitsnet door storingen is getroffen.
De maatregelen die nodig zijn om de druk- en onderdrukgolven in het net te beheersen (welke het gevolg kunnen zijn van grote snelheidswisselingen in het water) wil ik gaarne bespreken in de paragraaf waar de relatie tussen aanvoer van rivierwater en produktie wordt behandeld.

3. De veranderende produktiewijzen bij de tuinbouw en de invloed hiervan op de drinkwatervoorziening met name in het Westlandse gebied

3.1. *Waarom andere teeltwijzen?*
Om economische, fyto-sanitaire en milieuhygiënische redenen gaan hoe langer hoe meer tuinders over van het telen van gewassen in kasgrond op het telen in een ander medium, zoals bijvoorbeeld substraten.
Bij substraatteelten vindt de worteling van het gewas plaats in een laag steenwol, terwijl het gewas zijn voeding in opgeloste vorm te zamen met het voor de groei benodigde water kunstmatig krijgt toegediend. Deze teeltwijze vereist gietwater met een laag chloridegehalte. Afhankelijk van het soort gewas onderscheidt men drie gietwaterklassen, te weten:
< 50 mg Cl/l, < 100 mg Cl/l en < 150 mg Cl/l.
Substraatteelt is in het Westland wat achtergebleven ten opzichte van andere tuinbouwgebieden in ons land, omdat er geen gietwater met een laag chloridegehalte voorhanden was. Tot voor kort betrokken de Westlandse tuinders hun gietwater uit Delflands boezem, die een hoog chloridegehalte heeft.
Tot het jaar 1983 heeft de Westlandsche Drinkwaterleiding Maatschappij (WDM) ten behoeve van de waterproduktie haar duinen bevloeid met water uit Delflands boezem, waardoor het geproduceerde water eveneens een te hoog chloridegehalte had. Zelfs na menging van dit water met het van de Duinwaterleiding van Den Haag ingekochte water met een laag chloridegehalte, had het mengsel water nog niet het beoogde chloridegehalte. Sedert 1983 bevloeit de WDM haar duinen met Maaswater, waardoor het drinkwater van deze maatschappij wel voldoet aan de eisen van de tuinbouw ten aanzien van het chloridegehalte.
Reeds in april 1981 zijn door het Consulentschap voor de Tuinbouw te Naaldwijk onderzoekingen verricht naar de mogelijkheden van een goede gietwatervoorziening voor de Westlandse tuinders, te weten:
a. een voorziening, gevoed door oppervlaktewater (deze is ongeschikt als gevolg van het te hoge chloridegehalte);
b. een voorziening, gevoed door grondwater (deze is eveneens ongeschikt om dezelfde reden als bij a. genoemd);
c. een voorziening gevoed door regenwater, dat wordt opgevangen in regenwaterbassins;
d. een voorziening gevoed door ontzout grondwater;
e. een voorziening gevoed door leidingwater.
Het Consulentschap komt in zijn studie tot de conclusie dat een regenwaterbassin van enkele honderden m³ inhoud (300-500 m³) per hectare tuingrond in combinatie met een aansluiting per bedrijf op het drinkwaterleidingnet – waarop naar behoefte van april tot en met juli een beroep kan worden gedaan – de voorkeur heeft.
Nu er bovendien mogelijkheden zijn gevonden om tegen een voor de tuinders



Afb. 12.



Afb. 13.

aanvaardbaar tarief – binnen zeer afzienbare tijd – enkele drinkwaterleidingbedrijven de benodigde quota aan gietwater te laten leveren, lijkt de overgang naar de substraatteelt in het Westland in een stroomversnelling te zijn gekomen.

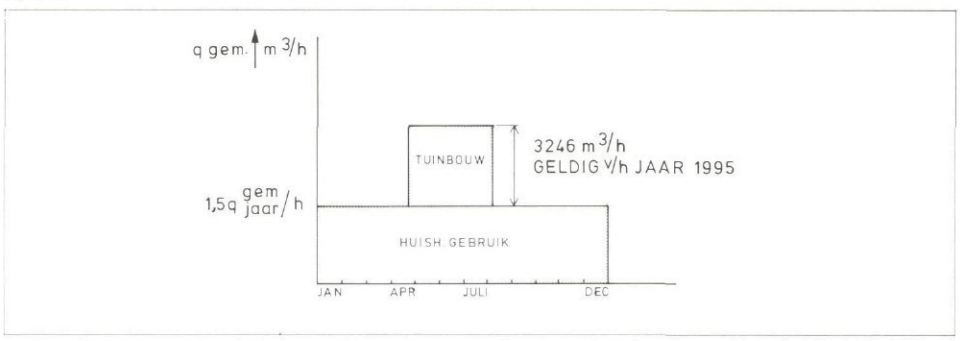
3.2. *Berekening van de drinkwaterbehoefte voor de tuinbouw*

Een werkgroep, bestaande uit medewerkers van het voormalige Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening, van het Instituut voor Cultuurtechniek en Waterhuishouding, van de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland en van het zojuist genoemde Consulentschap voor de Tuinbouw, heeft in het kader van het Integraal Onderzoek Drinkwatervoorziening in Zuid-Holland (IODZH) een studie verricht naar: 'De toekomstige behoefte aan suppletiewater van de glastuinbouw in Zuid-Holland bij gebruik van regenwaterbassins'.
Deze werkgroep heeft met behulp van een mathematisch model de behoefte aan drinkwater bepaald voor diverse bedrijfssituaties. Daarbij heeft zij aandacht besteed aan de invloed van de teeltmethode, het verdampingsniveau in de kas, de grootte en de bedrijfsvoering van de bassins. Uit deze berekeningen blijkt dat ten behoeve van de substraatteelt de gemiddelde waterbehoefte varieert tussen 1.300 en 2.600 m³/ha/jaar, respectievelijk bij een regenwaterbassin met een inhoud van 2.000 m³ per ha en één van 500 m³ per ha in een meteorologisch gemiddeld jaar en dat deze behoefte tot 2.600 à 4.800 m³/ha/jaar kan oplopen in een extreem droog jaar.
Het verloop van de behoefte aan water in de kas en dat van de neerslag over het jaar, zowel voor een gemiddeld jaar, voor een extreem droog als voor een extreem nat jaar, is aangegeven in afb. 12, die is overgenomen uit het genoemde IODZH-rapport.
Daar waar de behoefte aan water in de kas de neerslag overtreft moet drinkwater naar het regenbassin worden gevoerd.
De hoeveelheid drinkwater die per jaar nodig is voor de teelten, is – zoals reeds is opgemerkt – mede afhankelijk van de grootte van het bassin en van de bedrijfsvoering van het bassin. Uit het IODZH-model blijkt dat hoe groter het bassin des te minder de behoefte aan drinkwater is. Voorts blijkt dat de bedrijfsvoering waarbij men eerst het bassin met drinkwater gaat vullen indien de voorraad regenwater tot op 10% van de inhoud van het bassin is geslonken, de *minste* behoefte aan drinkwater schept.
Dit laatste klinkt wat ongeloofwaardig, doch vindt zijn verklaring in het feit, dat wanneer men eerder begint met het bassin te vullen er minder neerslagwater in het bassin kan worden geborgen.
Uit becijferingen van het IODZH blijkt dat een bassin ter grootte van 500 m³ inhoud per m³ regenwater per ha de minste exploitatiekosten met zich meebrengt. Ook het Consulentschap voor de Tuinbouw beveelt deze bassingrootte aan, zoals reeds eerder is gezegd.
De verdeling over het jaar van deze drinkwaterbehoefte voor de tuinbouw laat afb. 13 zien, welke is vervaardigd door de Drinkwaterleiding Rotterdam. Het grootste deel van het voor de tuinbouw benodigde drinkwater moet in de maanden april, mei, juni en juli worden geleverd (in totaal 2.600 uur), waardoor bij de in deze tijd veelvuldig vallende piek in het huishoudelijke gebruik de piek voor de tuinbouw geteld moet worden.

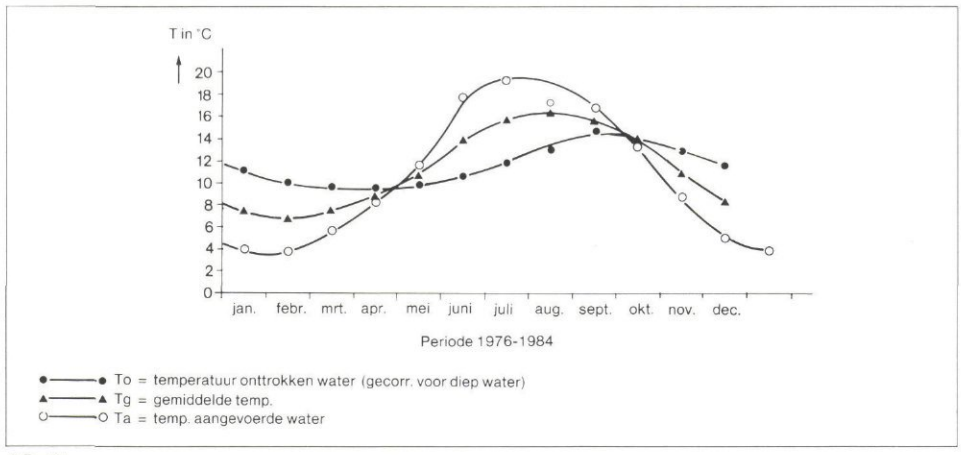
3.3. *Oplossingen voor piekbehoefte aan drinkwater voor de tuinbouw*

Afb. 14 geeft de leveringen geschematiseerd weer. Is er voldoende reinwaterberging voor dagaccumulatie, dan kan de zomerpiek op de wijze zoals al eerder is aangegeven voor het huishoudelijke verbruik worden afgevlakt tot 1,5 x het gemiddelde uurverbruik berekend over het jaar. Vanwege de omstandigheden dat in een droog jaar de leveringen aan de tuinbouw zich over een aantal maanden kunnen uitstrekken, zoals uit afb. 12 blijkt, maar ook omdat de regenwaterbassins met een inhoud van 300 à 500 m³ bij een maximale onttrekking van 40 à 60 m³/ha/uur in enkele dagen leeg zullen zijn en bovendien

Afb. 14.



omdat de tuinders zo lang mogelijk zullen wachten met het gebruiken van drinkwater, kan de tuinbouwpiek nauwelijks worden afgevlakt.
Indien de WDM zelf in deze leveringen had moeten voorzien, hadden zowel de winnings- en produktie- alsook de transportmiddelen op deze totale piek berekend moeten zijn, hetgeen voor deze bedrijfsmiddelen grote uitbreidingen met zich mee zou hebben gebracht.
In het kader van de integratiestudie in Zuid-Holland, die door de VEWIN ten behoeve van het Tweede Tienjarenplan is verricht en die onder meer beoogde de kosten van de 'eigen' investeringen voor uitbreidingen af te wegen tegen de kosten van leveringen door derden, is gekozen voor het benutten van een deel van de overcapaciteit van de Rotterdamse Drinkwaterleiding ten behoeve van de leveringen aan de tuinders.
Andere factoren die deze keuze mede hebben bepaald zijn de druk van het Rijksbeleid, dat is vastgelegd in het Structuurschema voor Drink- en Industriewatervoorziening en dat van de Provincie Zuid-Holland, waarin niet is voorzien in uitbreiding van enige omvang van de oppervlakte-infiltratie.
Zou daarentegen de WDM haar winningsmiddelen hebben moeten uitbreiden, dan behoorde wellicht een diepinfiltratieproject gericht op voorraadvorming onder de duinen tot een interessante oplossing. Daarmee zou buiten het tuinbouwseizoen een voorraad diep zoet grondwater kunnen worden gevormd, die ten tijde van grote afnamepieken van de tuinbouw zou kunnen worden aangesproken.
Het behoeft geen betoog dat deze mogelijke oplossing nog wel de nodige studie en proeven op praktijkschaal vereist alvorens hij kan worden gerealiseerd.
In tegenstelling met de winnings- en produktiemiddelen, die zoals zojuist is betoogd niet behoeven te worden uitgebreid, moet het transportleidingnet van de WDM wel op zowel piekbehoefte voor het huishoudelijke gebruik als voor de tuinbouw worden berekend en uiteraard worden aangesloten op het transportleidingnet van Rotterdam.
Het Rotterdamse en het Westlandse bedrijf hebben in samenwerking met de Provinciale Waterstaat in Zuid-Holland de noodzakelijke uitbreidingen van het Westlandse transportsysteem berekend en voorbereid; daarbij is er – om de kosten ervan te drukken, maar evenzeer om de veiligheid van het systeem te verhogen – van uitgegaan dat het transportsysteem van twee zijden wordt gevoed, namelijk in het zuiden uit Rotterdam en in het noorden door de WDM te zamen met de DWL Den Haag.
Voor een gedetailleerde beschrijving van dit transportsysteem moge worden verwezen naar H_2O nr. 8/86 van 10 april 1986.



Afb. 15.

4. Voorraadvorming bij oppervlaktewaterverwerkende drinkwaterbedrijven

Tot nu tot is aandacht besteed aan de benodigde capaciteit van de winnings- en zuiveringswerken en van de transportmiddelen en de bijbehorende reinwaterberging. Voor oppervlaktewater verwerkende drinkwaterbedrijven moet hier nog aan worden toegevoegd de capaciteit van de transportmiddelen tussen het punt van oppervlaktewateronttrekking en het zuiveringsbedrijf en de benodigde voorraad ruwwater. De redenen waarom deze ruwwatervoorraden worden aangelegd zijn besproken in de vakantiecursus in 1985 en kunnen dus hier buiten beschouwing blijven.

4.1. *Fluctuaties in het transport van rivierwater naar de duinen*

De duinen vervullen – zoals in de vorige vakantiecursus uitvoerig is besproken – een aantal zeer belangrijke functies bij de drinkwaterproduktie, waaronder die van ondergrondse berging. Deze berging zal moeten worden aangesproken, wanneer de ondiepe winningen, die onder normale omstandigheden de benodigde produktie leveren – door welke omstandigheden dan ook – tijdelijk in hun produktievermogen te kort schieten.
Dergelijke omstandigheden kunnen zich voordoen, wanneer bijvoorbeeld de aanvoer van het rivierwater is gestagneerd als gevolg van het in ongerede raken van de transportleiding of – bij grote droogte – wanneer geen water aan de rivier kan worden onttrokken.
Daarnaast zal – onder overigens normale bedrijfsomstandigheden – vooral in het vroege voorjaar een beroep op deze berging worden gedaan als gevolg van de hoge viscositeit van het geïnfiltreerde water. In § 4.2. zal dit worden behandeld.
De capaciteit, waarop zowel de rivierwatertransportleiding als het pompstation aan de rivier moet worden gedimensioneerd, wordt bepaald door de som van de volgende factoren:
a. De grootte van de drinkwaterbehoefte tijdens de gemiddelde topweek, die gedefinieerd wordt als de week met een overschrijdingskans van 50% per jaar; deze gemiddelde topweek is 115% van de gemiddelde week over dat jaar.
Weliswaar moeten de produktiemiddelen op de maximale topweek met een overschrijdingskans van 5% per jaar worden berekend, welke 130% van de gemiddelde week is, doch het is niet noodzakelijk dit laatste percentage als een van de factoren voor het bepalen van de capaciteit van de transportleiding annex pompstation in te voeren, omdat een iets te kleine aanvoer tijdens de maximale topweek kan worden gecorrigeerd door berging in het infiltratiegebied. Daarom wordt voor deze factor 115% genomen.
b. De grootte van de afstroming van water naar de zee en naar het binnenland alsmede de extra infiltratie naar de ondergrondse voorraad, om deze op zijn oorspronkelijke omvang te brengen. Wordt voor de afvloeiing van het water naar de zee en naar het binnenland en voor de normale infiltratie naar de ondergrondse voorraad het equivalent van de op het duingebied per jaar vallende neerslag gekozen, dan is voor het Haagse duingebied een extra infiltratie naar het diepe water van 5% van de jaarproduktie ruim voldoende.
c. De grootte van de extra aanvoer naar het duin voor het aanvullen ervan na een langdurige periode van onderbreking van de aanvoer van rivierwater tengevolge van één van de eerder genoemde redenen.
De snelheid waarmee de winningscapaciteit weer kan worden hersteld wordt onder andere bepaald door de hoogteligging en de afstand van het duinmeer ten opzichte van de winningsmiddelen, de k-waarde, en het poriënvolume van het zand.
Voor het Haagse infiltratiegebied, dat hoofdzakelijk lage, op circa 4 m boven het

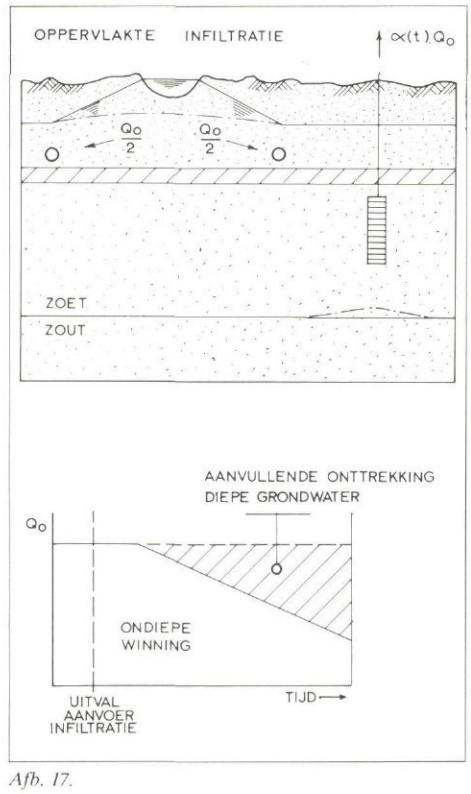
onttrekkingspeil gelegen pannen heeft, is het mogelijk om bij een aanvoer van 111% van de gemiddelde aanvoer in 3 weken de produktie weer op het oorspronkelijke niveau te brengen en bij een aanvoer van 106% wordt dit niveau eerst in 4 weken bereikt.
Resumerend kan worden gesteld dat als zowel de transportleiding als het bijbehorende pompstation wordt berekend op 100% + 15% + 5% + 11% respectievelijk 6% = 131 of 126% van het gemiddelde uur aan alle drie genoemde factoren is voldaan.
Hierbij zij opgemerkt dat als voor 130% gekozen wordt zelfs aan de vraag tijdens de maximum-topweek kan worden voldaan. Een vergroting van dit percentage wordt niet zinvol geacht, omdat dit grotere percentage maar een zeer geringe verkorting van de aanvultijd zal opleveren.

4.2. *Het gebruik van de ondergrondse berging bij het overbruggen van seizoeninvloeden*
In afb. 15 is het gemeten temperatuurverloop van zowel het aangevoerde rivierwater als van het aan het duin via de ondiepe winningsmiddelen onttrokken water getekend.
Deze afb. laat niet alleen zien dat zich een faseverschuiving van ±10 weken voordoet, doch bovendien dat er een relatief grote demping van de amplitude plaatsvindt. Deze demping wordt hoofdzakelijk veroorzaakt door de menging van dit water tengevolge van de grote spreiding in verblijftijd. Het koudste rivierwater bereikt rond 1 februari het duingebied en na een gemiddelde verblijftijd van circa 8 weken rond 1 april de winningen.
Afb. 16 brengt het percentuele verschil in k-waarde in beeld, tengevolge van fluctuaties in de gemiddelde temperatuur van het in het duinpakket aanwezige water ten opzichte van de gemiddelde jaartemperatuur van zowel het aangevoerde rivier- als gewonnen water van 11,4 °C.
De k-waarde blijkt rond april-mei circa 12% kleiner dan bij 11,4 °C te zijn en dus zal de produktie in die maanden ook circa 12% bij die van 11,4 °C achterblijven.
Wanneer in die periode het waterverbruik per uur toeneemt tot het jaargemiddelde dan ontstaat er theoretisch een tekort aan produktiecapaciteit in de ondiepe winningen van 12% van het gemiddelde uur; bij een jaarproduktie van 50 x 10^6 m^3 betekent dit een hoeveelheid van

$$0{,}12 \times \frac{50.000.000}{8.760} = 685 \text{ m}^3/\text{h}.$$

Deze hoeveelheid moet via de diepe winningsmiddelen onttrokken worden aan de ondergrondse voorraad.
In de praktijk zal de onttrekking aan de ondergrondse voorraad in die tijd groter zijn indien in de beschouwde periode ook een versterkte groei van algen in de duinmeren plaatsvindt. De algen assimileren, zoals bekend, het koolzuur uit het water, waardoor het kalk-koolzuur evenwicht wordt verstoord en zich de kalk op de bodem en zijwanden van de duinmeren kan afzetten. Hierdoor wordt het effect van de invloed van de temperatuur als het ware versterkt.

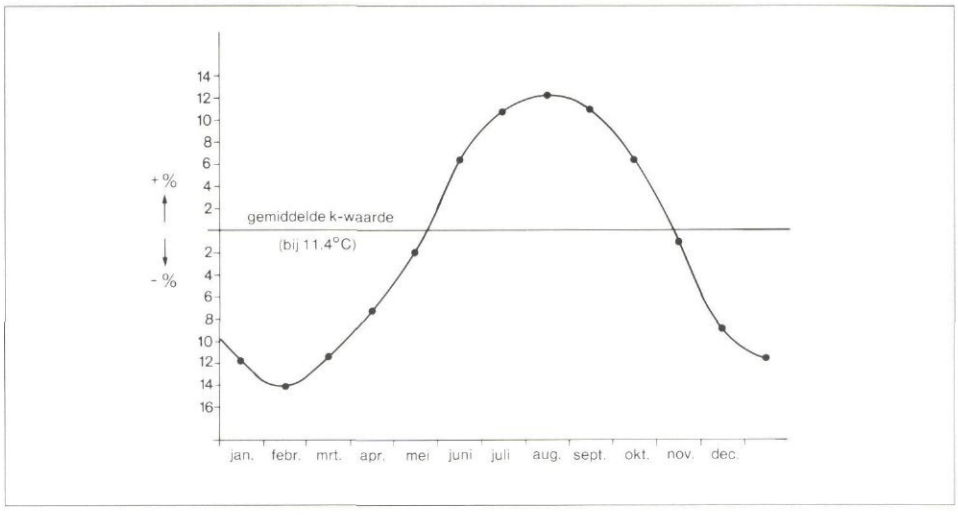
4.3. *Overbrugging van de tijd, waarin de aanvoer van rivierwater als gevolg van technische defecten aan de installaties, is gestagneerd (oppervlakte-infiltratie)*
Wanneer de aanvoer van het rivierwater stopt, zal het peil in de infiltratieplassen weliswaar langzaam dalen, maar – afhankelijk van de omstandigheden bij de bedrijfsvoering direct voorafgaande aan het stoppen van de aanvoer – zal de capaciteit van de ondiepe winningsmiddelen aanvankelijk nog onveranderd blijven.
Van het moment af dat het laagst mogelijke onttrekkingsniveau is ingesteld, zal de produktiecapaciteit van deze winningsmiddelen geleidelijk aan gaan verminderen, op een wijze die schematisch in afb. 17 is aangegeven.
Ter compensatie van deze verminderde produktie van de ondiepe winningen moet diep water uit de ondergrondse voorraad worden opgepompt, waarvan de hoeveelheid in gelijke mate moet toenemen als de produktie van ondiep water vermindert.
Afhankelijk van de tijd, die men nodig heeft voor het repareren van de defecte onderdelen van het aanvoersysteem, kan de minimale capaciteit van de diepe winningsmiddelen worden bepaald.



Afb. 17.

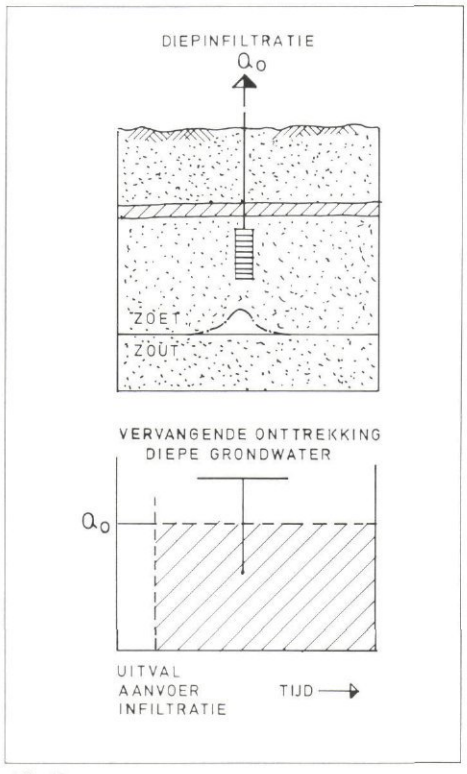
4.4. *Overbrugging van de in § 4.3. genoemde tijd in het geval de totale capaciteit aan oppervlakte-infiltratie vervangen zou zijn door die van diepte-infiltratie*
Het beleid van de rijks- en provinciale overheden is er thans op gericht – behoudens enkele aanpassingen van ondergeschikte betekenis – geen uitbreidingen te geven aan de oppervlakte-infiltratie, maar deze uitbreidingen te zoeken in diepte-infiltratie, voor zover uit de binnen afzienbare tijd te starten proefobjecten op technische schaal zal blijken dat deze nieuwe produktiewijze een volwaardige vervanger van de oppervlakte-infiltratie is.
Nu al – dus ruimschoots voor het tijdstip waarop beoordeeld kan worden of beide produktiemethoden gelijkwaardig zijn – gaan er regelmatig stemmen op om een groot deel

Afb. 16.



van de oppervlakte-infiltratie te vervangen door de diepte-infiltratie. Afgezien van de technische en financiële haalbaarheid van deze gedachten, past het om op één aspect van deze gedachten te wijzen, namelijk op het gebruik van de ondergrondse berging tijdens het stagneren van de aanvoer van rivierwater. Wordt bij oppervlakte-infiltratie tijdens perioden met onderbroken aanvoer van rivierwater nog een flink deel van het benodigde drinkwater geleverd door de ondiepe winningen, bij volledige overgang op diepte-infiltratie zal onmiddellijk de totale waterbehoefte aan de ondergrondse berging moeten worden onttrokken, zoals in afb. 18 wordt getoond.
Daar waar – naar mijn schatting – in die situatie ook het freatisch niveau van het bovenwater lager zal liggen dan bij het huidige infiltratieniveau, zal bovendien de voeding van de ondergrondse berging verminderen.
Afhankelijk van de gedurende de overbruggingstijd benodigde hoeveelheid water, de mate van spreiding van de onttrekkingsputten over het wingebied (oppervlak) en de ligging van de zout-, c.q. brakwatergrens in de uitgangssituatie, moet de kans op het verstoren van dit evenwicht in korte tijd niet als denkbeeldig worden beschouwd, zodat de ondergrondse berging waarschijnlijk een kortere overbruggingstijd zal toelaten.

4.5. *Bescherming van lange rivierwateraanvoerleidingen tegen aangroei op de binnenbuiswand en tegen de gevolgen van waterslag*
Het is van groot belang dat technische maatregelen worden getroffen die moeten voorkomen dat de transportcapaciteit van de leiding zou verminderen als gevolg van het groeien van hogere organismen (zoals de bryozoën) op de binnenbuiswand.
Een afdoende bescherming tegen deze groei is – naar Haagse ervaring – een continue dosering van chloor aan het te transporteren ongezuiverde rivierwater gedurende de tijd dat de temperatuur van het rivierwater boven de 12 °C ligt.
Het afzetten van slib op de binnenbuiswand, althans in die mate dat het hinderlijke gevolgen voor het watertransport heeft, wordt voorkomen door een goede snelfiltratie voor het transport.
Waren in het verleden niet alleen waterslagtorens maar ook be- en ontluchtingen op hoge punten in het tracé van de lange transportleidingen nodig ter beteugeling van de gevolgen van waterslag bij pompuitval en dergelijke, sedert de onderzoekingen aan dit fenomeen door de Technische Hogeschool in Delft, het Waterloopkundig Laboratorium en het KIWA in het begin van de jaren zeventig zijn daarover nieuwe inzichten ontstaan.



Afb. 18.

Deze onderzoekingen aan lange transportleidingen hebben aangetoond, dat de positieve drukgolf, die zich na de pompuitval door het water in de transportleiding verplaatst – onder voorwaarde van goede waternazuigmogelijkheden aan het begin van de leiding – geen hogere drukken in de leiding opwekt, dan de statische opvoerhoogte direct achter de pompen tijdens de bedrijfsvoering. Vervolgens moet uit een controle-berekening van de onderdrukken blijken of de mogelijk optredende cavitatie geen ontoelaatbare overdrukken tot gevolg heeft.
Als eerste resultaten van deze onderzoekingen zijn zowel de transportleidingen van de Biesbosch naar Rotterdam als die van Brakel naar Bergambacht niet van waterslagtorens voorzien.

5. Sterke en zwakke kanten van de huidige transportsystemen

Tot de sterke kanten van de huidige transportsystemen meen ik te mogen rekenen:
a. het feit dat de bedrijfstak erin is geslaagd een watertransport- en distributiesysteem op te bouwen, dat behalve dat het kan voldoen aan de eisen van de wet, ook in financieel opzicht kan wedijveren met vrijwel alle transportmiddelen voor massa-transporten;
b. dat de distributie onder druk in vele gevallen een goede beveiliging geeft tegen mogelijke besmetting van buitenaf;
c. de gebleken grote betrouwbaarheid van het systeem met betrekking tot de levering;
d. de mogelijkheid om te voldoen aan de vraag naar drinkwater ongeacht waar die vraag zich voordoet en de te leveren hoeveelheden.
Wellicht zou als een zwak punt zijn aan te merken de omstandigheid dat als de leiding of het systeem van leidingen eenmaal is aangelegd de relatie tussen de te transporteren hoeveelheid water en de daarvoor benodigde energie vrij star is bepaald.
Het wil me voorkomen dat – als gevolg van de stijging van energiekosten – de verhoging van de watertarieven niet sneller gaat dan die van de kosten van het levensonderhoud, en dat zulks maatschappelijk aanvaardbaar moet worden geacht.
Willen we desondanks het systeem van watertransportleidingen zo min mogelijk afhankelijk maken van de gevolgen van de stijging van de brandstofprijzen, dan zou de oplossing wellicht gezocht kunnen worden in de ontwikkeling van een buis, waarvan de doorsnede als een diafragma kan worden vergroot of verkleind.
Om er zeker van te zijn dat het dan ontwikkelde systeem zo flexibel mogelijk op de energiekosten inspeelt zou de bediening ervan gekoppeld moeten worden aan de koersen van de oliebeurs.
Dit lijkt voorlopig nog een utopie.

Literatuur

Oleson, John Peter. *Greek and Roman Mechanical Water-Lifting Devices.* University of Victoria, Victoria British Columbia.
Huisman, L. (1974). *Inleiding op de 26e vakantiecursus in de drinkwatervoorziening.* 26e Vakantiecursus 1974.
KIWA-mededelingen nr. 36, nr. 58 en nr. 59.
Horstmeier, A. J. N. (1970). *Het ontwerp voor winning en zuivering van grondwater.* 22e Vakantiecursus 1970.
Rapport in het kader van het Integraal Onderzoek Drinkwatervoorziening Zuid-Holland (1982). *De toekomstige behoefte aan suppletiewater van de glastuinbouw in Zuid-Holland bij gebruik van regenwaterbassins.* November 1982.
Huisman, L. (1954). *Capaciteit van transportleidingen en reservoirs.* 6e Vakantiecursus 1954.
Westendorp. *Inleiding tot de werktuigbouwkunde.*

● ● ●