

De kosten van distributie van ontzout water *)

Inleiding

Nadat zeewater of brak water door ontzouting met of zonder toevoeging van bepaalde chemische stoffen gereed is gemaakt om voor de consumptie te worden gebruikt, dient het nog van de ontzoutingsfabriek te worden vervoerd naar de plaats waar de gebruiker het wenst af te tappen. Het waterleidingbedrijf is één der grootste zelfbedieningszaken, 24 uur in dienst, in de dienstverlenende sector van het bedrijfsleven. Voor dit transport zijn kapitaalintensieve werken noodzakelijk en indien de productie en distributie van ontzout water wordt overwogen, dienen de financiële gevolgen van de distributie mede in de beschouwingen te worden betrokken.

De vele cijfers die worden genoemd zijn uiteraard gebaseerd op de Nederlandse omstandigheden en kunnen derhalve niet worden overgenomen voor andere situaties met andere loon- en materiaal-prijzen. Zij geven echter een beeld van de kostprijs van de distributie van water ten opzichte van de kostprijs van de productie van ontzout water, die globaal genomen thans circa f 1,— per m³ draagt.

De techniek van de waterdistributie

Alvorens nader op de kostprijs in te gaan, lijkt het nuttig allereerst aandacht te schenken aan de techniek van de distributie. Daarvoor moge worden verwezen naar afb. 1. Het transport van water kost energie; het water dient bovendien onder een zekere druk aan de gebruiker te worden afgeleverd om het transport in de drinkwaterinstallatie mogelijk te maken. Dit betekent, dat het water, dat drukloos of praktisch drukloos uit de ontzoutingsfabriek komt, zal moeten worden opgepompt. Het daartoe noodzakelijke pompstation dient zodanig te worden uitgevoerd, dat de levering van water ook onder bijzondere omstandigheden kan doorgaan. Dit houdt in, dat voldoende reservevermogen aan pompen dient te worden opgesteld en dat gebruik moet worden gemaakt van bij voorkeur twee soorten energievoorziening.

Indien de ontzoutingsfabriek op zekere afstand van het voorzieningsgebied, het distributiecentrum, is gelegen, dan zal het water door — bij grotere omzetten uit veiligheidsoverwegingen uit meerdere leidingen bestaande — transportleidingen worden vervoerd.

In het voorzieningsgebied aangekomen, zal het water via — moderne — ringleidingen (eveneens leidingen van groot kaliber) naar de verschillende wijken of dorpen worden gebracht. De hoofdleidingen verdelen het water straatsgewijs en zorgen ervoor, dat het vóór elk perceel wordt gebracht. De dienstleiding tenslotte verzorgt de aansluiting van het perceel aan het hoofdleidingnet en is derhalve de laatste fase van het distributienet. Bij de distributie van water wordt vaak gebruik gemaakt van — zo mogelijk hooggelegen — voorraadreservoirs, waarover straks iets meer.

De wensen van de gebruiker

Eén van de moeilijkste problemen, die zich voordoen bij het ontwerpen van een distributiesysteem, is het verbruik te bepalen, de totale waterafgifte. Het water moet aan de afnemer worden geleverd in voldoende hoeveelheid, met voldoende druk en gedurende 24 uur van een dag.

Het verbruik in een woning wordt beïnvloed door verschillende factoren:

1. het aantal personen in de woning;
2. het aantal tappunten;
3. de soort tappunten (bad, tuin, spoelkraan, privé-zwembad);
4. de welstand van de bewoners;
5. de levensgewoonte (baden en wassen);
6. het weer;
7. de aanwezigheid van een watermeter. (Er zijn aanwijzingen, dat er een verschil is van 50-60 % in het waterverbruik tussen bemeterde en niet bemeterde woningen);
8. de prijs van het water enz.

Naast al deze invloeden dient ook rekening te worden gehouden met de toekomstverwachtingen omtrent het verbruik, alsmede met de waterhoeveelheden, benodigd voor brandblussing. Daaraan dient het industriële verbruik te worden toegevoegd. De bepaling daarvan is een probleem op zich.

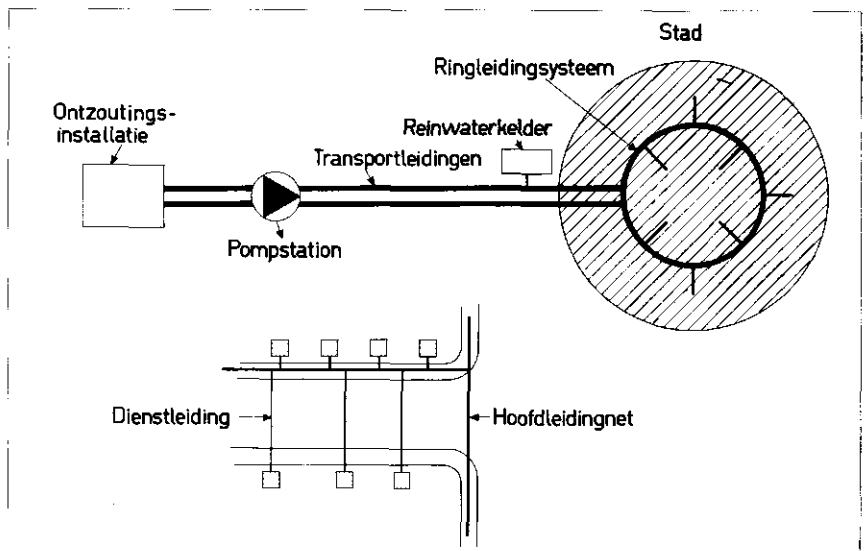
Door het — gelukkig — intermitterend gebruik van de tappunten ontstaat een van de tijd en het weer afhankelijk variabel omtrekkingspatroon. Afb. 2 geeft daarvan een voorbeeld voor de stad Den Haag. De afbeelding geeft een beeld van het verloop op een zeer warme dag — gemiddeld over een aantal jaren. Horizontaal zijn de uren van de dag uitgezet, verticaal het uurverbruik in een percentage van het totale dagverbruik op die dag.

Het is duidelijk, dat het leidingnet dient te worden ontworpen op het maximaal voorkomende momentverbruik, meestal uitgedrukt in m³ per uur. Het net wordt dus in feite inefficiënt gebruikt; het wordt ontworpen voor een waarde, die slechts enkele momenten per jaar voorkomt.

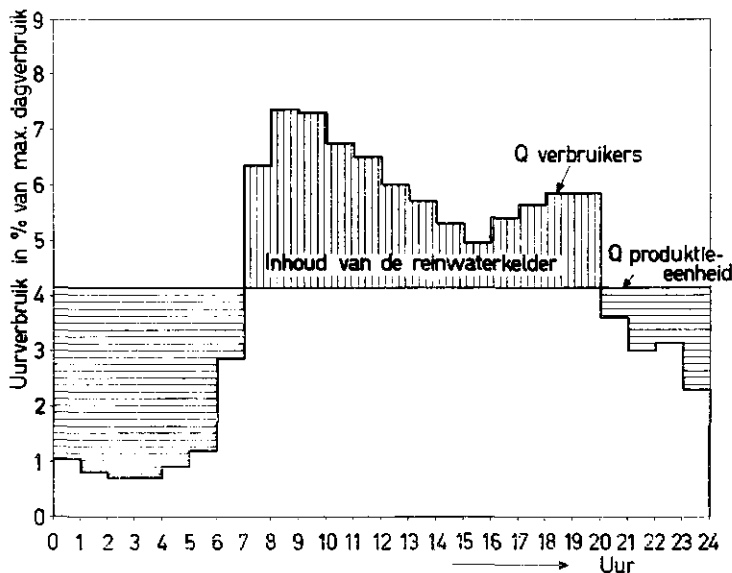
Bij deze wisselingen in het verbruik — naar seizoenen en naar dag — worden twee parameters gebruikt:

1. vooral voor productie-eenheden van belang is de verhouding maximumdagverbruik/gemiddeld dagverbruik, die normaal ongeveer in de buurt van 1,2-2,0 ligt. Omdat deze parameter de seizoeninvloed geeft, noem ik hem de productieongelijkmatigheidsfactor;
2. voor het distributienet is de verhouding maximumuurverbruik/gemiddeld uurverbruik, de distributieongelijkmatig-

Afb. 1 - Elementen van de distributie van water.



*) Voordracht gehouden te Delft op 14 oktober 1969 ten behoeve van een bijeenkomst van de leden van de Werkgroep Waterontzouting van de Europese Federatie voor Chemische Techniek.



Afb. 2 - De wens van de verbruiker (uurverbruik voor Den Haag).

heidsfactor belangrijk. Deze ligt normaal omstreeks de waarde 2,0-3,5. Vaak betreft men deze verhouding op de maximumdag en men verkrijgt dan waarden van 1,2-2,0.

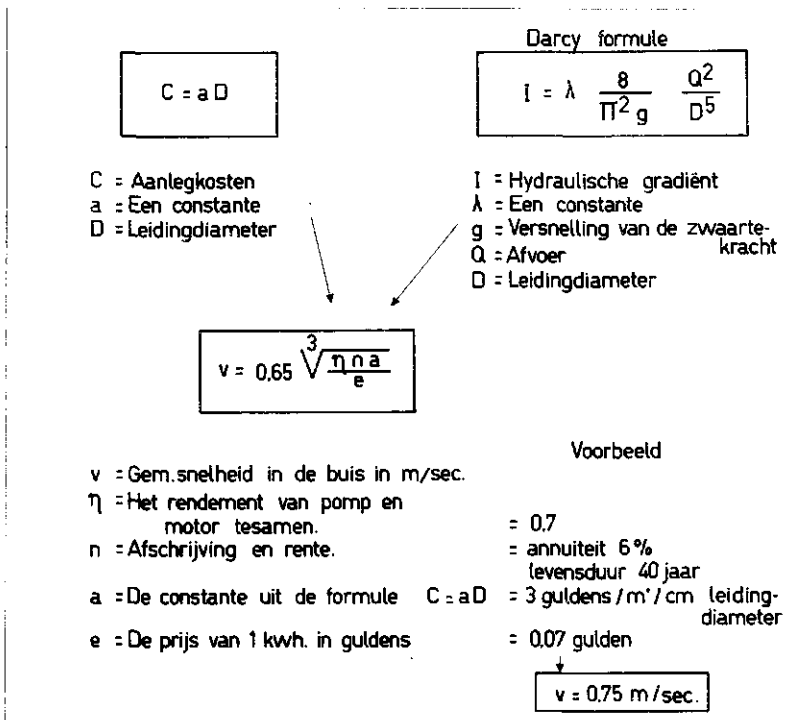
Voor de stad Den Haag als voorbeeld is de $P_{o.f.} = 1,3$ en de $D_{o.f.} = 2,3$.

Gelukkig is het mogelijk om in een deel van de distributieonderdelen de ongelijkmatigheid in het transport te reduceren door het inschakelen van reinwaterreservoirs. Dit komt meestal ook de produktie-eenheid ten goede, die zich dan niet hoeft aan te passen aan het sterk wisselende verbruik. Bij een juiste keus van

de plaats van het reservoir — in of bij het zwaartepunt van het verbruik — kan de ongelijkmatigheid van het pompstation nabij de produktie-eenheid, de transportleidingen en eventueel de ringleiding worden teruggebracht tot de waarde van de produktieongelijkmatighedsfactor. Het hoofdleidingnet en de dienstleidingen zullen op de distributieongelijkmatigheid dienen te worden ontworpen, tenzij bij belangrijke industriële afnemers eveneens opslag voor water wordt aangebracht.

De grootte van de benodigde reinwaterkelders, gebaseerd op de eis het gehele

Afb. 3 - Economie van transportleidingen.



produktieproces op de warmste dag gelijkmatig te laten verlopen, bedraagt 25-35 % van het maximumdagverbruik.

De kostprijs van de distributie

Het is uiteraard mogelijk — globaal! — iets te zeggen over de kosten die met de verschillende onderdelen van de waterdistributie zijn gemoeid. Het is daarbij noodzakelijk onderscheid te maken tussen stedelijke distributiebedrijven en streekvoorzieningen. Immers de lengte van het leidingnet in een streekvoorziening is als gemiddelde per aansluiting veel langer dan in een stadsvoorziening. De aanlegkosten zullen door minder ondergronds verkeer en obstakels daarbij belangrijk lager liggen.

Door de grote variatie aan mogelijkheden zal een keus moeten worden gedaan. In het uit te werken voorbeeld zal daarbij van afb. 1 worden uitgegaan.

Pompstations

De kapitaal-, de onderhouds- en de bedieningskosten nemen niet proportioneel toe met de omzet. De pompen worden bij toenemende capaciteit in volume slechts weinig groter, zodat ook de omanteling — de machinekamer — slechts weinig groter behoeft te worden. Wat de bedieningskosten betreft, is er de ontwikkeling naar volautomatische pompstations.

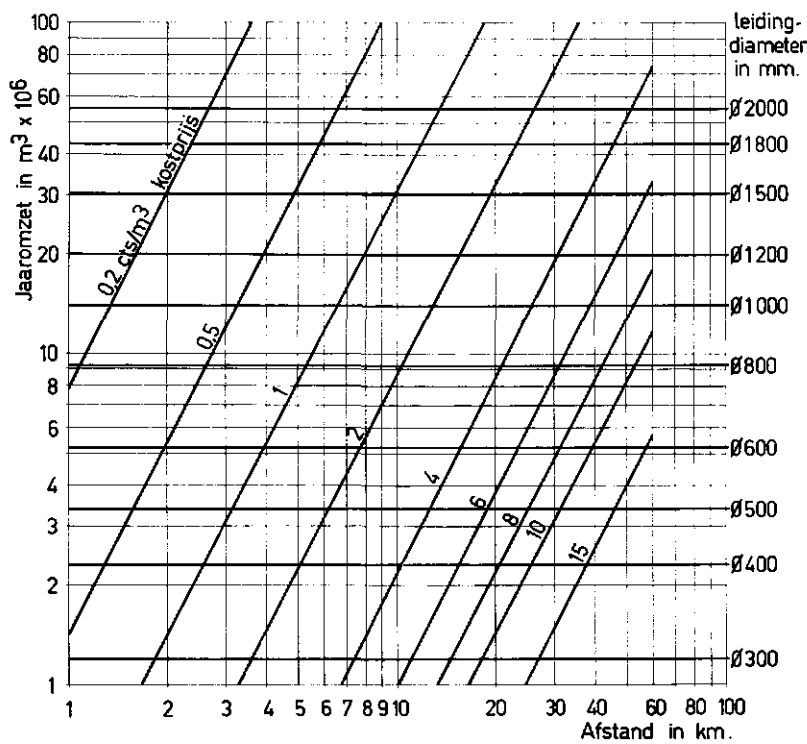
De investeringskosten verlopen bij toenemende omzet van circa f 1.000,— per m³ per uur installatievermogen tot circa f 500,— per m³ per uur bij jaaromzetten van resp. 2.000.000-50.000.000 m³.

Uitgedrukt per m³ geleverd water bedraagt dit bij een ongelijkmatighedsfactor van bijvoorbeeld 1,3, een levensduur van 40 jaar en een annuïteit van 6 %, respectievelijk 1 tot 0,5 cent per m³. Aan onderhoud en bediening dient daarbij nog te worden opgeteld 2,5 tot 1,5 cent per m³. De pompstationskosten bedragen totaal derhalve 3,5-2,0 cent per m³.

Voor de energiekosten — voor zover niet begrepen in de transportleidingen — kan bij een kWh-prijs van f 0,07 en een rendement van pompen en motoren van 0,7 voor stedelijke bedrijven 1 cent per m³ worden gerekend en voor streekvoorzieningen 2 cent per m³.

Reinwaterkelders

Uitgaande van hooggelegen kelders, zodat derhalve geen kosten voor het opnieuw op druk brengen noodzakelijk zijn, en verder van een kelderinhoud van 30 % van het maximale dagverbruik, kan de volgende kostenstelling worden verkregen. De eenheden, waarin reinwaterkelders worden gebouwd, variëren weinig en liggen in orde van grootte van 5.000-20.000 m³. De investeringskosten kunnen daarom globaal constant worden gesteld op f 100,— per m³ inhoud. Bij kleinere bedrijven zal dit iets hoger liggen. De kosten uitgedrukt per



Afb. 4 - Kostprijs van transportleidingen (ongelijkmatigheidsfactor 1,3, kostprijs = afschrijving + rente + energie).

m³ geleverd water, bij een geschatte levensduur van 30 jaar en een annuïteit van 6 % bedragen 0,8 cent. Inclusief het onderhoud kan dit worden afgerond op 1 cent per m³.

Transportleidingen

Het is noodzakelijk bij het ontwerpen van transportleidingen, waarvan de aanleg kapitaalintensief is, te rekenen naar de meest economische buisdiameter. Wordt een grote buisdiameter gekozen — waardoor dus hoge aanlegkosten ontstaan — dan loopt het water er gemakkelijk door hetgeen tot lage energiekosten leidt en omgekeerd. Gezocht dient te worden naar de gezamenlijke minimale kosten, die derhalve kunnen worden samengesteld uit de omslag van de aanlegkosten en de exploitatiekosten (afb. 3). Uitgaande van een proportioneel verband tussen de aanlegkosten en de leidingdiameter bijvoorbeeld $C = aD$ gulden per m³ enerzijds en de formule van Darcy anderzijds, leidt dit bij een continue belasting voor het gehele jaar tot de formule

$$v = 0,65 \sqrt{\frac{3 \mu n a}{e}} \text{ m/sec.}$$

Hierin is

- v = de gemiddelde snelheid in de buis in m/sec.;
- μ = het gezamenlijk rendement van pompen en motoren;
- n = afschrijvingen en rentepercentage;
- a = de constante van de aanlegkosten uit de formule $C = aD$;
- e = de prijs van 1 kWh.

De diameter van de buis is uit de formule verdwenen; een transportleidingstelsel dient, uitgaande van bovengenoemde grondbeginselen, te worden ontworpen op een constante snelheid! Bij een gevarieerde afvoer blijkt een waarde voor de snelheid te moeten worden gekozen, die iets boven het gewogen gemiddelde ligt. Bij een annuïteit van 6 %, een levensduur van 40 jaar, een a van 3 gulden/m'/cm buisdiameter en een kWh-prijs van 0,07 gulden bedraagt de ontwerpsnelheid circa 0,75 m per sec.

Met behulp van deze formule en bij vaststelling van de ongelijkmatigheidsfactor van 1,3 kan nu afb. 4 worden samengesteld. Deze geeft de kostprijs van de transportleidingen uitgedrukt in ct per m³ en zijn afhankelijkheid met de omzet per jaar en de transportafstand. Duidelijk blijkt dat:

- a. het vervoer van kleine hoeveelheden over grote afstand kostbaar is;
- b. de kostprijs van de transportleidingen belangrijk afneemt, naarmate de omzet toeneemt (bij L = 30 km varieert de prijs van rond 15 cent per m³ bij een jaaromzet van 1.000.000 m³ tot 2 cent per m³ bij een jaaromzet van 70.000.000 m³).

Ringleiding + hoofdleidingnet

Het eigenlijke distributienet bestaat voor het grootste gedeelte uit buizen met diameters in orde van grootte van \varnothing 100 en \varnothing 150 mm. Door het grote aantal variabelen dat van invloed is op het ontwerp van een net — naast de factoren, die het verbruik beïnvloeden,

heeft de ontwerper ook nog te maken met villawijken, binnensteden, industriewijken enz. — is het niet eenvoudig om een geschikte parameter te vinden, die een maatstaf zou kunnen zijn voor de kostprijs.

Van de kosten voor aanleg van \varnothing 100 en \varnothing 150 mm leidingen bestaat in Nederland het grootste gedeelte uit arbeidsloon; door de hoge loonkosten zijn slechts 20-30 % van de strekkende meterprijs materiaalkosten. Dit leidt tot de gedachte de aanleg van 1 m' buis op een gefixeerd bedrag te stellen. Voor stedelijke bedrijven kan daarvoor f 50,— per m' worden genomen en voor streekvoorzieningen, waar het veel gemakkelijker werkt en meestal van graafwerktuigen gebruik kan worden gemaakt f 25,— per m'. Daardoor wordt het mogelijk de omzet uit te drukken in m³/m' buis/jaar.

Op deze investering kan een toeslag worden gegeven voor de aanleg van ringleidingen en de zwaardere leidingen van het hoofdleidingnet (\varnothing 200- \varnothing 300 mm). Uit diverse berekeningen voor verschillende bedrijven kan deze toeslag voor stedelijke voorzieningen worden gesteld op 100 %, voor streekvoorzieningen op 25 %. Indien verder wederom wordt uitgegaan van een levensduur van 40 jaar en een annuïteit van 6 % kan de volgende grafiek (afb. 5) worden samengesteld. Zij geeft het verband aan tussen de omzet in m³/m' buis/jaar en de kostprijs in ct/m³. De scheiding tussen streekvoorzieningen en stedelijke voorzieningen kan worden gelegd bij circa 15 m³/m' buis/jaar. Duidelijk blijkt — hetgeen te verwachten was — dat de kostprijs belangrijk afneemt bij toenemende afzet per m' buis. De kosten van het onderhoud, uitgedrukt in ct/m³, kunnen worden verwaarloosd.

Dienstleidingen

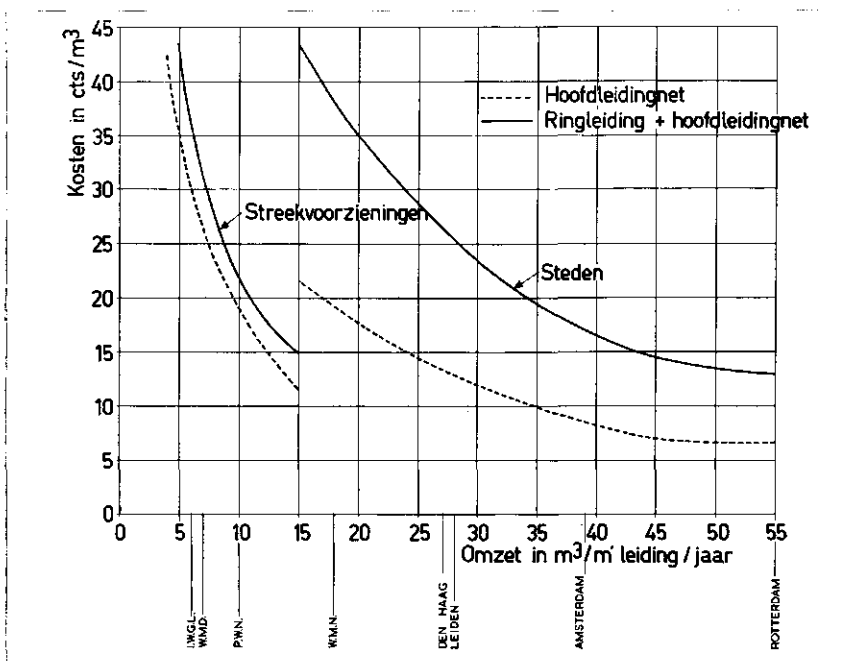
De kosten voor de dienstleidingen, dus afschrijving + rente + onderhoud (inclusief de eventueel aanwezige watermeters + de meteraflezing), worden praktisch altijd direct toegerekend naar de klant door hem een vast bedrag per maand te laten betalen. Het lijkt raadzaam deze kosten thans verder buiten beschouwing te laten.

In het algemeen kan wel worden gesteld, dat deze kosten hoger zijn voor streekvoorzieningen dan voor stedelijke voorzieningen.

Waterverlies

Nu thans alle onderdelen van de distributie zijn gepasseerd en derhalve nog slechts getabellariseerd zou behoeven te worden, is er nog een belangrijk onderwerp, dat de aandacht vraagt.

Inherent aan de distributie van drinkwater met behulp van de huidige technieken is dat een zeker gedeelte van het geproduceerde water op zijn lange transportweg ongebruikt wegstromt door lekken en dergelijke. Veelal zitten deze



Afb. 5 - Kostprijs van ringleiding + hoofdleidingnet.

in de dienstleidingen en de drinkwaterinstallaties.

De grootte van het lekverlies is afhankelijk van verschillende factoren, zoals de kwaliteit van de toegepaste materialen, de soort ondergrond, het vakmanschap bij de aanleg, de aanwezigheid van watermeters die een gedeelte van de lekken namelijk registreren enz. Er zijn diverse bedrijven, die een lekverlies hebben van 30 % of meer. Naar Nederlandse maatstaven gemeten is een redelijke waarde van het lekverlies 7-10 % en een bedrijf met 4 % is uitzonderlijk goed. De vraag, die hier dient te worden gesteld, is: Wat zijn de kosten van dit weglappende water?

De kosten van waterlevering kunnen worden verdeeld in kapitaalkosten (afschrijving en rente), variabele kosten, waartoe behoren: de energiekosten in de productie- en in de distributiesector, de aan het water toegevoegde chemicaliën

voor de zuivering, de gezondheid of de smaak en de personele kosten van de staf. Het is duidelijk, dat tot de kosten van een lek in elk geval de variabele kosten behoren. De kosten voor de staf houden geen verband met het waterverlies en kunnen buiten beschouwing worden gelaten.

Verder dient het grootste gedeelte van de kapitaalkosten in de berekeningen te worden betrokken. Immers, indien een waterleidingbedrijf 10.000.000 m³ moet afleveren en het waterverlies zou 20 % zijn, dan moet de maximale capaciteit gebaseerd zijn op 12.000.000 m³. Er is echter geen proportioneel verband voor alle onderdelen. De waterverliezen kunnen praktisch gezien over het gehele jaar als constant worden gezien. De ongelijkmatigheidsfactor bedraagt 1. Lekken hebben daarom geen invloed op de grootte van reinwaterkelders. Verder worden in de praktijk de kosten van het

hoofdleidingnet en de dienstleidingen nauwelijks beïnvloed door lekverliezen. De oorzaak daarvan is, dat het hoofdleidingnet mede is ontworpen voor brandblusdoeleinden, de reden waarom een minimummaat van bijvoorbeeld ten minste ø 100 mm wordt aangehouden. De lekverliezen beïnvloeden de productie-eenheid, de pompstations, de transportleidingen en de ringleiding. Daarbij speelt echter de verhouding van de ongelijkmatigheidsfactor nog een rol.

Van de kostprijs van ontzout water van f 1,— per m³ af productie-eenheid dienen de kosten voor de staf te worden afgetrokken en een deel van de kapitaalkosten te worden toegevoegd. Voor het gemak wordt de kostprijs van het lekverlies op f 1,— per m³ gesteld. In het geval dat het lekverlies 10 % bedraagt, resulteert dit in een bedrag van f 0,10 per m³.

Samenvatting

Nu thans alle onderdelen aan een nader onderzoek zijn onderworpen, kan een algemeen overzicht worden gemaakt. Daarbij is een onderscheid gemaakt naar verschillende jaarhoeveelheden. Verder wordt ervan uitgegaan, dat de afstand tussen de ontzoutingsinstallatie en de stad 25 km bedraagt en tot de streekvoorziening 50 km. Dan wordt het volgende resultaat verkregen (afb. 6). De tabel en het besprokene leiden tot de volgende conclusies.

1. De kostprijs van de waterdistributie is een niet te verwaarlozen factor gezien tegen de kostprijs van ontzouting van zeewater of brak water. Belangrijke kostenonderdelen zijn de kosten van de transportleidingen, die bij grotere afstand en kleine omzet in belangrijkheid toenemen en van de kosten van de ringleiding en het hoofdleidingnet.

Naar Nederlandse maatstaven gemeten bedragen de kosten van distributie voor steden, die op 25 km afstand van de ontzoutingsinstallatie zijn gelegen, circa 30-45 % van de kostprijs van het ontzoute water; voor streekvoorzieningen op 50 km afstand gelegen van 40-60 %.

2. De grootte van het waterverlies in het distributienet en de drinkwaterinstallaties kan een belangrijke invloed hebben op de kostprijs van het gereede produkt. Een goed onderhouden meterpark en lekzoeken zijn daarvoor de remedies.

3. De kosten, die in de tabel zijn genoemd, zijn de kosten die behoren bij de ontwerp-hoeveelheden voor de verschillende onderdelen. Er dient op te worden gerekend, dat de aanvankelijke kosten, direct bij het in dienst stellen van de watervoorziening, afhankelijk van het te volgen rente- en afschrijvingsstelsel, belangrijk hoger kunnen liggen.

4. Het is van belang een project op te zetten met grote omzet, derhalve samen te werken met nabijgelegen voorzieningsgebieden. Omzetvergroting drukt de kosten van distributie belangrijk.

Afb. 6 - Kostprijs van de distributie van water.

In cts/m ³	Steden L=25 km					Streekvoorzieningen L=50 km			
	2x10 ⁶	5x10 ⁶	10x10 ⁶	20x10 ⁶	50x10 ⁶	2x10 ⁶	5x10 ⁶	10x10 ⁶	20x10 ⁶
Jaarcapaciteit in m ³									
Pompstation	3,5	3,0	2,5	2,2	2,0	3,5	3,0	2,5	2,2
Energie	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Reinwaterkelder	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Transportleidingen	10,5	6,5	4,5	3,5	2,0	20,0	13,0	9,0	6,5
Ringleiding + hoofdleiding-	20,0	20,0	20,0	20,0	20,0	22,5	22,5	22,5	22,5
Dienstleidingen net ¹⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Waterverlies 10 %	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Totale kosten	46,0	41,5	39,0	37,7	36,0	59,0	51,5	47,0	44,2

¹⁾ Steden : levering 35 m³/m³ leiding / jaar Streekvoorzieningen : 10 m³/m³ leiding / jaar