

## Kwaliteitsverbetering in doorstroombekkens (slot\*)

### Grondslagen Basisplannen 3

#### 7. Parallelschakeling van doorstroombekkens

In fig. 21 is nogmaals het verloop van het chloridegehalte tijdens een normaal jaar en een opvolgend droog jaar getekend in het geval dat gebruik wordt gemaakt van één doorstroombekken met een inhoud van 50 % van de jaarproductie. Het aanvangschloridegehalte  $c_0$  ten tijde  $t = 0$  bedroeg 100 mg/l. Het verloop van het chloridegehalte is getekend tegen de achtergrond van het chloridegehalte van het Rijnwater te Lobith dat in het normale en het droge jaar moet worden ingenomen.

Zowel in het normale jaar als het droge jaar wordt een sterke afvlakking van de maximale chloridegehalten van het rivierwater bereikt. In enkele perioden heeft het rivierwater een relatief laag chloridegehalte. In die tijdvakken wordt water afgeleverd met een hoger chloridegehalte dan bij de inlaat aanwezig. Tijdens deze laatste perioden wordt dus meer zout afgegeven dan in het reservoir wordt aangevoerd. Hierdoor kan het chloridegehalte van het water in het reservoir dalen. In perioden van aanbod van water met een hoog zoutgehalte vindt nu een sterke reductie van het zoutgehalte plaats tengevolge van het in het reservoir aanwezige water met laag zoutgehalte.

In feite wordt dus zout in het reservoir opgeslagen in perioden van aanbod van water met relatief hoog chloridegehalte en wordt dit opgeslagen zout weer afgegeven in perioden van aanbod van water met een relatief laag zoutgehalte.

In het normale jaar bedraagt het gemiddelde chloridegehalte van het rivierwater 145 mg/l. Hoe de bedrijfsvoering van het reservoir ook wordt ingericht het zal, indien ten tijde  $t = 0$  het reservoir is gevuld met water met dit gemiddelde chloridegehalte, onmogelijk zijn

water af te leveren met een chloridegehalte dat gemiddeld beneden 145 mg/l ligt.

Wel kan worden getracht dit gemiddelde zo goed mogelijk te benaderen door verhoging van het minimale chloridegehalte in het afgeleverde water en verlaging van het maximale chloridegehalte. Hierdoor worden grote variaties in het chloridegehalte van het afgeleverde water vermeden en een gelijkmatiger produkt afgeleverd. Een gelijkmatig produkt wordt met name door de industrie op hoge prijs gesteld.

In het geval waarbij gebruik wordt gemaakt van één reservoir kan deze bedrijfsvoering niet worden gerealiseerd. Immers slechts de mengcondities in het reservoir zijn bepalend voor de waarde van het chloridegehalte in het afgeleverde water.

Om het gestelde doel te kunnen bereiken zullen de mengcondities kunstmatig moeten worden beïnvloed. Dit is pas mogelijk indien de beschikbare inhoud over een aantal reservoirs wordt verdeeld. Slechts dan kunnen de inlaat en uitlaat van de reservoirs zo worden geregeld, dat aan de bovenstaande suggestie kan worden voldaan. Serieschakeling van reservoirs kan in dit verband niets opleveren. Reeds in § 3 werd opgemerkt dat wat betreft de afvlakking van de anorganische kwaliteit van het water één groot reservoir in het voordeel is ten opzichte van serieschakeling van een aantal kleine reservoirs met in totaal dezelfde inhoud. Vandaar dat hier niet nader op de serieschakeling van reservoirs behoeft te worden ingegaan.

Bij parallelschakeling van reservoirs kan echter met vrucht de bovenstaande theorie in praktijk worden gebracht. In het volgende zal dit worden verduidelijkt. Wordt bijvoorbeeld over één reservoir met een inhoud van 10 % van de jaarproductie (reservoir I) en één reservoir met een inhoud van 40 % van de jaarproductie (reservoir II) beschikt, dan wordt aanvankelijk alleen het kleinste reservoir in productie gesteld. Met dit reservoir wordt nu snel een toelaatbaar geachte grens van  $Y$  mg Cl/l in het afgeleverde water bereikt. Door menging van de waterkwaliteiten welke uit de reservoirs I en II stromen kan nu vervolgens het chloridegehalte van het afgeleverde water op de waarde  $Y$  worden gehandhaafd. Indien uit reservoir I  $\alpha \cdot Q$  en uit reservoir II  $\beta \cdot Q$  wordt geleverd, dan moet de menging en dus de toe- en afvoer zo plaats vinden, dat

$$\alpha \cdot Q \cdot c_{eI} + \beta \cdot Q \cdot c_{eII} = Q \cdot Y, \text{ waarbij } \alpha + \beta = 1$$

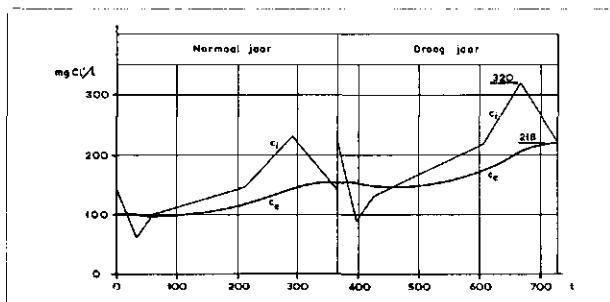


Fig. 21 - Verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater en van het water in een doorstroombekken met een inhoud van 50 % van de jaarproductie bij een waarde van  $c_0 = 100$  ten tijde  $t = 0$ . Normaal jaar gevolgd door een droog jaar.

\* Het eerste deel van dit artikel verscheen in nummer 3 van  $H_2O$ , 8 februari 1968, pag. 64 t/m 71.

Geleidelijk zal nu het chloridegehalte van reservoir II stijgen tot een waarde waarbij ondanks menging het chloridegehalte van het afgeleverde water niet meer op  $Y$  mg/l kan worden gehandhaafd.

Nog effectiever zou het volume van 40 % van de jaarproductie kunnen worden gebruikt indien in eerste instantie slechts een deel van dit volume aan de menging zou deelnemen. Dan zou analoog aan het voorgaande in een kleine eenheid veel zout kunnen worden opgeslagen, waarbij dan een ander deel van de reservoirs op laag chloridegehalte kan worden gehouden. Deze laatste hoeveelheid kan nu worden ingezet indien water met een zeer hoog chloridegehalte wordt aangeboden. Het volume van 40 % van de jaarproductie dient dus ook verdeeld te worden over een aantal kleine reservoirs.

Om een eenvoudige rekengrootheid te kunnen hanteren zal in het vervolg steeds worden uitgegaan van reservoirs met een inhoud van 10 % van de jaarproductie.

Bij de bedrijfsvoering met parallelgeschakelde reservoirs zullen nu de volgende regels in acht genomen worden:

- Verdeel de inhoud over zoveel mogelijk reservoirs.
- Tracht het aanvaardbare chloridegehalte van het afgeleverde water zo snel mogelijk te bereiken en handhaaf het chloridegehalte van het afgeleverde water op die waarde.
- Tracht een aantal reservoirs zo lang mogelijk op een laag chloridegehalte te handhaven opdat deze kunnen worden ingeschakeld in perioden waarin water met een zeer hoog chloridegehalte wordt aangeboden.

Tot nu toe is de aanvaardbare waarde van het chloridegehalte op  $Y$  mg/l gesteld. De vraag hoe hoog deze maximale waarde zal mogen zijn, is op het ogenblik van het verschijnen van dit artikel nog in studie. Uitsluitend en alleen als rekenvoorbeeld hebben de schrijvers aangenomen, dat het chloridegehalte van het water uit het stelsel reservoirs in een normaal jaar  $\leq 150$  mg/l, in een droog jaar  $\leq 175$  mg/l en in een zeer droog jaar  $\leq 200$  mg/l moet zijn. Tengevolge van chloordosering bij het zuiveringsproces zullen de gehalten van het afgeleverde drinkwater intussen nog iets hoger komen te liggen.

Als voorbeeld zal nu het geval worden behandeld waarbij 5 reservoirs, ieder met een inhoud van  $10 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, ter beschikking staan. De jaarproductie van het bedrijf bedraagt  $100 \times 10^6$  m<sup>3</sup>. De reservoirs hebben dus ieder

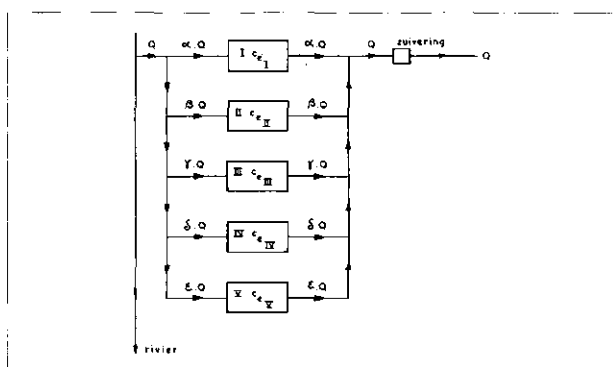


Fig. 22 - Parallelschakeling van 5 reservoirs ieder met een inhoud van 10 % van de jaarproductie.

een inhoud van 10 % van de jaarproductie. De reservoirs kunnen parallel geschakeld worden volgens de opstelling van fig. 22. De reservoirs zijn ten tijde  $t = 0$  gevuld met water met een chloridegehalte van 100 mg/l. De menging vindt plaats nadat het water de reservoirs heeft doorstroomd. Nagegaan zal worden welke resultaten met deze opstelling en met inachtneming van de genoemde regels kunnen worden bereikt indien achtereenvolgens een normaal en een droog jaar moeten worden verwerkt. In het normale jaar is aanvankelijk alleen reservoir I in bedrijf ( $\alpha = 1,00$ ) tot in dit reservoir een chloridegehalte van 150 mg/l wordt bereikt. Dit is het geval na 240 dagen. Op dit ogenblik wordt door de Rijn water met een chloridegehalte van 176 mg/l aangeboden en het chloridegehalte is stijgende. Nu wordt reservoir II bijgeschakeld.

Uit reservoir I wordt  $\alpha \cdot Q$  en uit reservoir II  $\beta \cdot Q$  onttrokken en ingelaten, zodanig dat aan de volgende vergelijkingen wordt voldaan:

$$\alpha \cdot Q \cdot c_{e_I} + \beta \cdot Q \cdot c_{e_{II}} = Q \cdot 150$$

(mengvoorwaarde),

$$\alpha + \beta = 1$$

(continuïteitsvoorwaarde),

$$\alpha \cdot Q \cdot dt \cdot c_I = \alpha \cdot Q \cdot dt \cdot c_{e_I} + V \cdot dc_{e_I}$$

(continuïteitsvergelijking toegepast op reservoir I),

$$\beta \cdot Q \cdot dt \cdot c_I = \beta \cdot Q \cdot dt \cdot c_{e_{II}} + V \cdot dc_{e_{II}}$$

(continuïteitsvergelijking toegepast op reservoir II).

Helaas is door de tijdsafhankelijkheid van  $\alpha$  en  $\beta$  dit op zichzelf gesloten systeem van vergelijkingen niet oplosbaar, zodat niet over een bepaalde periode in één bewerkingsverloop van  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $c_{e_I}$  en  $c_{e_{II}}$  kan worden bepaald.

Uiteraard kan met behulp van deze vergelijkingen wel een berekening dag voor dag worden opgezet, waarbij ter vereenvoudiging nog gebruik kan worden gemaakt van de omstandigheid dat de berekende en gemeten kortsluitkrommen van fig. 3 nagenoeg, maar niet geheel samenvallen, terwijl het verschil relatief het grootst is voor kleine waarden van  $t$ .

De berekende cumulatieve frequentieverdeling is gebaseerd op de veronderstelling van volledige menging.

Zoals voor de hand ligt is dit niet helemaal het geval. Volgens de resultaten van de in fig. 3 weergegeven modelproeven zal het met het ingebrachte water aangevoerde

zout zich eerst na ongeveer  $\frac{6}{100} \times T$  dagen met de aanwezige zoutinhoud volledig hebben vermengd. In het geval van een reservoir met een inhoud van  $10 \times 10^6$  m<sup>3</sup> en een gemiddelde verblijftijd van het water van 36,5 dag heeft de ingelaten hoeveelheid zout zich dus eerst na  $\frac{6}{100} \times 36,5 = \text{ca. } 2$  dagen met de aanwezige hoeveelheid zout vermengd.

Op basis van dit gegeven kan nu de volgende berekening worden ontworpen.

Stel reservoir I (inhoud  $10 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) heeft een chloridegehalte van 151 mg/l, reservoir II (inhoud  $10 \times 10^6$  m<sup>3</sup>) 100 mg/l en het aangeboden water bevat 176 mg Cl/l. Het chloridegehalte van het afgeleverde water moet worden gehandhaafd op 150 mg/l.

Voeg in 1 dag  $\alpha \cdot Q \text{ m}^3$  bij reservoir I en  $\beta \cdot Q \text{ m}^3$  bij reservoir II, zodanig dat geldt:

$$\begin{aligned} \alpha \cdot Q \cdot 151 + \beta \cdot Q \cdot 100 &= Q \cdot 150 \text{ en } \alpha + \beta = 1, \text{ of} \\ \alpha \cdot 151 + (1 - \alpha) \cdot 100 &= 150 \text{ of} \\ 51 \cdot \alpha &= 50 \\ \alpha &= 0,980 \\ \beta &= 0,020 \end{aligned}$$

Hierbij wordt er dus van uitgegaan, dat het chloridegehalte van het in de reservoirs ingelaten water op deze dag het chloridegehalte van het afgeleverde water nog niet beïnvloedt. Stel dat aan het einde van de dag de menging plaats vindt. Dan kunnen in geval  $Q = 0,274 \times 10^6 \text{ m}^3$  per dag, de chloridegehalten van de reservoirs I en II na 1 dag worden berekend op:

$$c_{eI} = \frac{(0,980 \times 0,274 \times 10^6 \times 176) + [(10 - 0,980 \times 0,274) \times 10^6 \times 150]}{10 \times 10^6} = 150,70$$

$$c_{eII} = \frac{(0,020 \times 0,274 \times 10^6 \times 176) + [(10 - 0,020 \times 0,274) \times 10^6 \times 100]}{10 \times 10^6} = 100,04$$

Op deze wijze kan nu dag voor dag op eenvoudige wijze het verloop van het chloridegehalte in de reservoirs worden bepaald zonder de werkelijkheid geweld aan te doen.

Ondanks de verkregen vereenvoudiging is de berekening nog zeer bewerkelijk. De berekening leent zich echter bij uitstek voor de verwerking met een elektronische rekenmachine. Vandaar dat de hulp is ingeroepen van de Wiskundige Dienst van de Technische Hogeschool te Delft, alwaar de onderstaande berekeningen zijn uitgevoerd op de rekenmachine TR<sub>4</sub>.

De menging mag intussen ook steeds na 2 dagen worden verondersteld, waardoor het aantal bewerkingen tot de helft wordt teruggebracht. De grote rekensnelheid van de elektronische rekenmachine maakte dit echter niet noodzakelijk.

Volgens dit systeem wordt na  $t = 240$  dagen, waarbij reservoir I op 150 mg Cl/l is gekomen, reservoir II bijgeschakeld. Ten tijde  $t = 292$  dagen is nu reservoir I gevuld met water met een chloridegehalte van 180 mg/l en reservoir II met een chloridegehalte van 150 mg/l. Op dat ogenblik bedraagt het chloridegehalte van het buitenwater 226 mg/l. Het is nu onmogelijk de gestelde grens van 150 mg/l in het afgeleverde water te handhaven met behulp van de reservoirs I en II.

Nu wordt reservoir I buiten bedrijf gesteld en komt naast reservoir II reservoir III in productie tot ook met deze combinatie de gestelde eis van 150 mg Cl/l in het afgeleverde water niet meer kan worden gehandhaafd. Dan wordt reservoir IV naast reservoir III in productie gesteld enz.

In het normale jaar behoeven slechts de reservoirs I, II en III in productie te komen. Aan het einde van het normale jaar ( $t = 365$ ) zijn de reservoirs gevuld met water met de volgende chloridegehalten:

reservoir I: 180,0 mg/l      reservoir IV: 100,0 mg/l  
reservoir II: 174,0 mg/l      reservoir V: 100,0 mg/l  
reservoir III: 145,0 mg/l

In figuur 23 is het verloop van het chloridegehalte van het afgeleverde water weergegeven. Ter illustratie is in

verkorte vorm de berekening volgens dit systeem voor het opvolgende droge jaar in tabel 2 vermeld.

In het droge jaar volgend op het normale jaar wordt gedurende de eerste honderd dagen water met een chloridegehalte van 150 mg/l afgeleverd. Op het tijdstip  $t = 465$  ( $365 + 100$ ) heeft het stijgende chloridegehalte van het buitenwater ook een waarde van 150 mg/l bereikt. Nu wordt, aangezien een droog jaar moet worden verwerkt, het chloridegehalte van het afgeleverde water snel maar geleidelijk op 175 mg/l gebracht door alleen gebruik te maken van reservoir III. Deze grens is ten tijde  $t = 548$  bereikt. Met inschakeling van de overige reservoirs wordt het chloridegehalte van het afgeleverde water gehandhaafd op 175 mg/l. Ten tijde  $t = 678$  wordt bespeurd

dat het chloridegehalte helaas niet tot het einde van het droge jaar op deze waarde kan worden gehandhaafd. Daarom wordt het chloridegehalte van het afgeleverde water in 3 dagen verhoogd tot 185 mg/l. Deze waarde kan tot het einde van het droge jaar worden gehandhaafd.

Het verloop van het chloridegehalte in het afgeleverde water is ook voor het droge jaar in fig. 23 weergegeven. In fig. 24 zijn ter vergelijking de chlorideverlooplijnen getekend voor het geval gebruik wordt gemaakt van één

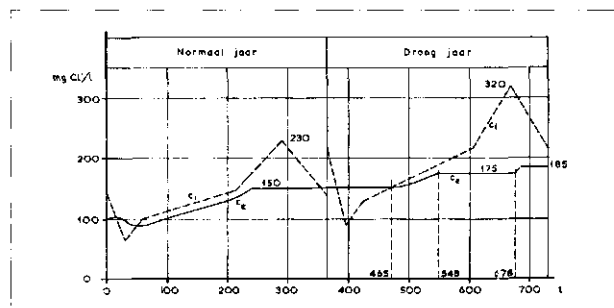


Fig. 23 - Verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater en van het afgeleverde water in een normaal jaar gevolgd door een droog jaar bij parallelschakeling van 5 reservoirs, ieder met een inhoud van 10% van de jaarproductie, bij een waarde  $c_e = 100$  ten tijde  $t = 0$ .

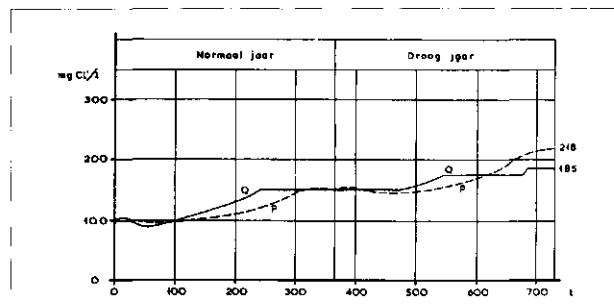


Fig. 24 - Vergelijking van het verloop van het chloridegehalte bij toepassing van één doorstroombekken met een inhoud van 50% van de jaarproductie (P) volgens fig. 21 en bij toepassing van 5 parallel geschakelde reservoirs ieder met een inhoud van 10% van de jaarproductie (Q) volgens fig. 23.

TABEL 2 - Verloop van het chloridegehalte van het afgeleverde water in een droog jaar volgend op een normaal jaar in geval van parallelschakeling van 5 reservoirs, ieder met een inhoud van  $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ , bij een waarde van  $c_p = 100$  ten tijde  $t = 0$ .

tijdstip t	$c_e$ I	$c_e$ II	$c_e$ III	$c_e$ IV	$c_e$ V	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$	$\epsilon$	$c_e$
366	180,0	174,0	147,0	100,0	100,0	—	0,10	0,90	—	—	150
367	„	174,0	149,0	„	„	—	0,05	0,95	—	—	150
368	„	„	150,0	100,0	„	—	—	0,95	0,05	—	150
382	„	„	158,0	104,0	„	—	—	0,85	0,15	—	150
383	179,4	„	„	104,4	„	0,60	—	—	0,40	—	150
408	149,4	„	„	105,2	„	0,99	—	—	0,01	—	150
409	„	172,8	„	105,3	„	—	0,65	—	0,35	—	150
443	„	150,1	„	107,9	„	—	0,99	—	0,01	—	150
444	„	„	157,6	108,0	„	—	—	0,84	0,16	—	150
465	„	„	152,7	110,1	„	—	—	0,93	0,07	—	150
475	„	„	152,7	„	„	—	—	1,00	—	—	153
525	„	„	165,7	„	„	—	—	1,00	—	—	166
548	„	„	175,1	„	„	—	—	1,00	—	—	175
549	„	150,1	175,5	„	„	—	0,01	0,99	—	—	175
601	„	175,3	191,3	„	„	—	0,95	0,05	—	—	175
602	150,1	„	191,7	„	„	0,39	—	0,61	—	—	175
624	175,9	„	199,1	„	„	0,96	—	0,04	—	—	175
625	„	„	200,1	111,1	„	—	—	0,73	0,27	—	175
657	„	„	224,1	175,6	„	—	—	0,05	0,95	—	175
658	„	„	225,4	„	102,2	—	—	0,60	—	0,40	175
669	„	„	237,9	„	131,0	—	—	0,43	—	0,57	175
670	„	„	„	179,5	131,1	—	—	—	0,99	0,01	175
672	„	„	„	186,0	132,4	—	—	—	0,85	0,15	175
673	179,6	„	„	„	132,5	0,98	—	—	—	0,02	175
675	185,8	„	„	„	133,8	0,84	—	—	—	0,16	175
676	„	178,9	„	„	133,8	—	0,99	—	—	0,01	175
678	„	185,0	„	„	134,9	—	0,85	—	—	0,15	175
679	„	„	„	188,8	135,5	—	—	—	0,86	0,14	179
680	„	„	„	191,5	136,1	—	—	—	0,87	0,13	182
681	„	„	„	194,1	136,6	—	—	—	0,88	0,12	185
682	„	„	„	196,5	137,3	—	—	—	0,84	0,16	185
683	188,8	„	„	„	137,4	0,98	—	—	—	0,02	185
686	196,3	„	„	„	138,9	0,84	—	—	—	0,16	185
687	„	187,9	„	„	138,9	—	1,00	—	—	—	185
690	„	195,1	„	„	140,1	—	0,85	—	—	0,15	185
691	„	„	„	198,4	140,9	—	—	—	0,80	0,20	185
696	„	„	„	206,0	146,1	—	—	—	0,67	0,33	185
697	197,9	„	„	„	146,9	0,77	—	—	—	0,23	185
703	205,4	„	„	„	153,0	0,63	—	—	—	0,37	185
704	„	196,5	„	„	153,7	—	0,76	—	—	0,24	185
714	„	205,4	„	„	164,5	—	0,52	—	—	0,48	185
715	205,9	„	„	„	165,6	0,50	—	—	—	0,50	185
716	206,4	„	„	„	166,7	0,48	—	—	—	0,52	185
717	„	205,9	„	„	167,8	—	0,47	—	—	0,53	185
718	„	206,3	„	„	168,9	—	0,45	—	—	0,55	185
719	„	„	„	206,4	170,0	—	—	—	0,43	0,57	185
721	„	„	„	207,0	172,1	—	—	—	0,40	0,60	185
722	206,7	„	„	„	173,1	0,38	—	—	—	0,62	185
723	206,9	„	„	„	174,1	0,35	—	—	—	0,65	185
724	„	206,5	„	„	175,1	—	0,34	—	—	0,66	185
726	„	206,9	„	„	177,1	—	0,29	—	—	0,71	185
727	207,0	„	„	„	178,1	0,27	—	—	—	0,73	185
728	„	207,0	„	„	179,0	—	0,24	—	—	0,76	185
729	207,1	„	„	„	179,9	0,21	—	—	—	0,79	185
730	207,1	207,1	237,9	207,0	180,8	—	0,19	—	—	0,81	185

reservoir met een inhoud van 50 % van de jaarproductie en voor het nu besproken geval van parallelschakeling van 5 reservoirs ieder met een inhoud van 10 % van de jaarproductie. Door in het geval van parallelschakeling van 5 reservoirs het chloridegehalte van het afgeleverde water zo snel mogelijk op de toegestane waarden van 150 respectievelijk 175 mg/l te brengen wordt in het droge jaar water afgeleverd met een maximaal chloridegehalte van 185 mg/l. Ten opzichte van het geval van toepassing van één reservoir met een inhoud van 50 % van de jaarproductie is dus een winst van  $218 - 185 = 33$  mg/l geboekt.

In het geval dat aan de 5 reservoirs nog 1 reservoir wordt toegevoegd, wordt berekend dat het maximale chloridegehalte van het afgeleverde water in het droge jaar gemakkelijk tot 175 mg/l kan worden teruggebracht. Bij toepassing van één reservoir met een inhoud van 60 % van de jaarproductie kan slechts 214 mg/l worden bereikt.

Gesteld kan worden dat in het geval van parallelschakeling van reservoirs vergroting van de totale inhoud, die dus geschiedt door bijschakeling van reservoirs, zeer veel effectiever is dan vergroting van de inhoud bij toepassing van één groot reservoir.

In het geval van parallelschakeling van 5 reservoirs zijn steeds 2 reservoirs in bedrijf geweest om de eis gesteld aan het chloridegehalte van het afgeleverde water te handhaven. Uiteraard hadden ook 3, 4 of zelfs 5 reservoirs in bedrijf kunnen worden gesteld.

Stel de reservoirs I, II, III, IV en V zijn gevuld met water met respectievelijk chloridegehalten van  $c_{eI}$ ,  $c_{eII}$ ,  $c_{eIII}$ ,  $c_{eIV}$  en  $c_{eV}$  mg/l.

Worden alle reservoirs in bedrijf gehouden dan gelden de betrekkingen:

$$\alpha \cdot Q \cdot c_{eI} + \beta \cdot Q \cdot c_{eII} + \gamma \cdot Q \cdot c_{eIII} + \delta \cdot Q \cdot c_{eIV} + \varepsilon \cdot Q \cdot c_{eV} = 175 \cdot Q \text{ (droge jaar)}$$

$$\alpha + \beta + \gamma + \delta + \varepsilon = 1$$

Er wordt nu beschikt over 2 vergelijkingen met 5 onbekenden, waarbij die combinatie kan worden gezocht waarbij zoveel mogelijk zout wordt opgeslagen in één reservoir, zodat de andere een zo laag mogelijk zoutgehalte behouden. Het behoeft geen betoog dat het zoeken van de juiste combinatie proberenderwijze zal moeten geschieden en zeer bewerkelijk is.

### 8. Versnelde doorspoeling

In het voorgaande is, bij de besproken systemen van bedrijfsvoering met doorstroombekkens, er steeds van uitgegaan dat de per dag afgeleverde hoeveelheid water ook aan de rivier wordt onttrokken, niet minder en niet meer. Hiertoe werd aan de inlaat, afgezien van reserve-eenheden, een pompcapaciteit  $Q = 0,274 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/dag geïnstalleerd, bij een jaarproductie van  $100 \times 10^6$  m<sup>3</sup>, ofwel 0,274 % van de jaarproductie per dag.

Er wordt naar gestreefd binnen de normen water met een zo hoog mogelijk chloridegehalte af te leveren. Hierdoor wordt zoveel mogelijk zout uit de reservoirs verwijderd. Nog meer zout kan uit de reservoirs worden verwijderd door in geval het chloridegehalte van het aangeboden water lager is dan het chloridegehalte van het water in een reservoir, dit reservoir versneld door te spoelen met het aangeboden water. Het teveel aan-

gevoerde water wordt dan, na aan de doorspoeling te hebben deelgenomen, benedenstrooms van het inlaatpunt weer op de rivier geloosd. Uiteraard zal nu een groter pompvermogen aan de inlaat moeten worden geïnstalleerd, terwijl spuileidingen zullen moeten worden aangelegd.

In het volgende zal worden nagegaan welke resultaten kunnen worden bereikt bij toepassing van versnelde doorspoeling in het geval van gebruik van één groot reservoir en in het geval van parallelschakeling van een aantal kleine reservoirs.

### 9. Kwaliteitsafvlakking in doorstroombekkens bij gebruikmaking van één reservoir en toepassing van versnelde doorspoeling

Stel er wordt beschikt over één reservoir met een inhoud van 50 % van de jaarproductie, waaruit dagelijks  $Q = 0,274$  % van de jaarproductie wordt geproduceerd. In fig. 21 is het verloop van het chloridegehalte in een doorstroombekken met deze inhoud weergegeven indien een normaal jaar en een opvolgend droog jaar worden verwerkt. Ten tijde  $t = 0$  is  $c_e = 100$  mg/l. In dit geval werd dus iedere dag evenveel water in het reservoir ingelaten als werd afgeleverd.

Indien versnelde doorspoeling wordt toegepast dan kan dit plaats vinden in de perioden waarbij het chloridegehalte van het aangeboden water lager is dan het chloridegehalte van het in het reservoir aanwezige water. Uit fig. 21 kunnen de perioden waarin hiertoe de gelegenheid is worden afgelezen.

In werkelijkheid zijn de perioden korter want door de versnelde doorspoeling daalt het chloridegehalte in het reservoir en wordt dus eerder het einde van de periode van doorspoeling bereikt. De opstelling van een reservoir bij versnelde doorspoeling is aangegeven in fig. 25.

Om met een behoorlijk debiet versneld te kunnen doorspoelen moet nu een groter pompvermogen worden opgesteld. De doorspoelcapaciteit is echter gelimiteerd door de vereiste verblijftijd van het water in het reservoir. Aan het slot van § 5 werd de gemiddelde verblijftijd gefixeerd op ten minste 36,5 dag, dit is 1/5 van de totale verblijftijd. Het doorspoeldebiet kan dus maximaal worden gesteld op  $5Q$ .

Voor een normaal jaar gevolgd door een droog jaar werd een berekening opgezet voor een doorspoelcapaciteit van respectievelijk  $3Q$  en  $5Q$  m<sup>3</sup>/dag, ten tijde  $t = 0$  is  $c_e = 100$ . De resultaten van deze berekeningen zijn samengevat in de tabellen 3 en 4, waarin voorts het chloridegehalte van het afgeleverde water is weergegeven in geval geen versnelde doorspoeling wordt toegepast, dus bij een maximale innamecapaciteit  $Q$ .

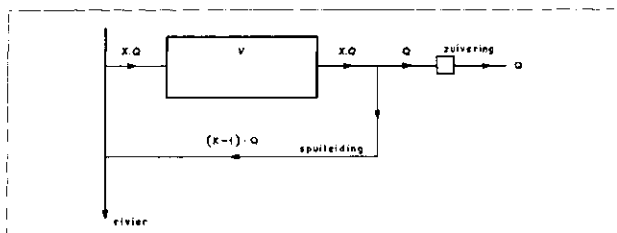


Fig. 25 - Opstelling van een reservoir bij versnelde doorspoeling.

Uit tabel 3 blijkt, dat de versnelde doorspoeling nauwelijks effect heeft. In een normaal jaar wordt, bij een innamecapaciteit  $Q$ , water met een chloridegehalte van maximaal 155 mg/l geproduceerd. Versnelde doorspoeling met een innamecapaciteit van  $5Q$  levert slechts een reductie van 3 mg Cl/l op. In een opvolgend droog jaar wordt een reductie van het maximale chloridegehalte met slechts 4 mg Cl/l bereikt. De verklaring van dit teleurstellende resultaat wordt geleverd door de wer-

king van de factor  $e^{-\frac{t}{T}}$  (zie § 6, aan het einde), die er oorzaak van is dat de invloed van een op een bepaald tijdstip door middel van versnelde doorspoeling bereikt lager chloridegehalte zeer snel is uitgewerkt. Gesteld moet worden dat versnelde doorspoeling bij toepassing van één groot reservoir nauwelijks enig effect heeft en derhalve niet kan worden aanbevolen.

TABEL 3 - Verloop van het chloridegehalte in het afgeleverde water in een normaal jaar in het geval van toepassing van één doorstroombekken met een inhoud van 50% van de jaarproductie bij een innamecapaciteit van respectievelijk  $Q$ ,  $3Q$  en  $5Q$ , waarbij  $Q = 0,274\%$  van de jaarproductie per dag,  $c_e = 100$  ten tijde  $t = 0$ .

tijdstip t	innamecapaciteit		
	Q	3Q	5Q
0	100	100	100
16	102	102	102
31	101	97	94
41	100	92	88
59	99	91	87
120	102	96	93
180	109	105	103
212	115	111	110
252	125	122	121
289	141	138	137
329	153	151	150
355	<b>155</b>	<b>153</b>	<b>152</b>
365	154	152	150

TABEL 4 - Verloop van het chloridegehalte in het afgeleverde water in een droog jaar volgend op een normaal jaar in het geval van toepassing van één doorstroombekken met een inhoud van 50% van de jaarproductie bij een innamecapaciteit van resp.  $Q$ ,  $3Q$ ,  $5Q$ , waarbij  $Q = 0,274\%$  van de jaarproductie per dag,  $c_e = 100$  ten tijde  $t = 0$ .

tijdstip t	innamecapaciteit		
	Q	3Q	5Q
365	154	152	150
381	156	154	153
396	153	147	142
411	150	137	128
424	148	133	127
485	147	136	132
545	155	147	144
608	169	163	161
638	180	175	174
669	198	194	193
700	213	210	209
730	<b>218</b>	<b>215</b>	<b>214</b>

### 10. Parallelschakeling van doorstroombekkens en toepassing van versnelde doorspoeling op dit systeem

In het onderstaande zal worden nagegaan welke resultaten kunnen worden bereikt in een normaal jaar en een opvolgend droog jaar indien wordt beschikt over 5 parallel geschakelde reservoirs, ieder met een inhoud van 10% van de jaarproductie, bij toepassing van versnelde

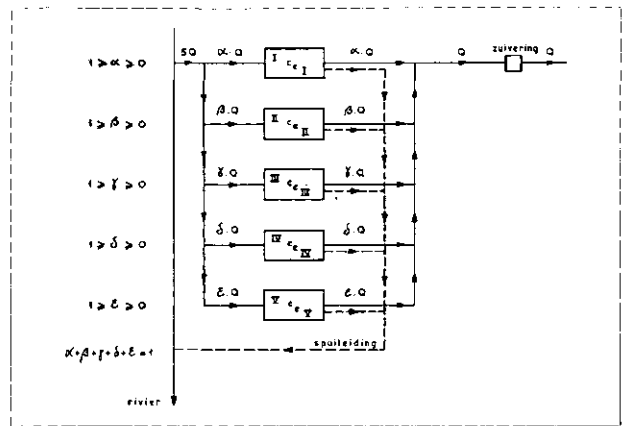


Fig. 26 - Opstelling van reservoirs in geval van parallelschakeling van 5 reservoirs, waarbij versnelde doorspoeling wordt toegepast.

doorspoeling op dit systeem. Ten tijde  $t = 0$  geldt voor alle reservoirs  $c_e = 100$ .

Gegeven de noodzakelijke gemiddelde verblijftijd van ten minste 36,5 dag kan de innamecapaciteit worden vastgesteld op maximaal 0,274% van de jaarproductie per dag =  $Q$  m<sup>3</sup>/dag.

Wenst men alle reservoirs tegelijk te kunnen doorspoelen, dan dient een pompvermogen van  $5Q$  m<sup>3</sup>/dag bij het inlaatpunt te worden opgesteld. De opstelling zou kunnen plaats vinden als aangegeven in fig. 26.

Aanvankelijk is alleen reservoir I in productie.  $c_e$  is na

12 dagen gestegen van 100 tot 107 mg/l. Op dat ogenblik is ook het chloridegehalte van het buitenwater gedaald tot 107 mg/l. Van  $t = 13$  wordt reservoir I nu doorgespoeld. De doorspoelcapaciteit bedraagt  $Q$  m<sup>3</sup>/dag. Ten tijde  $t = 16$  kan een begin worden gemaakt met de doorspoeling van de reservoirs II, III, IV en V. Ten tijde  $t = 49$  heeft doorspoeling van de reservoirs II, III, IV en V geen zin meer. Voor reservoir I is dit op het tijdstip  $t = 51$  het geval. Na de periode van doorspoeling zijn de reservoirs gevuld met water met de volgende chloridegehalten:

reservoir I: 88 mg/l      reservoir IV: 85 mg/l  
 reservoir II: 85 mg/l      reservoir V: 85 mg/l  
 reservoir III: 85 mg/l

Ook tijdens de doorspoeling wordt alleen uit reservoir I water naar de zuivering gevoerd. Het spoelwater wordt via de spuileidingen weer op de rivier geloosd.

Ten tijde  $t = 240$  dagen wordt uit reservoir I water met een chloridegehalte van 150 mg/l afgeleverd. Deze grens wordt met behulp van de reservoirs II en III gedurende de rest van het normale jaar gehandhaafd. Aan het einde van het normale jaar zijn de reservoirs gevuld met water met de volgende chloridegehalten:

reservoir I: 167,8 mg/l      reservoir IV: 85,0 mg/l  
 reservoir II: 162,0 mg/l      reservoir V: 85,0 mg/l  
 reservoir III: 117,7 mg/l

Opgemerkt moet worden, dat ook aan het einde van het normale jaar nog een periode voorkomt waarin versneld wordt doorgespoeld.

Het gemiddelde chloridegehalte van het water van de 5 reservoirs aan het einde van het normale jaar bedraagt nu:

$$\frac{167,8 + 162,0 + 117,7 + 85,0 + 85,0}{5} = 123,5 \text{ mg/l}$$

Het gemiddelde chloridegehalte van het water van de 5 reservoirs aan het einde van het normale jaar in het geval dat geen versnelde doorspoeling wordt toegepast kan worden berekend op 139,8 mg/l. Door de doorspoeling wordt dus in dit geval een winst van  $139,8 - 123,5 = 16,3$  mg Cl/l geboekt voor het gemiddelde chloridegehalte van het water in de reservoirs aan het einde van het normale jaar.

In het opvolgende droge jaar komen wederom enige perioden voor waarin versnelde doorspoeling kan worden gerealiseerd.

De maximale waarde van het chloridegehalte van het afgeleverde water in het droge jaar bedraagt nu 175 mg/l en de reductie t.o.v. het maximale chloridegehalte van het aangeboden water

$$\frac{320 - 175}{320} \times 100\% = 45\%$$

terwijl in het eerste deel van het droge jaar het chloridegehalte van het water in de reservoirs zo laag is geworden dat water met een lager chloridegehalte dan 150 mg/l moest worden afgeleverd.

De uitkomsten van de berekeningen waarbij met het systeem van versnelde doorspoeling bij parallel geschakelde reservoirs achtereenvolgens een normaal jaar en een opvolgend droog jaar worden verwerkt, zijn weergegeven in fig. 27.

Interessant is de vraag of in dit geval ook in een zeer droog jaar volgende op een normaal jaar het maximale chloridegehalte van het afgeleverde water binnen de voor dat jaar gestelde grens van 200 mg/l ligt. Een berekening heeft aangetoond dat dit inderdaad het geval is. In

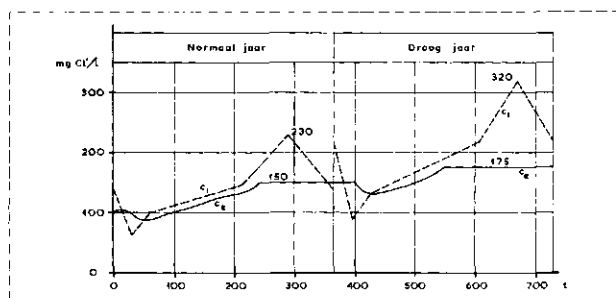


Fig. 27 - Verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater en van het afgeleverde water in een normaal jaar gevolgd door een droog jaar bij parallelschakeling en versnelde doorspoeling van 5 reservoirs, ieder met een inhoud van 10% van de jaarproductie, bij een waarde  $c_e = 100$  ten tijde  $t = 0$ .

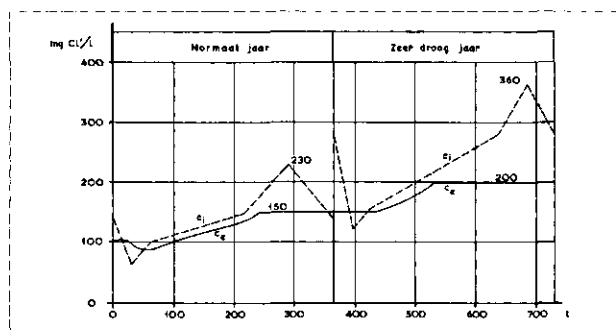


Fig. 28 - Verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater en van het afgeleverde water in een normaal jaar gevolgd door een zeer droog jaar bij parallelschakeling en versnelde doorspoeling van 5 reservoirs, ieder met een inhoud van 10% van de jaarproductie, bij een waarde  $c_e = 100$  ten tijde  $t = 0$ .

fig. 28 is grafisch het resultaat weergegeven indien een normaal jaar en een opvolgend zeer droog jaar worden verwerkt.

In geval van gebruikmaking van één groot reservoir met een inhoud van 50% van de jaarproductie en innamecapaciteit 5Q valt de eerste periode van doorspoeling in het normale jaar in het tijdvak 16 tot 52 dagen. Aan het einde van de eerste doorspoelperiode bevat het water in het reservoir 86 mg Cl/l. Ook in het geval dat wordt beschikt over 5 parallel geschakelde reservoirs, ieder met een inhoud van 10% van de jaarproductie, bedraagt het gemiddelde chloridegehalte van het water in de reservoirs aan het einde van de eerste doorspoelperiode 86 mg/l. Het betere effect van de doorspoeling bij parallel geschakelde reservoirs t.o.v. de doorspoeling bij gebruik van één groot reservoir wordt dan ook niet zozeer door de doorspoeling bepaald alswel door het betere gebruik dat bij parallel geschakelde reservoirs van de verkregen winst wordt gemaakt.

Uitgangspunt van deze berekening is geweest dat ten tijde  $t = 0$  de 5 reservoirs gevuld waren met water met een chloridegehalte van 100 mg/l. Dit wil dus zeggen, dat het normale jaar door een nat jaar voorafgegaan moet zijn. Zou het normale jaar zijn voorafgegaan door een reeks van normale jaren, dan zouden de reservoirs gevuld zijn met water met een chloridegehalte van minder dan 150 mg/l. Het gemiddelde chloridegehalte van het aangeboden water bedraagt in een normaal jaar immers 145 mg/l. Een berekening heeft aangetoond dat ook dan met versnelde doorspoeling aan de hier gestelde eisen betreffende het chloridegehalte van het afgeleverde water in de diverse jaartypen kan worden voldaan.

Indien het droge of zeer droge jaar wordt gevolgd door een normaal jaar, dan zal indien alle reservoirs gevuld zijn met water met een chloridegehalte hoger dan 150 mg/l, moeten worden geaccepteerd dat aanvankelijk water met een chloridegehalte dat boven de norm van het normale jaar ligt wordt gedistribueerd. Door middel van de versnelde doorspoeling en menging zal moeten worden getracht zo snel mogelijk water met een chloridegehalte van 150 mg/l af te leveren. Maar ook dan is er sprake van enige nawerking van de droge jaren in het opvolgende normale jaar.

## 11. Samenvatting

Een groot deel van Nederland zal in de toekomst vanuit de Rijn met water moeten worden voorzien. Helaas is de rivier in ernstige mate verontreinigd met organische en anorganische stoffen. Met name ten aanzien van de anorganische verontreiniging van het Rijnwater bestaat er een verband tussen de afvoer van de Rijn te Lobith en de mate van deze verontreiniging. Een maat voor deze anorganische verontreiniging is het chloridegehalte van het water. In perioden van hoge waterafvoer is het chloridegehalte van het Rijnwater relatief laag en in perioden van lage waterafvoer is het chloridegehalte relatief hoog. Zo hoog zelfs dat het ongewenst is in deze perioden water aan de rivier te onttrekken zonder tussenschakeling van een reservoir. In perioden van aanbod van water met een relatief laag chloridegehalte zal een voorraad moeten worden aangelegd, die kan worden geëxploiteerd in perioden van aanbod van water met een hoog chloridegehalte. Via menging van de verschillende waterkwaliteiten kan een aanvaardbaar eindproduct

worden verkregen. In deze nota wordt ervan uitgegaan dat de waterstand van het doorstroombekken op een constant peil wordt gehandhaafd, hetgeen hydrologisch vele voordelen heeft.

Men kan ook met een minder uitgesproken menging en door peilvariatie de voorraad exploiteren. Slechts in perioden van aanbod van water met aanvaardbaar chloridegehalte wordt de voorraad dan weer aangevuld. Deze methode van bedrijfsvoering met reservoirs wordt in dit artikel nog niet behandeld. Alleen de systemen van bedrijfsvoering met reservoirs waarbij het waterpeil in de reservoirs niet varieert, de zogenaamde doorstroombekkens, komen aan de orde.

In doorstroombekkens die worden gevoed met oppervlaktewater treedt zelfreiniging op, waardoor pathogene kiemen afsterven, ammoniak en organische stof worden geoxideerd, zwevende deeltjes tot bezinking komen enz. Voorts vindt menging plaats met een gelijkmatige watersamenstelling als gevolg. De menging die in een doorstroombekken optreedt is een gevolg van de mate van kortsluiting die op zal treden, enerzijds als gevolg van stroomsnelheidsverschillen door wrijving en anderzijds door wind, dichtheidsverschillen, geconcentreerde instroming e.d. De kortsluiting in reservoirs en de invloed op de menging van het water is door verschillende onderzoekers proefondervindelijk vastgesteld en mathematisch toegankelijk gemaakt. Ten aanzien van de kwaliteitsafvlakking in doorstroombekkens kan hierdoor worden onderzocht welke resultaten bij een gegeven kwaliteit van het aangeboden water bij verschillende systemen van bedrijfsvoering met doorstroombekkens kunnen worden bereikt.

De anorganische kwaliteit van het Rijnwater, met als parameter het chloridegehalte, wordt gekarakteriseerd door lijnen die het verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater in een normaal, een droog en een zeer droog jaar aangeven. De volgende systemen van bedrijfsvoering met doorstroombekkens zijn in dit artikel onderzocht:

- bedrijfsvoering met één doorstroombekken,
- bedrijfsvoering met in serie geschakelde doorstroombekkens,
- bedrijfsvoering met parallel geschakelde doorstroombekkens.

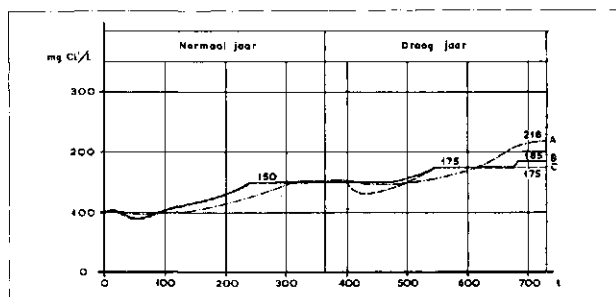


Fig 29 - Vergelijking van het verloop van het chloridegehalte in het afgeleverde water in een normaal jaar gevolgd door een droog jaar voor de gevallen:

- A. 1 doorstroombekken met een inhoud van 50 % van de jaarproductie (— . — . — . —);
- B. 5 parallel geschakelde doorstroombekkens, ieder met een inhoud van 10 % van de jaarproductie (————);
- C. 5 parallel geschakelde doorstroombekkens, ieder met een inhoud van 10 % van de jaarproductie en versnelde doorspoeling (— — — — —).

Voorts is voor het eerste en laatste genoemde geval het effect van versnelde doorspoeling van doorstroombekkens onderzocht.

Er wordt uitgegaan van een jaarproductie van 100 miljoen m<sup>3</sup> of 0,274 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> per dag, een minimale reservoirinhoud van 10 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> en een gemiddelde verblijftijd van het water in een reservoir van minimaal 36,5 dag.

Wat de bacteriologische kwaliteitsverbetering in doorstroombekkens betreft, wordt de conclusie getrokken dat kortsluiting zoveel mogelijk dient te worden voorkomen, hetgeen het beste kan worden gerealiseerd door serie-schakeling van doorstroombekkens.

Om een juist oordeel te kunnen geven over de beste manier waarop de bedrijfsvoering van doorstroombekkens moet worden gerealiseerd ten aanzien van de anorganische kwaliteit, moet worden vastgesteld welk chloridegehalte in het afgeleverde water voor de consument aanvaardbaar moet worden geacht. In dit artikel is als rekenvoorbeeld aangehouden dat in een normaal jaar het chloridegehalte van het afgeleverde water niet boven de 150 mg/l mag komen. Voor een droog jaar is deze grens op 175 mg/l en voor een zeer droog jaar op 200 mg/l gesteld.

De samenstellers van dit artikel komen tot de conclusie dat men om aan deze wensen te voldoen, in geval geen peilvariatie wordt toegepast, zal moeten beschikken over een minimale reservoirinhoud van 50 % van de jaarproductie, verdeeld over 5 reservoirs, ieder met een inhoud van 10 % van de jaarproductie met toepassing van het systeem van parallelschakeling en versnelde doorspoeling.

In concreto is voor een normaal en een opvolgend droog jaar in fig. 29 een samenvatting gegeven van de resultaten van de berekeningen welke tot deze conclusie hebben geleid.

Overigens kunnen de resultaten van ieder voorkomend of te ontwerpen systeem van bedrijfsvoering met doorstroombekkens aan de hand van de in dit artikel gegeven aanwijzingen worden berekend. Mogelijk kunnen met andere bedrijfsvoeringen dan waarvan in dit artikel werd uitgegaan nog betere resultaten worden verkregen.

Tenslotte willen de auteurs dank zeggen aan de Wiskundige Dienst van de Technische Hogeschool Delft, die bij het uitvoeren van de berekeningen behulpzaam is geweest.

#### Literatuur

1. A. C. Houston, *Rivers as a source of watersupply*, Londen, 1917.
2. A. C. Houston, *Reports on research work*, Londen, 1908-1911.
3. C. O. Schaeffer, *Over de verspreiding van saccharose vergistende colibacteriën en hun gedrag tijdens de zelfreiniging van water*, Diss., Amsterdam, 1935.
4. K. W. H. Leeftang en J. H. Edelman, *De bacteriologische werking van doorstroombassins*, Water, 30 april 1943, no. 9.
5. Th. G. Martijn, *Afvoer- en chloridekarakteristieken van de Rijn in verband met voorraadvorming*, Water, 23 februari 1967, no. 4.