

Kwaliteitsverbetering in spaarbekken

Grondslagen Basisplannen 5

1. Inleiding

In het artikel van prof. ir. L. Huisman en ir. Th. G. Martijn, getiteld „Kwaliteitsverbetering in doorstroombekkens, Grondslagen basisplannen 3” [1]*), is een onderzoek ingesteld naar de kwaliteitsverbetering van rivierwater dat kortere of langere tijd in een doorstroombekken verblijft. Onder een doorstroombekken wordt verstaan, een bekken waarvan het waterpeil aan geen enkele variatie onderhevig is, hetgeen inhoudt, dat de toevoer van water naar het bekken gelijk is aan de afvoer. Door inschakeling van doorstroombekkens en de processen die zich in deze bekkens afspelen is het mogelijk om de wisselende kwaliteit van het aangeboden rivierwater te egaliseren en een relatief gelijkmatig produkt af te leveren.

Om redenen, die in het bovengenoemde artikel zijn uiteengezet, werd het onderzoek toegespitst op de verbetering van de anorganische kwaliteit van het Rijnwater, waarbij het chloridegehalte van dit water als parameter werd gehanteerd. Verschillende opstellingen van doorstroombekkens werden onderzocht; een situering als één groot bekken, dan wel als een aantal kleine bekkens, in serie of parallel geschakeld.

Reeds in paragraaf 4 van het genoemde onderzoek werd signaleerd, dat nog beter dan met doorstroombekkens met constant peil de kwaliteitsafvlakking met spaarbekkens, waarin de waterstand mag variëren, kan worden verkregen. In dit artikel zal hiervan het bewijs worden geleverd en de kwaliteitsafvlakking welke met inschakeling van spaarbekkens kan worden bereikt aan een nader onderzoek worden onderworpen. Op de nadeln die in constructief en hydrologisch opzicht aan spaarbekkens zijn verbonden ten opzichte van de toepassing van doorstroombekkens, zal hier niet verder worden ingegaan. Slechts de betekenis van spaarbekkens voor de verbetering van de anorganische kwaliteit zal worden onderzocht, waarbij wordt verondersteld dat de spaarbekkens met Rijnwater zullen worden gevoed.

De anorganische kwaliteit van het Rijnwater te Lobith wordt gekarakteriseerd door het chronologisch verloop van het chloridegehalte, zoals dit voor een normaal, een droog en een zeer droog jaar door Martijn werd afgeleid [2]. Om de mathematische berekening van spaarbekkens, gevoed met Rijnwater, te vereenvoudigen, is het chronologisch verloop van het Cl^- gehalte vervangen door dezelfde aaneenschakeling van rechte lijnen als werd

*) De tussen haakjes geplaatste cijfers verwijzen naar de literatuurlijst aan het einde van dit artikel.

SUMMARY

Improvement of water quality in impounding reservoirs with variable water level

In continuation of the article of Huisman and Martijn, Improvement of water quality in impounding reservoirs with constant water circulation, in this paper the author describes his studies in view of improving the anorganic conditions of water from the Rhine by means of reservoirs with variable water level. Although the construction of these reservoirs is more expensive, it is proved that with less capacity the same results can be obtained.

gebezigd bij de behandeling van de doorstroombekkens. Dit geschematiseerde verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater te Lobith, is weergegeven in de afb. 1, 2 en 3.

2. Spaarbekkens, fasen van exploitatie, toe te passen formules

Bij de bedrijfsvoering met spaarbekkens kunnen 3 exploitatiefasen worden onderscheiden:

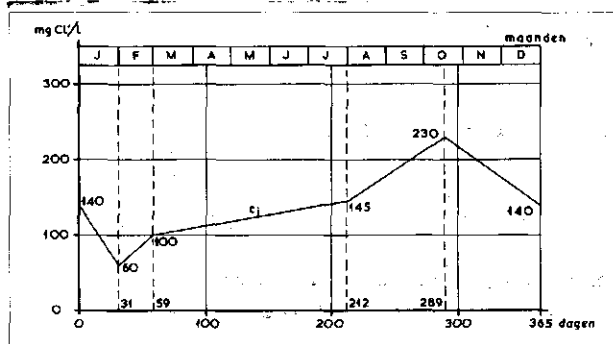
1. doorstroomfase;
2. fase van peilverlaging;
3. fase van peilverhoging.

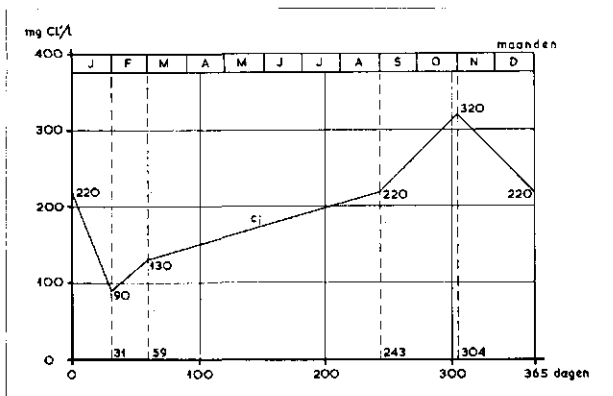
In het onderstaande zal nader worden uiteengezet wat onder deze exploitatiefasen wordt verstaan en welke de kenmerken zijn van de bedrijfsvoering tijdens deze exploitatiefasen.

In afb. 4 is de situatie en een doorsnede aangegeven van een spaarbekken, dat wordt gevoed met Rijnwater. Alvorens nader op de exploitatiefasen in te gaan worden de volgende symbolen gedefinieerd.

- V = het volume van het spaarbekken in m^3 , V kan variëren tussen 0 en V_{max} .
- h = de gemiddelde hoogte van de waterschijf in het spaarbekken in m, hierna te noemen het waterpeil, h kan variëren tussen 0 en h_{max} .
- Q_{ii} = de afvoer uit het (de) reservoir(s) in m^3/dag , Q_{ii} is constant verondersteld en wordt ook wel produktie genoemd.
- Q_i = de toevoer naar het (de) reservoir(s) uit de rivier in m^3/dag , hierna ook wel te noemen de pompcapaciteit.

Afb. 1 - Chloridegehalte van het Rijnwater te Lobith in een normaal jaar (geschematiseerd).





Afb. 2 - Chloridegehalte van het Rijnwater te Lobith in een droog jaar (geschematiseerd).

$Q_{i \max}$ = de maximale toevoer naar het (de) reservoir(s) uit de rivier in m^3/dag , hierna ook wel te noemen de maximale pompcapaciteit.

n = $\frac{Q_i}{Q_u}$, het getal dat de verhouding aangeeft tussen pompcapaciteit en de constante afvoer.

t = tijd in dagen.

T = de gemiddelde verblijftijd van het water in een reservoir in dagen.

c_i = het chloridegehalte van het rivierwater zoals dit in het bekken wordt ingelaten in $\text{mg Cl}/\text{l}$.

c_o = het chloridegehalte van het rivierwater zoals dit in het bekken wordt ingelaten ten tijde $t = 0$ in $\text{mg Cl}/\text{l}$.

c_e = het chloridegehalte van het water in het bekken in $\text{mg Cl}/\text{l}$.

c_a = overeengekomen maximaal toelaatbare waarde van het chloridegehalte in het afgeleverde water in $\text{mg Cl}/\text{l}$.

Θ = tangens van de hoek, die de lijn welke het verloop van het chloridegehalte van de Rijn aangeeft, met de tijdas maakt in $\text{mg Cl}/\text{l}$ dag.

ad 1. doorstroomfase

Aangenomen wordt dat het reservoir geheel gevuld is ($V = V_{\max}$) met water met een chloridegehalte $c_e < c_a$, terwijl het chloridegehalte van het aangeboden rivierwater (c_i) zal verlopen als aangegeven in afb. 5. In de doorstroomfase, die in dit geval aanvangt ten tijde $t = 0$, wordt evenveel water naar het reservoir toegevoerd als eraan wordt onttrokken, m.a.w. $Q_i = Q_u$ ($n = 1$). Het reservoir blijft op peil ($h = h_{\max}$ en $V = V_{\max}$).

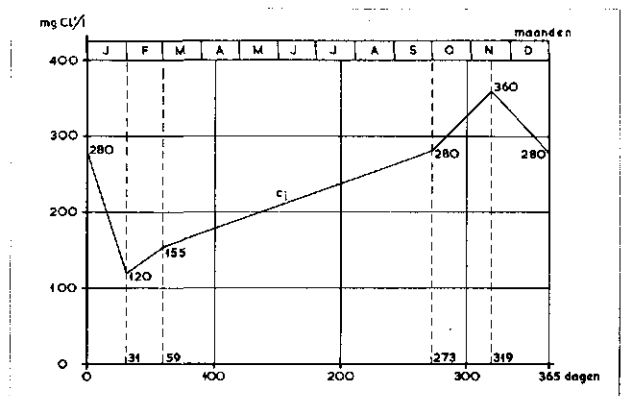
Deze wijze van bedrijfsvoering, welke werd geanalyseerd in „Grondslagen basisplannen 3” [1], wordt gehandhaafd tot het ogenblik waarop geldt $c_e = c_a$. Aangenomen wordt dat dit het geval is ten tijde $t = t_1$. Bij de aanname van volledige menging kan de kwaliteitsafvlakking worden berekend met behulp van de formule:

$$c_e = c_o + \Theta \cdot (t - T) + A \cdot e^{-\frac{t}{T}}, \text{ waarin} \quad (1)$$

A een integratieconstante is, welke kan worden bepaald uit de waarde van c_e ten tijde $t = 0$. Deze formule werd afgeleid in paragraaf 5 van „Grondslagen basisplannen 3”.

ad 2. fase van peilverlaging

Na het tijdstip $t = t_1$ wordt geen water meer ingelaten



Afb. 3 - Chloridegehalte van het Rijnwater te Lobith in een zeer droog jaar (geschematiseerd).

in het reservoir. Immers $c_i > c_a$, zodat bij gecontinueerde invoer geen water meer kan worden afgeleverd met een chloridegehalte $\leq c_a$.

Nu wordt geput uit de voorraad. Hierdoor vermindert de inhoud van het reservoir volgens:

$$V = V_{\max} - t \cdot Q_u$$

Tijdens de fase van peilverlaging wordt steeds water afgeleverd met een chloridegehalte c_a .

ad 3. fase van peilverhoging

Volgens afb. 5 stijgt het chloridegehalte van het rivierwater tot een zeker maximum om daarna weer geleidelijk af te nemen. Ten tijde $t = t_2$ geldt $c_i = c_a$. Van dat ogenblik af is het weer mogelijk rivierwater in te nemen. Nu het weer mogelijk is rivierwater in te nemen zal ook moeten worden getracht het spaarbekken snel op maximaal niveau te brengen.

Er dient dus meer water naar het reservoir te worden toegevoerd dan afgevoerd, m.a.w.

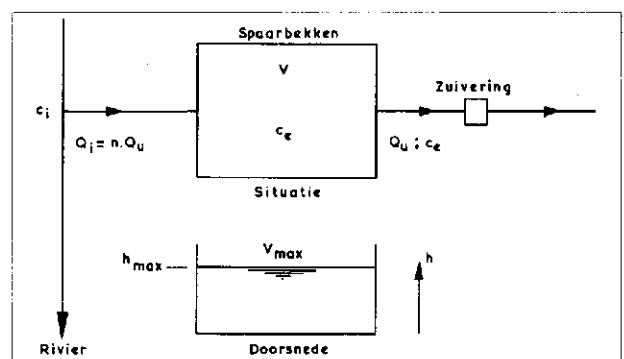
$$Q_i = n \cdot Q_u, \text{ waarbij } n > 1.$$

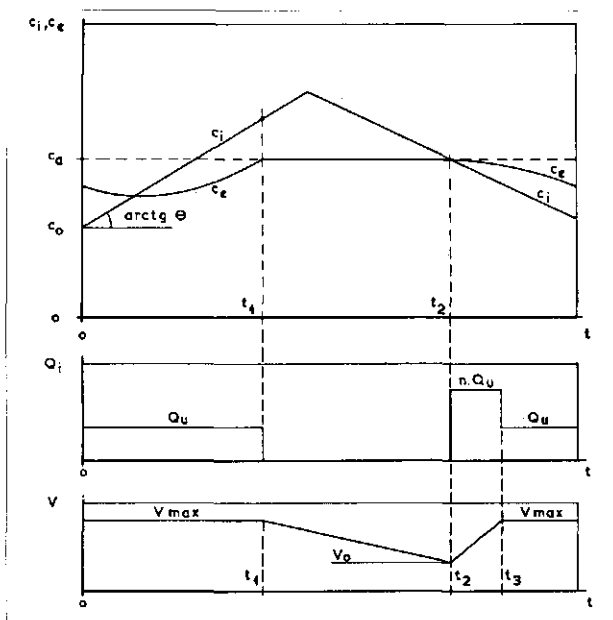
De vergroting van het volume van het reservoir kan worden voorgesteld door:

$$V = V_o + (n - 1) \cdot Q_u \cdot t, \text{ waarin } V_o \text{ het volume van het reservoir voorstelt aan het begin van de fase van peilverhoging.}$$

Voor de berekening van de wijze waarop een spaarbekken wordt gevuld bij overigens constante afvoer Q_u , zal wederom volledige menging worden verondersteld. De situatie is schematisch weergegeven in afb. 6. Toepassing

Afb. 4 - Situatie en doorsnede van een spaarbekken.





Afb. 5 - Schematisch verloop van het chloridegehalte van het aangeboden water (c_i), alsmede het verloop van c_e , Q_i en V tijdens de verschillende fasen van de bedrijfsvoering.

van de continuïteitsvergelijking op de hoeveelheid van de beschouwde stof (Cl⁻) geeft:

$$\begin{aligned} \text{toevoer} &= \text{afvoer} + \text{berging} \\ n.Q_u \cdot dt \cdot c_i &= Q_u \cdot dt \cdot c_e + d(V \cdot c_e) \text{ of} \\ n.Q_u \cdot dt \cdot c_i &= Q_u \cdot dt \cdot c_e + V \cdot dc_e + c_e \cdot dV \\ \text{waarbij } V &= V_0 + (n-1) \cdot Q_u \cdot t \text{ en} \\ dV &= (n-1) \cdot Q_u \cdot dt \end{aligned}$$

Uitgewerkt:

$$dc_e = \frac{n \cdot (c_i - c_e)}{\frac{V_0}{Q_u} + (n-1) \cdot t} \cdot dt$$

Dit is een lineaire differentiaalvergelijking van de eerste orde met als oplossing:

$$c_e = \left\{ \frac{V_0}{Q_u} + (n-1) \cdot t \right\}^{-\frac{n}{n-1}} \int n \cdot c_i \cdot \left\{ \frac{V_0}{Q_u} + (n-1) \cdot t \right\}^{\frac{1}{n-1}} \cdot dt$$

De lineair met de tijd verlopende concentratie van het chloridegehalte van het Rijnwater aan de inlaat van het bekken kan worden voorgesteld door middel van de formule:

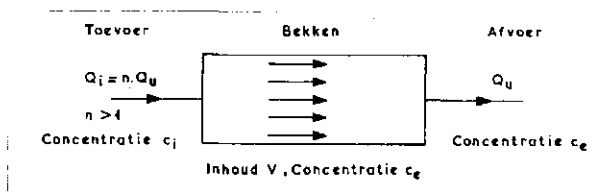
$$c_i = c_0 + \Theta \cdot t$$

waaruit voor de concentratie bij de uitlaat volgt:

$$c_e = \left\{ \frac{V_0}{Q_u} + (n-1) \cdot t \right\}^{-\frac{n}{n-1}} \int n \cdot (c_0 + \Theta \cdot t) \cdot \left\{ \frac{V_0}{Q_u} + (n-1) \cdot t \right\}^{\frac{1}{n-1}} \cdot dt$$

of

$$c_e = c_0 + \frac{\Theta}{2n-1} \cdot (n \cdot t - \frac{V_0}{Q_u}) + A \cdot \left\{ \frac{V_0}{Q_u} + (n-1) \cdot t \right\}^{-\frac{n}{n-1}} \quad (2)$$



Afb. 6 - Fase van peilverhoging bij een spaarbekken met volledige menging.

in welke formule A kan worden bepaald uit de waarde van c_e ten tijde $t = 0$.

De formule welke geldt in de fase van peilverhoging (formule 2), dient over te gaan in de formule welke geldt voor de doorstroomfase (formule 1) indien $n \rightarrow 1$. Na berekening en invullen van de integratieconstanten in de formules (1) en (2) kan dit met toepassing van de regel van l'Hospital eenvoudig worden aangetoond.

In afb. 5 is aangenomen dat ten tijde $t = t_3$ het spaarbekken op maximaal niveau is gekomen ($h = h_{\max}$ en $V = V_{\max}$). Van dit ogenblik wordt de bedrijfsvoering voortgezet in de doorstroomfase.

3. Kwaliteitsafvlakking in spaarbekken bij gebruikmaking van één spaarbekken

Gesteld een waterleidingbedrijf met een jaarproductie van 100 miljoen m³ of gemiddeld 0,274 x 10⁶ m³/dag, dat is aangewezen op het uitsluitend gebruik van water van de Rijn en daarom wil overgaan tot het stichten van één spaarbekken ter verbetering en afvlakking van de kwaliteit van het rivierwater. Voorlopig zal worden aangenomen dat dit bekken een inhoud heeft van 40 x 10⁶ m³.

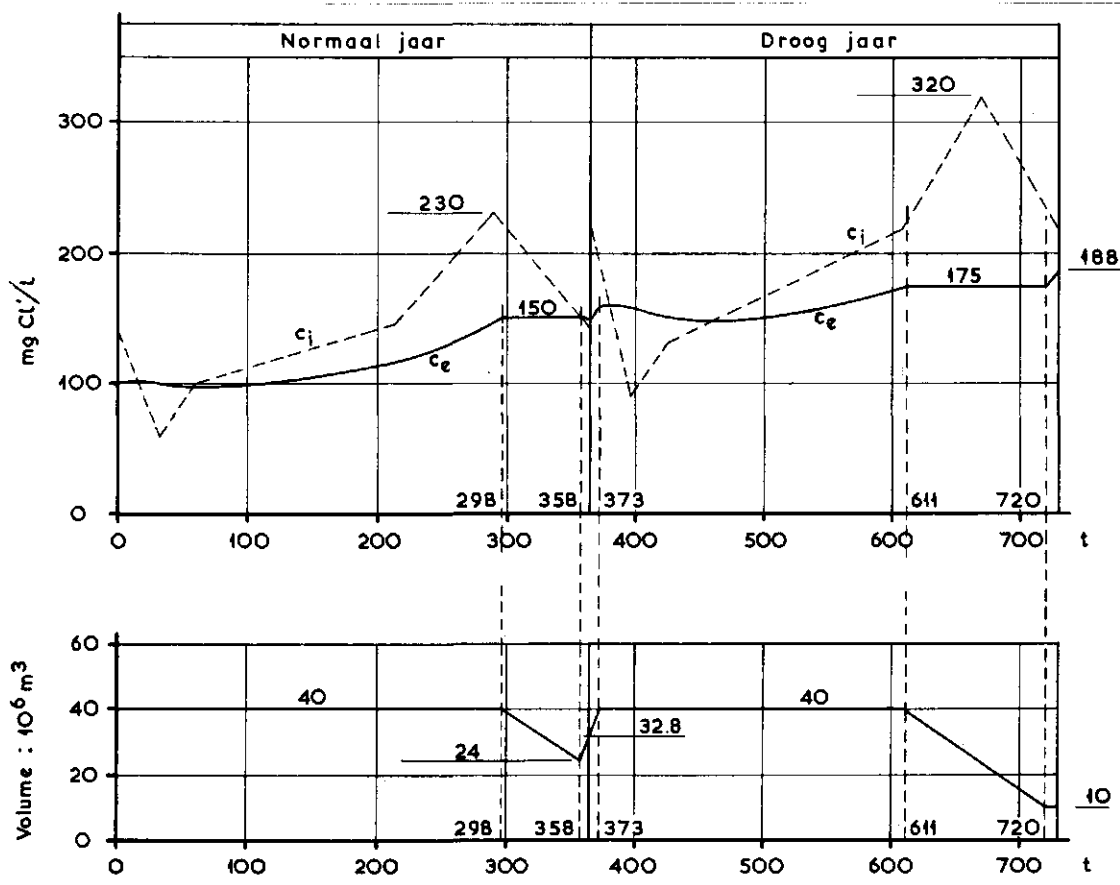
Met dit bekken zullen achtereenvolgens een normaal jaar en een droog jaar worden verwerkt waarbij wordt aangehouden dat het bekken ten tijde $t = 0$ geheel is gevuld met water met een chloridegehalte van 100 mg/l. Deze aanname zal in het vervolg van deze paragraaf nader worden onderzocht.

De bedrijfsvoering van dit bekken zal achtereenvolgens een doorstroomfase, een fase van peilverlaging en een fase van peilverhoging doormaken. Om in het geval van een calamiteit op de rivier over voldoende gelegenheid tot het treffen van maatregelen te kunnen beschikken, zal ervan worden uitgegaan dat de inhoud van het spaarbekken nooit kleiner dan 10% van de jaarproductie zal mogen zijn. In het onderhavige geval mag de inhoud dus niet dalen beneden 10 x 10⁶ m³, zodat 30 x 10⁶ m³ voor de fase van peilverlaging ter beschikking staat.

Overeenkomstig afb. 1 kan in een normaal jaar het chloridegehalte van het rivierwater aan de inlaat van het bekken worden weergegeven door:

$$c_i = c_0 + \Theta \cdot t, \text{ met als waarden van } \Theta:$$

$$\text{Traject 1: } 0-31 \text{ dagen: } \Theta_1 = -\frac{140-60}{31} = -2,581$$



Afb. 7 - Verloop van het chloridegehalte van het Rijnwater (c_i) en van het water in een spaarbekken (c_e) in een normaal jaar gevolgd door een droog jaar, alsmede het verloop van het volume van dit spaarbekken. $c_e = 100$ ten tijde $t = 0$. Maximale inhoud van het spaarbekken 40% van de jaarproductie.

Traject 2: 32- 59 dagen: $\Theta_2 = - \frac{60-100}{28} = + 1,429$

Traject 3: 60-212 dagen: $\Theta_3 = - \frac{100-145}{153} = + 0,294$

Traject 4: 213-289 dagen: $\Theta_4 = - \frac{145-230}{77} = + 1,103$

Traject 5: 290-365 dagen: $\Theta_5 = - \frac{230-140}{76} = - 1,184$

Voor de trajecten 1, 2, 3, 4 en 5 wordt de tijd aangeduid met respectievelijk de symbolen t_1 , t_2 , t_3 , t_4 en t_5 , waarbij

$$\begin{aligned} t_1 &= t \\ t_2 &= t - 31 & t_4 &= t - 212 \\ t_3 &= t - 59 & t_5 &= t - 289 \end{aligned}$$

a. de doorstroomfase

$t = 0$, $c_e = 100$, $V = V_{\max} = 40 \times 10^6$, $Q_i = Q_u = 0,274 \times 10^6$, $T = \frac{V_{\max}}{Q_u}$

Voor deze fase geldt de algemene formule:

$$c_e = c_0 + \Theta \cdot (t - T) + A \cdot e^{-\frac{t}{T}}$$

Hoe lang de bedrijfsvoering van het spaarbekken in de doorstroomfase wordt gehandhaafd hangt af van de waarde van het chloridegehalte dat in het afgeleverde water aanvaardbaar wordt geacht. Uitsluitend en alleen als rekenvoorbeeld is aangenomen, dat het chloridegehalte van het water uit het reservoir afkomstig in een

normaal jaar ≤ 150 mg/l, in een droog jaar ≤ 175 mg/l en in een zeer droog jaar ≤ 200 mg/l moet zijn.

Tengevolge van chloordosering bij het zuiveringsproces zullen de gehalten van het afgeleverde water intussen nog iets hoger liggen. Op de berekening van een reservoir in de doorstroomfase is in „Grondslagen basisplannen 3” diepgaand ingegaan. Hier kan worden volstaan met te stellen dat in het normale jaar ten tijde $t = 298$ het aanvaardbaar geachte chloridegehalte van 150 mg/l in het reservoir wordt bereikt ($c_e, t = 298 = 150$). Zie afb. 7.

b. fase van peilverlaging

Het gehele reservoir (inhoud 40×10^6 m³) is nu gevuld met water met een chloridegehalte van 150 mg/l. Daar het chloridegehalte van het aangeboden rivierwater hoger is dan 150 mg/l en toch water moet worden afgeleverd met een chloridegehalte van 150 mg/l, wordt overgegaan op de bedrijfsvoering volgens de fase van peilverlaging. De toevoer van water naar het reservoir wordt gestaakt en er wordt geput uit de voorraad.

Aangezien de minimum inhoud van het reservoir 10×10^6 m³ mag bedragen kan ten hoogste $\frac{(40 - 10) \times 10^6}{0,274 \times 10^6} = 109$ dagen uit de voorraad worden geput.

De bedrijfsvoering behoeft echter slechts in de fase van peilverlaging te worden gehandhaafd tot het ogenblik waarop het chloridegehalte van het Rijnwater is gedaald tot beneden 150 mg/l. Op dat ogenblik kan immers weer water worden ingenomen zonder boven de aan-

vaardbaar geachte grens van het chloridegehalte in het af te leveren water uit te komen.

In het normale jaar is ten tijde $t = 358$ dagen het chloridegehalte van het rivierwater gedaald tot beneden 150 mg/l (149,5). In de fase van peilverlaging moet dus $358 - 298 = 60$ dagen uit de voorraad worden geput. Aan het einde van deze fase bedraagt de inhoud van het spaarbekken:

$$40 \times 10^6 - 60 \times 0,274 \times 10^6 = 24 \times 10^6 \text{ m}^3$$

met $c_e = 150 \text{ mg Cl/l}$.

c. fase van peilverhoging

Nu een periode is aangebroken waarin water met een relatief laag chloridegehalte wordt aangeboden zal moeten worden getracht het reservoir weer snel op maximaal niveau te brengen. De stijging van het volume is nu afhankelijk van de factor n , het getal dat aangeeft hoeveel maal groter de toevoer van water naar het spaarbekken kan zijn dan de afvoer.

In de fase van peilverhoging wordt formule 2 van paragraaf 2 toegepast:

$$c_e = c_o + \frac{\Theta}{2n - 1} \cdot (n \cdot t - \frac{V_o}{Q_u}) +$$

$$A \cdot \left\{ -\frac{V_o}{Q_u} + (n - 1) \cdot t \right\} \cdot \frac{n}{n - 1}$$

hierin is t het tijdstip gerekend van het begin van de fase van peilverhoging.

Het volume stijgt in deze fase van de bedrijfsvoering volgens:

$$V = V_o + (n - 1) \cdot Q_u \cdot t$$

Op de keuze van de factor n zal in paragraaf 4 nader worden ingegaan. In dit voorbeeld zal $n = 5$ worden gekozen.

In het normale jaar zijn nog slechts 8 dagen voor een bedrijfsvoering volgens de fase van peilverhoging beschikbaar.

De berekening verloopt als volgt:

$$\begin{aligned} \text{Gegeven: } n &= 5 \\ c_o &= 149,5 \\ \Theta &= -1,184 \\ V_o &= 24 \times 10^6 \\ Q_u &= 0,274 \times 10^6 \end{aligned} \left. \vphantom{\begin{aligned} \text{Gegeven: } n &= 5 \\ c_o &= 149,5 \\ \Theta &= -1,184 \\ V_o &= 24 \times 10^6 \\ Q_u &= 0,274 \times 10^6 \end{aligned}} \right\} \frac{V_o}{Q_u} = 87,5$$

Bepaling van de integratieconstante A uit de randvoorwaarde $t = 0, c_e = 150$.

$$150 = 149,5 + \frac{1,184}{9} \cdot 87,5 + A \cdot 87,5 \cdot \frac{5}{4} \therefore A = -2961$$

$$c_{e, t=8} = 149,5 - \frac{1,184}{9} \cdot (5 \cdot 8 - 87,5) -$$

$$2961 \cdot (87,5 + 4 \cdot 8) \cdot \frac{5}{4} = 148$$

Aan het einde van het normale jaar ($t = 365$) bedraagt het chloridegehalte van het water in het reservoir dus 148 mg/l, terwijl het volume in 8 dagen is toegenomen tot

$$V = 24 \times 10^6 + 4 \times 0,274 \times 10^6 \times 8 = 32,8 \times 10^6 \text{ m}^3$$

Bedrijfsvoering in het opvolgende droge jaar

In het op het normale jaar volgende droge jaar wordt in het afgeleverde water een chloridegehalte van 175 mg/l aanvaardbaar geacht.

Alhoewel aan het begin van het droge jaar ($t = 366$) water wordt aangeboden met een chloridegehalte van 220 mg/l bestaat er, gezien het aanvangsvolume van $32,8 \times 10^6 \text{ m}^3$ en het chloridegehalte van het water in het spaarbekken = 148 mg/l, geen bezwaar tegen de fase van peilverhoging in het droge jaar door te zetten. Er dient echter voor gewaakt te worden, dat het chloridegehalte van het water in het spaarbekken niet hoger wordt dan 175 mg/l.

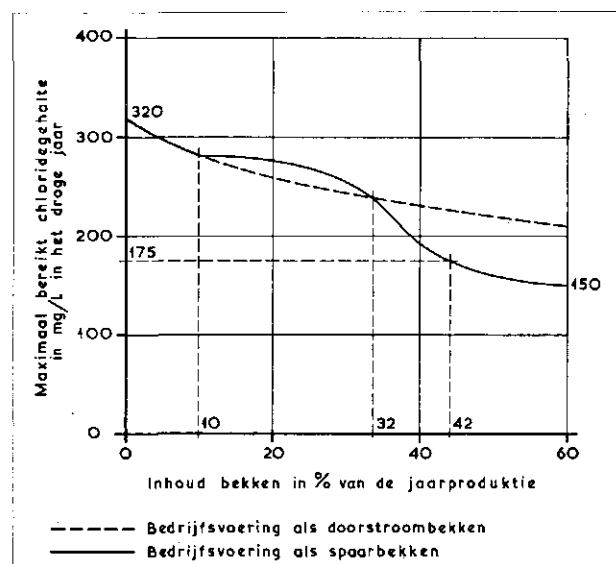
Treedt deze situatie op, dan dient de fase van peilverhoging te worden gestaakt. In het onderhavige geval treedt het voorstaande niet op. Reeds na 8 dagen ($t = 373$) is het reservoir weer geheel gevuld ($V = 40 \times 10^6 \text{ m}^3$). Het chloridegehalte van het water bedraagt dan 162 mg/l. Nu volgt een doorstroomfase van $t = 374$ tot $t = 611$. Op dit laatste tijdstip geldt $c_e = 175$, terwijl het chloridegehalte van het rivierwater hier ver boven ligt.

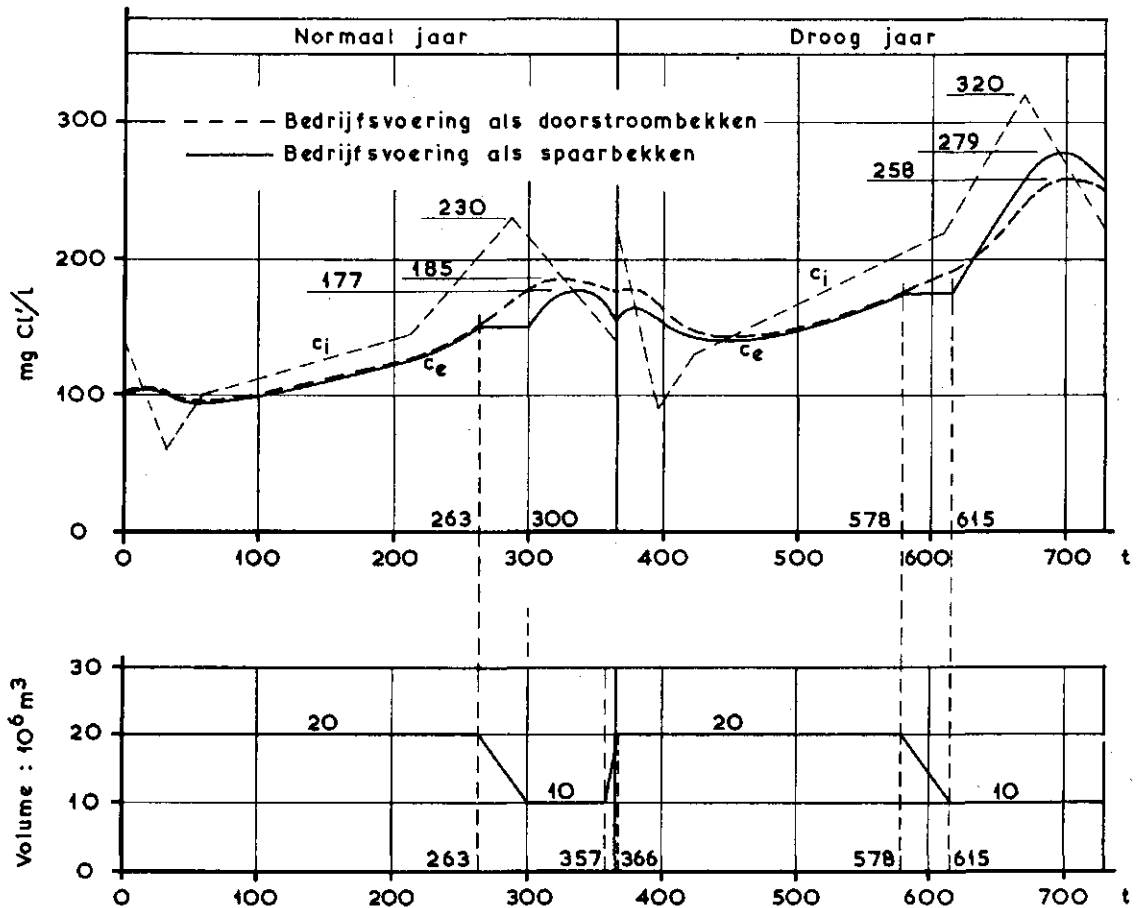
Het chloridegehalte van het Rijnwater zal in het vervolg van het droge jaar niet meer dalen beneden 175 mg/l, zodat de rest van het droge jaar zal moeten worden overbrugd door de fase van peilverlaging. Helaas is dit niet mogelijk omdat slechts 109 dagen uit de voorraad kan worden geput, tot $t = 720$. De laatste 10 dagen van het droge jaar zal weer moeten worden overgegaan op de doorstroomfase, nu echter met een beschikbare inhoud van $10 \times 10^6 \text{ m}^3$. Tenslotte moet in het droge jaar een maximaal chloridegehalte in het afgeleverde water van 188 mg/l worden verwacht. In afb. 7 zijn de resultaten van bovenstaande berekeningen grafisch weergegeven.

Aan de gevolgde berekeningswijze is de geconstrueerde opeenvolging van de chloridegehalten en de veronderstelling dat een normaal jaar wordt gevolgd door een droog jaar, ten grondslag gelegd. Het verdient daarom aanbeveling in een concreet geval de in dit artikel bereikte resultaten te toetsen aan het werkelijke afvoerloop en het daarmee samenhangende chlorideverloop, zoals dit in het verleden is voorgekomen.

De vraag kan nu worden gesteld welk chloridegehalte zal optreden in het droge jaar volgende op het normale jaar bij verschillende inhouden van het spaarbekken en ver-

Afb. 8 - Verband tussen bekkeninhoud en maximaal te verwachten chloridegehalte in het droge jaar, dat werd voorafgegaan door een normaal jaar, zowel bij een bedrijfsvoering als doorstroombekken als bij een bedrijfsvoering als spaarbekken.





Afb. 9 - Resultaten van de bedrijfsvoering met een doorstroombekken en een spaarbekken van $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ indien een normaal jaar wordt gevolgd door een droog jaar. $c_e = 100$ ten tijde $t = 0$.

schillende waarden van het chloridegehalte van het water in het geheel gevulde bekken bij de aanvang van het normale jaar. Voor inhouden van het spaarbekken oplopend van $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ tot $60 \times 10^6 \text{ m}^3$, steeds bij $n = 5$, is berekend welk maximaal chloridegehalte in het spaarbekken moet worden verwacht indien achtereenvolgens een normaal en een droog jaar worden verwerkt. Als aanvangschloridegehalte in het geheel gevulde reservoir in het normale jaar zijn 100, 150 en 200 mg/l gekozen. Voorts is in de berekeningen verdisconteerd, dat in het normale jaar zo mogelijk het chloridegehalte van het afgeleverde water niet boven 150 mg/l zal stijgen. De resultaten van deze berekeningen zijn met een volgetrokken lijn weergegeven in afb. 8. Uit de berekening is gebleken dat de gekozen aanvangschloridegehalten geen invloed uitoefenen op het maximale chloridegehalte dat in het droge jaar kan worden verwacht. Op dit verschijnsel is uitgebreid ingegaan in „Grondslagen basisplannen 3” en behoeft hier verder geen behandeling.

Ter vergelijking van de hier beschreven bedrijfsvoering met een spaarbekken en de in genoemd artikel bestudeerde bedrijfsvoering met een doorstroombekken van dezelfde inhoud is in afb. 8 met een gestreepte lijn het resultaat weergegeven van de berekeningen indien een doorstroombekken wordt toegepast ($c_e, t = 0 = 100$).

Uit afbeelding 8 blijkt dat met een spaarbekken met een inhoud van 42% van de jaarproductie of meer, kan worden voldaan aan de gestelde voorwaarde dat in een

droog jaar het chloridegehalte van het afgeleverde water maximaal 175 mg/l mag bedragen, terwijl met een doorstroombekken met een inhoud van 60% van de jaarproductie nog niet aan deze voorwaarde kan worden voldaan.

Anderzijds blijkt dat bij bekkeninhouden tussen $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ en $32 \times 10^6 \text{ m}^3$, de bedrijfsvoering volgens een doorstroombekken in het voordeel is boven een bedrijfsvoering volgens een spaarbekken.

In afb. 9 is voor een spaarbekkeninhoud van $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ dit verschijnsel nader geanalyseerd. De resultaten van de bedrijfsvoering met een doorstroombekken zijn aangegeven met een gestreepte lijn, met een spaarbekken door een volgetrokken lijn. In het droge jaar wordt bij de bedrijfsvoering met een spaarbekken ten tijde $t = 578$ overgegaan op de fase van peilverlaging. Na 37 dagen, ten tijde $t = 615$, is de inhoud van het spaarbekken gedaald tot $10 \times 10^6 \text{ m}^3$. Het hoogste chloridegehalte van het rivierwater moet nu nog worden verwerkt. Bij de bedrijfsvoering volgens een doorstroombekken gebeurt dit met een inhoud van $20 \times 10^6 \text{ m}^3$ en volgens een spaarbekken met een inhoud van $10 \times 10^6 \text{ m}^3$. Het zal duidelijk zijn dat de afvlakingsmogelijkheden in het eerste geval gunstiger zijn dan in het tweede geval. Dit wordt bevestigd door de resultaten.

Het wordt pas aantrekkelijk over te gaan tot de bedrijfsvoering volgens een spaarbekken indien wordt beschikt over een zo grote voorraad, dat daarmede de perioden van hoge chloridegehalten van het Rijnwater geheel of

nagenoeg geheel kunnen worden overbrugd. Tenslotte is berekend, dat met een spaarbekken met een inhoud van 60 % van de jaarproductie, zowel in het normale jaar als in het opvolgende droge jaar, water kan worden afgeleverd met een chloridegehalte van maximaal 150 mg/l.

Samenvattend kan worden gesteld dat de bedrijfsvoering volgens een spaarbekken dient te worden overwogen indien wordt besloten een bekken aan te leggen met een maximale inhoud $\geq 32\%$ van de jaarproductie. Voorts dat met een spaarbekken met een inhoud $\geq 42\%$ van de jaarproductie aan de in dit artikel gestelde eisen t.a.v. het maximaal toelaatbare chloridegehalte in het normale en het daarop volgende droge jaar kan worden voldaan. Een berekening heeft aangetoond dat met een spaarbekken van deze inhoud ook een zeer droog jaar, dat wordt voorafgegaan door een normaal jaar, kan worden verwerkt met inachtneming van de daarvoor gestelde eisen.

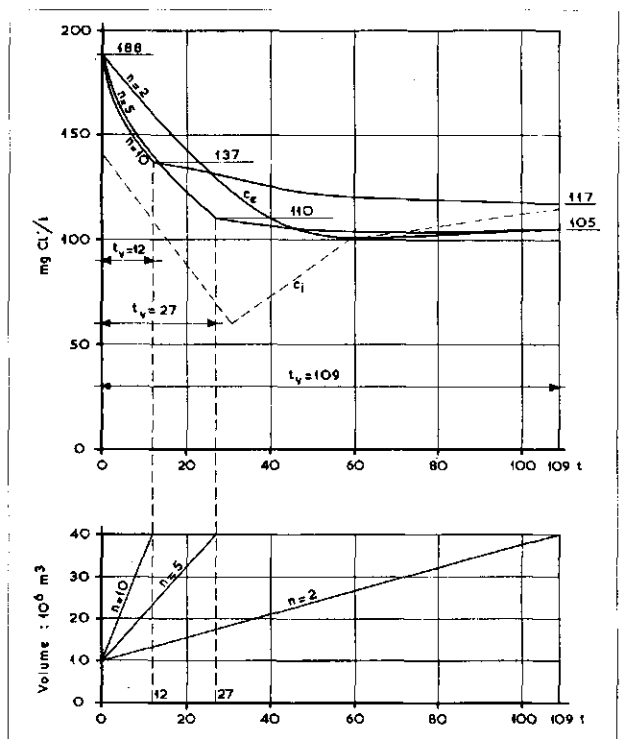
4. De invloed van de pompcapaciteit (n) op het chloridegehalte (c_e) en het volume (V) van een spaarbekken

In paragraaf 3 is berekend, dat in het geval dat wordt beschikt over één spaarbekken met een maximale inhoud van 40 % van de jaarproductie, in het droge jaar volgende op het normale jaar een maximaal chloridegehalte van 188 mg/l in het afgeleverde water moet worden verwacht. Dit geldt slechts indien $n = 5$, d.w.z. indien tijdens de fase van peilverhoging over een maximale pompcapaciteit wordt beschikt die 5 x de pompcapaciteit tijdens de doorstroomfase is.

In het geval dat het droge jaar wordt gevolgd door een normaal jaar moet er naar worden gestreefd in dit normale jaar zo snel mogelijk water met een chloridegehalte ≤ 150 mg/l af te leveren. Daar aan het einde van het droge jaar de inhoud van het spaarbekken is teruggelopen tot 10×10^6 m³ moet bovendien worden getracht het reservoir zo snel mogelijk op maximaal niveau te brengen. Ten gevolge van deze laatste eis en de omstandigheid dat c_i aan het begin van het normale jaar 140 mg/l bedraagt, wordt aan het begin van het normale jaar direct overgeschakeld op de fase van peilverhoging. Het zal duidelijk zijn dat de wijze waarop zo snel mogelijk aan genoemde eisen kan worden voldaan afhankelijk is van de beschikbare maximale pompcapaciteit. In afb. 10 is aangegeven welke resultaten kunnen worden bereikt indien n wordt aangenomen op respectievelijk 2, 5 en 10. De vultijden (t_v) kunnen voor deze gevallen worden berekend op respectievelijk 109, 27 en 12 dagen indien de reservoirinhoud moet worden verhoogd van 10×10^6 m³ tot 40×10^6 m³.

Zowel aan het snel ($n = 10$) als langzaam ($n = 2$) vullen van het spaarbekken zijn voor- en nadelen verbonden. Indien het spaarbekken snel wordt gevuld, dus in het geval $n = 10$, kan reeds na korte tijd ($t = 7$ dagen) water met een chloridegehalte van 150 mg/l worden afgeleverd. In het geval dat $n = 5$ is dit na 8 dagen mogelijk terwijl bij $n = 2$ eerst na 16 dagen water met een chloridegehalte van 150 mg/l kan worden afgeleverd. Nadat het reservoir geheel is gevuld wordt overgeschakeld op de doorstroomfase. Afb. 10 geeft ook weer hoe het chloridegehalte van het afgeleverde water in deze doorstroomfase verder zal verlopen. De volgende conclusies nu worden getrokken.

Het blijkt dat het beslist niet gerechtvaardigd is de maximale pompcapaciteit van $5 Q_u$ te vergroten tot $10 Q_u$



Afb. 10 - Verloop van het chloridegehalte van het water in een spaarbekken alsmede het verloop van de inhoud van een spaarbekken in de fase van peilverhoging in een normaal jaar alsmede in de opvolgende doorstroomfase bij verschillende waarden van de pompcapaciteit aan de inlaat. Maximale inhoud van het spaarbekken 40 % van de jaarproductie.

om 1 dag eerder een chloridegehalte van 150 mg/l in het afgeleverde water te bereiken. Het is zelfs de vraag of het in dit opzicht gerechtvaardigd is de maximale pompcapaciteit groter dan $2 Q_u$ te kiezen, hetgeen het minimum is indien n in een geheel getal wordt uitgedrukt. Voorts blijkt voor het geval $n = 10$, dat over de beschouwde periode in de doorstroomfase het chloridegehalte van het afgeleverde water steeds hoger zal liggen dan in het geval $n = 5$, terwijl voor het geval $n = 5$ het chloridegehalte van het afgeleverde water lager of bijna gelijk is aan het chloridegehalte van het afgeleverde water voor het geval $n = 2$. Het is duidelijk geworden dat een keuze van $n > 5$ niet gerechtvaardigd is.

Een belangrijke overweging is nu de vraag op welk ogenblik het spaarbekken weer geheel gevuld moet zijn. Hierbij is het veiligheidsaspect van doorslaggevende betekenis. Indien de periode van hoge Rijnafvoeren met daarbij behorende lage chloridegehalten aanbreekt, dan is het zaak het spaarbekken snel te vullen daar nooit precies kan worden voorspeld hoe lang deze periode zal duren. In dit artikel is ervan uitgegaan dat een vultijd van 1 maand redelijk genoemd kan worden, hetgeen erop neer komt dat in het onderhavige geval n kan worden bepaald uit de voorwaarde:

$$\frac{30 \times 10^6}{(n - 1) \times 0,274 \times 10^6} = 30 \therefore n = 4,6$$

n is vastgesteld op 5 ofwel een vultijd van 27 dagen. Na 27 dagen in het normale jaar volgende op het droge jaar is het reservoir dus weer geheel gevuld en is het chloridegehalte gedaald tot 110 mg/l (afb. 10).

• Slot volgt