OR CULTUURTECHNIEK EN WATERHUISHOUDING
Nota 223 d. d. 26 november 1963

De betekenis van zoute kwel voor het polderontwerp

W. C. Visser

De betekenis van het vraagstuk

Het Deltaplan zal als gevolg hebben dat in de over het algemeen vrij sterk verzilte polders van het eilandengebied van Zeeland en Zuidholland de mogelijkheid ontstaat het zoute water te verdrijven door doorspoeling met zoet water. Op de lange duur mag men verder verwachten, dat de zoute kwel zal overgaan in zoete kwel, al zal dit voor sommige gedeelten van de polder eeuwen duren.

Het eilandengebied is door gelijkmatiger temperatuur als gevolg van de regulerende werking van de grote wateroppervlakten in het bijzonder geschikt voor tuinbouw. Verder is het aantal uren zonneschijn vergeleken met het binnenland groter als gevolg van de invloed van het vlakke zeegebied met minder sterke turbulentie van de lucht en dientengevolge minder wolkenvorming. Ook hierdoor is de tuinbouw hier duidelijk bevoordeeld tegenover die welke in het meer bewolkte en minder zonnige vaste land wordt uitgeoefend. Vroegere oogsten, betere kwaliteiten en minder vorstschade zijn in dit gebied te verwachten of worden reeds geconstateerd.

Zou in dit gebied de watervoorziening van de gewassen in orde gebracht kunnen worden, dan zou men de voorwaarden hebben geschapen om tot de meer rendabele tuinbouw over te gaan, wanneer de overige omstandigheden dit wenselijk en mogelijk zouden maken.

Na de overstromingsramp is in dit gebied aan de ontwatering veel gedaan. Thans moet overwogen worden om voor dit op ontwatering gerichte systeem van waterleidingen maatregelen te verzinnen die een beheersing van de kwaliteit van het water mogelijk maken. Het overwegen van de eisen, die de toekomst aan de polderoutillage eventueel zou kunnen stellen, was aanleiding een omvangrijk onderzoek uit te voeren naar de weinig overzichtelijke factor van de zoute kwel.

Hoe beschouwt men de kwel

Vraagt men de praktische polderdeskundige hoe zich de kwel uit, dan zal hij de vulkaantjes op de slootbodem vermelden, waar de voortdurende

beweging van het zand de plaats van het opkwellen van water aanwijst. Hij zal wijzen op plekken waar het sloottalud inzakt en de slootbodem omhoog komt. Zijn opvatting van de kwel is dat dit een discontinu, pleksgewijze grote moeilijkheden veroorzakend verschijnsel is, welke plekken een onderdeel vormen van een overigens niet in belangrijke mate door kwel getroffen gebied.

De hydroloog zal desgevraagd een geheel ander beeld schetsen. Hij zal wijzen op het volgens meer of minder eenvoudige e-functies naar het centrum van de polder afnemen van de kwel als gevolg van toenemende afstand bij gelijkblijvend verschil tussen polder en zeepeil. Zijn opvatting is dat dit een continu afnemend verschijnsel is, beheerst door stromingsweerstanden in hogere en diepere lagen, welke constant verondersteld worden.

De opvattingen verschillen als noodzakelijk gevolg van beider belangstelling. Voor de praktische polderdeskundige zou de voorstelling van continuïteit ondoelmatig zijn. Deze opvatting toch zou een verbeteringsnoodzaak in alle sloten, dan wel in geen enkele sloot aanwijzen en geen basis vormen voor zijn dagelijks werk. De hydroloog zou in de pleksgewijze variatie in de stromingsweerstanden geen uitgangspunt voor zijn formules vinden en in plaats van de als vereenvoudiging bedoelde formules moeten werken met een onhanteerbaar gedetailleerde weergave van de gesommeerde effecten van pleksgewijze geldende beschrijvingen.

Wanneer men het kwelverschijnsel goed zou doorzien en dit beeld steeds in gedachten zou hebben, zou ieder zich steeds realiseren dat zijn conceptie van de kwel een vereenvoudiging is, noodzakelijk om eigen werkwijze mogelijk en hanteerbaar te maken. In werkelijkheid gaan deze beide vereenvoudigingen van het inzicht in het wezen van de kwel een eigen leven leiden en dreigt het inzicht verloren te gaan, dat de vereenvoudigingen alleen bruikbaar zijn bij toepassingen, waarvoor het verwaarloosde aspect niet van belang is. Bij nieuwe toepassingen moet men nieuwe vereenvoudigingen en nieuwe meetmethoden opstellen. De hydrologie kan niet steeds op dezelfde wijze van zijn inhaerente toevalsaspecten worden ontdaan.

Wat is het wezen van de kwel?

De kwel in het Hollands profiel - een twee lagen profiel met een minder doorlatende laag op een laag van betere doorlatendheid - wordt beheerst door een horizontale aanvoerstroming in de diepere laag en de verticale kwelstroming in de afdekkende laag. De eerste stroming wordt beschreven door de bekende constante kD, de tweede door de constante C. Beide constanten variëren van plek tot plek. Maar omdat de horizontale stroming honderden tot duizenden meters aflegt, middelen deze verschillen sterk uit en mag de hydroloog verwachten dat een gemiddelde kD-waarde bruikbaar zal zijn.

De verticale kwelstroming daarentegen legt maar enkele meters af, welke afstand plaatselijk nog sterk beïnvloed wordt door ingegraven sloten en kanalen. Deze laag wordt door een gemiddelde C-waarde beter gekenschetst naarmate hij dikker en gelijkmatiger van doorlatendheid is. Waar dit niet het geval is, zal de polderdeskundige terecht aan zijn conceptie de grote variabiliteit van de C-waarde ten grondslag leggen.

Stromingsfunctie en toevalsverdeling van de constanten bepalen samen de omvang en variabiliteit van de kwel. Is de toevalsspreiding van de kD- en C-waarden breed, dan valt de hydrologische achtergrond in het niet. Is de toevalsspreiding nauw, dan wordt het hydrologische aspect de bepalende factor.

Het vaststellen van het kwelpatroon

Voor het vaststellen van de plaats, waar de kwel optreedt, beschikt men over drie methoden, die variëren van kostbaar, tijdrovend maar algemeen toepasbaar tot goedkoop, snel en alleen van toepassing voor een zeer speciaal aspect van de kwel.

Als meest bekende methode mag gelden het bepalen van kwel uit kD- en C-waarden, die in ongeroerde gestoken monsters, en drukverschillen, die uit diepe en ondiepe piezometers zijn bepaald.

De bepalingen zijn kostbaar, de nauwkeurigheid van de hydrologische constanten, bepaald aan de relatief zeer kleine grondcylinders, is noodzakelijkerwijze beperkt, terwijl het niveau van diepe potentialen, op ruime wijze vereffend bij het met de hand inschetsen, mogelijke details nogal wat afvlakt. Deze methode is van belang indien men een niet aanwezige en dus niet direct meetbare situatie door berekening wil benaderen of indien men

een nauwkeurig kwalitatief inzicht in het algemeen stromingsprobleem wil verkrijgen, zoals het optreden van etages, scheidende lagen, potentiaalvervallen, begrenzing van doorlatende niveaux binnen de etages, snelheid van verzoeten van de kwel na afsluiting van de zeearmen, enz. De methode is te tijdrovend om een dicht waarnemingsnet te kunnen verschaffen.

De berekening van kwel uit de waterbalans, afgeleid uit grond- en slootwaterstandswaarnemingen, regen en verdampend vermogen van de atmosfeer is een matig tijdrovende werkwijze, vooral indien de analyse van het samenspel van de variabelen met de computer wordt uitgevoerd. Een grote detaillering is op deze wijze niet te verkrijgen, al kan men meer grondwaterstandsbuizen plaatsen dan diepboringen uitvoeren. Een voordeel is, dat deze methode de gehele waterbalans kan ontrafelen. De kwel wordt echter door extrapolatie naar het nulpunt van het regenoverschot bepaald, waarbij de nauwkeurigheid - toch reeds afhankelijk van minder in details afdalende hydrologische formules - door de extrapolatie vooral bij hogere kwelintensiteiten sterk afneemt.

De derde methode bestaat uit het direct meten van de kwel zoals die uit de afvoer van de drains en het opkwellen uit de slootbodem blijkt. Hiertoe is meetgereedschap vervaardigd, dat de afvoer van de drainbuis en de opkwellende hoeveelheid in de sloot onder water kan meten.

De drainmeter meet de kwel over het gehele oppervlak dat door een enkele buis afvloeit. De meting heeft als gevolg daarvan een kleine toevallige fout, maar systematische zijn zeker aanwezig, zoals gevolg van de invloed van aangrenzende sloten en drains of van afvoer van regen of wateronttrekking door verdamping.

De slootkwelmeter meet de kwel over een oppervlak van niet meer dan 4 dm^2 en zal dus sterk onder de invloed van de bodemheterogeniteit staan. Ook hier zal afvoer van regen een fouten-invloed vertegenwoordigen.

De beide metingen hebben echter het voordeel dat ze zo gemakkelijk herhaling toelaten en allerlei invloeden op de kwel bestudeerbaar doen worden. Ook in gebieden met zeer variabele kwel kan men met deze detailmetingen een indruk van de variatie van plek tot plek krijgen. Met de hiervoor beschreven methoden zou zo'n studie ook wel mogelijk zijn, maar ze zullen teveel moeite kosten om tot dergelijk detailonderzoek te kunnen besluiten.

Het vaststellen van kwelplekken door het vaststellen van dooiplekken in de sneeuw of wakken in het ijs in de sloten laten wij hier buiten beschouwing. Het is een methode tot opsporen en begrenzen van de kwel doch geen meting van de intensiteit. Dit neemt niet weg dat een zorgvuldige verkenning van een polder op deze visuele kwel-indicaties een zeer belangrijke bijdrage tot het kwelonderzoek zal vormen waarmede de locale polderdeskundigen een belangrijke ondersteuning van het onderzoek zouden kunnen leveren.

De regionale verdeling van de kwel

De kwel in de polders van het Deltagebied blijkt - zoals hiervoor werd aangegeven - zeer uiteen te lopen. Soms treft men nabij de dijk zeer hoge bedragen aan. Dit richt de gedachten op dijkskwel of op de invloed van de korte kwelweg vanaf het buitenwater en dus op het geringe drukverlies bij stroming door de diepere lagen. Het zal voor een goede verklaring van belang zijn dat men zich wel overtuigt van een mogelijke invloed van het al of niet aanwezig zijn van buitendijkse schorren en van binnendijkse vergravingen - zogenaamde karrevelden - waarvan de ondoorlatende laag vroeger geheel of gedeeltelijk diende voor de dijkbouw. Even hoge kwelcijfers ver van de dijk verwijderd wijzen uit, dat niet alleen de kD-waarde of het drukverschil, maar ook de C-waarde de verklaring kan geven.

Verder ziet men herhaaldelijk sterke kwel optreden in de hoofdleiding vlak bij het gemaal. Ook hier kan de verklaring, veelal vastgeknoopt aan de korte afstand tot de zee, evenzeer worden gezocht in de omstandigheid dat bij het gemaal de hoofdtocht het diepste is en van de ondoorlatende laag het minste is overgebleven.

Deze verklaring vindt zijn bevestiging in de kwelcijfers in de diepe tochten in het midden van het eiland Schouwen. Deze cijfers zijn hoog in vergelijking met de lage cijfers, die in de kleine sloten gevonden worden, die de hoofdtocht kruisen. Alleen de waarnemingen in de tocht geven hoge tot zeer hoge cijfers te zien en wijzen uit, dat men ook hier de tocht te diep heeft gemaakt en van de slecht doorlatende laag te weinig heeft overgelaten.

Overigens is zonder nauwkeurige analyse in het kwelpatroon geen bepaalde regelmaat te herkennen.

Kwel en zoutgehalte in het open water

Het zoutgehalte van het open water wordt wel eens beschouwd als een directe afspiegeling van het kwelpatroon. Bedacht dient echter te worden dat het zoutpatroon niet alleen van de kwel, maar eveneens van het transport van water en zout door de open leidingen afhangt. Indien de hoofdleiding midden in de polder ligt, zal het zout, dat in de karrevelden opkwelt, door de leidingen naar het midden van de polder moeten stromen en het gehele tussenliggende gebied verzilten, ook indien in deze polderdelen de plaatselijk optredende kwel gering zou zijn. Het effect van de kwel is niet alleen afhankelijk van de verticale doorlatendheid van de bovenlaag, maar tevens van de transportrichting in de open leidingen. De tracering van de hoofdtochten als in de Wieringermeer met een kwelkanaal op korte afstand parallel aan de dijk is principieel juister dan de tracering, die de hoofdtochten in het midden van de polder legt als in de niet door verzilting bedreigde oudelands polders. Ook de afwezigheid van duidelijke kwelkanalen en speciaal van kwelkaden, die de delen met de sterkste zoutbelasting van de rest van de polder afschermen en de minder door zout belaste delen hun laag zoutgehalte laten behouden, lijkt minder juist. Of deze op de kwel afgestemde tracering van leidingen en afdelingsgrenzen overigens landbouwkundig van belang is, hangt van de hoogte van het zoutgehalte af. Zou een juiste tracering op Schouwen een zoutgehalte van 15 gr/l verlagen tot 10 gr/l, dan zou dit gehalte nog veel te hoog zijn en het resultaat weinig waarde hebben.

Hoe staat het met de toevalsverdeling van de kwelintensiteit?

Omtrent de doorlatendheid van de bovenlaag, die de kwelintensiteit in grote mate bepaalt, geeft het doorlatendheidsonderzoek, met de boorgatenmethode ten behoeve van drainage bepaald, ons een eerste indruk. Speciaal de variabiliteit van deze grootheid blijkt in het Deltagebied groot te zijn en de variabiliteit van de doorlatendheid bij lichte zavelgronden vele malen te overtreffen. Men mag dus wel reeds verwachten dat de eigenschappen van de ondoorlatende laag - en speciaal van de spierkleilaag die in dit gebied zo goed bekend is - bepalen hoe sterk de kwel zal variëren.

Een groot aantal kwelbepalingen op klein oppervlak toonde deze grote variabiliteit duidelijk aan. Men kan zich nu afvragen of deze verdeling het gevolg is van een bouw van de bovenlaag, bestaande uit grote gebieden met

[illegible]

een beperkt variabele doorlatendheid, waarin enkele zwakke plekken voorkomen - bijvoorbeeld door oude kreken of te diep ingegraven sloten veroorzaakt - dan wel het gevolg van een sterk variabele structuur van de spierkleilaag binnen een genetisch overigens uniform gebied.

Het optreden van variatie als gevolg van meer dan *één* oorzaak blijkt uit het voorkomen van meertoppige kansverdelingen. Gaat men na hoe de kansverdeling van de kwel er uitziet, dan blijkt dat het een eentoppige log-normale verdeling is.

Hieruit mag men afleiden dat de belangrijkste oorzaak van de kwel de structuur van de grond in de ondoorlatende laag is en dat versterking van de kwel door genetische differentiatie van het gebied of door de ingraving van sloten onvoldoende veelvuldig voorkomt of de kwel onvoldoende vergroot om als afzonderlijke factor in de kansverdeling tot uiting te komen. Verder mag men uit deze enkelvoudige oorzaak van de kwel afleiden, dat de kwel in de sloot en in de akker door eenzelfde kansverdeling van de C-waarde wordt beheerst. Dat dit niet tot dezelfde kwel behoeft te voeren, is het gevolg van verschillen in de waterbalans door berging en verdamping en een ander drukverschil wegens de toevoeging van de stromingsweerstand van de drainagestroming. Tenslotte wijst een log-normale kansverdeling er op, dat een gering oppervlaktepercentage met hoogste afvoeren voor het overgrote deel van de kwel verantwoordelijk is. Het is vooral deze logarithmisch scheve kansverdeling, die het zo voor de hand doet liggen de kwelverschijnselen gesplitst te denken in een aantal markante kwelplekken in een overigens homogeen doorlatend gebied met een gelijkmatig verdeelde kwelstroming van beperkte grootte. Niettemin is de kwel een enkelvoudig, door een homogene kansverdeling beheerst, proces dat in meerdere of mindere mate kan overwegen ten opzichte van het hydrologisch verschijnsel in engere zin, zoals het uit stromingsformules met constante stromingsparameters kan worden beschreven. De enkelvoudige oorzaak is van belang voor de kwelwaarneming. Bodemkundige of geologische opnamen zullen binnen de genetische eenheden door physische waarnemingen moeten worden aangevuld.

De samenhang tussen sloot- en drainkwel

Wanneer er aanleiding is aan te nemen dat de kwel, die uit de drainageafvoer blijkt, door dezelfde variabiliteit in de C-waarde voor de verticale

kwelstroom wordt beheerst als de kwelstroom, die in de slootbodem optreedt, dan moet er tussen de variabiliteit in de drain- en de slootkwel een bepaalde relatie bestaan. Wanneer wij hier de invloed van de stromingsweerstand, nodig voor de afvoer naar de drainbuis, buiten beschouwing laten, dan hangt de variabiliteit van sloot- en drainkwel af van de grootte van het kleinste oppervlak, waarvoor de gemeten kwelintensiteit geldt. Stelt men zich het kwelpatroon als een mozaiek van toevallig verdeelde intensiteiten voor, dan is het van belang of de eenheden van het mozaiek afmetingen van deci- dan wel decameters hebben. De drainkwel, de afvoer van de drainbuis bij de uitmonding, geeft de som van de kwelintensiteiten over een oppervlak van 0.1 à 0.2 ha, terwijl de slootkwel de intensiteit aangeeft over een oppervlak van een onbekende, maar veel geringere oppervlakte van de juist genoemde eenheden van het mozaiek. Door de kansverdeling van de slootkwel te vergelijken met die van de drainkwel kan men een indruk krijgen van de grootte a van deze oppervlakte-eenheid, waarvoor gemiddeld de bepaalde slootkwel geldt. Wil men dan de gelijkmatigheid van de kwel voor oppervlakten van n eenheden met grootte a.n weten, dan zal de variabiliteit van de slootkwelcijfers tot de macht $1/\sqrt{n}$ verheven moeten worden om de log normale verdeling van deze kwelcijfers te vinden. Wil men ten behoeve van doorspoelingsonderzoek weten of het waarnemingsnet voldoende dicht is om zekerheid te kunnen geven dat het zoutgehalte binnen bepaalde grenzen zal blijven, dan geeft de grootte van de eenheid van kwel, berekend op grond van dit kansverdelingsonderzoek een aanwijzing omtrent de gewenste dichtheid van het waarnemingsnet.

De kwel en het zoutgehalte van het slootwater

Het zoutgehalte van het slootwater wordt bepaald door het totaal aan zout gedeeld door de som van de waterhoeveelheden, die van punt tot punt door de sloot stromen of daar door kwel of verdamping binnentreden of verloren gaan. Wil men een indruk hebben van de hoeveelheid doorspoelingswater, nodig om in de sloot een zoutgehalte te handhaven, dat een zekere grens niet te boven gaat, dan moet men een maatgevende stromingssituatie opstellen, die als basis voor de doorspoeling mag gelden. Deze stromingssituatie zal een redelijk maximum aan doorspoelingsbehoefte voor een droge periode moeten betreffen. Behoudens in gevallen van zeer sterke drainkwel zal men veelal wel kunnen uitgaan van een gemiddeld hoogste

[illegible]

[illegible]

[illegible]

zomerverdamping en afwezigheid van drainafvoer. Verder dient een stroomrichting van het water te worden vastgesteld, welke het water opgelegd kan worden door inlaten en uitmalen, dan wel het gevolg kan zijn van verschil in kwel. Tenslotte kan men de doorspoeling als stationair geval doorrekenen dan wel zich een voorstelling maken omtrent een bepaalde frequentie van waterinlaat en uitmaling.

De stationaire rekenwijze beschrijft het zoutgehalte van een slootvak op een bepaald punt als de som van het met doorspoel- en kwelwater aangevoerd zout, gedeeld door het totaal van de hoeveelheden kwelwater, doorspoelwater, regen en verdamping over het leidingvak tussen het inlaatpunt en het punt van beoordeling.

In formule gebracht wordt het zoutgehalte weergegeven door:

$$Z_{sl} = \frac{D\,Z_d + \sum K\,Z_k}{D + \sum K + (R-E)\sum O}$$

Z_{sl} = zoutgehalte slootwater
Z_k = zoutgehalte kwelwater
Z_d = zoutgehalte doorspoelwater
D = doorspoeldebiet per etmaal
K = kweldebiet per etmaal
R-E = regenoverschot gemiddeld per etmaal
O = slootoppervlak

Het somteken geeft aan dat men van het inlaatpunt tot het punt van beoordeling het zoutbezwaar - het product van kwel en slootoppervlak - moet sommeren.

Het doorspoelingsonderzoek brengt een nieuw element in de berekening van een slotenstelsel, namelijk dat de hoeveelheid water, die door een bepaalde sloot stroomt, van belang wordt. Bij afvoer van water is het van geen belang of de ene sloot meer afvoert dan de andere, zo lang men het water maar kwijt raakt. Bij doorspoeling echter wordt het te zout zijn van de ene sloot niet opgeheven door het zoeter dan nodig zijn van een aantal anderen.

Het ontwerp vraagt dan ook dat eerst voor elk leidingvak het zoutbezwaar $\sum K\,Z_k$ wordt vastgesteld alsmede het kwelbezwaar $\sum K$ en het regenbezwaar $(R-E)\sum O$.

De volgende stap is, dat van elk leidingvak de lengte, de natte doorsnede en het hoogst toelaatbaar peil worden vastgesteld. Dit peil is het peil, dat men maximaal zou willen toelaten om door de bestaande leidingen de waterhoeveelheid te doen stromen, die men als doorspoelingsbehoefte van lager gelegen leidingen berekende of die men moet toelaten om het doorspoelingswater van hoger gelegen leidingen af te kunnen voeren.

Een berekening moet nu voor elk leidingvak bepalen met welke stuwhoogte of profielverwijding men een verdeling van het ingelaten water kan bewerkstelligen, die het nauwste aan de gewenste doorspoeling aansluit zonder dat het hoogst toelaatbare polderpeil of een hoogste zoutgehalte wordt overschreden en tevens het doorspoelingsdebiet redelijk blijft.

Omtrent dit rekenproces, dat vaststelt hoe de optimale doorspoeling met minimale kosten kan worden bereikt, bestaat tot dusverre geen ervaring. Door gebruik maken van de computer komen oplossingen binnen het bereik van de ontwerper, die een optimaal project kunnen garanderen, mits men de juiste uitgangspunten maar weet te formuleren.

Enkele problemen, die men zal moeten oplossen, laten zich wel reeds voorspellen. Zo zullen leidingen, die een tangentiale verbinding vormen tussen de radiaal verlopende doorvoerleidingen, aan beide einden deze radiale leidingen op punten met gelijke waterhoogte kunnen ontmoeten. Deze leidingen zullen niet doorgespoeld kunnen worden zonder een van beide radiale leidingen op te stuwen of de tangentiale leiding door bemaling van water te voorzien.

Het zal gemakkelijker zijn een oplossing te vinden naarmate men meer drukhoogte ter beschikking heeft. Men zal de aanvoerkanalen daarom het beste met klein verval en ondiepe bodem kunnen ontwerpen, waarin om het water te kunnen vervoeren het peil flink opgezet moet worden. De afvoerleidingen kan men het beste op wat lager peil houden en dus diep maken, wanneer dat althans de kwel niet doet toenemen.

Er zullen leidingvakken optreden, waardoor meer - soms veel meer - water zal moeten worden aan- of afgevoerd dan voor de doorspoeling nodig is. Aan de hieruit voortvloeiende geringere economie van het zoet-watergebruik is niet te ontkomen.

Het zal van belang zijn de aanvoerkanalen zo veel mogelijk door gebieden met weinig kwel, en de afvoerkanalen zo veel mogelijk door gebieden met

grote kwel te leiden. Bij gelijke doorspoelingsintensiteit wordt de oplossing met een zo groot mogelijk gebied met laag zoutgehalte verkregen door het water zodanig door de leidingen te doen stromen, dat achtereenvolgens leidingvakken met opklimmende doorspoelingsbehoefte worden doorstroomd.

Berekening van het leidingstelsel

Met de berekening van een leidingsysteem zal moeten worden geëxperimenteerd voor de overzichtelijkste oplossing gevonden is. Ervaring, verkregen door uitvoering van de becijferingen bestaat nog niet. Enkele voorwaarden liggen echter vast.

In elk knooppunt van drie of meer leidingen zal de som van de toe- en afvloeiende debieten in de leidingen gelijk nul moeten zijn (formule 3). Aan de doorspoelingsbehoefte D zal een transportbehoefteterm Q_t moeten worden toegevoegd, die met de doorspoelingsbehoefte van lager gelegen gebieden rekening houdt (formule 2).

Wanneer men in elk leidingvak het verval opsplitst in een deel Δh_t dat de stroming veroorzaakt en een deel Δh_r dat voor een goede debietsregulering moet worden toegevoegd of weggenomen, dan kan de waterdiepte worden bepaald, die het doorspoelende water zo goed mogelijk verdeelt volgens de berekende leiding-debieten die het zoutgehalte in de achtereenvolgens doorstroomde leidingen tot de gewenste waarde doen dalen (formule 2).

De som van de vervallen langs elke verbinding tussen het aan- en afvoerpunt moet constant zijn (formule 4).

De som van doorspoel- plus transportwater in de leidingen die door een dwarsraai door de polder worden gesneden, moet gelijk zijn aan de hoeveelheid kwel in het boven liggend polderdeel, het ingelaten water plus het regenoverschot (formule 5).

Berekening van negatieve regelingsvervallen wijst op de noodzaak van vergroting van het profiel van de leidingen of van doorspoeling door opmaling. Positieve vervallen wijzen op de noodzaak van stuwen en overstorten.

Het zal gewenst zijn om de berekening met enkele doorspoelingshoeveelheden uit te voeren teneinde vast te stellen of de richting van stroming in alle leidingen daarbij gelijk blijft. Overwogen moet daarbij worden of het nuttig kan zijn dit ook te doen met de kwel of de doorspoeling gelijk nul gesteld, of onder veronderstelling van een constante kwel of van vooraf vastgestelde, praktisch gekozen slootprofielen.

Het onderzoek naar de invloed van de dimensies van elk leidingvak op de grootte van het gebied met lage zoutgehalten zal vermoedelijk het beste kunnen plaatsvinden door voor elk leidingvak het zoutgehalte na doorspoeling wat hoger of lager aan te nemen en na te gaan wat het effect van deze verlaging of verhoging is op de grootte van de termen voor de transportbehoefte in afhankelijkheid van de transportafstand.

Formules

Enkele formules, waaruit de onbekenden zullen moeten worden opgelost, laten zich thans reeds uitschrijven als grondslag voor verdere overwegingen omtrent de wijze, waarop het vraagstuk van de meest economische doorspoeling kan worden opgelost. Men komt tot de volgende uitgangsvergelijkingen:

1. $D + \Sigma K + (R-E)\Sigma O = Z_{sl}(D\,Z_d + \Sigma K\,Z_k)$	voor elk punt
2. $D + \Sigma K + Q_t + (R-E)\Sigma O = K\,R^m l^{-n}(\Delta h_t + \Delta h_r)^n$	voor elk leidingvak
3. $\Sigma(D + \Sigma K + Q_t) + (R-E)\Sigma O = 0$	voor elk knooppunt
4. $\Sigma(\Delta h_t + \Delta h_r) = C$	voor een aantal leidingtrajecten
5. $\Sigma(D + \Sigma K + Q_t) + (R-E)\Sigma O = D_{inlaat}$	voor elke dwarsdoorsnede door de polder

Om tot een oplossing te komen zal de tweede vergelijking gelineariseerd moeten worden. Een minder prettige eigenschap van de formules is, dat ΣK en ΣO van de doorstromingsvolgorde van de leidingen afhangen, en dus de oplossing pas verkregen kan worden wanneer men deze reeds vrij goed heeft kunnen benaderen. De oplossing zal dus itteratief moeten zijn en dus nogal bewerkelijk.

Het aantal onbekenden in het vraagstuk is het volgende: de ingelaten hoeveelheid water D_{inlaat}, de vulling h van de leidingen voorkomende in de natte radius R, een niet in het leidingvak voor doorspoeling benodigd transportdebiet Q_t en een reguleringsverval h_r per leidingvak, behalve de leidingvakken die bij het uitlaatgemaal samenkomen. Zijn er n leidingvakken en m afsluitende eindleidingen, dan is het aantal onbekenden gelijk $2(n - m + 1)$.

[illegible] van oliebinnen
[illegible] theoretisch ermoedelijk tot
[illegible] dat het soortgelijke m
[illegible] om te gaan met de
[illegible] productie van de terreur voor de
[illegible] verzorgstand.

[illegible]

[illegible] de onbekende [illegible] modelen worden erge
[illegible] reeds [illegible] de grondslag voor [illegible]
[illegible] van de meest [illegible]
[illegible] ten [illegible] tot de volgende uitgangsver-
[illegible]

[illegible]	voor elk punt
[illegible]	voor elk leidingvak
[illegible]	voor elk knooppunt
[illegible]	voor een [illegible]
[illegible]	voor elke [illegible]

[illegible]

[illegible]