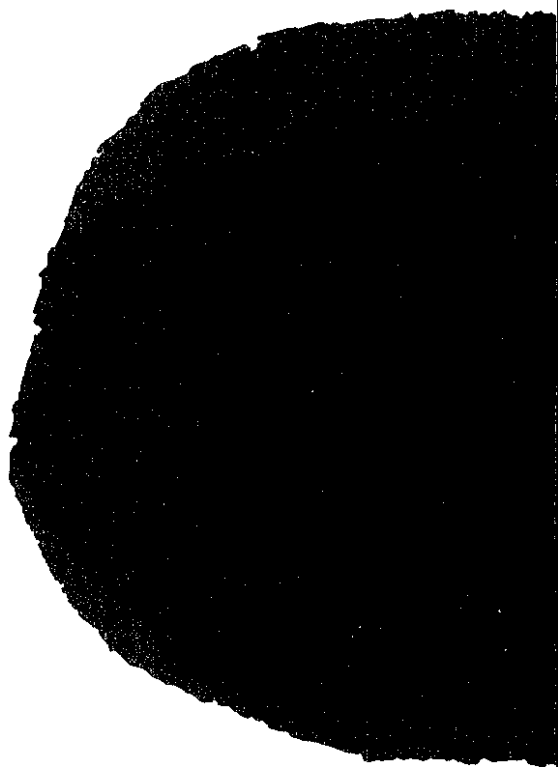
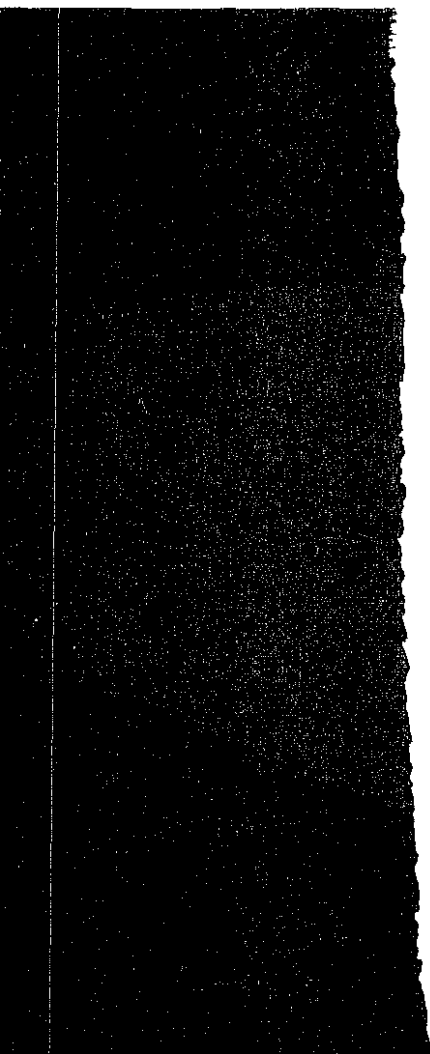


Driemaandelijks Bericht
nummer 119, februari 1987

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Veenlaan 1
4301 NN Zierikzee
Telefoon: 01110-1 8000

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Postbus 20014
2500 EA 's-Gravenhage
Telefoon 070-7899 11

De prijs bedraagt f 30,75 per jaar
of f 8,10 per nummer

Inhoud

Transport en plaatsing van de dorpelbal-
ken 447

Materiaalproblemen bij de schuiven van de
stormvloedkering 457

Waterloopkundig onderzoek voor het ontwerp
van de zandsluitingen van de compartimente-
ringsdammen 463

Zout/zoet-studies voor de sluiting van de
compartimenteringsdammen 470

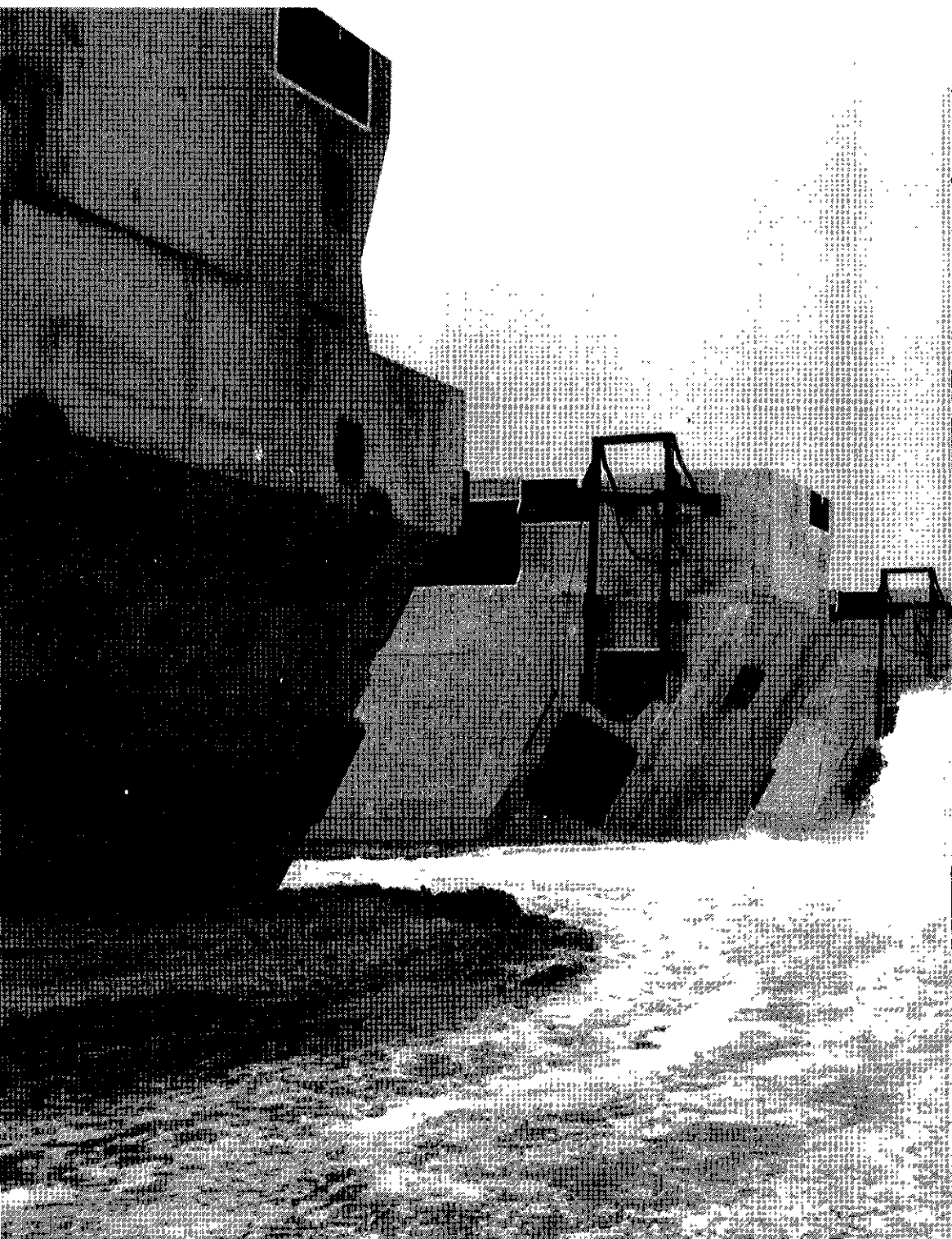
Grondmechanische aspecten van de westelijke
Markiezaatskade 476

De verbetering van het Kanaal door Zuid-Be-
veland 483

Modellen van ecosystemen 491

Samenvattingen/Summaries 497

Vorderingen 500



Transport en plaatsing van de dorpelbalken

Het plaatsen van elementen in de stormvloedkering in de Oosterschelde omvatte onder meer plaatsing van 62 dorpelbalken in de drie sluitgaten, met de bijbehorende handelingen in het bouwdok.

In de uitvoering waren drie fasen te onderscheiden.

De eerste fase van december 1984 tot half maart 1985, kon gelden als proefperiode. Uiteindelijk werd de eerste dorpelbalk geplaatst op locatie Schaar 10. De tweede fase viel in het najaar van 1985; toen werden de dorpelbalken geplaatst in de Hammen en de Schaar, en nog negen balken in de Roompot. In de derde fase voorjaar 1986, werden de resterende 22 dorpelbalken geplaatst in de Roompot.

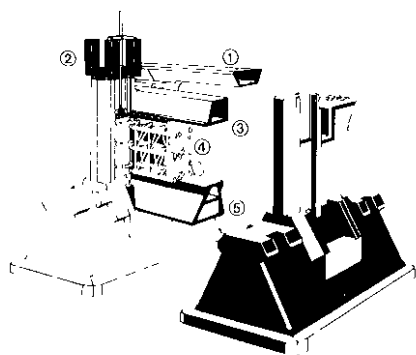
De dorpelbalk dient als onderaanslag van de schuif en heeft bovendien een kerende functie. Tevens legt de dorpelbalk het doorstroomprofiel vast. Daarnaast vormt de balk met zijn steenstortingen de overgangsconstructie naar de drempel (figuur 1).

De dorpelbalken zijn 40 m lange holle kokers, 8 m breed en hoog, over de hoogte verdeeld in twee compartimenten. Het droge gewicht van een dorpelbalk bedraagt 2700 ton. Als het onderste compartiment voor het transport gevuld is met water is het gewicht onder water 1850 ton.

Na plaatsing in de kering worden de dorpelbalken gevuld met zand; het gewicht komt dan op 2400 ton. De balken zijn voorzien van in de betonconstructie opgenomen hijsnokken, waarmee ze door middel van een hijsconstructie aan de 'Taklift 4' omhoog kunnen worden gehesen (figuur 2).

De dorpelbalken zijn gebouwd in een bouwdok op N.A.P. -15 m. Na voltooiing van de bouw werd het bouwdok geïnundeerd; na doorbagging van de dijk lag de weg naar het sluitgat open. De balken werden vervoerd door de 'Taklift 4' een speciaal voor het Oosterscheldeproject gebouwde dok, die tevens belast is geweest met het plaatsen van verkeerskokers, schuiven en bovenbalken.

De dorpelbalken in het bouwdok, dat juist wordt geïnundeerd



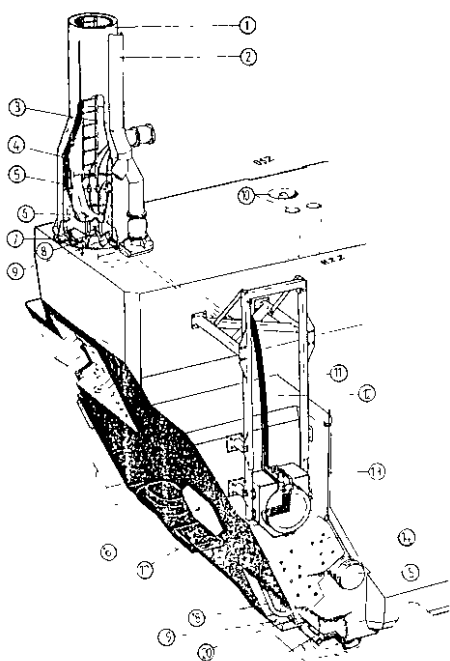
- 1 VERKEERSKOKER
- 2 OPZETSTUK
- 3 BOVENBALK
- 4 SCHUIF
- 5 DORPELBALK

Fig. 1. Plaats van de dorpelbalk in de Oosterschelde-kering

Fig. 2. De onderdelen van de dorpelbalk

Fig. 3. Overzicht van het bouwdoek 'Schaar'

Fig. 4. Verankering van de 'Taklift 4' in het bouwdoek



- 1 GROUTPIJP
- 2 ZANDVULLEIDING
- 3 TRAP
- 4 JETLEIDING
- 5 AFSLUITERS GROUTPIJP
- 6 WATERPOMP
- 7 RUBBERMANCHET
- 8 AFSLUITERS PANAMAHOED
- 9 TAATS GROUTPIJP
- 10 ZANDVULLOKATIE
- 11 GELEIDEFRAAM
- 12 GROUTLEIDINGEN
- 13 KABEL VERWIGGING
- 14 GELEIDEBLOK AZOBE
- 15 SCHROEFSPINDEL
- 16 DWARSVERWIGGINGSBLOK
- 17 TIJDELIJKE OPLEGGING OOSTERSCHELDEZIJDE
- 18 JETLEIDING
- 19 TIJDELIJKE OPLEGGING NOORDZEEZIJDE
- 20 JETPIJP

De bok heeft een hijscapaciteit van 1600 ton in het A-frame aan de voorzijde, daarmee is het de zwaarste zelfaangedreven bok op het westelijke halfstrand. Ten behoeve van het transport van de dorpelbalken was de 'Taklift 4' aan de achterzijde uitgerust met zogenaamde hijsbooms, waardoor aan de achterzijde van de bok een hijscapaciteit ontstond van maximaal 2400 ton.

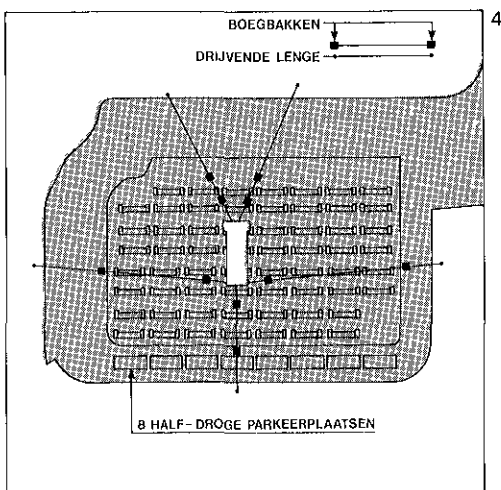
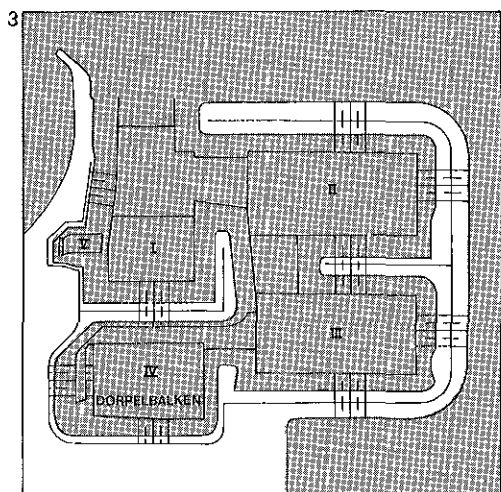
De balk werd hangend in het water getransporteerd. De bovenzijde stak daarbij maximaal 2,25 m uit boven het water. Het ondercompartiment was gevuld met water; het bovencompartiment was leeggepompt.

De balken zijn eerst door de bok op een tijdelijke parkeerplaats in het bouwdoek geplaatst, deels boven water, om nog enige afbouwwerkzaamheden te kunnen uitvoeren. Vervolgens werden ze naar het sluitgat getransporteerd, waar ze in de pijlerspanningen werden neergelaten.

Na het plaatsen werd de dorpelbalk vastgezet tussen de pijlers. In Bericht 118 (november 1986) werd reeds uitvoerig ingegaan op de oplegconstructie en het vastzetten van de dorpelbalk. De balk werd ten slotte gevuld met zand en aangestort door de stenenlegger 'Trias'.

De gedachtevorming omtrent de methode van plaatsen en het daarbij te gebruiken materieel begon al in 1979. In eerste instantie werd de rol van dorpelbalkplaatser toegedacht aan het hefschip 'Ostrea'. Later kwam de mattenlegger 'Cardium' in aanmerking, en nog later de 'Taklift 4'.

In 1980 is de keuze gedaan voor combinatie van de 'Taklift 4' met afvierponton 'Macoma'. Op dat moment stonden de hoofdlijnen van de werkmethode al vast. De bouwdoekbodem zou



zo laag gelegd worden dat de hijsbok over de balken kon heenvaren. Het oppakken, transporteren en afvieren zou kunnen geschieden met een en dezelfde bok. De balk zou grotendeels onder water worden versleept door de van nature aanwezige stroomgeulen. Het verhalen en positioneren zou gebeuren met behulp van een blijvend in het sluitgat aanwezige afvierponton.

Sindsdien zijn de ontwikkelingen gekenmerkt geweest door een nadere detaillering van de hoofdlijnen. Een belangrijke mijlpaal was de keuze voor een positionerings- en geleidingsysteem met cilinders aan het dorpelbalkhijsframe waarmee de balken werden opgepakt. Tevens is in een later stadium de gedachte geboren van een halfdroge parkeerplaats als tussenstation tussen bouwplaats en sluitgat. In 1984 werd om planningstechnische redenen overwogen een andere dorpelbalkplaatser in plaats van of naast de 'Takiift 4' in te zetten; de noodzaak van een afvierponton werd daarbij wederom ter discussie gesteld. Deze zijsporen zijn echter niet verder gekomen dan het stadium van voorontwerp.

Bij het bepalen van de werkmethode en het dimensioneren van het materieel is gebruik gemaakt van een groot aantal modelonderzoeken, onder andere voor de bepaling van stroombeelden in de verschillende bouwfasen, van de stroomkrachten en van de dynamica. Soms was dat het primaire doel van een onderzoek, en in andere gevallen een bijproduct.

Nu iets over de relatie tussen de plaatsing van de dorpelbalken en de andere onderdelen van de stormvloedkering.

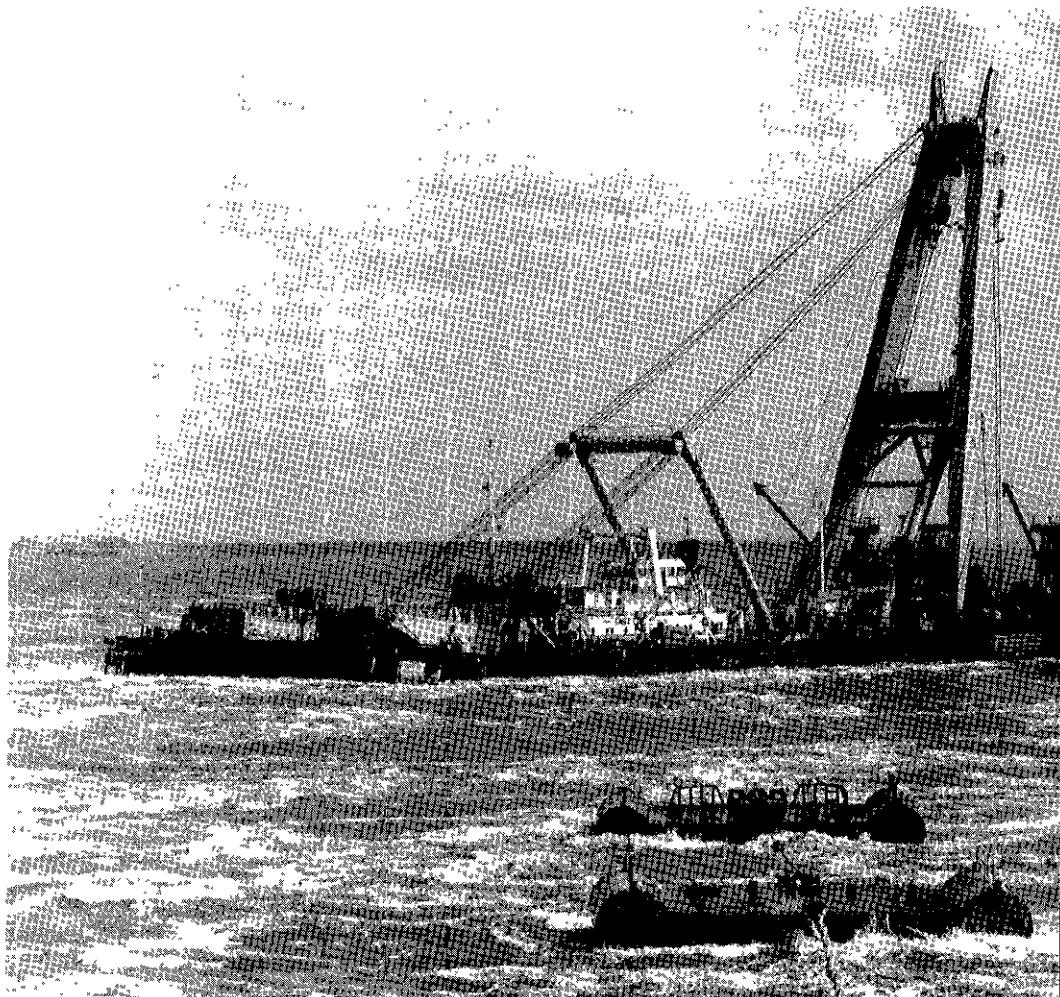
Vanzelfsprekend ging het plaatsen van de

pijlers en het aanbrengen van de drempel vooraf aan de plaatsing van de dorpelbalken. Van de betonelementen werden de verkeerskokers het eerst aangebracht, om voorbereidings- en afbouwwerkzaamheden zoveel mogelijk droog te kunnen uitvoeren. De dorpelbalken moesten, gezien de geometrie, per se vóór de bovenbalken worden aangebracht. De schuiven konden in principe zowel direct na de verkeerskokers als na de dorpelbalken of de bovenbalken geplaatst worden. Gezien de vrij lange tijd die heen zou gaan met de montage en het inregelen had het eerste de voorkeur. De problemen die daarna rezen met de toelevering van de schuiven hebben ertoe geleid dat in een aantal gevallen de schuif pas na de bovenbalk aan de beurt kwam.

Oorspronkelijk zouden de dorpelbalken in elk sluitgat in één doorgaande reeks geplaatst worden. Later werd dit gewijzigd in de volgorde Hammen-noord, Schaar-zuid, Hammen-zuid, Schaar-noord en Roompot. Deze planning zou naar verwachting een gunstiger verloop van de ontgrondingen aan de rand van de bodembescherming te zien geven. Daarnaast werd de winterperiode zoveel mogelijk gemeden. Zowel de kans op stagnatie in de bouw als de gevolgen ervan voor de ontgrondingen werden naderhand voor de winterperiode hoger ingeschat.

Dorpelbalkplaatser en afvierponton

Bij de bouw van de 'Takiift 4' in 1981 was de werkmethode nog niet voldoende uitgekristalliseerd om alle voorzieningen ten behoeve van het plaatsen van de dorpelbalken aan te brengen. In de constructie van de ponton was



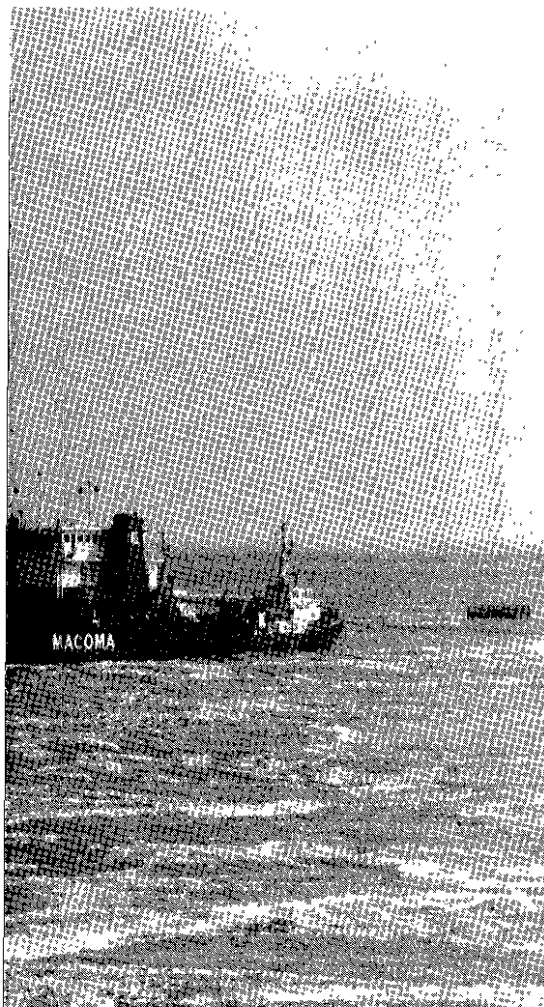
er al ten dele rekening mee gehouden door plaatselijk versterkingen op te nemen in het achterschip.

In het voorjaar van 1984 ging de bok het dok in. Er werden toen aanpassingen uitgevoerd voor het plaatsen van de dorpelbalken. Op het achterschip werden twee boeghoorns geplaatst, voor het ophangpunt van de dorpelbalk. Het voorschip werd verbreed met twee zijkasten met pennen erop voor de koppeling met de 'Macoma'. Nabij het achterschip werden twee zijvlerken aangebracht met daarin cilinders voor het afsteunen van de combinatie, en eveneens vier uithoud-buffers bijgebouwd voor de afsteuning van de dorpelbalk. Dan werden er nog omloopschijven geplaatst voor de hijsstroppen die vanaf de hijsblokken naar de boeghoorns lopen, en twee extra verhaallieren.

Vóór de proefperiode begon, eind 1984, werd aan boord meetapparatuur geïnstalleerd.

Uit een van de onderzoeken bleek dat met name de reactie van de 'Taklift 4' op zware golfcondities aanzienlijk gereduceerd kon worden door hem vast te maken aan een afmeerponton. Een tweede voordeel van deze combinatie was, dat de 'Taklift 4' in het sluitgat sneller en eenvoudiger kon verankeren. Het verzetten van ankerdraden voor het verstoppen naar de volgende locatie kon dan gebeuren tijdens het transport gedurende de bouwdoekhandelingen van de 'Taklift 4', zodat het geen extra tijd kostte. Bovendien had men de ankerlieren van de 'Taklift 4' moeten verzwaren wanneer die het zonder afmeerponton zou moeten doen.

Voor de dimensionering van de afmeer- en opschoonponton 'Macoma' was de combinatie



De 'Taklift 4' afgemeerd tegen de 'Macoma'

met het pijlerhefschip 'Ostrea' maatgevend geweest. Dit gold zowel voor de hoofdafmetingen als ten aanzien van de op te nemen lierkrachten. De 'Taklift 4' heeft zich voor wat betreft de koppelconstructie aangepast aan de 'Macoma'. De aanpassingen aan de 'Macoma' voor het plaatsen van dorpelbalken hadden voornamelijk betrekking op de ladder. In eerste instantie konden de zuigmonden *worden verwijderd en het baggersysteem* buiten bedrijf gesteld, dat geïnstalleerd was voor het opschonen van de funderingsmatten. De ladder werd vervolgens omgebouwd tot draadpaal, die ging dienen als aflooppunt voor de boegdraden van de 'Macoma'. Ter elfder ure bleek er te weinig aandacht te zijn besteed aan de beperkte ruimte tussen de geladen 'Taklift 4' en de incidenteel te hoog liggende bodem waarin de ladder zich moest bewegen. Dit noopte tot afslanking van de ladderconstructie.

Voor het verankeren van de 'Taklift 4' in het bouwdoek en in de sluitgaten zijn de ankerbehandelingsvaartuigen 'Arca', 'Zeepok', 'Joker' en 'Coby' gebruikt. Ten behoeve van het transport van de 'Taklift 4' en ter assistentie van de ankerbehandeling zijn verschillende sleepboten ingezet, met een gezamenlijk vermogen van 12 000 pk. De ankerbehandeling in bouwdoek 4 werd verzorgd door werkvletten, die tevens het personenvervoer verzorgden van en naar de 'Taklift 4' en de 'Macoma'.

Hijsframe en dorpelbalk

Het hijsframe was aanvankelijk niet meer dan een stalen bint, vastgebout op de dorpelbalk. Van de 'Ostrea' werd het idee overgenomen de verbinding tussen balk en frame uit te voeren met door hydraulische cilinders bewogen klauwen. De belangrijkste pluspunten daarvan waren de bedrijfszekerheid en de snelheid van werken.

Aan de Oosterschelde-zijde van de balk was de ruimte tussen de balk in hoge positie en de achterspiegel van de 'Taklift 4' te krap om beweegbare klauwen kwijt te kunnen.

Daarom werd er een vaste klauw geconstrueerd, en werd voorzien in een hydraulisch systeem om het frame ten opzichte van de balk in dwarsrichting te verschuiven.

Gezien de kleine spelingen tijdens het invaren werd al spoedig de noodzaak onderkend van een afsteuning van het frame op de pijlers, in de langsrichting van de balk. De geleiding van de balk in dwarsrichting door middel van een omarming van de oostelijke penant van de schuifspanning, werd pas in een veel later stadium geconcipieerd, toen beschouwingen

over meet- en positioneer-nauwkeurigheden hadden uitgewezen dat een vrijhangende dorpelbalk tot problemen zou leiden. Naarmate de ontwikkelingen voortschreden kreeg het frame een belangrijke nevenfunctie als intermediair bij het inmeten van de positie van de balk. De plaats van de balk werd bepaald door positiemeting van het frame en een meetkundige koppeling tussen beide lichamen. Verder werden een paar cilinders gebruikt als meetinstrumenten voor de relatieve positie van balk en pijler.

Het ontwerp van het frame heeft zo in hoge mate de details bepaald van de oppak-, invaar- en afvierprocedures.

In de loop van de tijd heeft de vorm van de dorpelbalk zelf enige veranderingen ondergaan. De wand aan de Oosterschelde-zijde, die eerst recht was gedacht, werd later schuin,

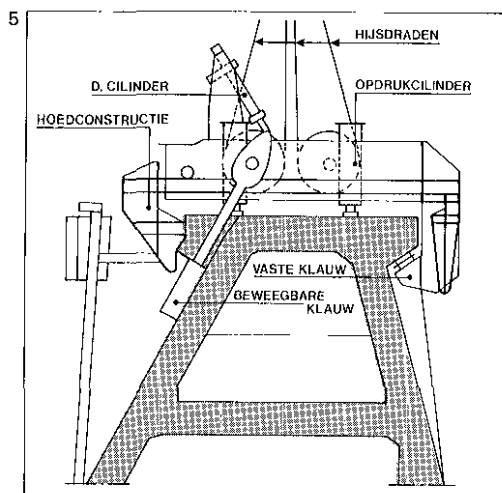
de sponning komen – de speling nominaal 2 x 23 cm bedroeg, en in de eindpositie 2 x 5 cm. Dit had tot gevolg dat het oplegpakket aan de zeezijde niet altijd voldoende dekking onder-vond van het hout. Daarom is besloten dit pakket in een hoge parkeerpositie op de balk aan te brengen, en pas na het plaatsen in zijn definitieve positie te laten zakken.

Toen de voorbereiding tot het plaatsen van de dorpelbalken ter hand werd genomen, lag het bodemniveau van bouwdok 4 op N.A.P.

–15 m. Verhoging van de bodem is nog wel overwogen. Het voordeel daarvan zou zijn dat het frame droog op de balk kon worden vastgemaakt, dus zonder duikercontrole. Het nadeel van extra grondverzet en een grotere waterstandsbeperking voor de manoeuvres van de bok in het bouwdok woog echter zwaarder. De verdeling van de balken over het dok hield rekening met doorbaggering van dok 1 naar dok 4 en een bepaalde plaatsingsvolgorde. Uitgangspunt was echter dat wijziging van de plaatsingsvolgorde mogelijk moest blijven.

Ervaringen

De vaarverbinding tussen bouwdok 4 en de Schaar kon zowel verlopen via een directe doorsteek naar bouwdok 1 als langs een doorsteek naar bouwdok 3, dat reeds via bouwdok 2 in verbinding stond met bouwdok 1. De doorsteek van bouwdok 4 naar bouwdok 3 verdiende de voorkeur, wanneer men het baggerbezwaar in bouwdok 4 als maatstaf nam. Een tweede, veel groter voordeel was, dat in die situatie niet of nauwelijks aanslibbing plaats zou vinden; zo bleek uit een onderzoek dat was ingesteld gezien de vroegere slibpro-



wat gunstiger bleek te zijn voor de belasting als gevolg van de aanstortingen. De hijsnokken werd zo vorm gegeven dat de klauwen van het frame tijdens het positioneren niet konden aanlopen, en dat een krachtspeel ontstond met de minste kans op voortijdig lossen van de balk uit het frame. Sommige details van de balkkoppen, met name de hardhouten geleidingsblokken, waren het resultaat van conflicterende eisen, die enerzijds te maken hadden met het afvieren en anderzijds met het storten van betonmortel. Soepel afvieren vereiste veel speling bij het verdwijnen van de balk in de sponning. Het fixeren van de balk met betonmortel was echter gebaat bij kleine spelings vanwege de beperkte slag van de vijzels. Uiteindelijk is gekozen voor een verlopende vorm van het houten geleidingsblok aan de zeezijde zodat tijdens 'bekken' – het in

Fig 5 De klauwconstructie van het hijsframe

blemen in bouwdok 1 tijdens het plaatsen van de pijlers.

Tijdens de uitvoering zijn dan ook geen grotere slijddiktes geconstateerd dan enkele centimeters, waarvan het meeste nog was te wijten aan de doorbaggering tussen de bouwdokken 3 en 4.

Een half jaar voor de inundatie van het bouwdok is besloten acht half-droge parkeerplaatsen aan te leggen in het zuidelijke talud van de omringdijk. De kans op beschadiging van het materieel dat met het oog op de mortel- en zandvulling vooraf in den droge op de dorpelbalk zou worden aangebracht, was anders te groot. Nog groter was de kans dat door aangroei en corrosie het in den droge gemonteerde materieel niet goed zou functioneren. Bovendien zou schoonmaken en inspectie door duikers van belangrijke onderdelen van de dorpelbalk bij gebruik van half-droge parkeerplaatsen op ondiep water kunnen geschieden. Op die manier werd de kans op verstoring van de plaatsingscyclus ten gevolge van gebrekkig hulpmaterieel op en aan de dorpelbalk vrijwel nihil.

Tegenover dit onmiskenbare voordeel stond het nadeel van extra handelingen, want elke balk moest nu twee keer opgepakt worden. In de planning werd hiervoor een oplossing gevonden. Men zou het weekend gebruiken om de dorpelbalken over te brengen naar de parkeerplaatsen en ze daar verder optuigen. De 'Macoma' hoefde daarbij geen dienst te doen. Voor de eigenlijke plaatsingen bleef dan de werkweek beschikbaar. Daar kwam bij dat de 'Taklift 4' bij slecht weer kon uitwijken naar het bouwdok, hetgeen eventueel sluitgat-verlet compenseerde.

De 'Taklift 4' werd in het weekend met behulp van twee sleepboten, met een vermogen van elk 3000 pk, grof boven de op te pakken balk gemanoeuvreed en verankerd met vijf ankerdraden. Met behulp van beeldplaatjes uit het meetsysteem werd hij vervolgens fijngepositioneerd, waarna het dorpelbalkhijsframe kon worden afgevoerd tot op de dorpelbalk.

Wanneer het frame op het dak van de balk landde, werden de hijsdraden nog enigszins doorgevoerd. Daarna werd het door middel van cilinders op het frame verschoven en onder voorspanning aan de balk bevestigd. De bediening van het frame vond plaats in het stuurhuis van de 'Taklift 4'.

Na een laatste duikercontrole werd de balk los van de bouwdokbodem gehesen en opgehaald tot op de waterlijn. Vervolgens werd het bovenste compartiment leeggepompt en de balk uit het water gehesen tot de bovenkant er 2,25 m bovenuit stak. De 'Taklift 4' werd

losgemaakt en voer met behulp van sleepboten naar de parkeerplaats. Daar aangekomen werd wederom gepositioneerd met behulp van het meetsysteem, en werden weer vijf ankerdraden uitgebracht en gekoppeld. Na het fijnpositioneren werd de balk afgevoerd tot op de driepuntsoplegging van de parkeerplaats. Ten aanzien van het plaatsen van een balk op een parkeerplaats waren er beperkingen ten gevolge van de waterstand. Een cyclus van dit karwei nam daardoor 12 uur in beslag.

Bij de eigenlijke plaatsing diende de 'Taklift 4' de dorpelbalken van de parkeerplaatsen te tillen. De afstand van het aflooppunt van de bok ten opzichte van de bovenkant van het frame was nu veel kleiner dan toen de balk uit het bouwbed werd gehesen, en de stijfheid van de hijsdraad navenant groter. Daarom moest de plaats van de aflooppunten van de hijsdraad ten opzichte van het zwaartepunt van de combinatie van balk en frame veel nauwkeuriger worden ingemeten. Bij onjuiste ligging maakte de dorpelbalk tijdens het loskomen een vrij grote beweging, zodat er schade kon ontstaan aan de onder de dorpelbalk bevestigde rubberen oplegpakketten. Tijdens het transport werd de balk met de bovenkant 2,25 m boven water gehouden en door middel van aan de bok gesitueerde uithoudcilinders 6,5 graden scheef geduwd; dit om beweging van de balk tijdens het transport te voorkomen. Transport van de dorpelbalk over de nog in het bouwdok aanwezige balken heen was toegestaan bij een waterstand hoger dan N.A.P. + 0,50 m. De balk moest dan 2,25 m uit het water steken. Vervolgens werd met behulp van sleepboten – de schroeven van de bok konden niet gebruikt worden omdat ze gesitueerd waren achter de geheven dorpelbalk – naar de plaats van bestemming gevaren.

Bij het varen werd gebruik gemaakt van een beeldplaatje, waarop de vaarlijn, de positie van de 'Taklift 4' en een richtpunt waren aangegeven. Tevens werden de dieptelijnen van N.A.P. -10 m gepresenteerd, waar de bok wegens zijn diepgang binnen moest blijven. De koppeling tussen 'Taklift 4' en 'Macoma' vond plaats op de laagwaterkentering. Daarna werd de vloed afgewacht. De hoogwaterkentering daarop werd meestal benut voor het uitvoeren van een of meer proefverhaalslagen. Voor het overliggen over het volgende laagwater werd aanvankelijk positie gekozen op 50 meter oostelijk van de kering. De afstand tot de kering die tijdens de daadwerkelijke plaatsing moest worden afgelegd, was daarmee tot een minimum beperkt. Naarmate het plaatsen van de

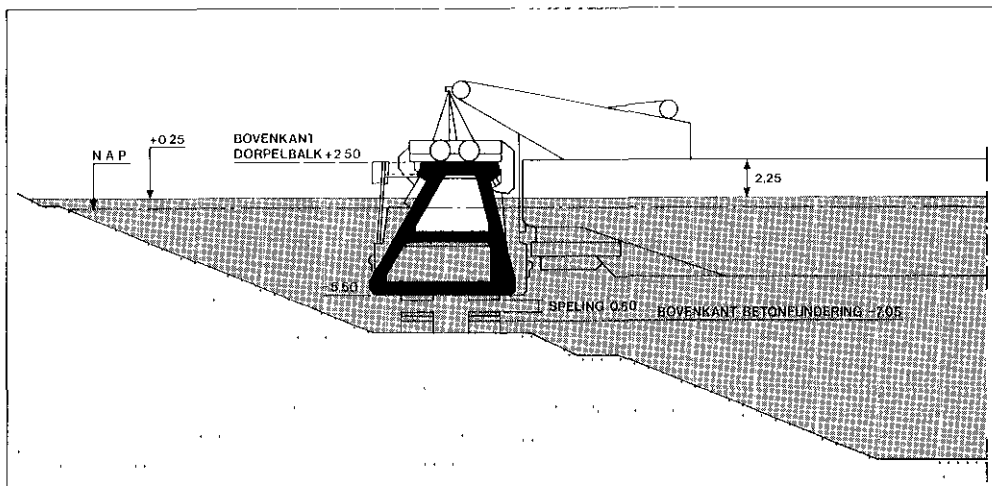


Fig 6 De dorpelbalk wordt afgevoerd op zijn fundering

dorpelbalken vorderde en de stroomsnelheden toenamen, werd een wachtplaats ingenomen op 140 meter. Op deze locatie was er wat minder stroombelasting; bovendien was deze locatie gunstiger voor het personenvervoer met vletten. Een nadeel was, dat de combinatie bij zeer hoge stroomsnelheden tijdens het verhalen een te hoge voortgangssnelheid kreeg. Aan het einde van de acties is men daarom maar weer gaan liggen op 50 meter. Het verhaaltraject werd afgelegd langs een 10-dradig ankerverhaalsysteem, waarvan 2 draden werden bediend vanaf de 'Taklift 4'. De overige lieren werden bediend vanaf de 'Macoma', totdat de zijvlerken van de bok tegen de pijler rustten. Daarna werd de cilinderbesturing overgenomen door de 'Taklift 4'. Zodra de langscilinders van het hijsframe binnen de pijlers aan weerszijden kwamen, werden ze zo uitgestuurd dat ze juist niet tegen het beton van de pijlers leunden. Aanvankelijk was het de bedoeling dat de dorpelbalk door tussenkomst van twee cilinders tussen de pijlers zou worden geklemd. Al tijdens de proefperiode bleek deze werkwijze niet bevredigend: er ontstonden diepe groeven in de pijlerwanden, en een onregelmatige voortbeweging. Een oplossing werd gevonden in de zogenaamde 'rammelpassing': de afstand tussen de koppen van de cilinders werd 5 cm kleiner gehouden dan de dagmaat tussen de pijlers. Tijdens het invaren leunden de cilinders afwisselend aan tegen de pijlers. Deze methode heeft tijdens de gehele periode bevredigend gewerkt. Tijdens het binnenvaren tussen de pijlers diende het frame verschillende betonnen uitstulpingen aan de pijler te vermijden.

Daartoe werd met de op het frame bevestigde langscilinders gemanipuleerd, om toch nagenoeg contact te houden met de pijler en ongewenste dwarsbewegingen tegen te gaan. Hadden de cilinders van het frame de schuifspanning eenmaal omarmd, en was de situatie visueel gecontroleerd, dan kon worden begonnen met het afvieren van de dorpelbalk (figuur 6).

Wanneer de bovenbalklijsten waren gepasseerd, werden de cilinders opnieuw ingesteld en vond een laatste visuele inspectie plaats van het gehele frame. Bij verder doorvieren zonder correctie van de hoek van de balk, die veroorzaakt werd door de afnemende eb-stroom, begon de balk vol te lopen. Hierbij moest voortdurend gelet worden op de hijsdraadkrachten. Tijdens het vollopen ontstonden flinke

waterfonteinen vanuit het mangat, die af en toe tot boven de verkeerskoker reikten. Tot 5,0 m boven de afzinkpositie werd in eerste instantie afgevierd, waarbij de langshelling rond de nul werd gehouden en, afhankelijk van de heersende stroomsnelheid, de dwars-helling van de balk wel of niet naar de nul werd gebracht. De theoretische stroomgrens, waarbij zonder problemen de balk recht kon worden gedraaid, lag bij 1,6 m/s. In de praktijk, lettend op de gemeten hijsdraadkrachten, lag deze grens wellicht enigszins hoger, doch dit was van geval tot geval weer anders. De nauwkeurigheid in het meetsysteem van de hijsdraadkrachten heeft daar zeker een rol bij gespeeld.

Bij de normale procedure diende de balk op 5 meter van zijn landingsplaats recht te worden gedraaid. Dit was noodzakelijk om na nog 50 cm doorvieren te kunnen beginnen met 'bekken'. Op dat moment begaven de van een afschuining voorziene houtblokken, bevestigd op de schuine zijde van de dorpelbalk, zich binnen de dorpelbalkspinning van de pijler. De ruimte tussen houtblok en spanningswand bedroeg dan – theoretisch – 17 à 18 cm. Om de goede eindpositie van de balk in dwarsrichting te garanderen, diende de balk nadat hij 60 cm was gebekt naar de Oosterschelde-zijde te worden verhaald. Het houtblok aan de Noordzee-zijde was voorzien van een afgeschuinde verdikking, zodat de overblijvende ruimte verkleind werd tot – theoretisch – 10 cm.

Op 20 à 30 cm van de eindpositie werd het vieren onderbroken om een controlemeting op de positie te verrichten en de cilinders in te trekken over een afstand van 10 cm. Daarna werd geconstateerd dat een van de houtblokken aan de kop van de dorpelbalk een pijler raakte en dat de balk gedwongen werd in de gewenste positie. Na het ontkoppelen kon het frame worden opgehaald.

In betrekkelijk korte tijd, 10 à 15 minuten, was de uitvaaractie voltooid.

Bij de voorbereiding van het plaatsen van de dorpelbalken werd een cyclus opgesteld van 36 uur. Naar verwachting zou in de Schaar gedeeltelijk een 24-uurscyclus haalbaar zijn, daar het transport vrijwel geen tijd zou kosten. Voor de overallplanning werd een gemiddelde produktie aangehouden van 2,6 balken per week, inclusief onwerkbaar weer en afstemverliezen.

Tijdens het plaatsen van de eerste zeven dorpelbalken bleek reeds, dat het tijdstip waarop de balk in de spinning moest worden gezet, vóór de laagwaterkentering diende te liggen. Het gevolg hiervan was, dat de combinatie 'Macoma' – 'Taklift 4' bij geringe stroomsnelheden uit de kering werd verhaald en er nog voldoende tijd over was om binnen de gestelde randvoorwaarden te ontkoppelen. Door de inzet van extra sleepbootvermogen tijdens het transport terug naar het bouwdoek, bleek het mogelijk, mede door een uitgekend snelle ankerbehandeling in het bouwdoek, nog op de hoogwaterkentering na plaatsing een balk van de parkeerplaats te hijsen. Dit resulteerde reeds spoedig in een 24-uurs-cyclus voor het sluitgat Hammen. Bij enkele balken in de Schaar werd zelfs een 12-uurs-cyclus gehaald.

Dankzij de opgedane ervaring uit de eerste plaatsingsperiode kon ook in de Roompot met een 24-uurs-cyclus worden geplaatst.

Eenmaal kon zelfs tijdens een doortij, terwijl de schuiven in de Schaar gesloten waren, zodat de kentering 20 minuten later viel, een 12-uurs-cyclus gerealiseerd worden. Bij de daaropvolgende tweede poging kwam de hijscombinatie ongeveer 10 minuten te laat bij de kering aan waardoor het niet opnieuw lukte een 12-uurs-cyclus in de Roompot te halen. Het gemiddelde aantal plaatsingen over de gehele periode bedroeg 3,05 balken per week, terwijl de produktie in de eerste en tweede periode opliep tot respectievelijk 2,8 en 3,5 balken per week.



Materiaalproblemen bij de schuiven van de stormvloedkering

In Bericht 100 (mei 1982) is een beschrijving opgenomen van het ontwerp van de schuiven in de stormvloedkering. In dit artikel zal nader worden ingegaan op een materiaalprobleem dat zich heeft voorgedaan bij de fabricage van het hoofddraagsysteem.

Het hoofddraagsysteem van een schuif bestaat, afhankelijk van de hoogte van de schuif, uit twee of drie horizontale vakwerkliggers, die zijn opgebouwd uit buisvormige profielen. Deze liggers zijn met elkaar verbonden door een verticaal vakwerk van koppelstaven die eveneens bestaan uit buisvormige profielen. Afhankelijk van de verhouding tussen buisdiameter en wanddikte zijn de buizen warm of koud uit plaat tot buizen gewalst. Voor de kleine buisdiameters is naadloze buis gebruikt.

Tijdens de assemblage van het hoofddraagsysteem aan de eindkokers werd bij één van de schuiven tijdens het ultrasone onderzoek van een lasverbinding een hoge demping geconstateerd. Op grond daarvan werd dit materiaal verwijderd en aan een destructief onderzoek onderworpen.

Uit dit onderzoek bleek dat de rekgrens lager was dan in het bestek omschreven, en de kerfslagwaarde beduidend lager dan die van het uitgangsmateriaal; het materiaal vertoonde verder een grofkorrelige structuur.

Nader onderzoek naar de scheurgevoeligheid van het materiaal leverde lage CTOD-waarden op (tabel 1). Het staal was dus slecht bestand

tegen instabiele scheuruitbreiding.

Uitgebreider destructief onderzoek aan de buizen leidde tot het inzicht dat uitsluitend in bepaalde warmgewalste buizen afwijkingen voorkwamen; koudgewalste en naadloze buizen gaven geen afwijkingen te zien.

Alle warmgewalste buizen, 30% van het totale aantal, konden dus een grofkorrelige structuur hebben, met mechanische eigenschappen die afweken van de specificatie; tevens kon het materiaal daarbij zeer slechte eigenschappen hebben met betrekking tot de scheurgevoeligheid.

Op het moment dat dit probleem zich voordeed was een aantal schuiven reeds geplaatst; de overige bevonden zich in verschillende stadia van fabricage en assemblage.

Het staat vast dat de mechanische eigenschappen van de platen vóór het warmwalsen wél aan de specificatie voldeden. Geconcludeerd moet dan ook worden, dat de structuur van het materiaal tijdens de warmtebehandeling ten behoeve van het warmwalsen zodanig is veranderd, dat de mechanische eigenschappen in een aantal buizen daalden tot beneden de eis van specificatie.

De oorzaak van het probleem moet worden

Tabel 1. Mechanische eigenschappen volgens ontwerp en meting.

mechanische eigenschappen	Bestek-eis	Gemeten
Rekgrens	340 N/mm ²	280 N/mm ²
Rek bij breuk	22%	22%
Kerfslagwaarde bij -20°C (gemiddelde van 3 proeven)	28 Joule	28 Joule
Korrelgrootte	—	6-10
Scheurgevoeligheid	—	0,1-3 mm

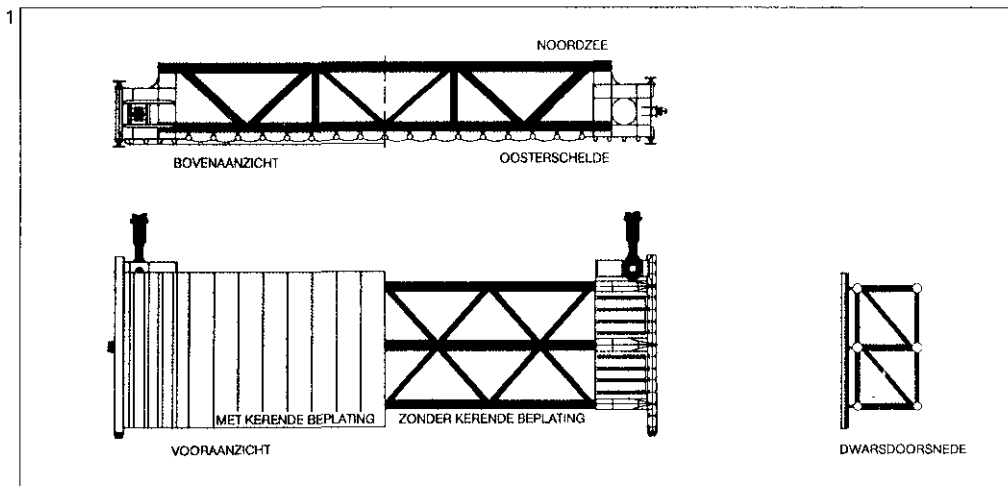


Fig 1 Aanzichten en doorsnee van de schuif

gezocht in een wijziging van de werkmethode tijdens het vervaardigen van de buizen. Bij de aanvang van de fabricage van de buizen werd koudwalsen vastgesteld als werkmethode. De in de specificatie vastgestelde beproevingsomvang werd in verband daarmee aangepast. Besloten werd voor de verschillende verhoudingen van diameter en wanddikte van de buizen te volstaan met zogenaamde procedureproeven. Toen tijdens de fabricage werd overgegaan op een andere werkmethode, te weten naast koudwalsen ook warmwalsen, is niet meer expliciet stilgestaan bij de daarvoor benodigde beproevingsomvang. Wel werden voor de aanvang van het warmwalsproces procedureproeven uitgevoerd, die overigens uitstekende resultaten te zien gaven. Zoals reeds gemeld was de produktie van de schuiven in volle gang toen de materiaalproblematiek zich manifesteerde. Om de voortgang van het project zo min mogelijk te verstoren is de problematiek op de volgende wijze aangepakt.

De schuiven kunnen op drie manieren bezwijken: door overschrijding van de toelaatbare trek- en drukspanning, door vermoeiing en door brosse breuk.

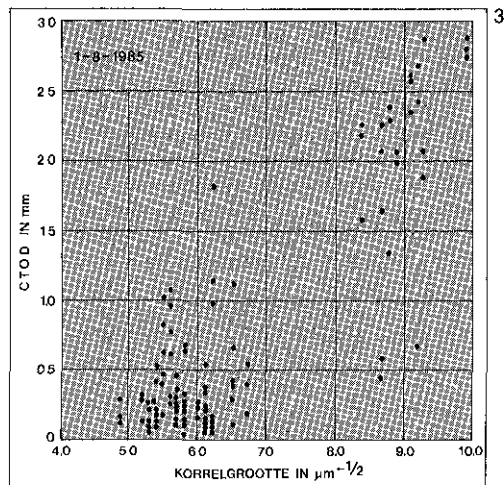
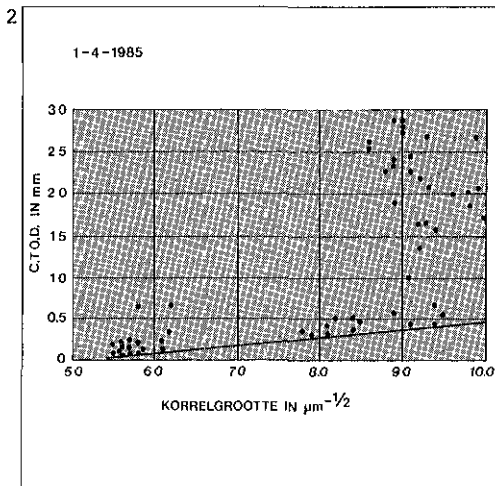
Omdat de mechanische waarden de ontwerp-eisen onderschreden was een nieuwe toetsing van het ontwerp nodig, zij het dat meer detailberekeningen nodig waren dan voor het oorspronkelijke ontwerp. Voor brosse breuk was geen ontwerpmodel beschikbaar. De bekende kerfslagwaarde past in geen enkele formule en is dan ook niet meer dan een indicator, die samen met een voldoende hoge vloeigrens een veilige constructie oplevert. Toen de mechanische waarden echter duidelijk lager bleken dan in het bestek geëist,

Fig 2, 3 Relatie tussen de CTOD-waarde en de korrelgrootte op basis van weinig (links) en van veel gegevens

was een kwantitatieve toetsing op brosse breuk vereist.

Bij de bepaling van de scheurgevoeligheid, die hiervoor nodig is, gaat het materiaal echter verloren. Daarom is begonnen met een indirecte niet-destructieve bepaling van de korrelgrootte, simultaan met het onderzoek naar het verband tussen deze twee grootheden. De betrouwbaarheid van de uitspraak over de materiaalkwaliteit op basis van enkele replica-uitkomsten per buis is statistisch bepaald in een omvangrijk onderzoek, waarbij tientallen replica's zijn genomen op één buisstuk. Tevens is de betrouwbaarheid van de relatie tussen korrelgrootte en CTOD-waarde statistisch geanalyseerd.

De ontwerpcriteria waaraan het materiaal qua CTOD-waarde moest voldoen, dienden alsnog onderbouwd te worden. Het was verder



duidelijk dat alle knooppunten met grofkorrelig materiaal ontwerptechnisch zouden moeten worden getoetst. Een studie begon naar herstelmaatregelen en naar middelen om ze te toetsen op hun bruikbaarheid.

De planning zou moeten zijn gebaseerd op verscheidene herstelmaatregelen.

Er zouden daarnaast beslissingen moeten worden genomen om de productie weer op te starten, om de herstelwerkzaamheden in het lopende productieproces te integreren, en tenslotte om het herstel te minimaliseren, als het even kon bij alle schuiven, maar in ieder geval bij de al gemonteerde schuiven.

Als een en ander aanleiding gaf tot ingrijpende beslissingen, zou het geheel van onderzoeken herstelmaatregelen tenslotte ter toetsing worden voorgelegd aan externe deskundigen.

In de offshore-industrie wordt al langer met CTOD-waarden gewerkt. Daarbij geldt een ontwerpcriterium van $\text{CTOD} = 0,35 \text{ mm}$. Dit levert een veilige constructie op. Uit het vooronderzoek kwam een voorlopige relatie tussen korrelgrootte en CTOD-waarde te voorschijn, die dan ook in eerste instantie gehanteerd is (figuur 2). Op grond daarvan zijn alle buizen met een korrelgrootte kleiner dan 8,5 afgekeurd. Bij wijze van herstelmaatregel werden de betreffende buizen uitgebrand en door nieuwe vervangen die onder meer waren beproefd op scheurgevoeligheid en korrelgrootte.

Begonnen werd met die schuiven waarin weinig warmgewalst materiaal verwerkt was. Aan schuiven die voor de voortgang van het project nodig waren, werd een hoge prioriteit toegekend.

Door deze maatregelen kwam de productie weer op gang. Het onderzoek naar de aard

van het probleem, de lopende herstelwerkzaamheden en het ontwikkelen van alternatieve reparatiemethoden verliepen vervolgens simultaan.

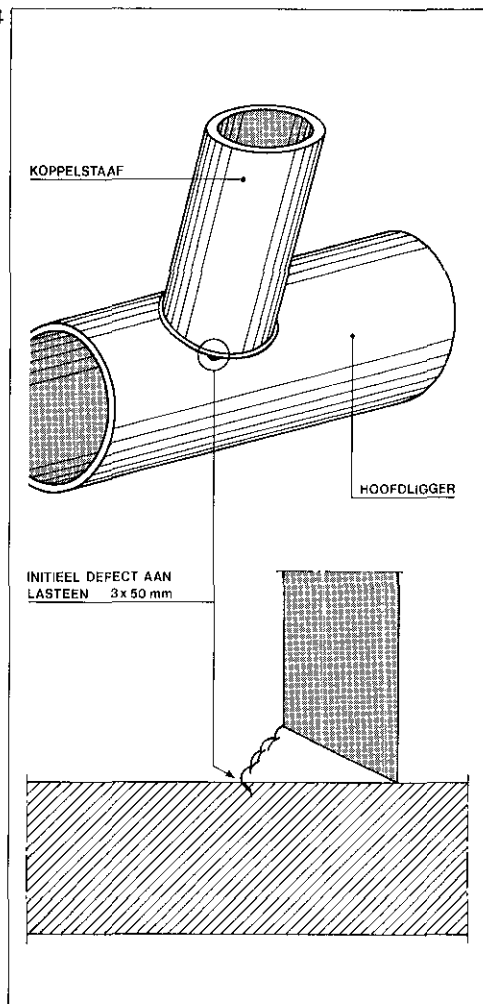
Naarmate meer gegevens ter beschikking kwamen, werd de relatie tussen korrelgrootte en CTOD-waarde slechter.

Omdat deze relatie essentieel was voor het afkeuren van buizen, werd gebruik gemaakt van statistische methoden om kansuitspraken te doen over het al dan niet accepteren van materiaal met een zekere korrelgrootte. Door dieper op de materie in te gaan bleek het mogelijk de CTOD-eis en daarmee de afkeurgrens, uitgedrukt in vereiste korrelgrootte, te verlagen. Dit had een onmiddellijke invloed op de omvang van de reparatie.

Zo snel mogelijk werd gestart met onderzoek naar de bruikbaarheid van verschillende reparatietechnieken, die neerkwamen op de reductie van de restspanningen. Daarnaast werd een onderzoek ingesteld naar inspectiemethoden, om tijdens het operationele bedrijf kleine defecten op te sporen, bij voorkeur zonder verwijdering van de beschermende laag.

Omdat diepgaand onderzoek naar het CTOD-rekenmodel leerde dat dit model als basis voor de beoordeling van de sterkte van de constructie nogal wankel moest worden genoemd, werd besloten om een eigen model te ontwikkelen voor de stormvloedkering. Daartoe werd een aantal proeven uitgevoerd met buismateriaal uit de schuiven.

De ontwerpbeurt werd uitgevoerd zowel op de oorspronkelijke manier als volgens het zelf ontwikkelde ontwerp, deterministisch en ook probabilistisch. Omdat het gehele ontwerp van de stormvloedkering probabilistisch



van het materiaal voldoende hoog zal zijn. Deze veronderstelling is naderhand bevestigd door de resultaten van het uitgevoerde onderzoek.

Voor bezwijken door overschrijding van de trek- en drukspanning is per knoop uitgerekend welke spanningen er optreden ten gevolge van de rekenbelastingen. Deze spanningen zijn vergeleken met de laagstgevonden waarde voor de rekgrens van 280 N/mm^2 . Door gebruik te maken van de nog aanwezige ruimte in de rekenbelastingen bleken alle knooppunten aan dit bezwijkmodel te voldoen. Deze ruimte is trouwens ontstaan doordat men thans een groter lekdebiët aanneemt bij gesloten kering, onder meer door golfoverslag en lek door de drempel. Het verval over de kering is daardoor in werkelijkheid kleiner dan in het ontwerp was aangenomen.

Fig 4 Omvang en plaats van het materiaaldefect

Slijpen van de lasteën

tisch is getoetst, was reeds bekend aan welke minimale faalkans het schuifontwerp moest voldoen.

Op basis van deze aanpak is een grote hoeveelheid onderzoek uitgevoerd door een groot aantal onderzoeksinstituten. De resultaten van deze onderzoeken maakten het mogelijk de omvang van de reparaties sterk te verkleinen.

In de ontwerpberekening van de schuiven zijn bezwijkmechanismen als gevolg van de overschrijding van de trek- en drukspanningen en als gevolg van vermoeiing expliciet getoetst. Een toetsing van het moedermateriaal op CTOD-waarde is niet gebruikelijk, en is dan ook voor het ontwerp van de schuiven niet uitgevoerd. Voldoet het materiaal aan de rekgrens en aan de kerfslagwaarde, dan kan worden aangenomen dat ook de CTOD-waarde

Hierdoor kon ook de rekenbelasting worden verlaagd. Voor de toetsing van bezwijken als gevolg van vermoeiing gelden dezelfde uitgangspunten als in de ontwerpberekening. Bij brosse breuk gelden beperkingen ten aanzien van de toelaatbare scheurdiepte. In de ontwerpberekening werden relatief grote scheurdiepten toegelaten, tot de helft van de wanddikte. Maar doordat brosse breuk kan optreden, is de toelaatbare scheurdiepte aanzienlijk verkleind.

Voor de toetsing van bezwijken door brosse breuk zijn naast het initiële defect van belang het toelaatbare effect en de maximaal optredende spanning. Het initiële defect omvat alle defecten in de constructie op het moment dat ze de fabriek verlaat. Ondanks alle ultrasone en magnetische scheuronderzoeken kunnen er nog kleine initiële defecten

Tabel 2. Reductie van de lengte te vervangen buizen.

Warm gewalst	niet gemonteerd (m)	gemonteerd (m)
Totale lengte	2300	1200
Korrelgrootte 8,5	1300	465
Korrelgrootte 6,8	529	135

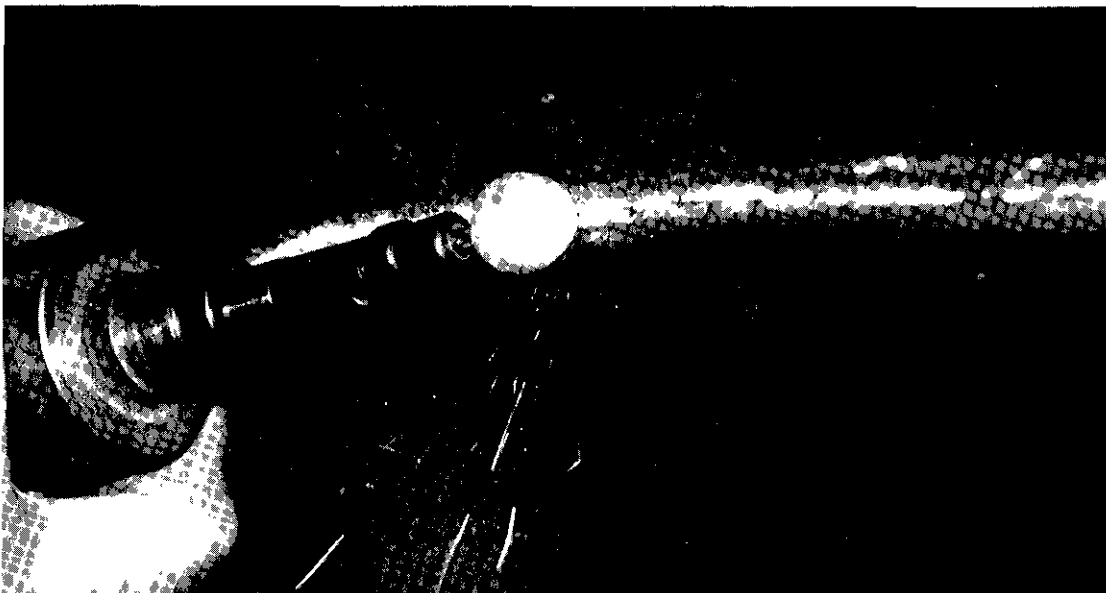
aanwezig zijn. Deze defecten treden dan met name op bij de lasteen (figuur 4). Kleine defecten, juist onder het oppervlak, zijn op deze plaats moeilijk te detecteren.

Onder invloed van de golfbelasting zal het initiële defect in de loop van de tijd groeien. Uit tweedimensionale scheurgroei-berekeningen is gebleken dat een initieel defect van 3×50 mm in een periode van 15 jaar uitgroeit tot een defect van 4×50 mm. Dit defect is in de brosse-breukberekening aangehouden als toelaatbare defectgrootte.

De maximaal optredende spanning is de spanning die optreedt als gevolg van de extreme belasting, vermenigvuldigd met de spanningsconcentratiefactor van het betreffende knooppunt. Hierbij moet dan de vloeispanning als restspanning in rekening worden gebracht, en het geheel worden verhoogd met de spanning ten gevolge van de lokale lasgeometrie, de zogenaamde Maddoxfactor. Op basis van het toelaatbare defect en de maximaal optredende spanning kan voor ieder knooppunt de minimaal vereiste CTOD-waarde worden berekend. In maart 1985 bestond nog onvoldoende inzicht in de benodigde gegevens. Daarom werd besloten om de minimale CTOD-waarde te stellen op 0,35 mm, bij een korrelgrootte van 8,5. Als resultaat van de

uitgevoerde berekeningen en beproevingen kon deze eis vervolgens worden verlaagd tot een CTOD-waarde van 0,1 mm en een bijbehorende korrelgrootte van 6,8. In de gevallen waarin een korrelgrootte van 6,8 werd gemeten, werd uit de buis een luikje van 20×20 cm gezaagd. Van dit materiaal werd dan de CTOD-waarde gemeten, en op basis daarvan werd de buis al dan niet goedgekeurd. Door de verlaging van de minimale CTOD-waarde van 0,35 mm naar 0,1 mm en het toepassen van luikjes kon de reparatieomvang aanzienlijk worden beperkt (tabel 2).

De resultaten van de berekeningen en beproevingen zijn voorgelegd aan een aantal internationale deskundigen. Gegeven de grote hoeveelheid onderzoeken die waren uitgevoerd, achtte dit panel het verantwoord om geen materiaal te vervangen als de CTOD-waarde groter was dan of gelijk aan 0,1 mm, of als de optredende spanning kleiner was dan of gelijk aan 300 N/mm^2 , bij een toelaatbare fout van 4×50 mm. Alleen als de CTOD-waarde kleiner was dan 0,1 mm en de optredende spanning groter dan 300 N/mm^2 zouden er maatregelen moeten worden getroffen. Als maatregel zou het voldoende



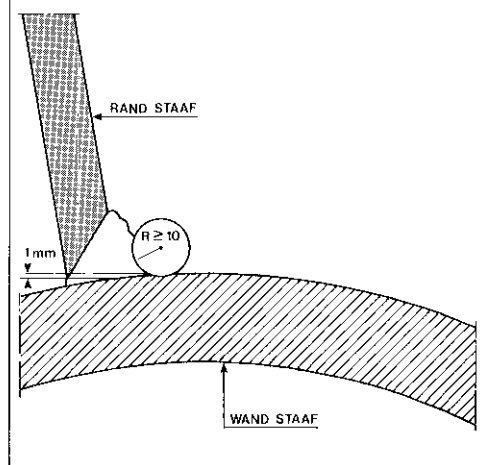


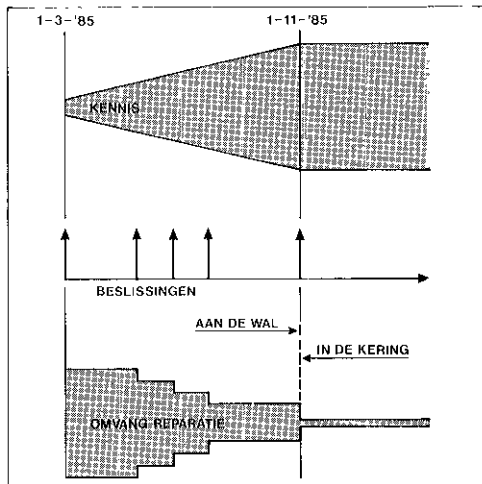
Fig. 5. Testen van de afrondingsstraal van een lasverbinding

Fig. 6 De omvang van kennis en van de reparatie waren omgekeerd evenredig

zijn de lasten te slijpen. Door de lasten te slijpen worden de initiële defecten verwijderd, en de lokale spanningsconcentratiefactor ter plaatse van de lasten, de Maddoxfactor, verlaagd; tegelijk wordt de vermoeiingssterkte verbeterd.

Dit advies, dat naderhand door de Rijkswaterstaat werd overgenomen, ging duidelijk verder dan de eerder genoemde beslissingen. De overwegingen van het panel waren onder meer dat de restspanningen en de Maddoxfactor in de berekeningen te conservatief waren aangenomen, verder dat de uitgevoerde beproevingen resultaten te zien gaven die of in de buurt lagen van of aanzienlijk beter waren dan de norm.

Verder beval het panel aan aanvullende vermoeiingsproeven te doen op een T-verbinding en op vlakke proefstukken waarvan de lasten geslepen is, en voorts inspectietechnieken te ontwikkelen om het ontstaan en het



verloop van een scheur te kunnen volgen. Op beide gebieden worden thans onderzoeken uitgevoerd. Op grond van dit advies kon worden besloten de vervanging van de 135 m buis in de 17 reeds geplaatste schuiven niet uit te voeren, maar te volstaan met het slijpen van de lasten. In totaal diende 50 m las te worden geslepen, verdeeld over 28 knopen. Dat slijpen aanzienlijk eenvoudiger is dan het vervangen van staven behoeft geen nadere uitleg.

Voor de inspectie wordt gezocht naar een methode waarbij op eenvoudige en snelle wijze kan worden vastgesteld of in een knoop een scheurtje aanwezig is, en zo ja van welke afmetingen. In het ontwerp was reeds als uitgangspunt opgenomen dat na iedere zware storm een aantal van de zwaarst belaste knooppunten zou worden geïnspecteerd. De toelaatbare scheurdiepte mocht gelijk zijn aan de halve plaatdikte. Dit uitgangspunt moest worden aangepast vanwege de kleine toelaatbare scheurdiepte, maximaal 4 mm. Een groot aantal knooppunten zal vanwege het brossere materiaalgedrag waarschijnlijk elke drie jaar moeten worden geïnspecteerd.

Samenvattend kan worden geconcludeerd, dat het zeer omvangrijke onderzoeksprogramma, uitgevoerd door een groot aantal instellingen, de omvang van de reparatie aan de schuiven in de stormvloedkering aanzienlijk heeft beperkt. Een schematische voorstelling van de groei van kennis terzake, de beslissingen die op grond daarvan mogelijk waren, en de daaruit resulterende omvang van de reparaties geeft figuur 10. Dit resultaat kon alleen worden bereikt dankzij nauwe samenwerking tussen aannemer, opdrachtgever, nationale en internationale onderzoeksinstituten

Waterloopkundig onderzoek voor het ontwerp van de zandsluitingen van de compartimenteringsdammen

In 1983 verscheen de nota 'Beleidsanalyse Uitstel Compartimenteringswerken Oosterschelde'. Daarin werd de mogelijkheid aangegeven om het sluiten van de twee dammen uit te stellen tot na het gereedkomen van de stormvloedkering. In dat geval kunnen de dammen met goedkoop zand gesloten worden, in plaats van met veel duurdere stenen of betonblokken. De stormvloedkering moet daartoe tijdens de slotfase van de sluiting zo ingesteld worden, dat het getij op het Oosterscheldebekken tijdelijk wordt gereduceerd, zodat er niet teveel zand verloren zal gaan bij de sluiting.

De besparing op de oorspronkelijk geschatte kosten van de sluitingen bleek aanzienlijk. Na afweging van alle belangen werd dan ook besloten de sluiting van de compartimenteringsdammen uit te stellen, en te kiezen voor de goedkope bouwwijze met zand.

In deze bijdrage zal gekeken worden naar de consequenties van dit alternatief voor met name het waterloopkundig aandeel in het ontwerpen van de zandsluitingen. De gevolgde aanpak zal uit de doeken gedaan worden, waarbij vooral ingegaan wordt op het voor Nederland unieke feit dat bij het waterloopkundig onderzoek uitsluitend gebruik is gemaakt van computermodellen. Bij vorige sluitingsoperaties werd altijd ook nog gebruik gemaakt van grote schaalmodellen, waarin de stroming door het sluitgat werd nagebootst.

Aangezien de sluitgaten Slaak en Tholense Gat inmiddels met succes met zand zijn gedicht, zullen eveneens in het kort voorlopige conclusies worden getrokken met betrekking tot de juistheid van de gevolgde werkwijze. Bij het ontwerp van de afsluiting van getijgeulen, zoals de geulen Krammer, Slaak en

Met het besluit om in de Oosterscheldemon- ding een stormvloedkering te bouwen is tegelijkertijd de noodzaak ontstaan tot de aanleg van twee dammen achterin het Oosterscheldebekken. Door de bouw van deze compartimenteringsdammen kan aan de verplichtingen worden voldaan om de Schelde/Rijnverbinding getijvrij te maken, terwijl de dammen tevens het waterbergend oppervlak van de Oosterschelde verminderen, zodat het getijverschil op het bekken na de voltooiing van de stormvloedkering groter zal zijn, wat gunstig is voor het milieu.

Tholense Gat is een aantal grootheden van vitaal belang. Allereerst de verwachte stroomsnelheden en stroombeelden in het sluitgat tijdens de verschillende bouwstadia; dan de verwachte hoog- en laagwaterstanden in de verschillende bouwstadia; tenslotte gegevens over de gevolgen die stormen kunnen hebben voor de bovengenoemde grootheden.

Omdat de omstandigheden per dag zullen variëren – denk aan doortij, springtij en windeffecten – is het nodig naast een gemiddelde waarde ook de variatie te berekenen. Om te kunnen bepalen hoe groot het risico is voor het materieel in het sluitgat en voor de zanddam in de laatste fase, moet een schatting gemaakt worden die uitgaat van extreme omstandigheden.

Bij het dichten van een sluitgat met zand worden aan de betrouwbaarheid van de gegevens hoge eisen gesteld, vooral voor wat betreft de stroomsnelheden en de stroombeelden, waaruit bekend wordt op welke plaatsen het het hardst stroomt in het sluitgat. Het transport van zand, en daarmee het zandverlies in een sluitgat, wordt namelijk bepaald door de stroomsnelheid tot de macht 3,5 à 5, afhankelijk van de omstandigheden. Een fout van 10% in de snelheden leidt dus tot een afwijking van ongeveer 60% in de zandverliezen!

Nu is de normale procedure bij het verkrijgen van de benodigde gegevens voor het ontwerp, de zogenaamde ontwerprandvoorwaarden, dat in een fysisch schaalmodel de natuurlijke omstandigheden en de verschillende bouwstadia van het sluitgat worden nagebootst, waarna de benodigde hydraulische gegevens worden gemeten. Deze procedure is ook nog

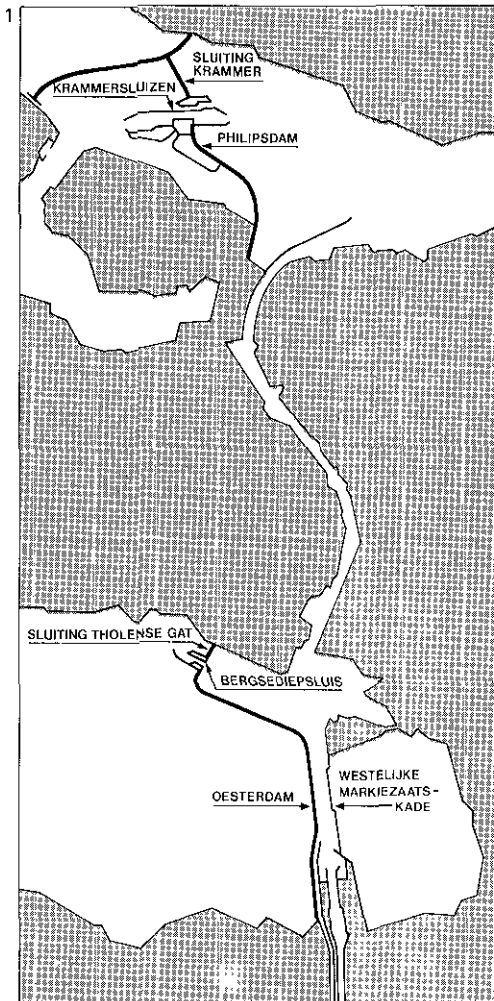


Fig 1 Overzicht van het Zoommeer

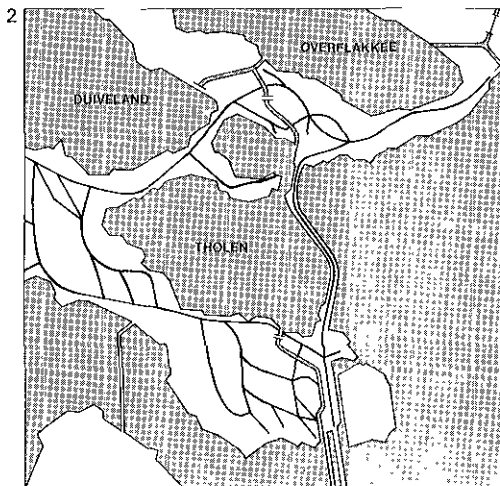


Fig 2 IMPLIC-model van een deel van het Oosterscheldebekken

Fig 3, 4 WAQUA-model van het Slaak (links) en het Tholense Gat

gevolgd bij het ontwerp van de sluiting van de Markiezaatskade.

Vanwege de hoge kosten van een schaalmodel en omdat de relatief goedkope computermodellen inmiddels betrouwbaar gebleken zijn, is bij het ontwerpen van de sluitprocedures in dit geval voor het eerst een andere weg bewandeld. Na uitvoerige beproeving van de genoemde computermodellen, die hierna zullen worden beschreven, is besloten om de ontwerpvoorwaarden volledig met behulp van computermodellen vast te stellen. Behalve lagere kosten biedt deze aanpak het voordeel dat een groot aantal verschillende omstandigheden in relatief korte tijd doorgerekend kan worden. Dit bespoedigt de bepaling van het uiteindelijke ontwerp, omdat dat tot stand komt via de zogenaamde probabilistische ontwerpmethode. Bij deze ontwerpmethodiek, die ook werd toegepast bij de stormvloedkering, worden behalve de cijferwaarden van de voor het ontwerp relevante grootheden ook de bijbehorende kansen van voorkomen meegenomen, alsmede de mogelijke variatie in elke waarde. Het uiteindelijke ontwerp komt tot stand op basis van berekeningen waarbij al de waarden, met de bijbehorende kansen en variaties, in de vorm van zogenaamde kansverdelingen in rekening worden gebracht. Het ontwerp dat een van te voren vastgestelde heel kleine kans van falen heeft, wordt gekozen.

Om bij elk van de relevante grootheden de kans van voorkomen te bepalen, plus de bijbehorende variaties, is een veelheid van gegevens nodig, die alleen op goedkope en snelle wijze te verkrijgen is door onderzoek met computermodellen.

Voordat met het eigenlijke modelonderzoek kan worden begonnen, zal eerst een aantal

uitgangspunten moeten worden geformuleerd. Hier is het belangrijkste uitgangspunt geweest dat de snelheden in de sluitgaten de 2 m/s niet zouden mogen overschrijden. Met snelheden boven 2 m/s bij zandsluitingen heeft niemand enige ervaring, en het werd niet wijs geacht om bij deze sluitingen buiten het ervaringsgebied te treden.

Deze voorwaarde impliceert de inzet van de stormvloedkering bij de sluitingen van het Tholense Gat en het Krammer, omdat de snelheden in die sluitgaten zonder reductie van het getij op zouden lopen tot 4 à 5 m/s. Aan het gebruik van de kering werd de voorwaarde verbonden dat de mate en de duur van de getijreductie een zo gering mogelijke belasting moesten vormen voor het natuurlijke milieu van de Oosterschelde. Dit heeft bijvoorbeeld tot de eis geleid dat de kering niet langer dan twee dagen achtereen geheel dicht mag staan.

In samenhang hiermee is voor een uitvoeringswijze gekozen die tegelijk een voldoende grote kans van slagen zal hebben, dus een uitvoeringswijze waarbij de zandverliezen zo gering mogelijk zijn.

Bij het verzamelen van de hydraulische ontwerprandvoorwaarden voor de zandsluitingen is globaal de volgende werkwijze aangehouden. Het geheel van Voordelta, stormvloedkering en Oosterscheldebekken met de sluitgaten erin is op systematische wijze in kaart gebracht, samen met de meteorologische invloeden.

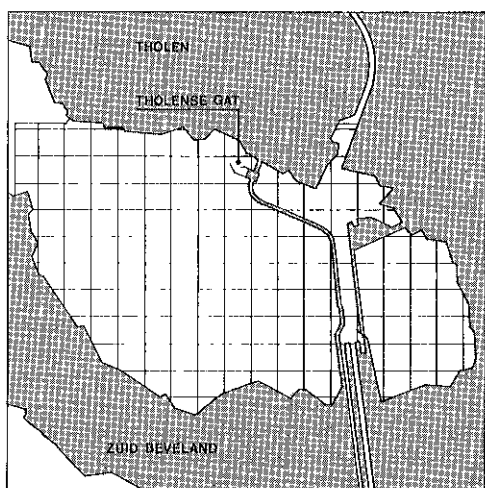
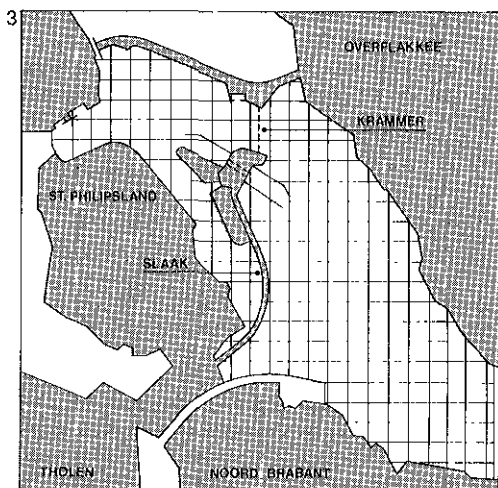
Vervolgens is vastgesteld welke modellen nodig zouden zijn om de verschillende onderdelen adequaat te beschrijven. De hiervoor beschikbare modellen zijn uitgebreid op bruikbaarheid beproefd.

Daarna is vastgesteld hoe de gekozen modellen op zo efficiënt mogelijke wijze gebruikt konden worden, en welke situaties gesimuleerd moesten worden om de benodigde ontwerprandvoorwaarden te kunnen leveren. Uitgangspunt is een systematische beschrijving van de Oosterschelde met de sluitgaten.

Voor elk van de aangegeven onderdelen zijn belangrijke invloedsfactoren aan te wijzen. Voor wat het gedeelte Noordzee betreft zijn dat de hoog- en laagwaterstanden en de meteorologische invloeden daarop. Deze parameters bepalen in belangrijke mate de hoeveelheid water die via de stormvloedkering op het Oosterscheldebekken komt, en daarmee de getijbeweging op het bekken. Bij de stormvloedkering is het vooral van belang hoe ver hij openstaat. Deze factor is medebepalend voor het debiet door de kering, en dus voor de waterbeweging op het bekken. Voor het Oosterscheldebekken vóór de sluitgaten zijn vooral de waterstanden belangrijk en de weersinvloed hierop. Deze factoren bepalen in belangrijke mate hoeveel water er door het sluitgat stroomt.

Bij de sluitgaten zelf tenslotte gaat het om de vorm en de afmetingen. Door deze parameters wordt mede bepaald hoeveel water er door de sluitgaten stroomt, en met welke snelheid. Voor het Oosterscheldebekken achter de sluitgaten zijn weer vooral de waterstanden van belang.

De modelstudies zijn uitgevoerd met behulp van twee mathematische modellen. Allereerst een model dat de getijbewegingen op het gehele Oosterscheldebekken met een zekere mate van detaillering kan beschrijven; daarnaast wordt een model gebruikt dat de waterbewegingen in en rond ieder sluitgat



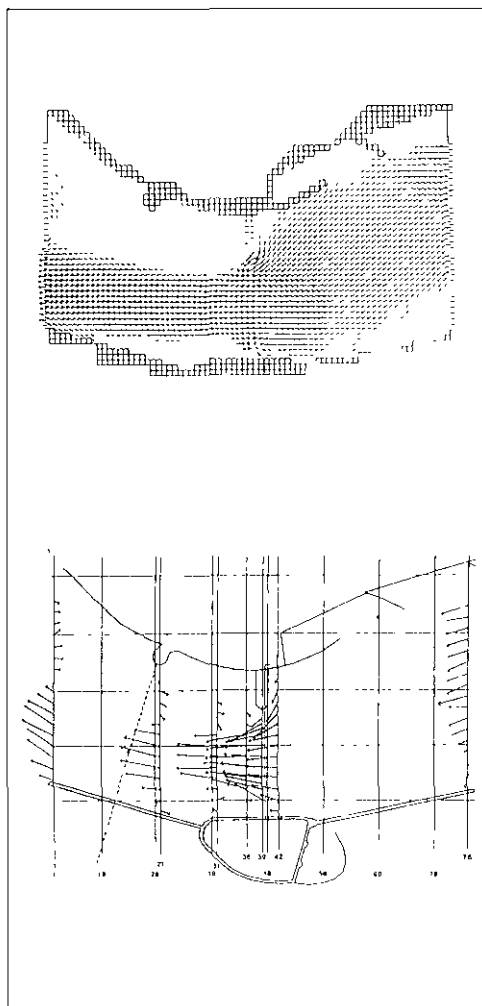


Fig 5 Vergelijking van WAQUA-resultaten (boven) met dezelfde situatie in het fysisch model

De zandsluiting van het Slaak

Fig 6 Alternatieve mogelijkheden voor de zandsluiting van het Tholense Gat, met bijbehorende bouwfasen

afzonderlijk gedetailleerd weer kan geven. Het eerste model is het zogenaamde IMPLIC-getijdemodel. Het gehele geulenstelsel in de Oosterschelde en bij de monding is in dit model in een netwerk van takken geschematiseerd, ook zijn er secties die de stormvloedkering en de sluitgaten voorstellen.

Aan de genoemde takken zijn kenmerkende afmetingen toegekend, zoals diepte, lengte en waterstandafhankelijke breedte, alsmede factoren die aangeven hoeveel weerstand het water ondervindt wanneer het erdoor stroomt. Deze waarden zijn vastgesteld aan de hand van natuurmetingen.

In de secties die de stormvloedkering en de sluitgaten voorstellen, kunnen de openingen opgegeven worden en de afvoereigenschappen die daarbij horen. De afvoercoëfficiënten van de drie secties van de stormvloedkering zijn

bekend uit eerder gehouden fysische modelproeven en metingen in de natuur bij de voltooide kering.

De afvoereigenschappen van de sluitgaten zijn vastgesteld in het verderop beschreven model WAQUA.

Wanneer aan IMPLIC opgegeven wordt welke waterstanden op zee verwacht worden, met de verwachte windsnelheden en richtingen, dan kan het model de getijbeweging op het Oosterscheldebekken berekenen, afhankelijk van de ingestelde opening van de stormvloedkering, en de debieten door elk sluitgat, afhankelijk van de bouwfase. Het model geeft dus niet in detail aan hoe het water ter plaatse van het sluitgat stroomt.

IMPLIC is in de loop der jaren regelmatig gecontroleerd met allerlei metingen op de Oosterschelde, het model heeft herhaaldelijk

bewezen volkomen geschikt te zijn voor de berekening van de getijbewegingen op het bekken.

Meer gedetailleerde informatie over de waterbewegingen in en rond de sluitgaten wordt verschaft door het model WAQUA. In dit computermodel wordt de geometrie van het beschouwde gebied naar bodemligging en oeverlocaties via een puntenrooster vastgelegd. Het model kan voor elke maas van het rooster de waterstand berekenen, alsook de stroomsnelheden tussen de mazen. WAQUA kan de snelheden en het waterstandsverloop dus in twee richtingen beschrijven. Voor de snelheden worden de over de diepte gemiddelde waarden gebruikt.

Uit de berekeningsresultaten van WAQUA zijn ook de reeds genoemde afvoercoëfficiënten van de sluitgaten af te leiden. WAQUA is een



tweedimensionaal model, in tegenstelling tot IMPLIC, dat ééndimensionaal is.

Voor de berekeningen van de waterbewegingen bij de bewuste sluitgaten zijn twee WAQUA-modellen gemaakt, één voor het Krammer/Slaak en één voor het Tholense Gat.

Op de randen van de modellen, die op tamelijk grote afstand van de sluitgaten zelf liggen, kunnen debieten en waterstanden worden ingevoerd, die de waterbewegingen in het model aandrijven.

Voordat WAQUA voor het gestelde doel geschikt is verklaard, is het model in de zogenaamde bewijsproef eerst uitvoerig vergeleken met een fysisch model. In beide modellen is een aantal bouwfasen van een zandsluiting nagebootst, waarna de resultaten zorgvuldig zijn vergeleken. Figuur 5 geeft hiervan een voorbeeld. Beide modellen gaven

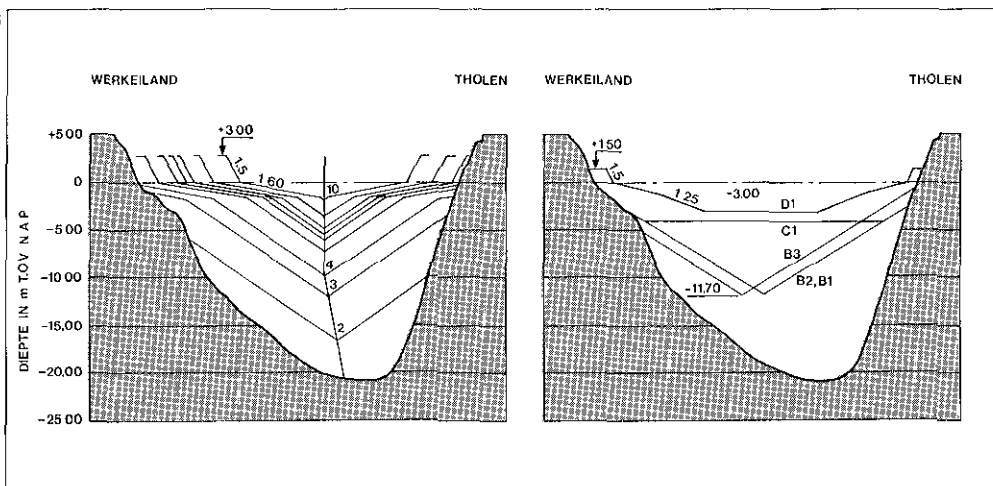
kwalitatief dezelfde resultaten te zien, hetgeen de keuze voor het goedkopere en meer flexibele WAQUA-model ondersteunde

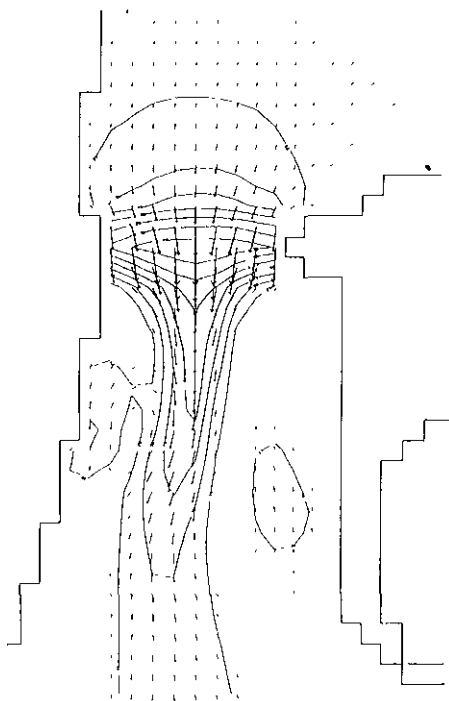
Opzet van het modelonderzoek

Om te beginnen is per sluitgat met behulp van WAQUA voor een aantal alternatieve uitvoeringsmethoden en verschillende bouwstadia daarbinnen gekeken naar de bijbehorende hydraulische eigenschappen. In figuur 7 zijn de alternatieven met bijbehorende bouwfasen weergegeven voor het Tholense Gat.

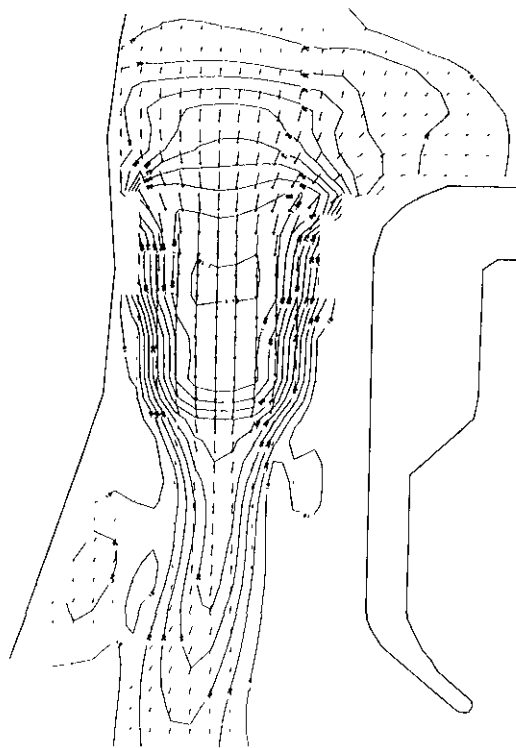
Het resultaat van de WAQUA-berekeningen heeft, afgezien van de gedetailleerde informatie over de waterbeweging bij elke ingestelde sluitgatconfiguratie, tevens een maat opgeleverd voor de afvoereigenschappen van het sluitgat.

6





BOUWFASE 7



BOUWFASE D1

Deze afvoercoëfficiënt is daarna telkens in het getijmodel IMPLIC ingevoerd wanneer met die sluitgatconfiguratie moest worden gerekend. Met IMPLIC werd een reeks van 69 aaneengesloten getijden doorgerekend. Hiervoor werden de getijden gebruikt die zijn opgetreden in de maand oktober 1983, welke maand representatief werd geacht voor de gemiddelde omstandigheden bij de sluitingen.

Bij een gegeven grootte en vormgeving van het sluitgat en bij een zekere opening van de stormvloedkering, werd zo een reeks waarden gevonden door de stroomsnelheden in het sluitgat, voor eb en vloed afzonderlijk; daaruit konden de voor de probabilistische ontwerpmethoden benodigde gemiddelde snelheid en de spreiding daaromheen worden afgeleid. Door dit te doen voor zoveel mogelijk combinaties van bouwmethode, sluitgatgrootte en

opening van de stormvloedkering is het mogelijk gebleken voor elk sluitgat de beste methode van sluiten te bepalen, dat wil zeggen, de methode met de kleinste kans op mislukken, met inachtneming van de geformuleerde uitgangspunten.

Enkele resultaten

We zullen ons hier bij wijze van voorbeeld beperken tot enige uitkomsten van het modelonderzoek voor het Tholense Gat. Bij de hier gekozen sluitingsmethode wordt allereerst een drempel opgebouwd; daarna worden de oevers ingepakt. Vervolgens wordt de drempel verder verhoogd, en tenslotte wordt het gat horizontaal gesloten, vanaf beide oevers.

De stormvloedkering staat in eerste instantie

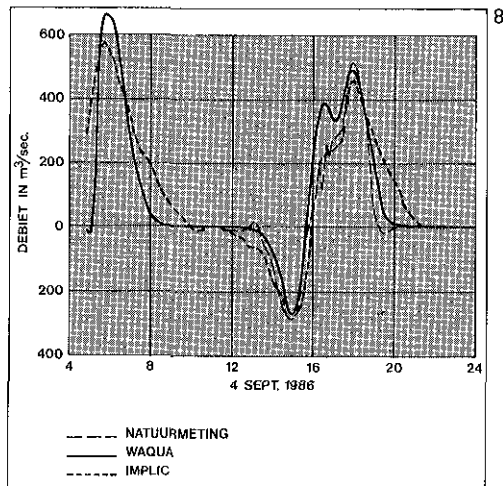
Fig 7 Enkele WAQUA-stroombeelden

Fig. 8 Vergelijking van de modelresultaten met de werkelijkheid

voor 80% open; bij een sluitgatgrootte van 1400 m² wordt de opening verminderd tot 40%, en bij 850 m² gaat de kering dicht. De openingen van de kering gelden voor gemiddelde omstandigheden. Inderdaad blijken de snelheden niet boven 2 m/s te komen, wat het uitgangspunt is geweest bij het onderzoek. Onder andere dan gemiddelde omstandigheden is de stormvloedkering het instrument om de stroomsnelheden in het sluitgat te kunnen beheersen. Bij springtij zal het openingspercentage van de kering iets geringer zijn. Maar bij doortij moet de kering wat verder opengaan, om het natuurlijk milieu in de Oosterschelde niet onnodig te verstoren.

Inmiddels werd het Slaak gedicht op 6 september 1986, en het Tholense Gat op 22 oktober. Er is dus al gelegenheid om naar de juistheid van de boven beschreven aanpak te kijken. Hoe hebben de modellen IMPLIC en WAQUA zich geweeerd? Om dat te kunnen vaststellen is een groot aantal metingen uitgevoerd.

In de gehele Oosterschelde zijn waterstandsmeetpalen beschikbaar; aan weerszijden van elk sluitgat werden bovendien tijdelijk extra meetpalen geplaatst. Vergelijking van de opgetreden waterstanden en vervallen met de resultaten van IMPLIC en WAQUA geeft direct een indicatie van de nauwkeurigheid van de modellen. Het blijkt dat de modellen de meetresultaten goed weergeven. Tijdens de sluitingen zijn ook debietmetingen uitgevoerd



door een aantal meetschepen, gelegen in een raai evenwijdig aan de as van het sluitgat. Vanaf elk schip werden over de gehele diepte de snelheid en richting van de stroming gemeten met een Ott-stroomsnelheidsmeter waarin een gyrokompass is ingebouwd. Na middeling van de gemeten snelheden en richtingen en sommatie over het natte profiel van de meetraai konden de debieten worden berekend.

In figuur 8 zijn de resultaten van de meting van 4 september bij het Slaak en van de WAQUA en IMPLIC berekeningen voor die dag getekend. De reproductie van het debiet door de modellen is zonder meer goed te noemen.

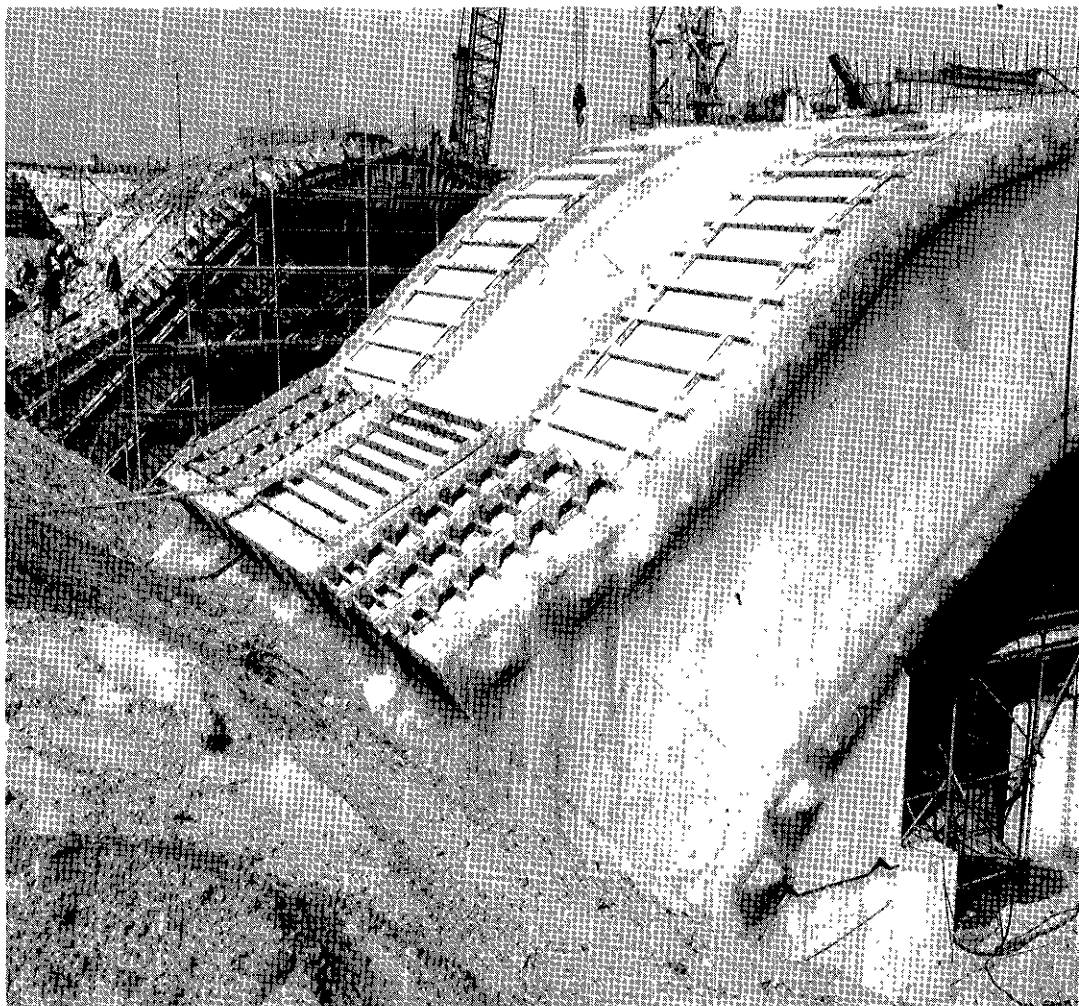
Ter controle van WAQUA zijn er tevens drijvermetingen uitgevoerd. Bij deze metingen werden drijverlichamen in de stroming door het sluitgat gegooid, waarna de baan van elke drijver werd gevolgd en vastgelegd. Deze drijverbanen konden vervolgens vergeleken worden met de stroompatronen volgens WAQUA. Op dit moment zijn die vergelijkingen echter nog niet beschikbaar.

De voorlopige resultaten van de uitvoerige meetcampagne, die onder andere werd opgezet om de juistheid van de gekozen opzet te kunnen toetsen, lijken erop te duiden dat de aanpak goed is geweest.

De evaluatie van het waterloopkundig onderzoek, inmiddels volop in uitvoering, zal hierover een definitieve uitspraak moeten doen.

Zout/zoet-studies voor de sluiting van de compartimenteringsdammen

De compartimenteringsdammen achter in de Oosterschelde zullen gesloten worden met zand. Dit is alleen mogelijk als de snelheden in de sluitgaten sterk kunnen worden gereduceerd. Om dat te bereiken wordt gebruik gemaakt van de stormvloedkering door hem gedeeltelijk of helemaal te sluiten (Bericht 111, februari 1985).



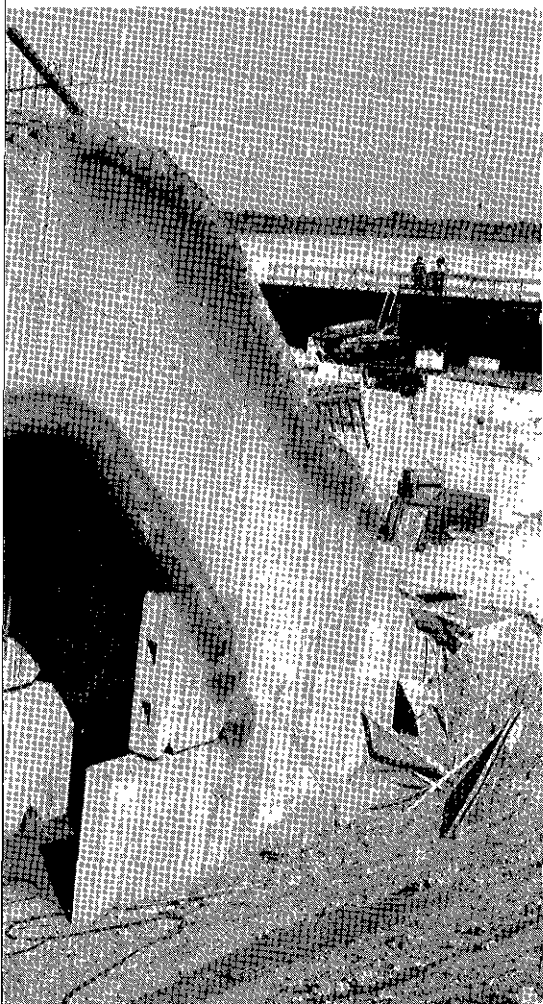
De verdeling van het zoutgehalte in het Oosterscheldebekken wordt vooral bepaald door de werking van het getij. Op het Volkerak is daarnaast ook de omvang van de zoetwater-toevoer belangrijk (Bericht 106, november 1983). Het zoete water wordt voor het overgrote deel via de Volkeraksluizen en de rivier de Dintel op het Volkerak gebracht. De toevoer bij de Volkeraksluizen wordt vooral veroorzaakt door zoutbestrijdingsmaatregelen ten behoeve van het noordelijke Deltabekken. Zo komt het dat het zoutgehalte in de Oosterschelde niet overal gelijk is. Er is sprake van verschillen in het horizontale vlak (figuur 2) maar ook, zoals op het Volkerak, in verticale richting (figuur 3). De verschillen over de verticaal zijn klein, omdat de getijwerking zorgt voor sterke menging in verticale zin. Diezelfde getijwerking zorgt er, naast de

doorgaande afvoer, ook voor dat de horizontale verschillen in stand blijven.

Door het gebruik van de stormvloedkering bij de sluitingen wordt de getijmenging sterk gereduceerd. Het relatief zoete water op het Volkerak kan zich dan wel snel over de Oosterschelde verspreiden. Het mechanisme dat hiervoor verantwoordelijk is noemt men wel gravitatie-circulatie: onder invloed van de zwaartekracht worden horizontale verschillen in dichtheid omgezet in verticale (figuur 4). Het zoetere, lichtere water bevindt zich tenslotte aan de oppervlakte. Dit verschijnsel is bedreigend voor bepaalde biologisch kwetsbare plaatsen, zoals de Krabbenkreek en de Kom van de Oosterschelde. Voor deze locaties wordt gemiddeld over het getij gestreefd naar een zoutgehalte van respectievelijk 13,5 en 15,5 kg/m³. Tijdens de sluitingen wordt als norm, dus als waarde die niet onderschreden mag worden, 12,5 en 13,5 kg/m³ aangehouden.

De verspreiding van zoet water veroorzaakt ook gelaagdheid. Gelaagdheid beperkt de verticale uitwisseling van opgeloste stoffen zoals zuurstof. Aangezien in de diepere delen de zuurstofconsumptie doorgaat, kan gelaagdheid daar leiden tot zuurstofgebrek en sterfte. Om dat te voorkomen is als norm gesteld dat de verschillen in zoutgehalte per 5 m van de verticaal niet hoger mogen liggen dan 1 kg/m³.

De gevolgen van de geschetste zoetwaterverspreiding maken het nemen van compenserende maatregelen noodzakelijk. Voordat hiertoe wordt overgegaan moet echter eerst duidelijkheid verkregen worden over enkele vraagpunten. Allereerst: zal de zout/zoet-problematiek zich inderdaad voordoen? Dat hangt af van de



De hevel in de Grevelingen, een van de hulpmiddelen voor het oplossen van de zout/zoet-problematiek, in aanbouw (juni 1982)

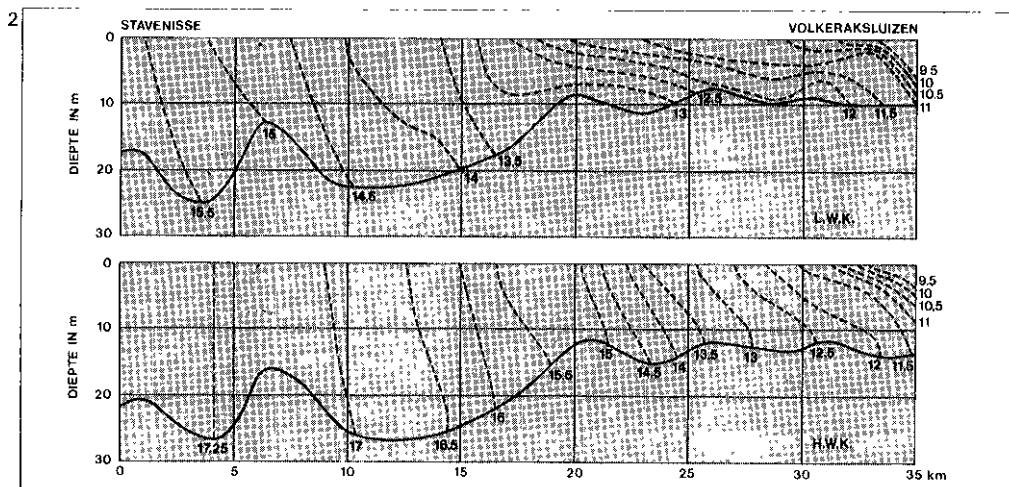
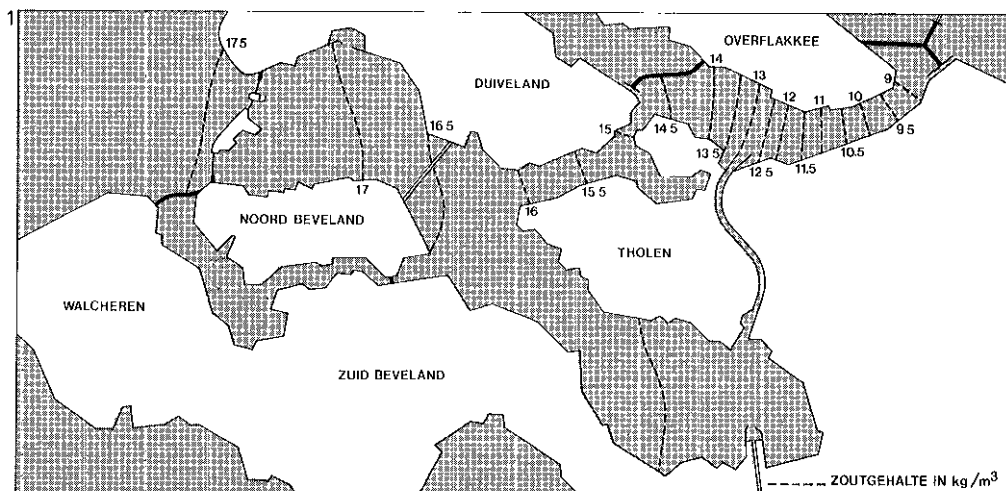


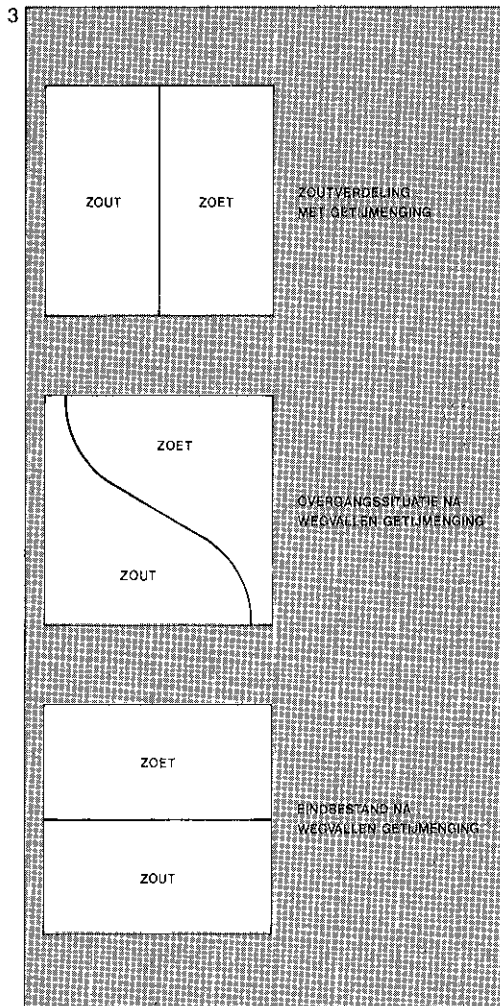
Fig 1 Zoutgradient in het Oosterscheldebekken

Fig 2 Verandering van het zoutgehalte over de verticaal

Fig 3 Hoe horizontale verschillen in dichtheid veranderen in verticale

snelheid waarmee het zoete water zich verspreidt. De periode waarin de kering gebruikt wordt, is misschien te kort voor normoverschrijding. Het is voorts nog onduidelijk welke maatregelen uitvoerbaar zijn, en wat ze kosten, evenmin staat vast of het effect van de maatregelen de uitgaven rechtvaardigt. Wellicht moet er ook onderscheid worden gemaakt tussen de sluiting van het Tholense Gat in oktober 1986 en de Krammersluiting van april 1987.

Om met het laatste te beginnen, er is inderdaad verschil tussen die twee sluitingen. Bij de Krammersluiting wordt niet alleen gedurende een veel langere periode met de stormvloedkering gemanipuleerd, maar is normaal gesproken de hoeveelheid zoet water op het Volkerak aanzienlijk groter dan bij de sluiting van het Tholense Gat. In de wintermaanden is



de zoetbelasting immers als gevolg van de afvoer van neerslag veel groter dan in de zomermaanden. Daar staat tegenover dat de gemiddelde getijverschillen voorafgaand aan de sluiting van het Tholense Gat door de afbouwwerkzaamheden aan de stormvloedkering kleiner zullen zijn dan in de periode voorafgaand aan de Krammersluiting. De getijmenging zal in de wintermaanden dus groter zijn dan in de zomermaanden, hetgeen de uitgangssituatie beïnvloedt. Toch wordt verwacht dat eventuele problemen zich vooral zullen voordoen bij de Krammersluiting. Bij de beantwoording van de vraag of de zout/zoet-problematiek zich wel zal voordoen, is gebruik gemaakt van verschillende wiskundige en numerieke modellen voor de berekening van de water- en de zoutbeweging. De modellen varieerden van stationair één-dimen-

sionaal tot niet-stationair tweedimensionaal-verticaal. Niet-stationair wil zeggen dat er gerekend kan worden met in de tijd variërende randvoorwaarden. Dit is van belang om de invloed van de manipulatie met de stormvloedkering op het getij goed te kunnen weergeven. Voor de zoetbelasting is gerekend met gemiddelde en met extreem hoge waarden zoals die in de praktijk zijn waargenomen, gemiddeld over perioden van ongeveer een maand.

De gemiddelde zoetwatertoevoer via de Volkeraksluizen en via de Dintel bedraagt in de maanden augustus tot en met oktober 35 m³/s. Deze hoge waarden worden vooral veroorzaakt doordat bij de Volkeraksluizen ter bestrijding van de zoutindringing op het noordelijk Deltabekken 15 à 20 m³/s wordt geloosd via het systeem van schutten met lekkende ebduren.

Het resultaat van de uitgevoerde berekeningen is weergegeven in tabel 1. Daarin zijn voor de locaties Krabbenkreek en Kom de getijgemiddelde chlorideconcentraties opgenomen van de oppervlaktelaag en de getijgemiddelde gelaagdheden – concentratieverschillen per 5 m diepte – voor de situatie vlak voorafgaand aan en aan het einde van zowel sluiting van het Tholense Gat als van het Krammer. Naast de verwachtingswaarde is ook de marge vermeld die als standaardafwijking mag worden beschouwd.

Uit de tabel blijkt dat de concentratienormen bij gemiddelde zoetwatertoevoer niet overschreden worden, maar dat er een behoorlijke kans bestaat dat de gelaagheidsnorm aan het eind van de sluitingen in de omgeving van de Krabbenkreek overschreden wordt. Dat geldt zowel voor de sluiting van het Tholense Gat als voor die van het Krammer. De kans op normoverschrijding is aanzienlijk groter als er zich een situatie voordoet met veel hogere afvoeren dan gemiddeld. Er bestaat dan tevens een gerede kans dat de concentratienorm aan het eind van de Krammersluiting in de Kom overschreden wordt.

De conclusie moet dan ook zijn dat er zich inderdaad zout/zoet-problemen kunnen voordoen. Bij normale zoetwatertoevoer is de kans dat de concentratienormen overschreden zullen worden zeer klein.

Wel bestaat er een kans van enkele tientallen procenten dat de gelaagheidsnorm overschreden wordt tussen Stavenisse en de Philipsdam. Bij extreem hoge zoetlasten, waarop een kans is van enkele procenten, zijn de kansen op normoverschrijding redelijk groot (tabel 2).

De kansen op normoverschrijding zijn voldoende-

Tabel 1. Chlorideconcentraties en gelaagdheden bij de sluiting van het Tholense Gat en van het Krammer bij gemiddelde zoetwatertoevoer

Locatie	sluiting	Tholense Gat		Krammer	
	sluitingsfase	begin	eind	begin	eind
Kom	zoutconcentratie [kg/m ³]	15.5 ± 0.3	15.4 ± 0.4	15.1 ± 0.3	14.5 ± 0.5
	gelaagdheid [kg/m ³]	0.3 ± 0.2	0.4 ± 0.3	0.3 ± 0.2	0.7 ± 0.3
Krabben-kreek	zoutconcentratie [kg/m ³]	14.9 ± 0.3	14.8 ± 0.4	14.3 ± 0.3	14.0 ± 0.5
	gelaagdheid [kg/m ³]	0.6 ± 0.2	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.2	0.9 ± 0.3

de hoog om het nemen van maatregelen te rechtvaardigen.

De mogelijke maatregelen zijn ruwweg te verdelen in twee categorieën: beperking van de zoetlast en afvoer van relatief zoet water. Daarnaast zijn nog enkele andere maatregelen overwogen, die echter reeds in de oriënterende fase zijn afgefallen, hetzij wegens zeer hoge kosten, hetzij wegens zeer twijfelachtig effect. Tot de eerste categorie behoren beheersmaatregelen bij de Volkeraksluizen die de zoetlast beperken tot 5 m³/s, en afleiden van het overtollige water van Mark en Dintel naar het Wilhelminakanaal tot maximaal 10 à 15 m³/s, waardoor de zoetlast bij Dintelsas wordt beperkt.

Maatregelen van de tweede categorie kunnen zijn: 80 m³/s waterafvoer via het Bathse

Spuikanaal; 10 m³/s pompen bij de Kreekraksluizen, en hevelen met de Flakkeese Spuisluis naar het Grevelingenmeer. Thans wordt met dezelfde sluis geheveld naar het Krammer, om het zoutgehalte van de Oosterschelde te verhogen. Alle maatregelen kosten geld, behalve de beperking van de zoetlast bij de Volkeraksluizen.

Het bedrag varieert van 1,1 miljoen – voor het geschikt maken van de Flakkeese Spuisluis voor hevelen naar de Grevelingen – tot 5,4 miljoen voor het geschikt maken van het Bathse Spuikanaal voor een situatie met getijbeweging. Hevelen naar de Grevelingen heeft trouwens nadelige gevolgen voor de Grevelingen zelf, onder andere omdat het relatief zoete water daar stratificatie zal veroorzaken. In een droge periode heeft

Tabel 2. Kans op normoverschrijding bij de sluiting van het Tholense Gat en het Krammer

Zoetwater-toevoer	Locatie	sluiting	Tholense Gat		Krammer	
		sluitingsfase	begin	eind	begin	eind
normaal	Kom	Cl-concentratie	< < 1	< < 1	< < 1	2
		gelaagdheid	< < 1	2	< < 1	15
	Krabben-kreek	Cl-concentratie	< < 1	< < 1	< < 1	< 1
		gelaagdheid	1	25	5	45
extreem hoog	Kom	Cl-concentratie	2	5	1	20
		gelaagdheid	1	15	1	30
	Krabben-kreek	Cl-concentratie	2	5	< 1	5
		gelaagdheid	45	65	25	75

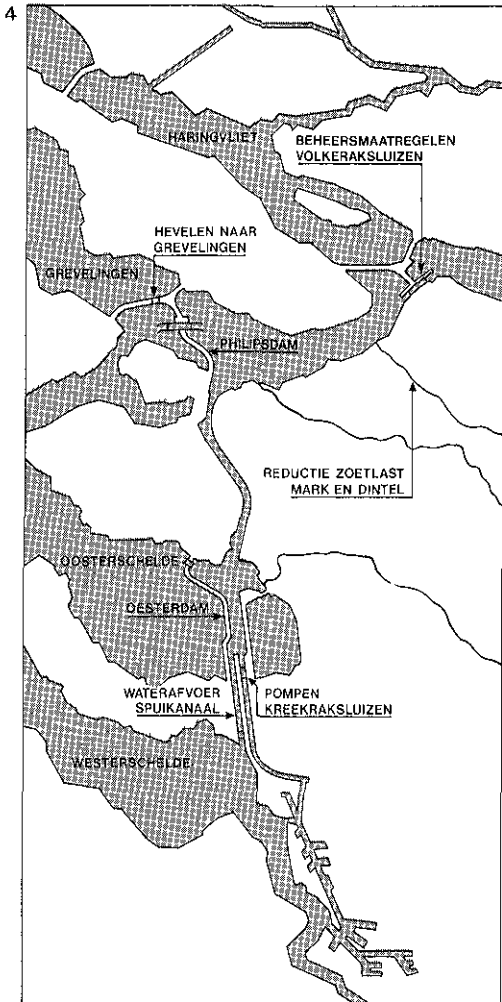


Fig 4 Het waterhuishoudkundig systeem van het Zoommeer

Met dezelfde modellen als eerder genoemd zijn berekeningen uitgevoerd naar het effect van de verschillende maatregelen. Rondstromen via het Bathse Spuikanaal met $80 \text{ m}^3/\text{s}$ blijkt de meest effectieve maatregel te zijn, op de voet gevolgd door zoetwaterreductie met $15 \text{ m}^3/\text{s}$. Het is daarbij niet van belang of deze reductie plaats vindt bij de Volkeraksluizen dan wel bij Dintelsas. Hevelen naar de Grevelingen is een goede derde, maar pompen bij de Kreekraksluizen heeft niet veel invloed vanwege de geringe hoeveelheid waarmee dat kan.

Het effect van de verschillende maatregelen is vooral terug te vinden in de zoutconcentraties op de verschillende plaatsen. Afhankelijk van de maatregel, worden die met maximaal $1,0 \text{ kg/m}^3$ verhoogd. De beïnvloeding van de gelaagdheid is niet zeer groot; toch wordt de kans op normoverschrijding beperkt tot enkele procenten.

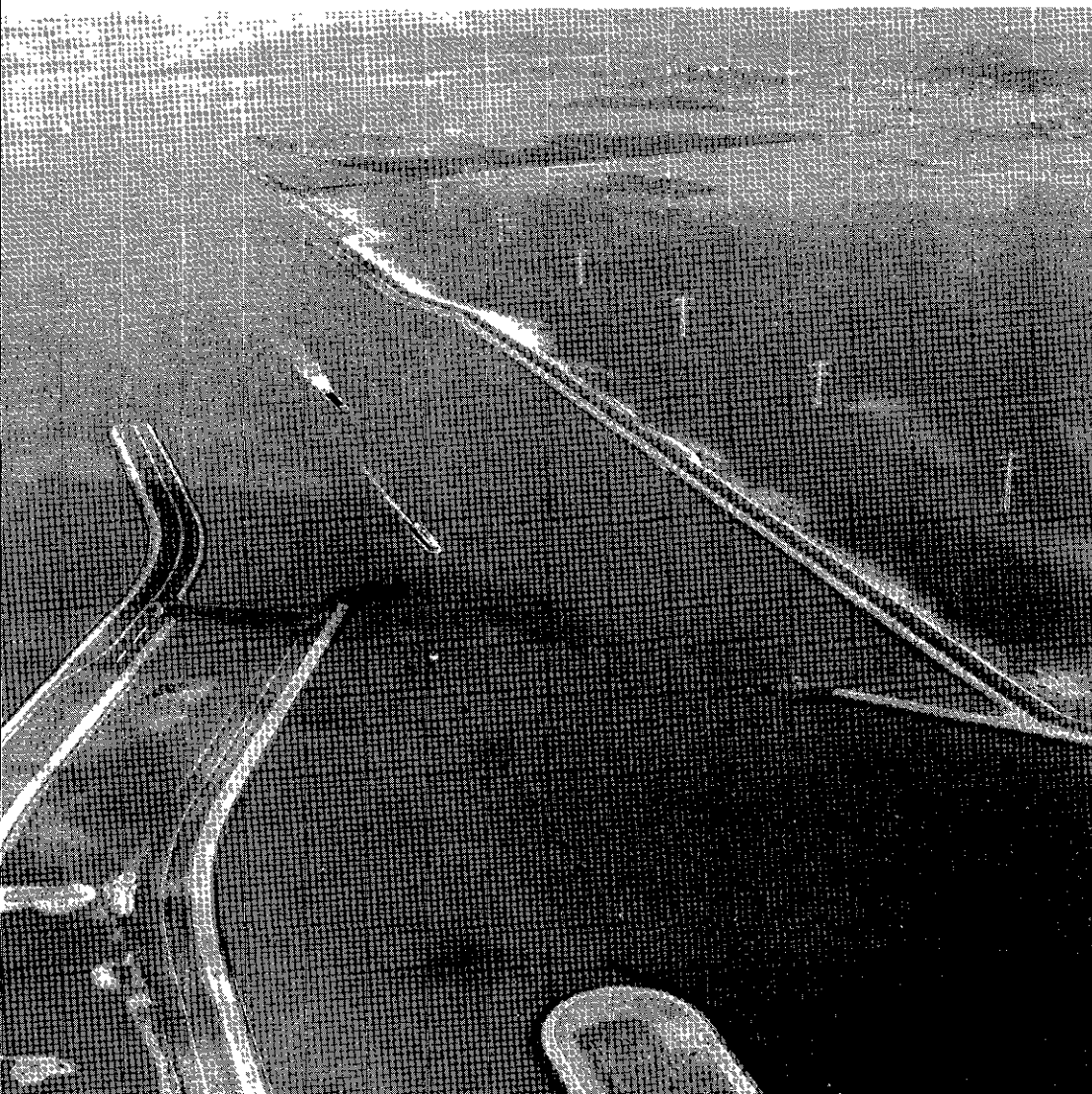
Op grond van deze uitkomsten is besloten uitsluitend over te gaan tot beperking van de zoetbelasting bij de Volkeraksluizen, zowel voorafgaand aan als tijdens de sluiting van het Tholense Gat en bij de Krammersluiting. De sluiting van het Tholense Gat zal worden gebruikt om de ontwikkeling van de gelaagdheid en het concentratieverloop te volgen, zodat gecontroleerd kan worden of de modelberekeningen voldoende nauwkeurig zijn geweest. Daaruit kan dan weer lering worden getrokken over de juistheid van de conclusies voor de Krammersluiting.

pompen bij Oosterhout geen zin, wat de investering zinloos maakt, datzelfde geldt tot op zekere hoogte ook voor pompen bij de Kreekraksluizen en waterafvoer via het Bathse Spuikanaal.

Beheersmaatregelen bij de Volkeraksluizen houden echter in dat de zoetlast altijd met 15 à $20 \text{ m}^3/\text{s}$ verminderd wordt, terwijl het in een droge periode altijd mogelijk blijft de maatregel niet toe te passen. Dit laatste is van belang omdat de maatregel wel een niet onaanzienlijke extra zoutbelasting veroorzaakt op het noordelijk Deltabekken. In perioden met lage Rijnaflow kan dat leiden tot ongewenst hoge zoutgehalten op het Haringvliet en het Spui.

Grondmechanische aspecten van de westelijke Markiezaatskade

Tijdens de uitvoering van de westelijke Markiezaatskade is een aantal stabiliteitsproblemen opgetreden. In één geval was dat een gevolg van het gekozen ontwerp. Hierbij werd de ontwerpbelasting al in de bouwfase aangebracht door een tijdelijke extra overhoogte op de constructie. Gelet op de theoretische, maar zeker ook de praktische nadelen die tijdens de uitvoering naar voren kwamen, is het ontwerp gewijzigd: voortaan werden steunbermen toegepast. Ook op een andere locatie zijn onverwachte instabiliteiten opgetreden. Daarnaast is een uitgebreid onderzoek ingesteld, waarbij aandacht werd besteed aan rekenmodellen waarmee de stabiliteit voor slappe kleilagen werd bepaald.



De Oosterscheldewerken omvatten onder meer een aantal compartimenteringsdammen. Eén daarvan is de 4300 m lange westelijke Markiezaatskade, tussen de druk beveren Schelde-Rijnverbinding en het Markiezaatsmeer, een afzonderlijk te beheren natuurgebied, met een oppervlakte van 2200 hectare.

Als gevolg van geologische ontwikkelingen na de jongste ijstijd is de opbouw van de bovenste lagen in het tracé van deze kade tamelijk grillig (figuur 1). Met name de klei-afzettingen zijn slap.

Na doorbraak van de sluitkade in maart 1982 (Bericht 101, augustus 1982), moest een deel van de dam worden aangepast. Voor het ontwerp van dat nieuwe gedeelte moest een keuze worden gemaakt tussen een ontwerp met steunbermen en een ontwerp waarbij de

ontwerpbelasting in de uitvoeringsfase reeds werd aangebracht als proefbelasting.

Om een goed ontwerp te maken zou voor de eerste variant aanvullend grondonderzoek moeten worden uitgevoerd. Gelet op de tijdsdruk was hier geen ruimte voor. Bij toepassing van de andere variant zouden tijdens de uitvoering min of meer forse afschuivingen ontstaan. Dit betekende onder meer dat er geen goede voorspelling kon worden gedaan van het zettingsgedrag van de constructie, en dat het onmogelijk was de overhoogte vooraf te bepalen. Immers door het optreden van de instabiliteiten zou de grondlagenopbouw veranderen, op basis waarvan de zetting was geschat. Om dan toch een betrouwbare voorspelling te doen zou aanvullend onderzoek moeten worden uitgevoerd nadat de kruin van het profiel was

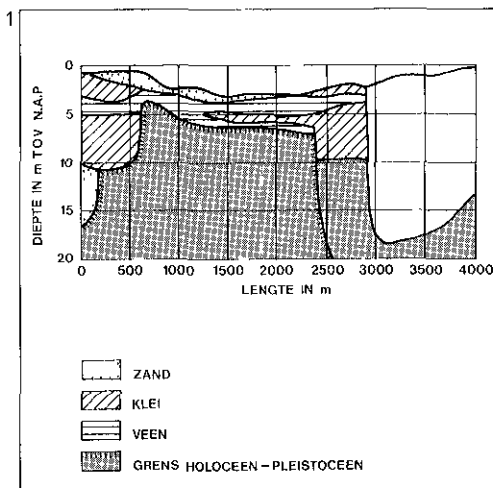


Fig. 1 Geologisch profiel

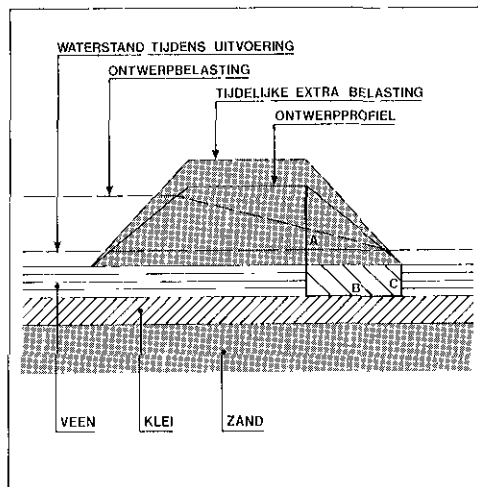
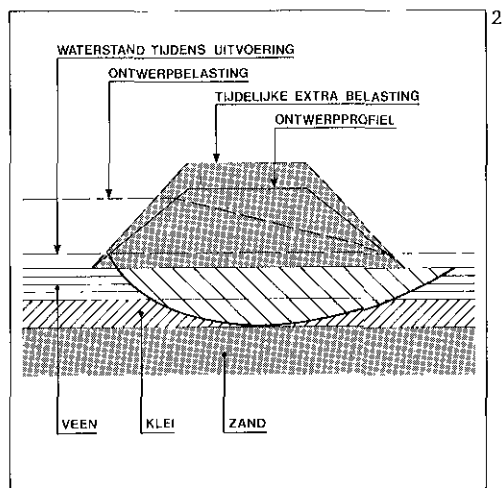
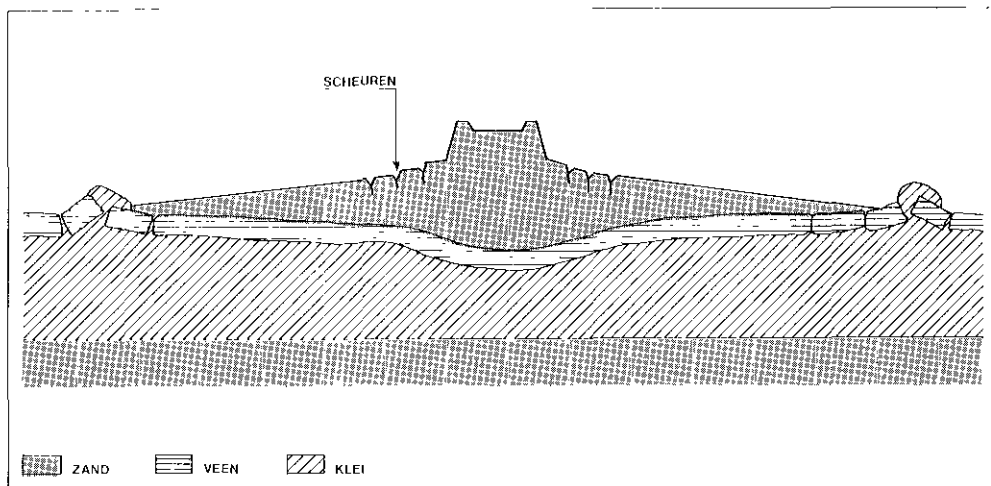
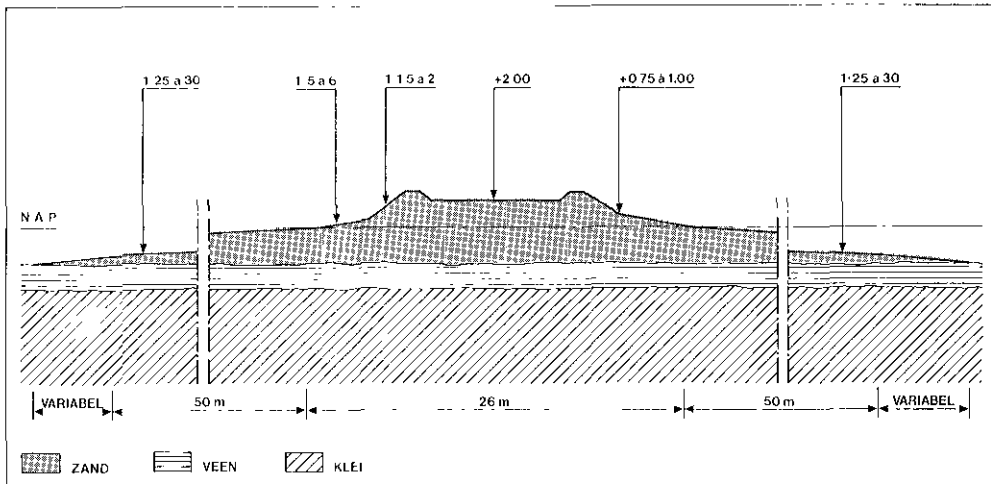


Fig. 2. Equivalente belasting met cirkelvormige glijvlakken (boven), en met rechte glijvlakken



bereikt. Als het resultaat van dat onderzoek zou uitwijzen dat de reeds aangebrachte overhoogte onvoldoende was, en er dus zand bij moest, dan zouden er opnieuw instabiliteiten kunnen optreden bij het aanbrengen van de juiste overhoogte. De betrouwbaarheid van een op deze manier voorspelde zetting leek twijfelachtig.

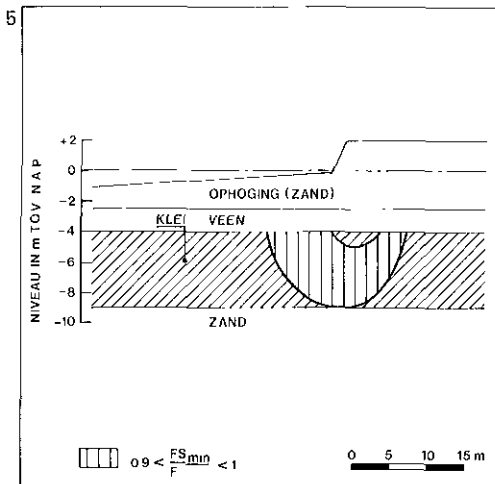
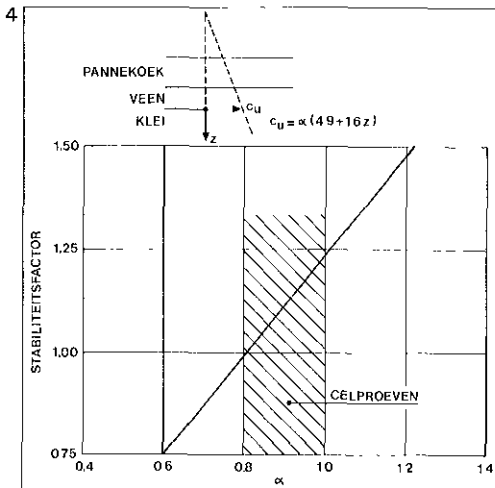
Als voordeel van deze variant gold echter dat men er zeker van kon zijn dat de ontwerpbelasting door de constructie kon worden opgenomen. Bovendien zou de simulatie van de ontwerpbelasting in de uitvoeringsfase maar enkele dagen duren, zodat omvangrijke en dure steunbermen achterwege konden blijven. Besloten werd om deze variant nader uit te werken.

Om er zeker van te zijn dat de ontwerpbelasting in de uitvoering op een juiste manier zou

Fig 3 Dwarsprofiel kort voor (boven) en na het optreden van instabiliteiten

Fig 4 Relatie tussen de stabiliteitsfactor en de onge-draineerde schuifsterkte van klei

Fig 5. Zone in de ondergrond met vrijwel dezelfde stabiliteitsfactor



worden meegenomen in de vorm van een tijdelijke extra overhoogte, werden drie schademechanismen uitgewerkt: cirkelvormige glijvlakken, rechte glijvlakken, en een mechanisme waarbij werd nagegaan of de slappe kleilagen in de ondergrond er door de aanleg van het damlichaam tussenuit zouden worden geperst.

Voor de eerste methode werden, uitgaande van het ontwerpprofiel, berekeningen gemaakt waarbij als belasting de ontwerpbelasting werd ingevoerd; dat is dus zoveel als de waterstand. De resultaten van deze berekeningen leverden in de ondergrond een zone op waarbinnen glijcirkels voorkomen met een stabiliteitsfactor kleiner dan 1. Om deze ontwerpbelasting te vertalen naar de uitvoeringsfase werd op het ontwerpprofiel een zo grote extra belasting gezet, dat in de

ondergrond eenzelfde zone werd gevonden met stabiliteitsfactoren kleiner dan 1 (figuur 2 boven).

De methode met de rechte glijvlakken wordt afgebeeld in figuur 2 beneden. De volgens de eerste methode bepaalde tijdelijke extra overhoogte werd zo aangepast, dat de belasting op vlak A zowel in de uitvoeringsfase met de tijdelijke extra overhoogte als in de gebruiksfase even groot zou zijn.

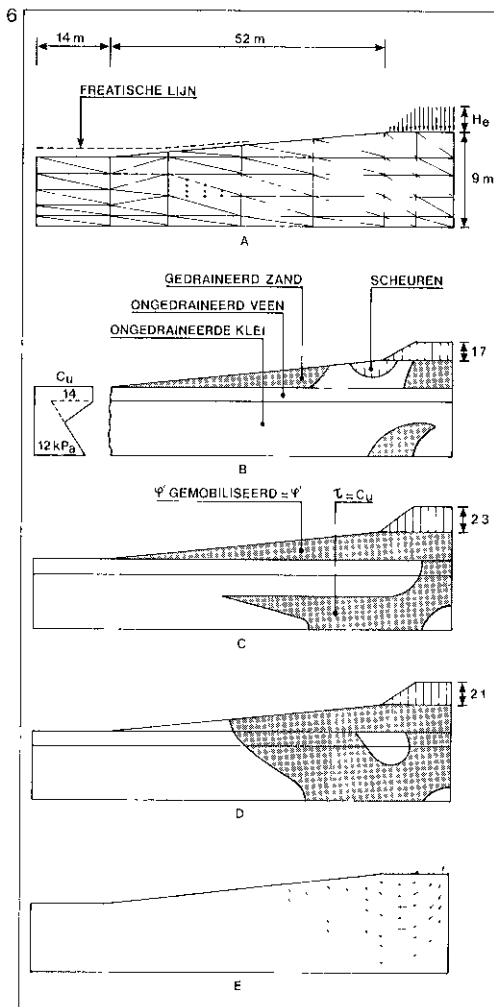
De belasting op de vlakken B en C gaf voor beide bovengenoemde situaties slechts een toename van de waterspanningen te zien. De schuifspanningen in deze vlakken zouden dus constant blijven.

Het als derde mechanisme genoemde effect treedt op wanneer de totale belasting het grensdragvermogen van de ondergrond overschrijdt.

Het resultaat van de berekeningen was dat de belasting van de volgens de beide voorgaande methoden bepaalde extra overhoogte over de gehele breedte van de dam spanningen in de ondergrond zou opleveren die overal groter waren dan bij de ontwerpbelasting.

Op grond van bovengenoemde aanpak werd besloten om op een deel van de te maken damvakken een tijdelijke extra overhoogte aan te brengen, als proefbelasting. Na het aanbrengen van perskaden werd het damlichaam op hoogte gebracht. Althans, dat werd geprobeerd. De belastingen veroorzaakten namelijk dat de perskaden over ettelijke meters zijdelings werden weggeperst. Er was zeer veel grondverzet nodig om het vereiste profiel te realiseren. Behalve het niet te voorspellen zettingsgedrag leverde deze methode praktisch dan ook zoveel bezwaren op, dat besloten werd om alsnog over te gaan op de andere ontwerpvariant: men zou nu gebruik maken van steunbermen. Op deze wijze konden verdere instabiliteiten tijdens de uitvoering worden voorkomen.

Tijdens de aanleg van het zuidelijk damvak van de westelijke Markiezaatskade is een aantal onverwachte instabiliteiten opgetreden. Gelet op het reeds vervegorderde stadium van aanleg zou een onderzoek naar de oorzaken van deze instabiliteiten geen aanleiding meer kunnen geven tot ingrijpende wijzigingen in ontwerp en uitvoering. Wel zouden er consequenties uit kunnen volgen voor de bouw van de Oesterdam. Er werd besloten om een onderzoek uit te voeren naar de oorzaak van de opgetreden instabiliteiten. De schade is onderzocht volgens de methode van de cirkelvormige glijvlakken, volgens de methode gebaseerd op karakteristieken en volgens de eindige-elementenmethode.

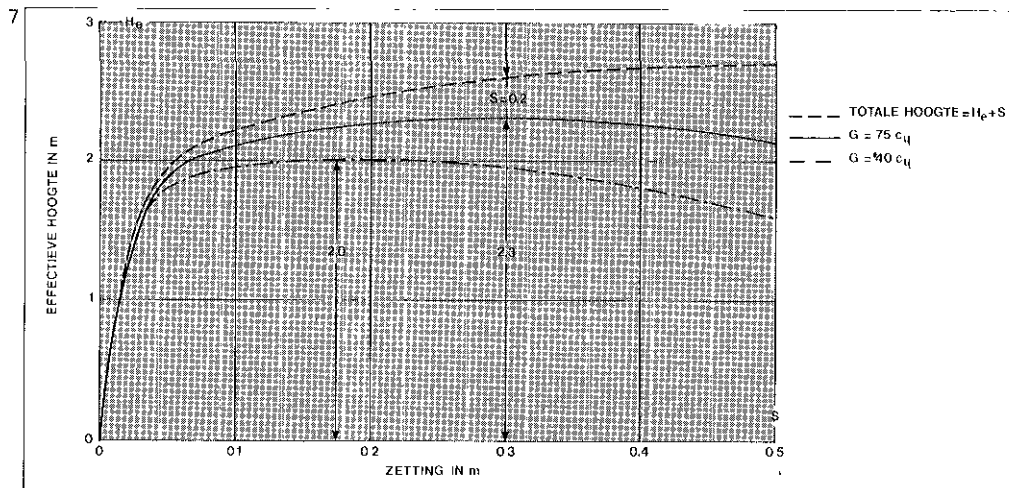


Aanleg

Bij de aanleg van de westelijke Markiezaatskade werd in den natte een zandpannekoek aangebracht tot een niveau van N.A.P. Boven dit niveau werden perskaden opgezet, waartussen zand werd gespoten. De instabiliteiten begonnen op het moment dat een spuitniveau was bereikt van N.A.P. + 2 m. De aanleg van de zandpannekoek en het damlichaam tot genoemde hoogte vergde twee weken, zodat in feite sprake was van een ongedraineerde situatie van de slappe ondergrond. Het damlichaam zakte weg over de volle kruinbreedte of over een deel daarvan, terwijl de aangrenzende zandpannekoek een lichte rijzing vertoonde. Vóór het optreden van de verzakkingen ontwikkelden zich scheuren in de zandpannekoek, evenwijdig aan de lengteas van de dam, die na het optreden van instabiliteiten nog wijder werden. Na het optreden van de eerste instabiliteiten waren aan de rand van de pannekoek nog veenbrokken te zien en

Fig 6 Ontwikkeling van plastische zones volgens de eindige-elementenmethode

Fig 7 Verband tussen de berekende zetting en de hoogte van de dam



plaatselijk een donkere streep blauwe, slappe klei.

De ondergrond bestond ook hier uit een lagenpakket van veen en slappe klei op pleistoceen zand. Voor de stabiliteit was de slappe kleilaag bepalend. Daarom werd speciaal aandacht besteed aan de schuifweerstand van deze laag. Aan de hand van de resultaten van een 15-tal celproeven werden de effectieve sterkteparameters van de klei bepaald om de ongedraineerde schuifweerstand te berekenen. Het berekende verloop van de ongedraineerde schuifsterkte in de kleilaag bleek redelijk overeen te komen met de bepaling ervan volgens een bekende empirische relatie tussen de verticale korrelspanning en de ongedraineerde schuifsterkte. Voor het vaststellen van de ongedraineerde schuifmodulus van de klei werd onder meer gebruik gemaakt van een bekende empirische relatie tussen de plasticiteitsindex, de ongedraineerde schuifsterkte en de ongedraineerde schuifmodulus, en van de resultaten uit triaxiaalproeven en in situ-pressiometerproeven. De sterkte-eigenschappen van het veen zijn bepaald aan de hand van celproeven. De eigenschappen van het zand werden geschat. De met de methode van de cirkelvormige glijvlakken gevonden stabiliteitsfactoren leverden niet het overtuigend bewijs dat de opgetreden instabiliteiten met deze methode voorspeld hadden kunnen worden. Vooral omdat de schematisering aan de veilige kant was door verwaarlozing van de sterkte van de zandpannekoek en de veenlaag, en omdat de sterkteparameters, verkregen uit de celproeven, in het algemeen aan de veilige kant zijn. Deze analyse houdt echter geen rekening met de deformaties van de ondergrond en de daaruit resulterende zakkingen. Een indicatie voor het optreden van grote deformaties verkreeg men door niet alleen de meest kritieke glijcirkel te beschouwen. Het bleek dat een groot aantal cirkels een bijna even geringe stabiliteitsfactor had als de meest kritische cirkel: in feite was een bepaalde zone in de ondergrond in zijn geheel op de grens van bezwijken (figuur 5). Gebruik van de methode met karakteristieken leidde tot hogere stabiliteitsfactoren dan volgens de methode met cirkelvormige glijvlakken. Gelet op het feit dat deformatie en stabiliteit van slappe klei zeer sterk zijn gecorrelleerd, werd vervolgens gebruik gemaakt van een eindige-elementenmethode met een elastoplastische spanning/rek-relatie. De berekening werd uitgevoerd in twee stappen. Eerst werden de spanningen berekend tot N.A.P. Daarna werden de spanningen

beschouwd die optraden door de ophoging boven N.A.P. Volgens de berekeningen ontwikkelde zich in de relatief stijve pannekoek snel een plastische zone. Daarna vertoonde de dieper gelegen klei steeds meer plastisch gedrag en tenslotte werd de sterke veenlaag eveneens plastisch.

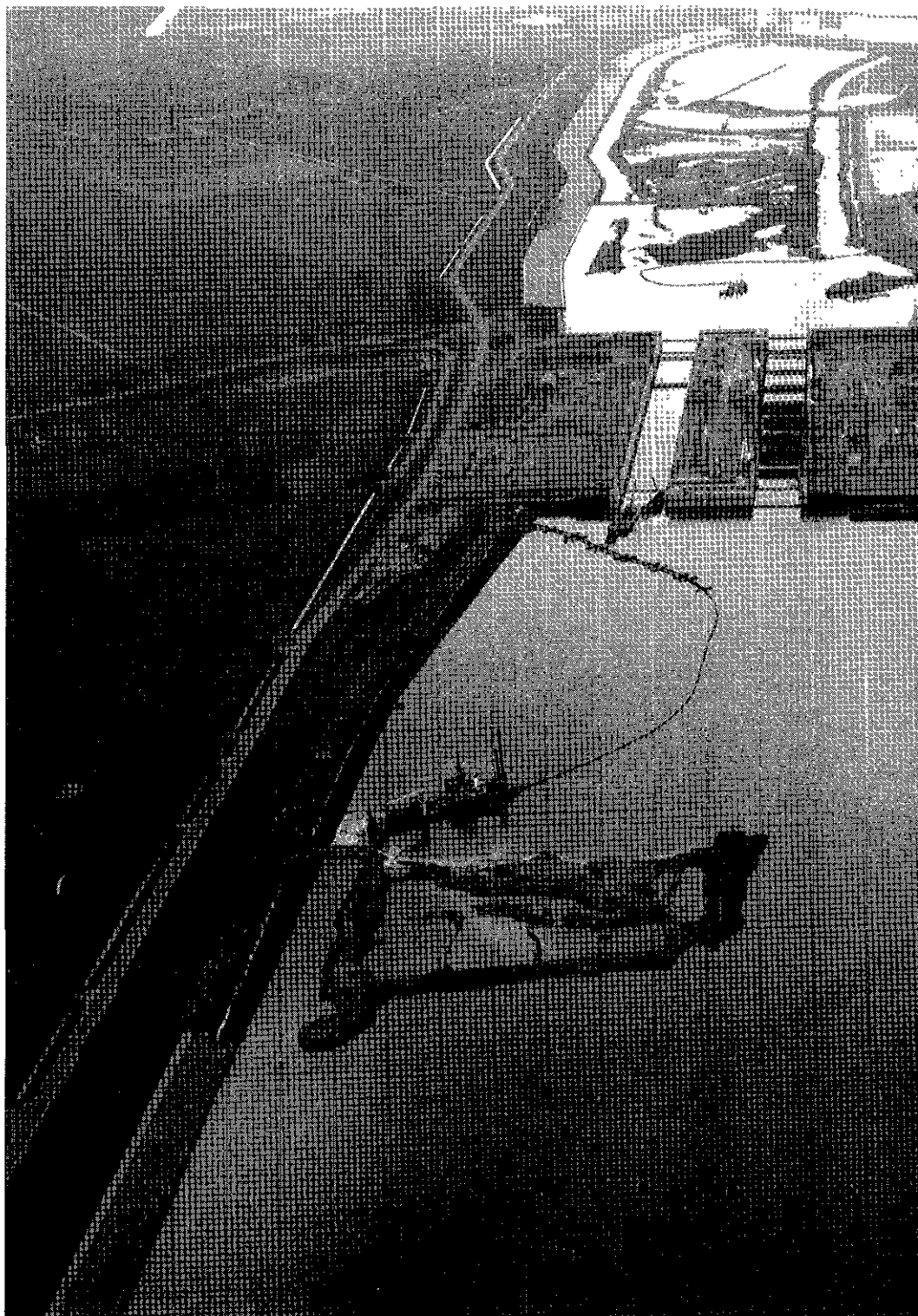
De berekeningsresultaten gaven een abrupte zakking aan bij een effectieve hoogte van 2,3 m. Deze plotselinge zakking werd in het terrein waargenomen bij een niveau van N.A.P. + 2 m; de stijfheid van de veen- en de kleilaag was kennelijk enigszins overschat. Terugrekenen van de glijdingsmodulus gaf, gezien de realistische plasticiteitsindex van de klei, een realistische waarde bij N.A.P. + 2,1 m.

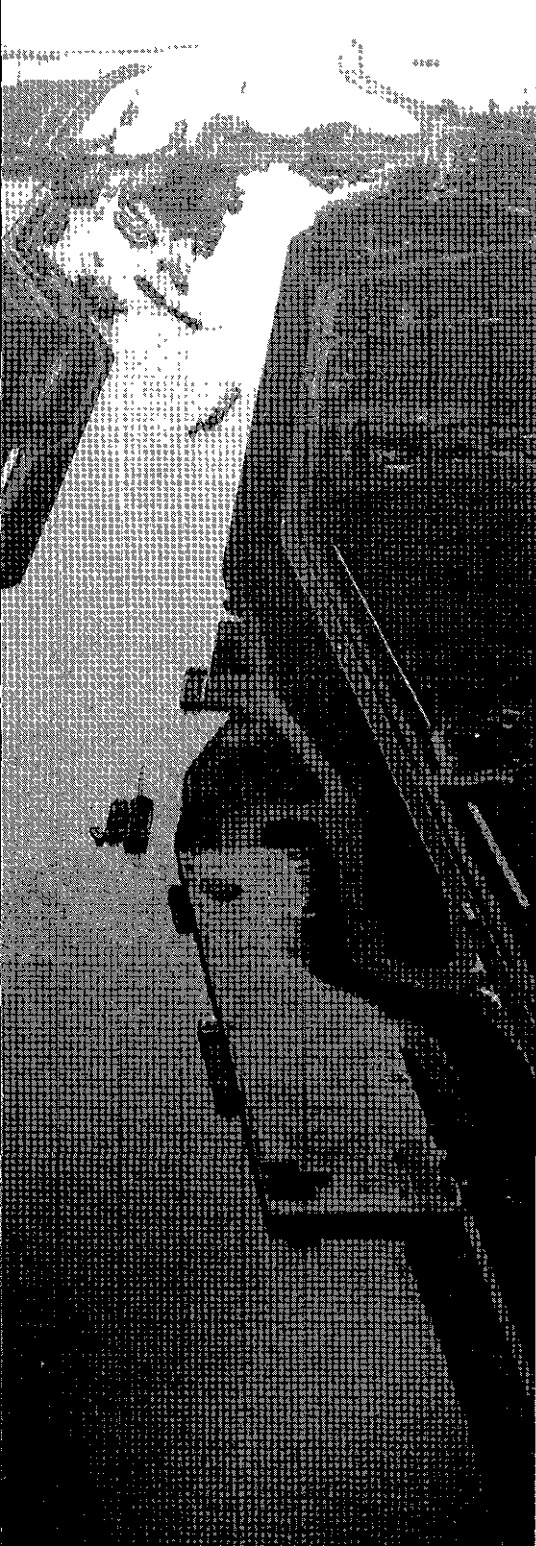
De figuren 6A, 6D en 6E geven de uiteindelijke bezwijksituatie weer kort na het bereiken van de maximale hoogte van het stort. De plastische zone is volledig ontwikkeld. De grootte en de richting van de verplaatsingen zijn een aanwijzing voor het optreden van een bijna cirkelvormig glijvlak. Het verschil met de analyse van de cirkelvormige glijvlakken is echter, dat er nu wel rekening wordt gehouden met de deformaties, en dat het bezwijken kan worden aangetoond bij een lagere belasting. Aan de uitgevoerde onderzoeken kunnen enkele conclusies worden verbonden over de keuze van de uitvoeringsmethode en over de te gebruiken methode van onderzoek naar de grondmechanische stabiliteit tijdens de uitvoering.

Een ontwerp met steunbermen is in de gegeven situatie verreweg te prefereren boven een ontwerp waarbij de ontwerpbelasting in de uitvoering reeds wordt aangebracht middels een tijdelijke extra belasting op het te maken profiel. Naast bezwaren voor de uitvoering doordat er herhaaldelijk instabiliteiten optreden, geldt als belangrijkste bezwaar dat het niet mogelijk blijkt de zetting van de dam te voorspellen, omdat de opbouw van de ondergrond is verstoord.

Voor gebieden waar sprake is van slappe kleilagen, is een kritische beschouwing van de cirkelvormige glijvlakberekeningen nodig. In dit soort situaties speelt naast de sterkte de vervorming van de ondergrond een belangrijke rol.

De eindige-elementenmethode volgens een elastoplastisch model houdt rekening met zowel de sterkte als de vervorming. De ervaringen bij de westelijke Markiezaatskade geven aan dat op deze manier betrouwbare resultaten worden verkregen om de grondmechanische stabiliteit tijdens de uitvoering te beoordelen.





De verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland

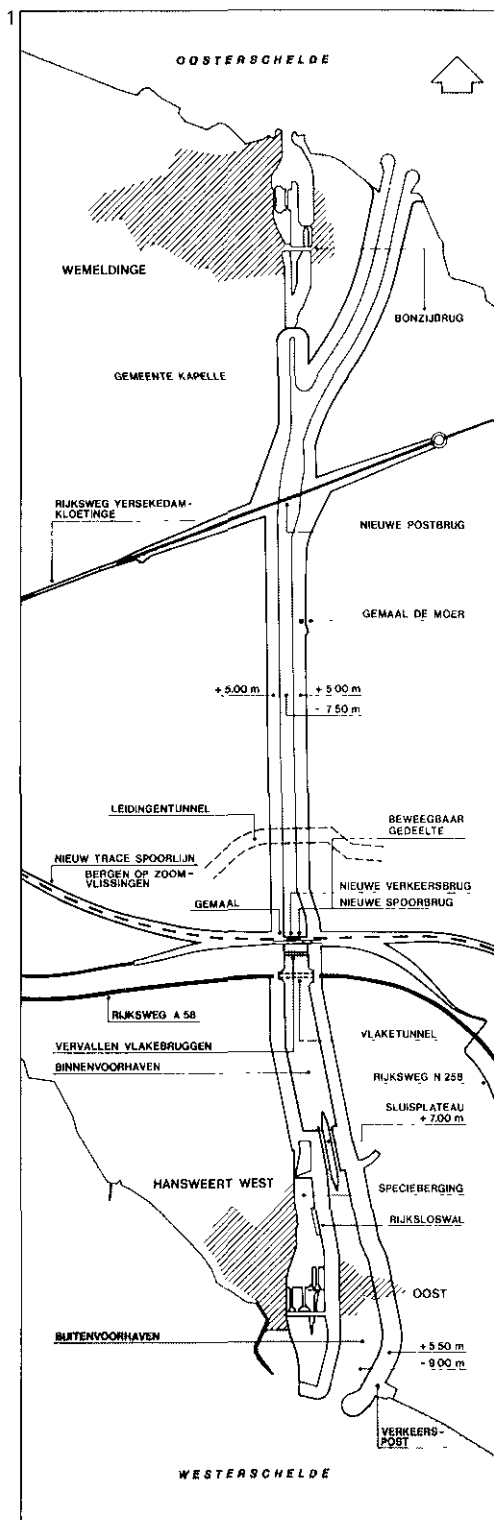
In 1978 werd het plan vastgesteld voor de verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland. Onmiddellijk daarna begon men met de benodigde onderzoeken, vooral naar de waterloopkundige en grondmechanische aspecten. Tevens werd een meetpuntnet opgebouwd om eventuele wijzigingen vast te kunnen stellen die zouden optreden in de grondwaterstand.

Ook de grondaankoop kwam op gang en de procedures werden gestart voor planologische inpassing en voor het verkrijgen van de vereiste vergunningen. Budgettaire omstandigheden veroorzaakten dat de daadwerkelijke start van de verbeteringswerkzaamheden enkele malen werd vertraagd. In 1981 werd zelfs besloten om het gedeelte ten Noorden van de Vlaketunnel uit te stellen tot na 1986. Medio 1983 echter viel de beslissing om de werken ten Zuiden van de Vlaketunnel in uitvoering te nemen. Reden hiervoor was de slechte toestand van het sluisencomplex bij Hansweert, dat als eerste waterkering tegen de Westerschelde in belangrijke mate tekort schoot. Het grootste bestek van de verbeteringswerken beschrijft dan ook de aanleg van een nieuw sluisencomplex.

Voor de aanleg van de bijbehorende voorhavens was het noodzakelijk dat de kabels en leidingen verwijderd werden en aangepast. Dit werk wordt beschreven in een tweede bestek. De kanaalkruisingen van de nieuwe leidingen konden alleen dan zinnig worden uitgevoerd, wanneer het kanaal ter plaatse van deze kruisingen al aangepast was aan de nieuwe afmetingen. Het eerste grondwerkenbestek omschreef dan ook voornamelijk het verruimen van het kanaal ter plaatse van de zinkerkrusingen. Verder was in dit bestek de aanleg van het dijklichaam voor de nieuwe oostelijke kanaaldijk opgenomen. Over deze drie bestekken gaat dit artikel.

Het sluisencomplex

Eind 1983 werd het sluisen-bestek gegund aan Van Hattum en Blankevoort. De werken zouden, in verband met de beperkte financiële



middelen, gefaseerd worden uitgevoerd. De Oostsluis diende als eerste in het voorjaar van 1988 operationeel te zijn; de Westsluis mocht twee jaar later gereed komen.

Om al te ingrijpende verlaging van de grondwaterstand in de omgeving te vermijden, is bij de bouw van de nieuwe sluishoofden gekozen voor een retourbemaling. Aangezien die niet gefaseerd uitgevoerd kon worden, is ook de bouw van de sluishoofden niet gefaseerd over de jaren. Voor elk complex van sluishoofden is een retourbemaling aangelegd.

Begonnen werd met de bouwput voor de zuidelijke sluishoofden. Eerst werd van damwand een bouwkuip gemaakt van 30 bij 100 m, tot een diepte van N.A.P. -21,5 m. Uit die kuip werd de bodemspezie ontgraven tot N.A.P. -5 m. Na deze eerste ontgravingen werd de inmiddels geïnstalleerde retourbemaling ingeschakeld, en de bouwput droog gepompt. De retourbemaling werd zodoende tegelijk operationeel beproefd. In de drooggepompte bouwkuip werden op N.A.P. -4 m stempels aangebracht. Daarna werd de retourbemaling uitgeschakeld, en de bouwput weer gevuld met grondwater, tot het maaiveld, op N.A.P. -0,5 m. In den natte is vervolgens de bouwput ontgraven tot N.A.P. -15 m. In die put is allereerst een onderwaterbetonvloer aangebracht van 4 m dikte. Na voldoende verharding van dit ongewapende beton werd de bouwput drooggepompt; de retourbemaling was opnieuw ingeschakeld. Rondom de bouwput zakte het grondwaterpeil hierdoor tot N.A.P. -6,5 m.

Op de ongewapende betonvloer werd daarna een 3 m dikke constructievloer aangebracht van gewapend beton. Het totale gewicht van de 7 m dikke betonlaag was voortaan voldoende

Fig 1 Overzicht van het kanaal

voor een evenwicht met de normale grondwaterstand: de retourbemaling kon worden uitgeschakeld en overgeplaatst naar de noordelijke sluishoofden. Hier werd de beschreven procedure herhaald.

In de bouwkuipen worden de sluishoofden in gewapend beton opgetrokken tot N.A.P. +7 m; de drempeldiepte ligt op N.A.P. -7,30 m. De verst naar buiten gelegen bouwputdamwanden worden opzij met 100 m verlengd als kwelchermen tegen onder- en achterloopsheid; tegelijkertijd fungeren ze als grondkerende vleugelwanden.

De kolkwanden bestaan in principe uit een betonnen L-muur, gefundeerd op palen en een damwandscherm. Door de eenzijdige zijdelingse gronddruk op de paalfundering was gebruik van betonnen palen niet zonder meer mogelijk. Voor de buitenste kolkwanden is dit opgelost door de bodem te verdichten met behulp van een tijdelijke extra bovenbelasting. De binnenste kolkwanden, die samen de begrenzing van het midden-eiland vormen, zijn op het niveau van de liggende poten van de L-muren gekoppeld door een betonplaat. Hierdoor ontstaat een bak in de vorm van een U, gefundeerd op verticaal ingebrachte betonnen palen. Om de wisselende belasting van de twee sluiskolken op te vangen was slechts één stelsel van schoorpalen vereist. De bodem van de betonnen bak ligt op N.A.P. +0,9 m. De bak wordt tot N.A.P. +7 m aangevuld met goed waterdoorlatend zand. In deze zandbak worden de ruimtes gebouwd voor het dieselaggregaat voor de noodstroom, voor de schakelruimte voor de stroomtoevoer en voor de opslag van dieselolie. Ook worden hier de kelders van het bedieningsgebouw gemaakt.

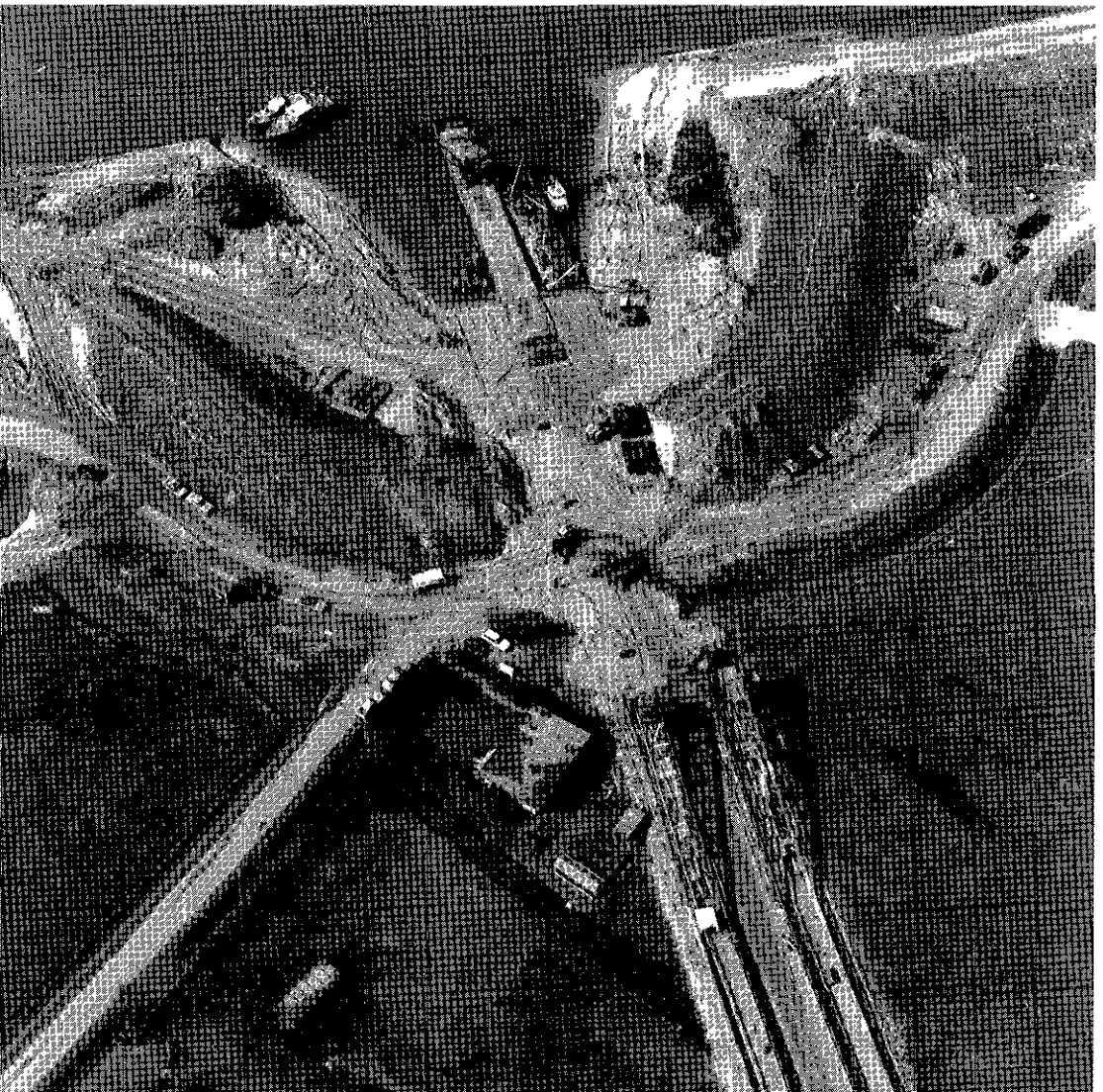
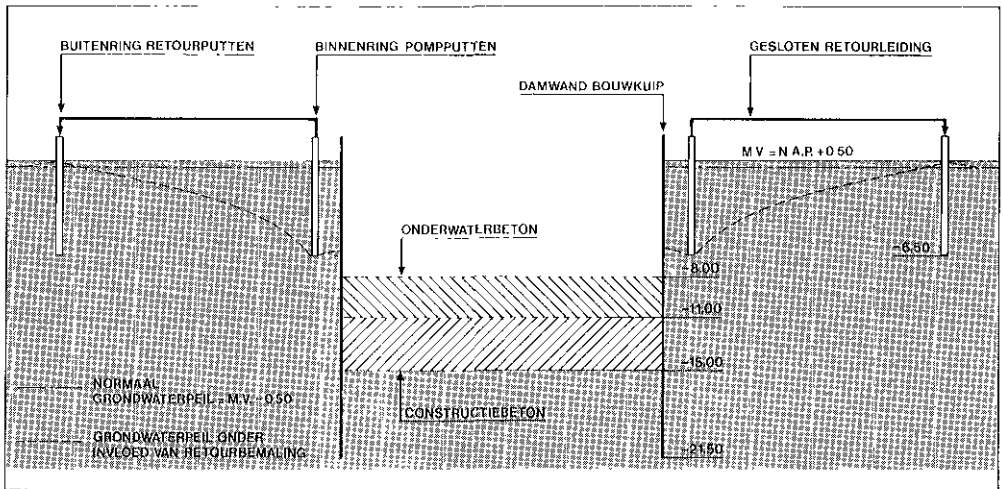
Het nieuwe sluizencomplex zal bestaan uit twee sluiskolken van elk 24 bij 280 m, met in elk hoofd een enkele kering met roldeuren. De hoogte van het sluizencomplex op N.A.P. +7,0 m voldoet aan de normen van de Deltawet. De drempeldiepte van N.A.P. -7,30 m geeft bij de maatgevende laagwaterstand op de Westerschelde voldoende diepgang voor geladen duwvaartuigen.

Nivellering van de kolken vindt plaats door schuifopeningen in de roldeuren. In de hoofden en kolkwanden zijn dan ook geen omlooppiolen aangebracht.

Kabels en leidingen

Op de Zeeuwse eilanden zijn relatief veel hoofdtransportleidingen voor energie en water nodig. Deze transportleidingen van Brabant

naar Midden- en West-Zeeland kruisen het Kanaal door Zuid-Beveland voor het grootste deel ten zuiden van de Vlaketunnel. Vóór het begin van de verbeteringswerkzaamheden lagen hier drie waterleidingen, drie gasleidingen en een industriëleiding. De kruisingen met het oude kanaal waren verdeeld over 8 zinkers en geconcentreerd op vier plaatsen. De kabelleidingen van de P.T.T. en de elektriciteitsdistributie kruisten het kanaal eveneens via zinkers. Tussen Schore en Hansweert werd het kanaal verder nog gekruist door een 150 kV-hoogspanningslijn. De verbreding en verdieping van het kanaal en de tracé-aanpassing in de richting van het nieuwe sluizencomplex vereisten aanpassing van al deze leidingen. Daar de nieuwe kanaaldijken zowel ten noorden als ten zuiden van het nieuwe sluizencomplex eerste waterkeringen worden – de eerste tegen de Oosterschelde en de andere tegen de Westerschelde – worden er hoge eisen gesteld aan de kruisingen van de aan te passen zinkers. Alle leidingen kruisten het oude kanaal met vergunning van Rijkswaterstaat. Opzegging van deze vergunningen – op zich een rechtmatige overheidsdaad – zou zonder voldoende schade-compensatie een onrechtmatige daad genoemd kunnen worden. Aan een commissie van deskundigen is advies gevraagd over de mate van compensatie. De commissie adviseerde om in het kader van de zogenaamde bestuurscompensatie alle kosten voor de noodzakelijke aanpassingen te vergoeden. Eén van de overwegingen hierbij was dat het Rijk de betreffende leidingen tegenkwam in de aan te kopen gronden. Het opheffen van de zakelijke rechten waardoor de ligging van deze leidingen juridisch gegarandeerd was, zou een moeizame en langdurige procedure vergen. Zolang deze rechten niet konden worden opgeheven, zou het opzeggen van de vergunningen voor de oude kanaalkruisingen juridisch aanvechtbaar zijn. Het advies van de commissie bevestigde tevens het recht van de watermaatschappij de nieuwe waterleidingen op tenminste twee gescheiden plaatsen het nieuwe kanaal te doen kruisen, dit verhoogt de veiligheid van het watertransportsysteem bij eventuele scheepsongevallen. Landelijk wordt erkend dat het transport van het essentiële drinkwater een dergelijke hoge veiligheid vereist. Bovendien werd het kanaal voorheen op drie afzonderlijke plaatsen gekruist. De effectiviteit van de spreiding wordt verhoogd door de zinkers minstens twee scheepslengten uit elkaar te situeren. In de gegeven situatie komt dit neer op de



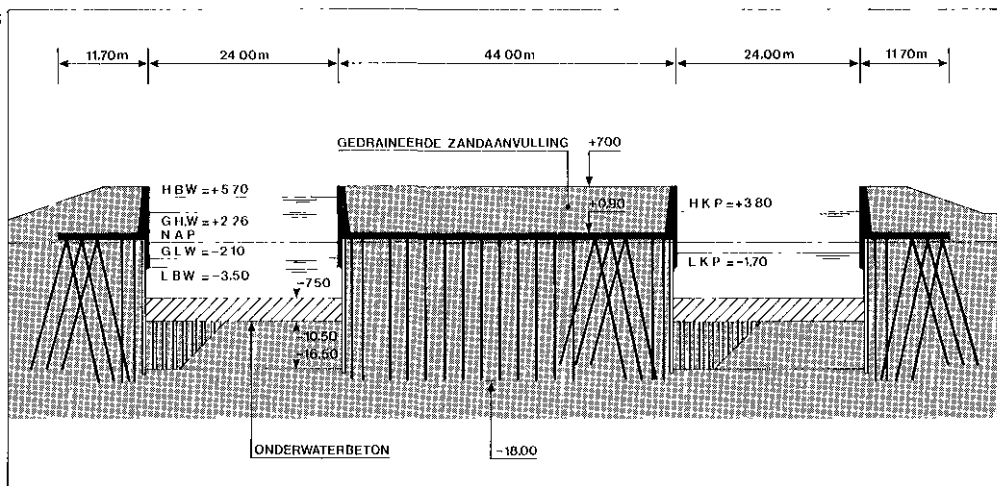


Fig. 2 Principe van de retourbemaling

Fig. 3 Doorsnede van een sluiskolk

Vorbereidingen voor het inslepen van zinkers

volgende oplossing: de noordelijke zinker komt direct ten zuiden – op grondmechanisch veilige afstand – van de Vlaketunnel, de zuidelijke zinker even ten noorden van de nieuw te bouwen geleidewerken voor het nieuwe sluisencomplex. Een kruising ter plaatse van de geleidewerken is wel overwogen, maar wegens de kwetsbaarheid van de zinkers bij reparaties aan de geleidewerken afgewezen.

Tussen de nieuwe zinkers en de bestaande leidingen dienen verbindende landleidingen het systeem te completeren. In overleg met de Planologische Werk Commissie is een tracé gekozen dat de lengte van de nieuwe landleidingen zoveel mogelijk beperkt. Ten oosten van het nieuwe kanaal leidt dit tot een leidingenstrook direct naast de nieuwe kanaaldijken. Aan de westzijde werd gekozen

voor een tracé zo ver mogelijk van de bebouwing van Hansweert-West en van Schore. Na deze tracé-bepaling heeft de Rijkswaterstaat het zakelijk recht gevestigd voor de nieuwe landleidingen.

De technische uitwerking van de plannen voor de aanpassing van de transportleidingen tot een leidingen-bestek werd in 1984 voltooid. Na instemming van de leidingbeheerders, de Rijkswaterstaat en de Provincie Zeeland, in haar kwaliteit van toezichthouder op de waterkeringen, werd het bestek aangeboden aan een aantal geselecteerde deskundige aannemers. Het bestek werd gegund aan de laagste inschrijver, de Nederlandse Ballastmaatschappij. Begin 1985 werd met de werkzaamheden begonnen.

Voor het inbrengen van de zinkers werd gekozen voor de methode van inslepen. Het alternatief, afzinken met behulp van bokken, werd afgewezen omdat ten zuiden van de Vlaketunnel geen langs het water gelegen bouwplaats aanwezig was voor de opbouw van de zinkers. Een bouwplaats ten noorden van de Vlakebruggen zou de afmetingen van de bokken wegens de passage van de Vlakebruggen sterk beperken. Bij het kruisen van de eerste waterkeringen, de nieuwe kanaaldijken, moeten de leidingen in de dijken zo hoog liggen dat het bovenste punt altijd boven de maximaal te verwachten waterstand blijft. De Oosterschelde achter de stormvloedkering kent een maximale vloedstand van N.A.P. +3,50 m.

In de kanaalbodem dient boven de zinkers minimaal 3 m gronddekking te zijn, zodat scheepsankers geen beschadigingen aan de leidingen kunnen veroorzaken. De bovenkant van de zinkers in het kanaal ligt dan ook op

een diepte van tenminste N.A.P. – 10,50 m. Als gevolg van een en ander moesten er in de zinkers twee knikpunten gemaakt worden. In overleg met de aannemer werd besloten om de opgaande einden aan weerszijden van de knikpunten een lengte te geven van 30 m. Bij de gekozen taludhellingen van de dijken betekende dit dat de uiteinden van de in te slepen zinkerdelen na het inslepen boven het huidige kanaalpeil zouden uitsteken. De dijk-kruisende delen konden zodoende zonder dure bouwputten worden aangebracht. In het voorjaar van 1985 werden de eerste zinkers ingesleept. Daartoe was door de aannemer van het grondwerkenbestek een sleuf aangebracht.

Nadat alle zinkers in de zuidelijke sleuf waren ingesleept, werd hij aangevuld met grond uit de noordelijke sleuf. Om beschadiging van de coating van de zinkers door stenen te voorkomen, werd deze grond geleid door een sproei-pontoon waarop een stenenvanger was gemonteerd.

Medio 1985 werd de laatste zinker ingesleept. Aan de 20 km verbindende landleidingen werd inmiddels hard doorgewerkt, zodat eind 1985 alle nieuwe leidingen operationeel waren, en de oude leidingen buiten gebruik gesteld konden worden. De hoofdtransportleiding voor gas kon zo worden omgeschakeld dat het transport van gas geen seconde onderbroken werd.

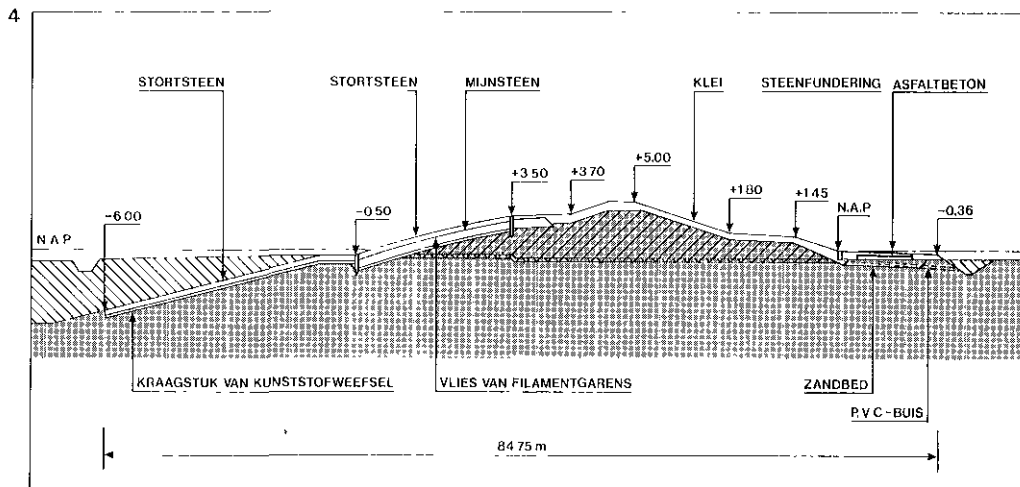
De uitvoering van dit werk is in opdracht van de Rijkswaterstaat vastgelegd in de film-documentaire 'Slagaders in Zeeland'. De bestaande 150 kV-hoogspanningslijn kruiste het oude kanaal via twee masten. De verbeteringswerken aan het kanaal vereisten een grotere breedte van de kanaalkruising, en

– in verband met het Oosterscheldegetij in de toekomst – een grotere hoogte.

Met twee nieuwe masten van bijna 100 m hoogte kon de nieuwe kruising gerealiseerd worden. Omdat deze masten beneden de kritieke grens van 100 m bleven, was geen obstakel-verlichting vereist. Aan weerszijden van deze twee masten voor de kanaalkruising moesten verder nog een aantal masten worden verplaatst en vervangen om in de nieuwe toestand een goede verdeling van de kabelvelden te verkrijgen.

Door tijdige aanmelding van deze aanpassingswerken in het landelijke overleg voor het gebruik van de elektriciteits-koppelinetten bleek het mogelijk de lijn ten behoeve van de werkzaamheden tijdelijk buiten gebruik te stellen. Zodoende kon de aangepaste 150 kV-lijn in het oorspronkelijke tracé gehandhaafd

Fig 4 Doorsnede van de nieuwe kanaaldijk



blijven. De aanpassing werd uitgevoerd door de P Z E.M.

Grondwerken

De leidingenzinkers waarvan hierboven sprake was moesten natuurlijk meteen hun definitieve afmetingen en ligging krijgen. Ter plaatse van de twee leidingenzinkers werd het kanaal dan ook al voortijdig verbreed en verdiept, voorafgaand aan de doorgaande verbeteringswerken.

De zuidelijk leidingenzinker bleek het kanaal te kruisen op de plaats van de deurenbergplaats voor de sluisdeuren van de bestaande Midden- en Westsluizen van Hansweert en Wemeldinge. Het was echter van groter belang de leidingenzinker aan te brengen dan het nog enige jaren kunnen handhaven van deze deurenbergplaats. Om in de resterende periode in een deurenbergplaats te kunnen voorzien werden de eerste 210 m van de nieuw te bouwen loswal Hansweert al aangelegd. Dit gedeelte van de loswal – in de wandeling Kaai 85 genoemd – is qua hoogte, ligging en aanlegdiepte afgestemd op het in de toekomst op het kanaal te verwachten getij. Na de ingebruikneming van deze nieuwe loswal kon de oorspronkelijke loswal Schore ingericht worden tot deurenbergplaats, en de oude loswal Vlakte buiten gebruik gesteld. Deze twee loswallen waren overigens al eerder onderwerp van discussie geweest. De toegang van de langs het kanaal gelegen wegen naar deze loswallen werd gevormd door met roldeuren afsluitbare openingen in de kanaaldijken. De deugdelijkheid van deze coupures in de tweede waterkering achter de onbetrouwbare sluizen Hansweert gaf gereede aanleiding tot twijfel. Om deze twijfel weg te nemen werd de coupure naar de loswal Schore vervangen door een nieuwe toegangsweg over de dijk, en werd de coupuredeur in de toegang naar de loswal Vlakte definitief gesloten.

De zinkersleuven voor de leidingenzinkers werden in het verbrede en verdiepte kanaalgedeelte uitgebaggerd, en naderhand weer aangevuld. Het diepste punt ervan lag vanwege de minimaal toelaatbare kromtestraal in de leidingen, nog eens 8 m lager dan de nieuwe kanaalbodem op N.A.P. – 7,50 m. Uit ingewonnen grondmechanisch advies inzake de stabilisering van de nieuw te bouwen kanaaldijken bleek dat het grondlichaam van de nieuwe oostelijke kanaaldijk minimaal 2 jaar nodig zou hebben voor zetting en klink. Vandaar dat de ophoging van deze dijk al werd opgenomen in het eerste bestek.

De eisen voor de stabilisering van de dijken waren ter plaatse van de leidingenzinkers nog hoger, en dienden vóór de aanleg van de leidingenzinkers geëffectueerd te zijn. Dit werd merendeels bereikt door het aanbrengen van voorbelastingen, en waar dit door de aanwezigheid van de kanaalweg niet mogelijk was door grondverbetering.

De aanleg van de nieuwe kanaaldijk kon niet aaneengesloten verlopen op een aantal plaatsen lagen nog de oorspronkelijke transportleidingen voor gas, water en industrie. Het opspuiten van de stukken nieuwe dijk was lastig, te meer daar de maximale hoogte van de spuitlagen beperkt was tot 2 m. Pas na het in gebruik nemen van de nieuwe leidingen konden de oude worden opgeruimd en de resterende gedeelten kanaaldijk aangelegd. Bij de grondwerken – bodemspecie weghalen uit het kanaalprofiel en bodemspecie aanvoeren voor de aanleg van de kanaaldijken – is zoveel mogelijk werk met werk gemaakt. Bodemspecie die vrijkwam uit de ontgravingen werd waar mogelijk onmiddellijk gebruikt voor de ophogingen. Aan dit streven werden beperkingen opgelegd door de fasering van de werkonderdelen en door de bruikbaarheid van de bodemspecie, volgens de grondmechanische adviezen.

Ruim 800 000 m³ specie was in totaal niet bruikbaar. De berging van deze specie heeft vanaf het begin de aandacht gehad. Na overleg met de beheerders van de Westerschelde en de Westerscheldedijken, en rekening houdend met morfologische adviezen, werd in het bestek gekozen voor speciebergings in de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul. Er diende geloosd te worden op twee plaatsen de ene plek tijdens de ebstroom, de andere tijdens de vloedstroom. Op voorstel van de aannemer en met instemming van de Westerscheldebeheerders werd als alternatieve stortplaats de Kapellebank aangewezen. De afstand tussen de specie-ontgraving en de specie-bergplaats was dan korter en derhalve goedkoper. De voorwaarde dat slechts bij ebstroom specie geloosd mocht worden, wat een verlaging betekende van het baggertempo, werd aanvaard.

Bij de Kapellebank lag, evenals in de Schaar van Waarde en de Zimmermangeul, een plaatselijke diepe geul in de Westerschelde, die een bedreiging kon vormen voor de vooroever van de Westerscheldedijk. Door deze geul te verondiepen met de onbruikbare specie van de kanaalwerken kon ter plaatse de aanleg van een oeverbescherming worden uitgesteld. Uiteraard was onderzocht of de bodemspecie geen chemische verontreinigin-

gen bevatte.

Niet alle specie blijft daar liggen waar hij gestort wordt. Vooral de lichtere delen veen en slib worden meegenomen door de vloed- en ebstromen. Bodempeilingen vóór, tijdens en na de speciebergings hebben aangetoond dat de specie slechts over een beperkt gebied verspreid is. Men meent na dit succes dat ook bij volgende grondwerken volgens het beschreven procédé kan worden gewerkt, met gunstig neven-resultaat

De voor de kanaaldijken benodigde hoeveelheid zand werd uit de Westerschelde betrokken. De balans tussen speciebergings en zandwinning in de Westerschelde is ongeveer in evenwicht. De kombergings van de Westerschelde wordt door de kanaalwerken dan ook niet aangetast

Het grondwerkenbestek werd in augustus 1986 voor de eerste keer opgeleverd, daarna volgde nog een onderhoudstermijn van een half jaar

Hansweert

In het begin van 1986 rees het vermoeden dat de onderloopseheid van de sluisen in Hansweert toenam: men nam waar dat het kanaalpeil onder invloed kwam van het getij op de Westerschelde. Na een eerste inspectie werden enkele grindbestortingen uitgevoerd, maar het euvel verdween slechts voor korte tijd. Een uitgebreide inspectie bracht aan het licht dat met name de lekkage van de West- en de Middensluis alleen kon worden verholpen door een grondige en kostbare reconstructie van de sluishoofden.

Omdat deze sluisen nog maar tot voorjaar 1988 dienst moesten doen, voornamelijk als reserve- en overloopsluis voor de bestaande Oostsluis, werd zo'n dure maatregel afgewezen. Na rijp beraad werd besloten de Midden- en Westsluis buiten gebruik te stellen en een tijdelijke dam aan te leggen bij wijze van hoogwaterkering. Na de ingebruikstelling van het nieuwe sluisencomplex wordt in 1988 ten zuiden van het gehele huidige sluisencomplex een eerste waterkering aangelegd

Voor de scheepvaart op het Kanaal door

Zuid-Beveland betekent dit dat nu slechts één sluis beschikbaar is, de huidige Oostsluis. Deze sluis blinkt niet uit door deugdelijkheid en betrouwbaarheid. Zowel een voorziene stremming wegens onderhoud als een niet-voorziene stremming wegens een plotseling gebrek aan het buitenhoofd hebben dit in het najaar van 1986 aangetoond.

Teneinde het ongemak voor de scheepvaart zoveel mogelijk te beperken, zal de ingebruikstelling van de nieuwe Oostsluis zoveel mogelijk worden versneld. Zonder grote tegenslagen, zoals bijvoorbeeld een lange vorstperiode, moet het mogelijk zijn om in november 1987 de eerste schepen door de nieuwe Oostsluis te schutten

Omdat nieuwe installaties kinderziekten kunnen hebben, zeker wanneer de bouw heeft plaatsgevonden in een hoog tempo, is tevens besloten om de eerder geplande fasering van de Oost- en de Westsluis zoveel mogelijk op te heffen. Uitgaande van de huidige stand van het werk moet het mogelijk zijn om de nieuwe Westsluis in het voorjaar van 1988 in werking te stellen. Deze sluis zal dan voorlopig fungeren als reserve-sluis. De geplande fasering in de bouw van de geleidewerken blijft gehandhaafd. Uit een oogpunt van capaciteit is dat geen bezwaar, omdat de sluisen te Wemeldinge maatgevend zijn. Pas na 1993, wanneer deze sluisen zijn opgeheven, kan de volledige capaciteit van de nieuwe sluisen bij Hansweert worden benut. Het jaar 1987 zal veel activiteit te zien geven rond de sluisen bij Hansweert. Het betonwerk voor de beide nieuwe sluisen komt in september gereed. In het voorjaar begint een zuiger met grote capaciteit aan het verbreden en verdiepen van de voorhavens binnen en buiten. Minder opvallend, maar essentieel en complex, is de aanleg van leidingen en installaties voor de bediening van de nieuwe sluisen. Elders in het land worden in constructiewerkplaatsen de roldeuren en bewegingswerken gefabriceerd. In goed samenspel moeten directie, aannemers en leveranciers hun inspanning richten op ingebruikstelling van de nieuwe Oostsluis in november 1987

Modellen van ecosystemen

Niet zo erg lang geleden werd over wiskundige modellen van aquatische ecosystemen nog slechts gesproken in vage termen (Bericht 71, februari 1975). Men was in het algemeen overtuigd van de mogelijkheid met dit soort modellen de resultaten van milieukundig onderzoek kwantitatief te integreren.

Analyses met modellen zouden vervolgens de belangrijkste leemten in onze kennis openbaren, zodat gericht nader onderzoek zou kunnen worden begonnen. Bovendien zouden geleidelijk modellen ontstaan waarmee beleidskeuzen onderbouwd zouden kunnen worden, omdat ze de ontwikkeling van een watersysteem als gevolg van een ingreep zouden kunnen voorspellen. Concrete modellen bestonden echter nog niet.

Inmiddels is dit wel het geval. Het lijkt dat de destijds veronderstelde mogelijkheden in belangrijke mate gerealiseerd kunnen worden. Dit is mede te danken aan het feit dat ten aanzien van zowel de ontwikkeling als de toepassing van ecosysteemmodellen een succesvolle aanpak is ontwikkeld.



1

	CONTINU	DOORSPOELEN IN m ³ /sec.				
		0	90	90	45	22.5
MILIEU						
• CHLORIDE (<600 mg/l)		○	○	○	○	○
• NUTRIENTEN (BENADERING IMP-NORM)		○	●	●	●	○
• TOXISCHE STOFFEN		○	●●	●	●	○
LANDBOUW						
• CHLORIDE (<500 mg/l)		○	○	○	○	○
RECREATIE						
• SCHEEPVAART						
• BRABANTSE RIVIEREN		○	●	●	●	○
• ZOOMMEER		○	●	●	●	○
EFFECTEN OP ANDERE WATERGEBIEDEN						
• OOSTERSCHDELDE		○	●	●	●	○
• WESTERSCHDELDE		○	●	●	○/○	○

* VOOR- EN NADELEN VOOR DE RECREATIE ZIJN BESCHOUWD ALS AFGELEIDEN VAN DE WATERKWALITEIT

○ ○ VOLDOET RIJN AAN DE NORM, MEEST GUNSTIG ALTERNATIEF
 ○ VOLDOET AAN DE NORM, GUNSTIG ALTERNATIEF
 ○ NOCH GUNSTIG, NOCH ONGUNSTIG
 ● VOLDOET NIET AAN DE NORM, ONGUNSTIG ALTERNATIEF
 ●● VOLDOET ZEKER NIET AAN DE NORM, ZEER ONGUNSTIG ALTERNATIEF

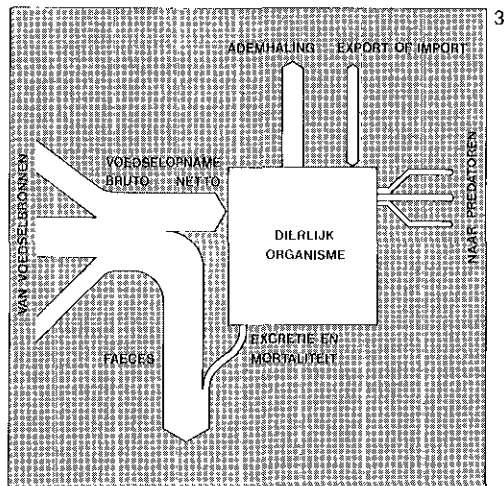
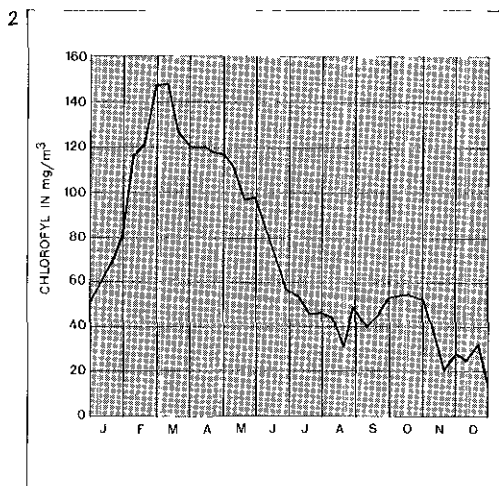


Fig 1 Resultaat van BLOOM/CHARON als onderdeel van de beleidsanalyse voor het Zoommeer

Fig 2 Verloop van het chlorofylgehalte volgens modelberekening

Fig 3 Voedselbudget van een dierlijk organisme



Van beide aspecten wordt in het vervolg van dit artikel de aanpak geschetst, geïllustreerd aan de hand van concrete modelresultaten. Als voorbeeld van modeltoepassing nemen we de berekeningen met het eutrofiëringsmodel BLOOM/CHARON ten behoeve van de beleidsanalyse voor het waterbeheer in het Zoommeer. Voor wat betreft de modelontwikkeling beschouwen we de inspanningen op dat gebied met betrekking tot het voedselweb in de Oosterschelde.

De bespiegelingen uit 1975 bevatten ook denkbeelden die inmiddels achterhaald zijn. Men dacht toen bijvoorbeeld nog aan een ontwikkeling in de richting van een universeel ecologisch model, een soort wiskundige kopie van de werkelijkheid. Nu geloven we in dat meer in. Afhankelijk van de problematiek

wordt een watersysteem thans doelgericht geschematiseerd, en minder essentiële aspecten worden bewust verwaarloosd. Het integrale watersysteem is uitgangspunt; er is geen sprake van beperking a priori tot bijvoorbeeld waterlopkundige, chemische of ecologische processen. Toch komt men al gauw tot een zogenaamd ecologisch model, omdat het spraakgebruik wil dat men deze term hanteert wanneer het model tenminste één ecologisch proces in wiskundige formuleringen vat. Een ecologisch proces is een relatie van een plantaardig of dierlijk organisme met zijn fysische omgeving, of een relatie binnen de levensgemeenschap.

Modeltoepassing

Het is zo langzamerhand gangbaar, dat *politieke besluitvorming omtrent het beheer* van watersystemen wordt voorbereid door het uitvoeren van een beleidsanalyse. Men verkrijgt dan een tabel waarin alternatieve beheersscenario's worden vergeleken aan de hand van de verschillende aspecten die de gebruiksfuncties van het systeem representeren. Figuur 1 toont een voorbeeld uit de nota 'Het waterbeheer in het Zoommeer na 1987'. Beleidsanalyse gaat uitstekend samen met modeltoepassingen. Immers, de scores in de tabel komen tot stand op basis van wetenschappelijke kennis. Simulatiemodellen zijn bruikbare middelen om die kennis te verschaffen, omdat de meeste alternatieven zich niet in de praktijk hebben voorgedaan.

In het Zoommeer zijn naast scheepvaart, landbouwwatervoorziening en ontvangst van afstromend water de gebruiksfuncties natuur/landschap en recreatie onderscheiden. Beide laatste functies zijn gediend met een goede waterkwaliteit. De waterkwaliteit kan in sterke mate beïnvloed worden door de belasting met nutriënten. Dit zijn voornamelijk stikstof-, fosfor- en siliciumverbindingen die kunnen dienen als voedingsstoffen voor algen. Overmatige aanwezigheid van deze stoffen wordt eutrofiëring genoemd en gezien als een van de grootste problemen in zoet water. Ze veroorzaakt namelijk vaak een excessieve ontwikkeling van algen, gevolgd door zuurstofproblemen, vissterfte en stank.

In het Zoommeer, dat ontstaat na de voltooiing van de compartimenteringsdammen, is de nutriëntenbelasting evenredig met de mate van doorspoeling van het meer, die geregeld kan worden met behulp van de Volkerak-inlaatsluis en de Bathse Spuisluis. Bij de selectie van beheersalternatieven ging men er in de beleidsanalyse onder andere van

uit dat méér doorspoelen zou kunnen leiden tot een slechtere waterkwaliteit, maar een positief effect zou kunnen hebben op het zoutgehalte, en daarmee op de landbouwwatervoorziening.

De Deltadienst heeft in samenwerking met het Waterlopkundig Laboratorium een model ontwikkeld genaamd BLOOM/CHARON, dat gericht is op de bekende problematiek van de eutrofiëring van de Nederlandse binnenwateren. Aanleiding was de wetenschap dat ten gevolge van de werken in het Deltagebied zoete bekkens zouden ontstaan, zoals nu het Zoommeer, die na ontzilting met het eutrofiëringsprobleem te kampen zouden krijgen. Het biologische gedeelte van het model – BLOOM – maakt gebruik van een wiskundige optimaliseringstechniek, lineaire programmering, om de algenbiomassa te berekenen bij de heersende *abiotische omstandigheden*.

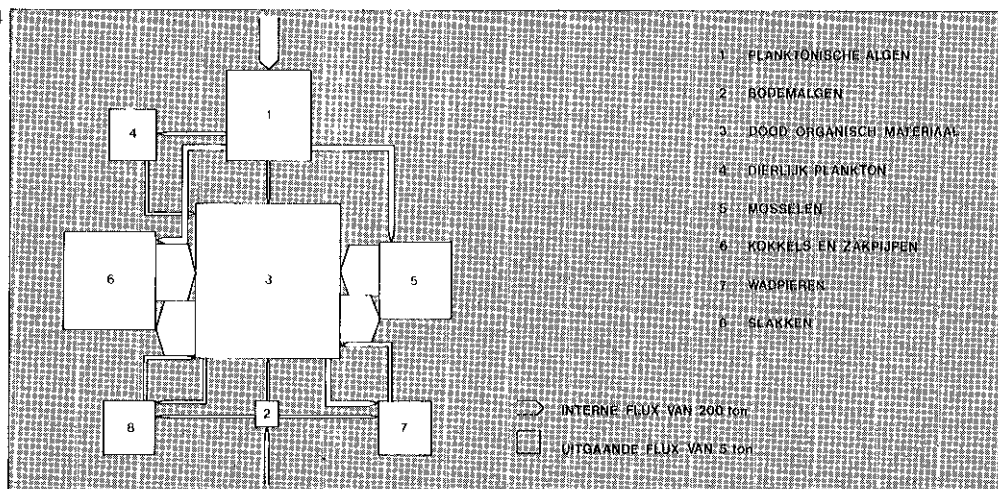
Het aantal algen neemt in principe exponentieel toe, maar dit proces kan worden geremd door beperkingen in de nutriënten of in de beschikbare lichtenergie. Het chemische gedeelte – CHARON – berekent de chemische samenstelling van het systeem als resultante van belastingen, interne processen en afvoer. De nutriënten zijn hierbij inbegrepen.

Met behulp van het simulatiemodel BLOOM/CHARON zijn voor de beleidsanalyse voor het Zoommeer berekeningen uitgevoerd van de verschillende doorspoelalternatieven. Een van de modelresultaten wordt getoond in figuur 2. De variabele chlorofyl, die in de figuur is uitgezet, is een maat voor de algenbiomassa. We zien dat er zelfs bij niet-doorspoelen al sprake is van een grote algenbiomassa. Verhoging van het doorspoeldebiet leidt dan ook nauwelijks tot hogere chlorofylconcentraties. De norm voor fosfor wordt wel meer overschreden, naarmate meer wordt doorgespoeld. Vandaar de getoonde score voor het aspect nutriënten in de tabel van de beleidsanalyse (figuur 1).

Ter geruststelling: de berekeningen voor het nog niet bestaande Zoommeer waren niet de eerste die met het model werden uitgevoerd. Eerder is het gebruikt voor bestaande systemen, zoals het IJsselmeer, waarbij het mogelijk was de modelberekeningen te toetsen aan metingen.

Modelontwikkeling

Met de aanleg van de stormvloedkering wordt onder andere beoogd het zoute getijdemilieu en de scheldiercultures van de Oosterschelde te behouden. Toch zullen de werken ook gevolgen hebben voor het milieu: de stroom-



snelheden nemen af, evenals de uitwisseling met de Noordzee; ook de belastingssituatie met nutriënten wijzigt zich. Naar deze effecten loopt een aquatisch ecologisch onderzoek in de Oosterschelde, het project BALANS (Bericht 95, februari 1981). Dit project richt zich vooral op schatting van de gevolgen voor de basis van de voedselketen. Daarvoor is niet alleen kennis nodig van de structuur – hoeveel van wat zit waar? – maar vooral van het functioneren van het systeem. Het project verkeert nu in de eindfase.

Er zijn vier belangrijke soorten processen. Allereerst de primaire productie: planktonische algen, bodemalgen en hogere waterplanten maken organische stof onder invloed van zonlicht en met behulp van bouwstoffen. Ten tweede de consumptie: het eten en gegeten worden in een ecosysteem, van het plantaardig plankton leven bijvoorbeeld direct zowel microscopisch kleine diertjes als mosselen. Ten derde de mineralisatie: bacteriën breken gestorven organismen weer af tot bouwstoffen. Tenslotte gaat het om transport van materiaal de Oosterschelde in of uit.

In het project wordt deze kennis vergaard en kwantitatief geïntegreerd in een simulatiemodel. Dit heeft tot doel de toekomstige primaire productie te berekenen en het voor consumptie beschikbare deel te schatten. Het laatste bepaalt grofweg de draagkracht van het systeem voor wilde en gecultiveerde schelpdieren in de Oosterschelde.

De eerste fase van het modelonderzoek is al afgerond. Men heeft in die fase een optimale schatting gemaakt van de omvang en samenhang van de jaargemiddelde stofstromen van het ecologisch systeem van de Oosterschelde, op basis van actuele kennis. Dit gebeurde om

twee redenen. Ten eerste om tegenstrijdigheden en leemten op te sporen, zodat die nog binnen het project zouden kunnen worden aangepakt. Ten tweede geldt een dergelijk jaargemiddeldenmodel als een middel om het relatieve belang van biomassa's en stofstromen te schatten, zodat ten behoeve van het simulatiemodel een gerichte schematisering mogelijk wordt.

Ten behoeve van het jaargemiddeldenmodel zijn in de Oosterschelde 22 zogenaamde ecogroepen onderscheiden. Voor elk van die ecogroepen is een voedselbudget opgesteld.

Nr. Ecogroep

- 1 planktonische algen
- 2 bodemalgen
- 3 dood organisch materiaal
- 4 dierlijk plankton
- 5 mosselen
- 6 kokkels
- 7 zakpijpen
- 8 wadpieren e.d. (intergetijde-gebied)
- 9 idem (diepere delen)
- 10 garnalen, zeesterren en krabben (intergetijde-gebied)
- 11 idem (diepere delen)
- 12 prederende wormen (intergetijde-gebied)
- 13 idem (diepere delen)
- 14 slakken e.d. (intergetijde-gebied)
- 15 idem (diepere delen)
- 16 plankton-etende vis
- 17 vissen die bodemorganismen eten (intergetijde-gebied)
- 18 idem (diepere delen)
- 19 vis-etende vis
- 20 vis-etende vogels
- 21 planten-etende vogels
- 22 vogels die bodemorganismen eten

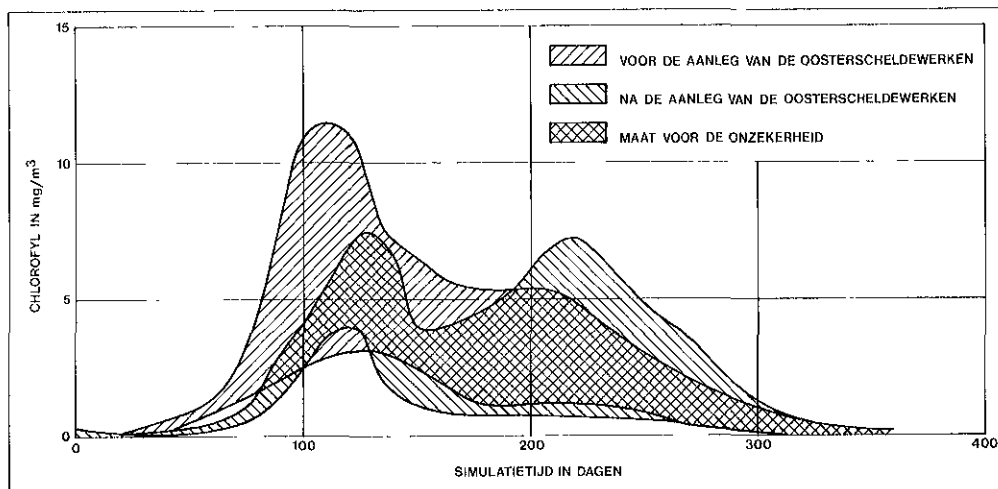


Fig. 4. De belangrijkste stofstromen in het Oosterscheldestelsysteem

Fig. 5. Veranderingen in het chlorofylgehalte in het oostelijk deel van de Oosterschelde

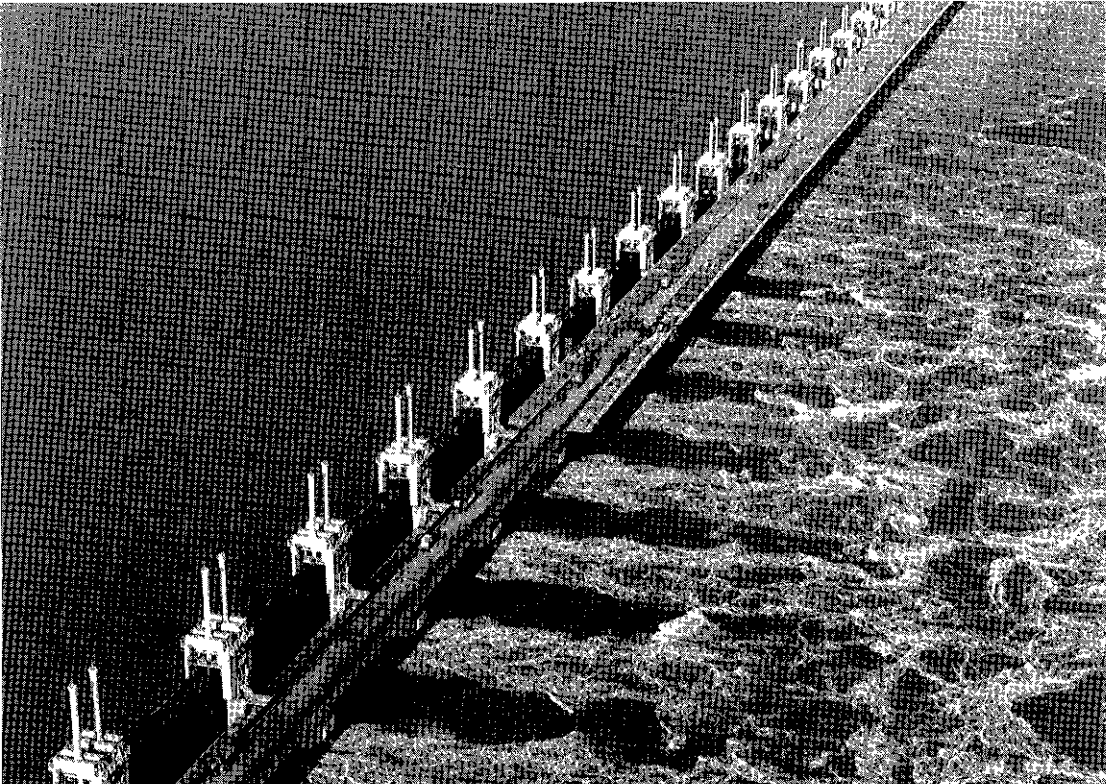
Ter illustratie zijn in figuur 3 de stofstromen voor een dierlijk organisme weergegeven. Op basis van actuele kennis is voor iedere ecogroep uitgerekend hoe groot de biomassa en hoe groot elke in- en uitgaande stroom is. Op jaargemiddelde basis mogen we stellen dat de budgetten van elke groep afzonderlijk en dus ook het budget van het hele systeem in evenwicht zijn, dat wil zeggen dat de binnenvallende stromen samen gelijk zijn aan de uitgaande stromen. Desalniettemin schijnen berekeningen met de gevonden stofstromen deze stelling te weerspreken. Dit is niet zo verwonderlijk. De stromen zijn immers gebaseerd op metingen van tientallen verschillende onderzoekers onder uiteenlopende omstandigheden, het is vrijwel uitgesloten dat al deze meetwaarden juist samen zouden leiden tot budgetten in evenwicht. We kunnen

dus beter de vraag stellen of we evenwichtige budgetten kunnen vinden binnen de onzekerheidsmarges van de metingen. Een complicerende factor is uiteraard de afhankelijkheid van de budgetten onderling. Veelal is een uitgaande stroom bij een bepaalde ecogroep identiek aan een ingaande stroom bij een andere ecogroep: men eet elkaar op. Met behulp van wiskundige technieken hebben we voor het ecosysteem in de Oosterschelde de beste schatting voor de stofstromen gevonden door binnen de voorwaarde van evenwichtige budgetten zo dicht mogelijk bij de oorspronkelijke meetwaarden te blijven.

Een samenvattend schema van alleen de belangrijkste stofstromen in het Oosterscheldestelsysteem is weergegeven in figuur 4.

Het belangrijkste resultaat van de exercitie is dat het inderdaad mogelijk bleek binnen de onzekerheidsmarges die de onderzoekers aangaven, een evenwichtig voedselweb te vinden. Maximaal 75% van de toegestane bandbreedte werd hiervoor gebruikt. Dit betekent dat er geen grove leemten zijn en geen absurde meetresultaten. Een onderliggende reden is natuurlijk ook de ruimte die de onzekerheidsmarges lieten.

Door de nu berekende voedselstromen en biomassa's te vergelijken met vroegere veel minder goed onderbouwde schattingen (Bericht 95, februari 1981) krijgen we een indruk van het toegenomen inzicht dat de afgelopen jaren is verworven. De verschillen zijn niet mis: de biomassa van bodemgebonden algen blijkt 75% lager te zijn dan vroeger werd gedacht; de hoeveelheid dood organisch materiaal, dat een rol speelt in het voedselweb, blijkt maar 10% te zijn van de vroegere



schatting; binnen de groep filtrerende schelpdieren is een duidelijke verschuiving naar meer mosselen en minder kokkels, de bruto primaire productie wordt nu duidelijk hoger geschat, en wel op 350 ton koolstof per dag; de import van organisch koolstof uit de Noordzee blijkt marginaal, ongeveer 10 ton per dag, terwijl vroeger 370 ton werd aangenomen; tenslotte wordt de mineralisatie van afgestorven materiaal nu hoger ingeschat. Met name uit de laatste drie punten volgt dat het Oosterscheldesysteem niet afhankelijk is van import van organische stof uit de Noordzee; het is een autarkisch systeem. Opvallend is het grote stoftransport uit de waterfase via de filtrerende schelpdieren naar de bodem. Dat de Oosterschelde vrijwel een gesloten systeem blijkt te zijn, betekent natuurlijk niet dat de stormvloedkering geen enkele invloed heeft, ofschoon er dus geen sprake is van gedwongen importbeperking. Er veranderen zeker processen in het estuarium. Zo zal de helderheid groter worden omdat er minder slib opwervelt als gevolg van de lagere stroomsnelheden; dit kan leiden tot een hogere primaire productie. Daartegenover staat echter de lagere nutriëntenbelasting als gevolg van de compartimenteringsdammen. Zoals gezegd worden deze interne processen

De stormvloedkering kan de uitwisseling reguleren tussen Noordzee en Oosterschelde

op basis van het jaargemiddeldenmodel geschematiseerd tot een simulatiemodel dat van dag tot dag het systeem kan doorrekenen. Dit is de tweede fase van het modelonderzoek. Met behulp van dat model zullen de gevolgen van de kering op het ecosysteem kunnen worden ingeschat. Maar ook is de potentiële draagkracht voor de schelpdieren naar verwachting te berekenen, en kan het model een operationeel middel zijn bij toekomstige beleidskeuzen.

De resultaten zullen in 1987 beschikbaar komen. Als voorproefje toont figuur 5 een tentatief beeld van het chlorofylgehalte in het oostelijk deel van de Oosterschelde, gebaseerd op onvolledige gegevens. Voor een gemiddeld jaar is de oorspronkelijke situatie vergeleken met de toekomstige. In de figuur is te zien dat het omgaan met onzekerheden een belangrijk facet van het modelleren van ecosystemen is. Zoals bij het jaargemiddeldenmodel is getoond, hoeven onzekerheden echter een zinvol resultaat niet in de weg te staan.

Samenvattingen

sterkte verbeterd. Elke drie jaar zal er opnieuw een inspectie plaatsvinden.

Waterloopkundig onderzoek voor het ontwerp van de zandsluitingen van de compartimenteringsdammen

Nu de compartimenteringsdammen worden gesloten na de voltooiing van de Oosterschelde-kering, kan die sluiting geschieden met zand.

De modelstudies voor deze sluitingen zijn voor het eerst in Nederland geheel en al uitgevoerd op computers. Vooral de stroomsnelheden zijn van belang voor de berekening van de zandverliezen die gaan optreden. De voorspelling van deze randvoorwaarde en van de kans dat die in bepaalde mate zou afwijken van die voorspelling, konden door de hoge rekensnelheid van de computer op geschikte wijze voor het ontwerp worden gebruikt. Als absolute bovenwaarde van de toelaatbare snelheid werd 2 m/s vastgesteld. Dit vereist de tijdelijke sluiting van de stormvloedkering, anders zouden de snelheden in de sluitgaten tenslotte kunnen oplopen tot 4 à 5 m. De gebruikte modellen IMPLIC en WAQUA rekenden tenslotte ook voor, in welke fasen de beide sluitingen moesten worden uitgevoerd, en welke vorm het laatste sluitgat moest hebben.

Zout/zoet-studies voor de sluiting van de compartimenteringsdammen

Voor de sluiting van de compartimenteringsdammen achterin de Oosterschelde moet de kering in de mond tijdelijk deels of helemaal worden gesloten. Het getij neemt dan af. Vooraf moest in modellen worden bestudeerd in hoeverre dat de verdeling van de zoutgehalten achterin het bekken zou beïnvloeden, waar ook de sluizen in het Volkerak een bron zijn van zoet water.

Met name vreest men de vorming van horizontale dichtheidslagen, die de uitwisseling van zuurstof blokkeren.

De problemen bleken het ernstigst te zullen worden bij de sluiting van het Krammer in 1987, zeker bij een grote zoetwaterafvoer. Besloten is dan ook om maatregelen te nemen die de zoetwateraanvoer via de Volkeraksluizen dan tijdelijk kunnen beperken.

De sluiting van het Tholense Gat zal gebruikt worden om de problematiek nader te bestuderen.

Transport en plaatsing van de dorpelbalken

In 1985 en 1986 werden in de stormvloedkering in de Oosterschelde 62 dorpelbalken geplaatst. Zij vormen het onderkozijn van de schuifopeningen en zorgen voor de overgang naar de drempel. Eén zo'n 40 m lange dorpelbalk weegt 2700 ton.

De balken werden gebouwd in een bouwdok op N.A.P. — 15 m, en versleept met de bok 'Taklift 4', die voor dat karwei enigszins moest worden verbouwd. De bok meerde af tegen de ponton 'Macoma'. Daarna werden de balken afgetakeld, met vijzels op hun precieze plaats vastgezet en tenslotte met zand gevuld.

Materiaalproblemen bij de schuiven van de stormvloedkering

Het hoofddraagsysteem van de schuiven voor de Oosterschelde-kering blijkt in een aantal gevallen gebreken te vertonen. Dat komt doordat men bij de fabricage van buizen op een gegeven moment is overgegaan op warm walsen, zonder voldoende te onderzoeken wat dat voor gevolgen had voor de materiaaleigenschappen. De montage van de schuiven was toen al in volle gang.

Aanvankelijk leek het dat alle buizen met een korrelgrootte van minder dan 8,5 zouden moeten worden afgekeurd. Nader onderzoek heeft de omvang van de reparatie sterk kunnen beperken, nadat een internationaal panel van deskundigen daaraan zijn zegen had gegeven. Van de reeds gemonteerde schuiven moesten lastenen worden bijgewerkt, waardoor de initiële defecten werden verwijderd, de Maddoxfactor verlaagd en de vermoelings-

Tijdens de uitvoering van de westelijke Markiezaatskade is een aantal stabiliteitsproblemen opgetreden. In één van de gevallen was dat het gevolg van het gekozen ontwerp. Hierbij werd de ontwerpbelasting al in de bouwfase aangebracht door een tijdelijke extra verhoogte op de constructie. Gelet op de theoretische, maar zeker ook praktische nadelen die tijdens de uitvoering naar voren kwamen, is het ontwerp gewijzigd voortaan werden steunbermen toegepast. Ook op een andere locatie zijn onverwachte instabiliteiten opgetreden. Daarna is een uitgebreid onderzoek ingesteld, waarbij aandacht werd besteed aan de rekenmodellen waarmee de stabiliteit van slappe kleilagen wordt bepaald.

De verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland

Vanaf 1978 worden er voorbereidingen getroffen voor de verbetering en verbreding van het Kanaal door Zuid-Beveland, als onderdeel van de Oosterschelde-werken. In 1983 werd besloten over te gaan tot uitvoering van althans het zuidelijke gedeelte, wegens de slechte toestand en de toenemende onderloopshoud van de sluizen bij Hansweert. De oostelijke sluis van het nieuw te bouwen complex zal het eerste gereed zijn najaar 1987.

Modellen van ecosystemen

Wiskundige modellen kunnen belangrijke analyses maken ten dienste van milieukundig onderzoek, en deels zelfs toekomstige ontwikkelingen voorspellen. Dit wordt aangetoond aan de hand van de resultaten van een eutrofiëringsmodel van het Zoommeer en van een model van het voedselweb in de Oosterschelde.

Het biologisch gedeelte van het eerstgenoemde model berekent de algenbiomassa bij de heersende abiotische omstandigheden. Het chemische deel berekent de chemische samenstelling van het systeem. Met dit model zijn voor het Zoommeer verschillende alternatieven doorgerekend met betrekking tot de doorspoeling. In het project BALANS werd met behulp van het als tweede genoemde model onderzocht hoe in de Oosterschelde de primaire productie verloopt, hoe de voedselketen erin elkaar zit, en wat de invloed is van de uitwisseling met de Noordzee.

Summaries

Transport and placing of the sill beams

In the years 1985 and 1986, 62 sill beams were installed in the storm surge barrier of the Oosterschelde. They form a frame beneath the gate openings and provide the cross members of the sill. One such 40 m long sill beam weighs 2700 tons.

The beams were built in a dry dock at M.S.L. - 15 m, and were transported by the trestle rig 'Taklift 4' which had to be reconverted for this purpose. The trestle rig was moored to the pontoon 'Macoma'. After this the beams were hoisted off and were fixed into their exact location with jack-screws and finally filled with sand.

Material problems with the storm surge barrier gates

The gates' main bearing system for the Oosterschelde barrier appears to exhibit a number of shortcomings. This is because there was a changeover to the hot rolling process with the fabrication of the tubing, without sufficient research beforehand into the possible consequences for the particular nature of the material. The mounting of the gates was then in full progress. Originally it looked as though all metal tubing with a grain size of less than 8.5 would have to be scrapped. Subsequent studies have enabled the repairs to be limited considerably, after an international panel of experts had approved. The joints of the gates already mounted had to be improved so that the initial defects were corrected, the Maddox factor decreased and the metal fatigue resistance improved. An inspection will take place every three years.

Hydraulic research for the design of the compartment dam sandfill closures

As the compartment dams are to be closed after completion of the Oosterschelde barrier, the closure can be done with sand. For the first time in the Netherlands, model studies for these closures have been fully developed on computer. Water current speeds are particularly significant in calculating the sand losses which will occur. The prediction of this marginal condition and the chances of it deviating to a certain degree could

conveniently be used for the design due to the high calculation speed of the computer. The maximum permissible water current speed was fixed at 2 m/s. This requires the temporary closure of the storm surge barrier; otherwise the speeds in the closure gaps could reach 4 to 5 m/s.

The models employed, IMPLIC and WAQUA, also calculated in which phases both closures should be executed as well as the shape of the last closure gap

Salt and fresh water studies prior to closure of the compartment dams

The barrier in the mouth of the estuary must be closed, partially or completely, before the closing of the compartment dams in the rear of the Oosterschelde. As a result the tide then decreases. To assess the effects of these closures it was necessary to make a study beforehand, using models to determine how the river basin would be influenced by the distribution of the salt content of the water in the rear of the compartment, where the Volkerak locks are also a source of fresh water.

In particular the formation of density layers is to be feared, which would block oxygen exchange in the water.

The problems will be most serious with the closure of the Krammer compartment in 1987, particularly if there is a large fresh water effluent. It has therefore been decided to take timely measures which will limit the fresh water supply via the Volkerak.

The closure of the Tholense Gat will be used for further study of the problem.

Soil mechanical aspects of the Western Markiezaatskade

Several stability problems occurred during the execution of the Western Markiezaatskade. In one case it was as a result of the design chosen. Design loads were already being applied during the building phase by means of temporary embankments on the structure. The

design has subsequently been modified because not only the theoretical but also practical disadvantages emerged during construction. From then on support berms were applied. Unexpected instability also occurred at another spot. In this case extensive research was carried out using numerical models to determine the stability of the weak clay layers.

Improvement of the canal through Zuid-Beveland

Since 1978 preparations have been made for the improvement and widening of the canal through Zuid-Beveland. In 1983 it was decided to go ahead with actual execution of at least the southern portion of the canal due to the poor condition and increasing flooding of the locks at Hansweert. The eastern lock of the new complex is to be built first and will be completed by Autumn 1987

Models of ecosystems

Analyses carried out by means of mathematical models can make an important contribution to environmental research, even to the extent of partly predicting future developments. This is demonstrated by the results of an eutrophication model of the Zoommeer and a model of the nutrition chains in the Oosterschelde

The biological part of the first model calculates the algae biomass with the prevailing biological conditions. The chemical component of the model calculates the chemical composition of the system. Different alternatives have been calculated using this model for the Zoommeer which have a bearing on the effluent.

In the BALANS project the second model was used for research on the progress of the primary production in the Oosterschelde, the composition of the nutrition chains and the influence of the interchange with the North Sea.

Vorderingen

in de periode 1 oktober
1986-1 januari 1987

Philipsdam

Het damvak ter plaatse van het voormalige sluitgat Slaak werd in de verslagperiode afgewerkt. Over het gehele zuidelijke gedeelte van de Philipsdam is een hoofdrijbaan aangelegd met een parallelweg; tevens werden een waterleiding en een elektrokabel over de dam getrokken. Een voedingskabel van de PTT werd door het Slaak geleid. Met deze voorzieningen werd het tijdelijk tracé over de hulpbrug overbodig gemaakt: deze brug wordt immers in 1987 afgebroken en opgeruimd. In de Krammersluizen werden alle schuiven en bewegingswerken van de in-, uit- en doorlaatwerken in bedrijf gesteld. Ook de schuiven in de kolkwandriolen konden, na montage van aangepaste contragewichten, in gebruik worden genomen. De elektrische installatie is nu voltooid, inclusief een nood-dieselcentrale, die evenwel nog moet worden beproefd. De regelcomputer en de instrumentatie ten behoeve van de bediening van de sluis zijn aangesloten en beproefd. Men is thans bezig het sluispersoneel in te werken. De brandbestrijdingsinstallatie is ook gereed gekomen. De vervaardiging van een schuimblusvoertuig werd ter hand genomen.

500

Remmingwerken en wachtplaatsen in de voorhavens kwamen gereed. In de riolen werden metingen uitgevoerd naar de weerstand en de werkelijke pompcapaciteit, en ook om de akoestische debietmeters te controleren. Nog juist in de verslagperiode werd begonnen met de fabricage van onderdelen voor de basculebrug. Aan de jachtensluis werd inmiddels ook verder gewerkt. De wandschuiven en bewegingswerken zijn gemonteerd, aangesloten en beproefd. De inrichting van het bedieningsgebouw vorderde, evenals de aanleg van een elektrische installatie. Van het gemaal zijn de schuiven en bewegingswerken aangesloten en getest. Voor twee pompen werden nieuwe pomphuisen gefabriceerd, omdat de eerste waren afgekeurd. De remmingwerken bij de jachtensluis zijn klaar.

Oesterdam

Tussen 6 en 22 oktober werd het Tholense Gat met zand gesloten. In de Eendracht moesten vervolgens bestortingen worden aangebracht, omdat de stroomsnelheden na de sluiting van het Tholense Gat onverwacht hoog opliepen. Ook werden er baggerwerkzaamheden uitgevoerd in de mond van de Eendracht. Inmiddels zijn de werken aan het Tholense Gat geheel voltooid. Op 1 september werden de remmingwerken voor de Bergse-Diepsluis opgeleverd. Eind december was de elektrische installatie gemonteerd.

Bathse Spuikanaal

De doorgraving van de ringdijk bij de Westerschelde van de Bathse Spuisluis werd voortgezet. Op 17 september

was de ringdijk geheel afgegraven, en kon worden begonnen met zinkwerk en bestortingen. Het bestek werd op 19 december opgeleverd.

De elektrische uitrusting en instrumentatie van de sluis was al voltooid op 3 september. Thans is men bezig met de integrale beproefing van de bewegingswerken en de instrumentatie.

Stormvloedkering

Op 6 oktober 1986 werd de stormvloedkering in de Oosterschelde officieel door H.M. de Koningin in gebruik gesteld. Daarna werden nog enkele afbouw- en verder vooral opruimwerkzaamheden uitgevoerd. Zo besteedde men de maanden november en december aan het verwijderen van funderingen, olietanks, septictanks, riole-ring, leidingen en kabels van de door derden afgevoerde kantoren te Burghsluis. De terreinen werden geëgaliseerd en stuifvrij afgedekt met klei. In december werd begonnen met het opruimen van een loswal in de haven Schelphoek, en van de toegangsdam naar die loswal, bestaande uit breuksteen afgedekt met fosforslakken en grindasfaltbeton. Ook in de Sophiahaven werden demobilisatie-werkzaamheden uitgevoerd.

Foto-verantwoording

Rijkswaterstaat 446, 450, 456, 470, 476,
482, 486

Van der Weyde 461

Hofmeester 467, 496

Wil Grond 491

