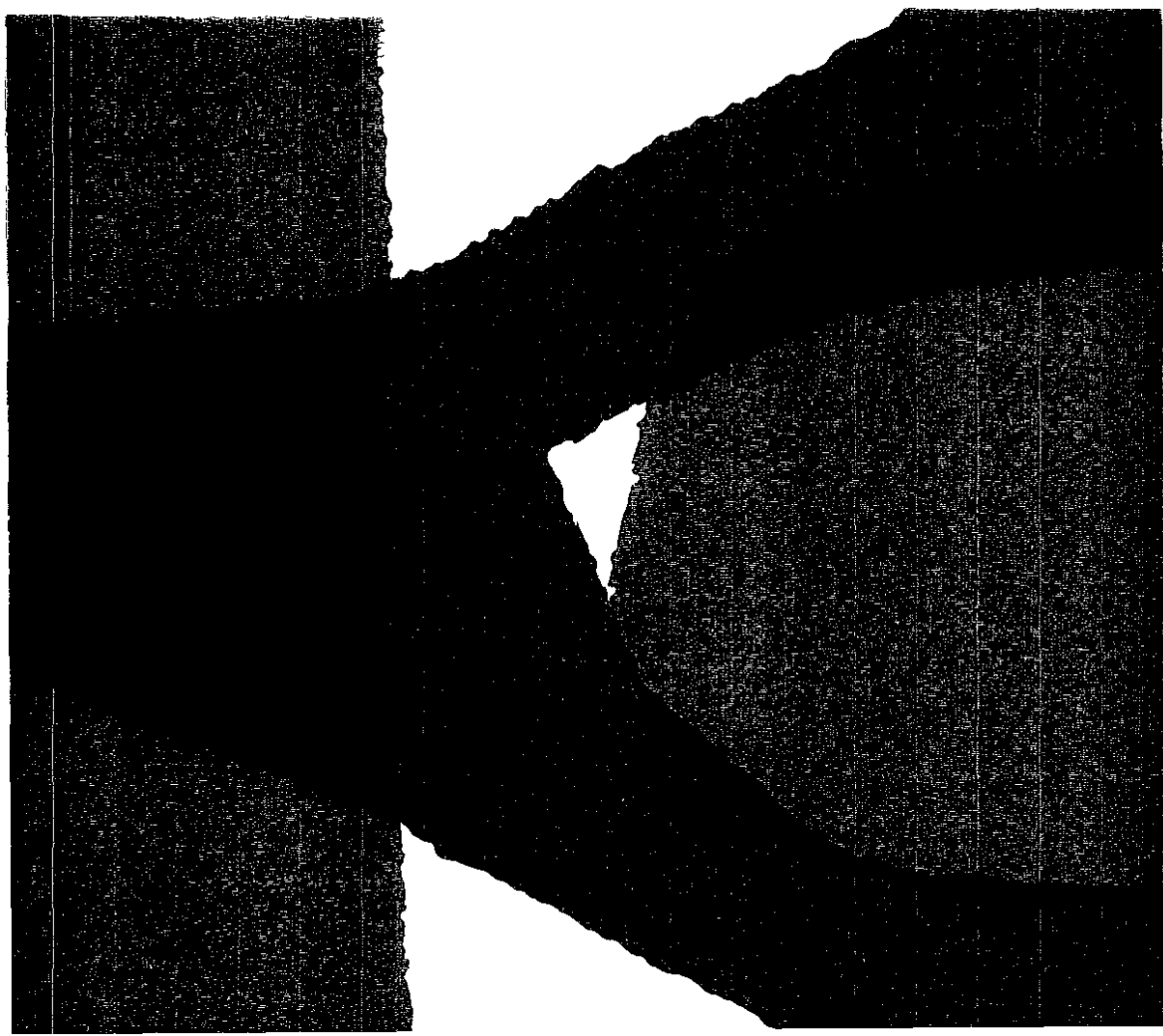


Driemaandelijks Bericht
nummer 101, augustus 1982

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
2597 AT 's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1
2515 TZ 's-Gravenhage
Telefoon: 070-78 99 11

De prijs bedraagt f 26,25 per jaar of
f 6,75 per nummer

Inhoud

In memoriam Prof. Ir. P. Ph. Jansen 3

A. De werken van het Deltaplan

Schuiven en bewegingswerken voor de
Oosterschelde-kering (II) 5

Het ontwerp van de drempel 14

Morfologische veranderingen in het Krammer
en het Slaak 19

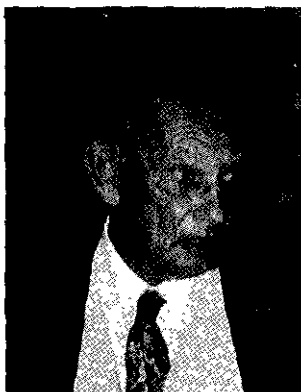
Doorbraak van de Westelijke Markiezaats-
kade 24

Sedimentologisch onderzoek op het werkeiland
in de Philipsdam 34

Slibtransport in de Oosterschelde 39

Samenvattingen/Summaries 49

Vorderingen 53



In memoriam Prof. Ir. P. Ph. Jansen

Professor ir. Pieter Philippus Jansen, het eerste Hoofd van de Deltadienst is op 5 juli 1982 overleden. Professor Jansen was geboren op 11 augustus 1902 in Dordrecht.

Na het behalen van het ingenieursdiploma, was hij werkzaam voor de Rijkswaterstaat bij de bouw van de grote sluis in IJmuiden, de sluizen in de Afsluitdijk, de stuw bij Lith in de Maas, de kanalisatie van de IJssel en het saneren van de Biesbosch. Onder zijn leiding is het in 1944 door oorlogshandelingen overstroomde Walcheren drooggemaakt. Van 1946 tot 1968 was hij hoogleraar in de waterbouwkunde aan de TH te Delft. Vanaf de oprichting in 1956 tot 1962 was Professor Jansen Hoofd van de Deltadienst.

Naast de opzet van de Dienst en zijn bijdrage aan het rapport van de Deltacommissie, werden onder zijn leiding de eerste afsluitingen, waaronder die van het Veerse Gat, voltooid en het ontwerp van de Haringvlietdam en de

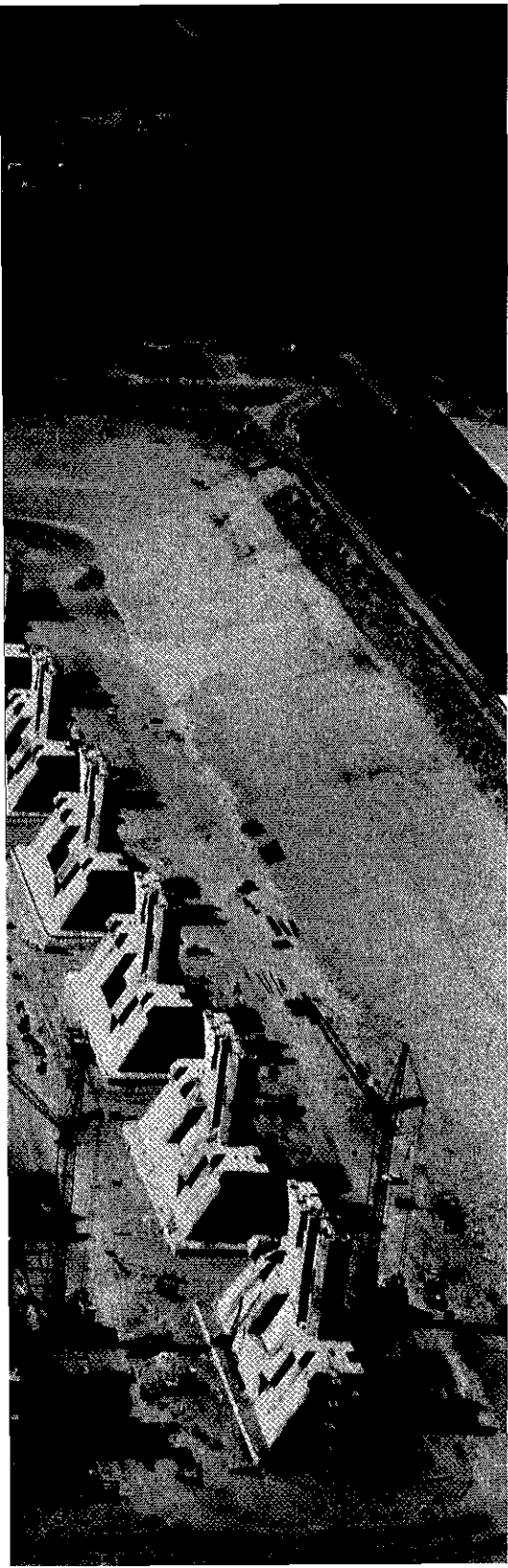
afsluitingen van Volkerak en Grevelingen opgezet.

Aan zijn bijdrage aan de Deltawerken is door de toenmalige Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat ir. J. van der Kerk aandacht besteed in het Driemaandelijks Bericht van november 1962.

Nadien combineerde hij zijn buitengewoon hoogleraarschap met buitenlandse adviezen. Professor Jansen was één van onze grootste waterbouwkundigen. Een hele generatie civiel-ingenieurs heeft van zijn lessen geprofiteerd.

Zijn belangstelling voor nieuwe werkmethoden en zijn scherp kritische instelling inspireerden zijn leerlingen en medewerkers tot een enorme ontwikkeling van het waterbouwkundige instrumentarium. Zonder deze nieuwe instrumenten zoals doorlaatcaissons, blokkensluitingen en geheel nieuwe bodembeschermingsystemen zouden de werken in de afgelopen jaren ondenkbaar zijn geweest.





Schuiven en bewegingswerken voor de Oosterschelde-kering (II)

De schuiven in de Oosterschelde-kering zullen worden geopend en gesloten met behulp van hydraulische bewegingswerken. In Bericht 100 (mei 1982) werd daar al over geschreven. In deze aflevering het vervolg van een zo eenvoudig mogelijk gehouden uiteenzetting over het hydraulisch werk en de elektrische installatie.

De complete taak van het bewegingswerk wordt gerealiseerd met behulp van een hydraulische installatie die olie onder druk naar de cilinder kan toevoeren en drukloos kan afvoeren naar een tank.

Bij het sluiten van een schuif wordt olie met min of meer constante druk aan de dekselzijde van de cilinder toegevoerd, terwijl de olie aan de stangzijde kan worden afgevoerd via een stroomregelventiel.

Door de instelling van dit regelorgaan ligt de schuifsnelheid bij het sluiten vast. Deze snelheid is voor alle schuiven bepaald op 3 mm/sec. Doordat er een constante druk is aan de dekselzijde, zijn de golven die op de schuif inwerken niet in staat de schuif tijdens het sluiten omhoog te drukken.

In gesloten positie is de cilinder aan de stangzijde drukloos; een constante druk aan de dekselzijde zorgt ervoor dat de schuif op zijn onderaanslag blijft gedrukt.

Om te openen wordt de dekselzijde drukloos gemaakt, en wordt aan de stangzijde olie onder druk toegevoerd. Er is geen drukregeling, de snelheid van de schuif wordt bepaald door het debiet van de pomp. Ook in deze richting bedraagt de snelheid bij benadering 3 mm/sec. In geheven toestand hangt de schuif op de oliëkolom aan de stangzijde die is afgesloten door een drukgestuurde terugslagklep tussen de cilinder en het stroomregelventiel. De sturing op de terugslagklep is nodig om bij het sluiten olie te kunnen afvoeren.

De hydraulische installatie van een cilinder bestaat in hoofdzaak uit een elektrisch gedreven pomp, kleppen, filters, schuiven, veiligheden en drukschakelaars. Samen met de bijbehorende elektrische componenten en schakelkasten zijn ze ondergebracht in containers in de verkeerskokers.

De extra-bescherming van deze kwetsbare onderdelen leek nodig, zowel tijdens de bouw en het transport van de verkeerskokers als

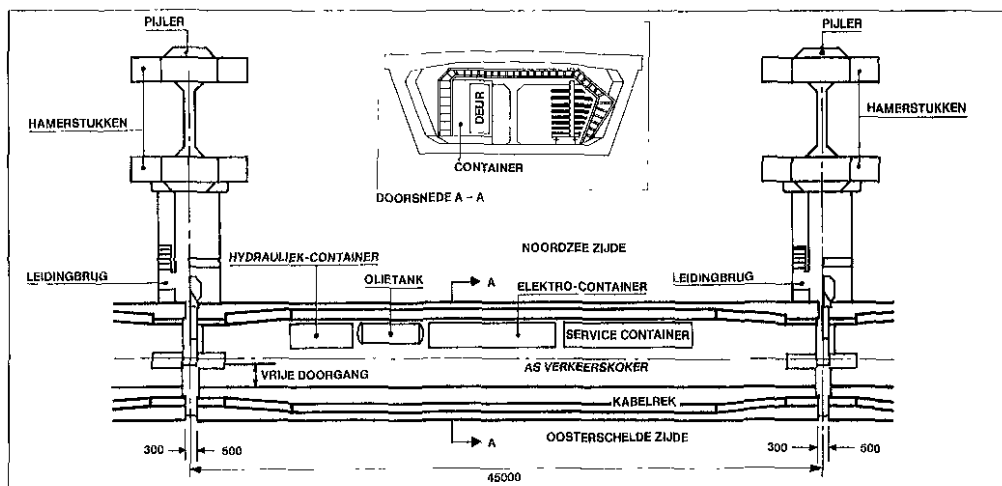


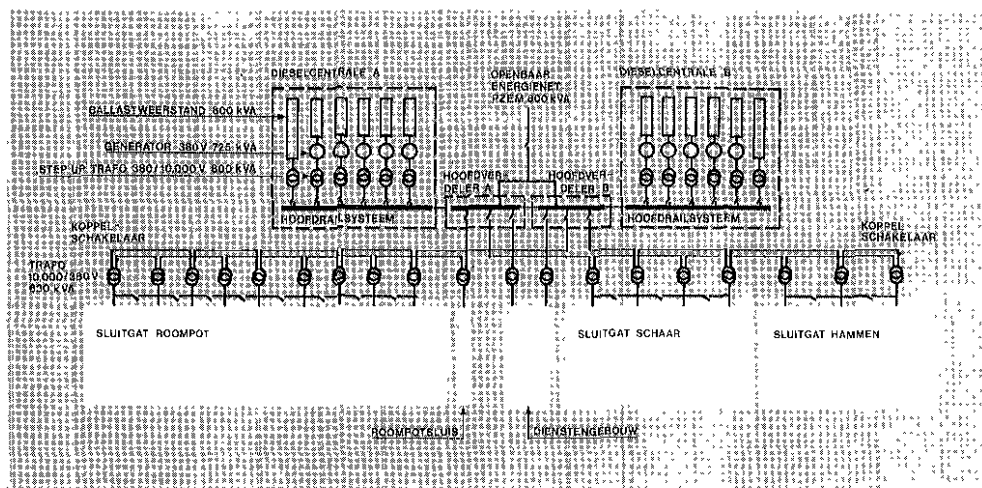
Fig. 1. Indeling van de kokers van de Oosterschelde-kering

tijdens het bedrijf later, na gereedkomen van de kering. Zonodig kan de lucht in de containers verwarmd of anderszins behandeld worden, om de voor de componenten gewenste bedrijfsomstandigheden te waarborgen. Daarnaast dempt de container een deel van het lawaai dat hydraulische pompen nu eenmaal maken. In een container zijn de complete hydraulische installaties voor de twee cilinders op een pijler ondergebracht. In geval van storing van de hydraulische installatie van één van deze cilinders is het daardoor vrij makkelijk over te schakelen op de andere. Alle omschakelorganen bevinden zich in deze container; dit betekent een belangrijke bijdrage aan de bedrijfszekerheid van het bewegingssysteem. Naast de hydraulische container staat de tank met de bedrijfsolie voor het hydraulische systeem. Bovendien bevindt zich in elke verkeerskoker een container gevuld met schakelkasten en apparatuur voor de besturing, bewaking en energievoorziening. De containers en olietanks staan aan de Noordzezijde van de verkeerskokers. De wand aan Oosterscheldezijde wordt geheel ingenomen door een doorgaand kabelrek waarop de complete elektrische bekabeling, doorgaande hoogspanningskabels voor het Provinciaal Elektriciteitsbedrijf en een aantal leidingen komen te liggen. Verspreid over de kering zijn in de verkeerskokers ook nog containers geplaatst voor werkplaatsen, conditiebewaking, milieumetingen, transformatoren, enzovoort. Kortom, de verkeerskoker staat aardig vol. Toch kon het principe gehandhaafd worden dat over de hele lengte van een sluitgat passage mogelijk is door de verkeerskoker, zodat de meest storinggevoelige delen van de bewegingsinstallaties ook onder de slechtste weersomstandigheden bereikbaar blijven.

Fig. 2. Schema van de energie-opwekking en -distributie

Het leidingwerk dat de hydraulische apparatuur in de containers moet verbinden met de hydraulische cilinders, is bevestigd op consoles. Het verlaat de verkeerskokers aan de zijde van de vaste oplegging op de pijlers. Zo ondervindt het geen last van de verplaatsingen die de verkeerskoker ondergaat ten opzichte van de pijler. In de verkeerskokers is het leidingwerk uitgevoerd in koolstofstaal, in de buitenlucht in roestvast staal.

De leidingen worden zoveel mogelijk gecombineerd met de bordessen en leuninggen tussen de verkeerskokers en de hamerstukken. Op het hamerstuk volgen ze hun eigen weg. Waar de vaste leidingen overgaan naar de bewegende cilinder, wordt gebruik gemaakt van slangverbindingen. Die zijn dubbel uitgevoerd op de plaatsen waar ze invloed kunnen hebben op de bedrijfszekerheid bij het sluiten.



Om de delen van het machinewerk en de elektrische installatie op het hamerstuk te kunnen bereiken is een aantal bordessen voorzien, die onderling door trappen worden verbonden. Het ontwerp hiervan wordt zo opgezet dat ze zoveel mogelijk als één geheel op het hamerstuk kunnen worden aangebracht. Omdat ze het uiterlijk van de pijlerbovenbouw in niet onaanzienlijke mate bepalen, wordt over de vormgeving overlegd met de architect.

Elektrische installatie

Het ontwerp van de elektrische installatie van de Oosterschelde-kering is door twee aspecten in hoge mate bepaald: de faalkans en de tolerantie-problematiek. Er moesten bijzondere maatregelen getroffen worden om een uiterst betrouwbare installatie te krijgen en in geval van storingen snel de aard en de plaats van de storing te lokaliseren, zodat alsnog ingegrepen kan worden. De tolerantie-problematiek vereist hoge nauwkeurigheid bij meting van de schuifschefstand. We bespreken achtereenvolgens eerst de faalkans en de tolerantie, en geven daarna een beschrijving van de installatie, die in drieën uiteenvalt: de energievoorziening, de besturingsinstallaties en de centrale bediening.

De stormvloedkering is bestand tegen stormbe- lastingen die ééns in de 4000 jaar kunnen voorkomen; de toegestane kans op bezwijken van de kering dient dus kleiner te zijn dan $2,5 \times 10^{-4}$ /jaar.

Teneinde te kunnen bepalen hoe sterk het machinewerk dan moet zijn, is met behulp van mathematische modellen berekend hoe groot het maximale verval kan zijn tijdens het sluiten

van de schuiven, gegeven volledige vrijheid bij de keuze van het tijdstip van sluiten. Dit blijkt 4,2 m te zijn; het verval treedt op aan het einde van een grenspeilsluiting. Alle onderdelen van de kering moeten minstens bestand zijn tegen de gevolgen van de stroom die bij dit verval door de kering trekt.

Volledigheidshalve zij opgemerkt dat aan de onderdelen die het verval moeten keren, een hogere eis wordt gesteld; zij moeten uitgaan van een verval van 6,2 m, zijnde het verval dat met een kans van $2,5 \times 10^{-4}$ /jaar optreedt bij een laagwaterkentering-sluiting.

Bij het sluiten van de kering bestaat de kans dat een of meer schuiven weigeren dicht te gaan, als gevolg van wat voor storing dan ook. In het ontwerp is een duidelijke beperking gesteld aan de toelaatbaarheid van het optreden van zo'n storing.

Samengevat luidt de ontwerpeis, dat de kans op het gelijktijdig optreden van 4,2 m verval en het weigeren van een of meer schuiven kleiner dient te zijn dan $2,5 \times 10^{-4}$.

Indien de kering bij lagere waterstanden dan het grenspeil gesloten wordt zal vaker een verval gelijk aan of groter dan 4,2 m ontstaan. Op dezelfde wijze als bij grenspeilsluitingen, is berekend hoe vaak het extreme verval van 4,2 m optreedt indien altijd op de laagwaterkentering gesloten wordt. Dit blijkt $1,25 \times 10^{-1}$ /jaar te zijn, 12½%.

Indien de kans van voorkomen van deze extreme belasting gecombineerd wordt met de ontwerpeis dat de kans op bezwijken van de kering, ook bij weigerende schuiven, kleiner moet zijn dan $2,5 \times 10^{-4}$ /jaar, dan volgt daaruit dat de kans op weigeren door falen in de hydraulische en/of elektrische installatie niet groter mag zijn dan 2×10^{-3} /jaar.

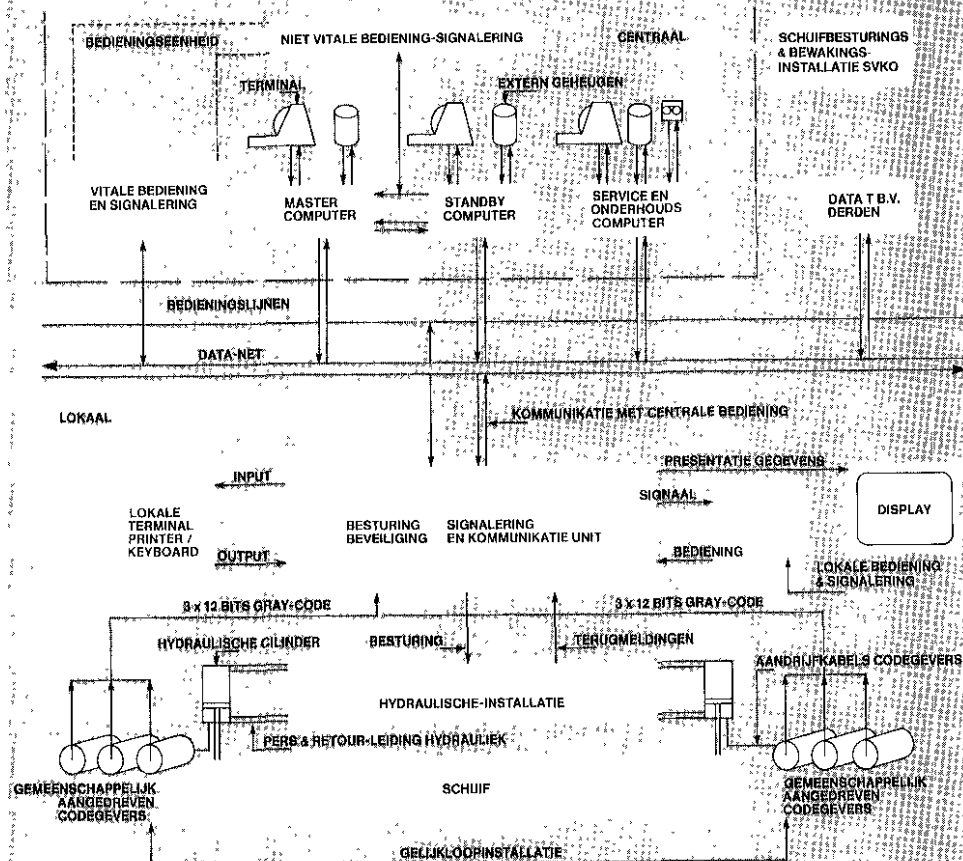


Fig. 3. Blokschema van de besturings- en bewakings-installatie

Bij gelijke verdeling van de faalkans over de elektrische en hydraulische installatie, resulteert een toegestane faalkans voor de gehele elektrische installatie – die in totaal 63 individuele installaties omvat – van 10^{-3} /jaar, één duizendste per jaar.

Aan deze hoge betrouwbaarheidseis kan slechts voldaan worden indien een aantal bijzondere maatregelen getroffen wordt. De eerste daarvan is: snel omschakelen op een reserve-installatie. Dit wordt met name toegepast bij de hydraulische installatie, waar omgeschakeld kan worden op de hydraulische eenheid van de naastgelegen schuif, nadat die zijn sluitbeweging voltooid heeft. Daarvoor is nodig dat een storing snel gelokaliseerd wordt. Een belangrijke taak van de elektrische installatie is het voortdurend bewaken van de schuifbeweging en onmiddellijke melding van een

storing aan het centrale bedieningsgebouw. Voorts moeten de besturingsinstallaties regelmatig worden beproefd. Door hiervoor een juiste interval te kiezen kan de kans op storing tijdens een onverwachte sluiting worden verkleind.

Daarnaast zullen sommige installatiedelen *meervoudig worden uitgevoerd, waardoor de schuifbeweging in geval van falen van bepaalde onderdelen toch door kan gaan.* Dit principe wordt toegepast bij de meer gecompliceerde installatiedelen, waarin veel elektronika zit. De *installatie voor de meting van de schuifscheefstand en de besturing van de hydrauliek is drievoudig uitgevoerd.* Daarmee is het bezwaar van een dubbele uitvoering ondervangen, namelijk dat het niet zonder meer mogelijk is te bepalen welke feitelijk defect is, als één van de twee installaties defect raakt. Voor de onderdelen die niet meervoudig uitgevoerd kunnen worden, dienen uiterst betrouwbare componenten gekozen te worden: een standaard schakelrelais dat regelmatig een keer per veertien dagen beproefd wordt blijkt *ternauwernood de geëiste faalkans te halen.*

Gezien wat haalbaar is bij het plaatsen van de pijlers zullen de schuiven bij het op- en neerbewegen tussen de meer of minder scheefstaande *pijlers met een zekere nauwkeurigheid* rechtgehouden moeten worden. Bepalend hiervoor is de mate waarin de geleidingsstrippen op de pijlers en de geleidingen op de schuiven ten opzichte van elkaar verdraaid mogen zijn. Vooral nog wordt 15 cm scheefstand van de schuiven toelaatbaar geacht, 20 cm scheefstand geldt dan als extreem. De schuif zal door ongelijke snelheden van de cilinders scheeflopen, bij de hoogste schuiven tot wel 40 cm. Tijdens het bewegen zal dus gecorrigeerd moeten worden, *door de voorlopende zijde tijdelijk stil te zetten.*

Door onnauwkeurigheden in het meetsysteem zal de toegestane scheefloop om te beginnen verkleind moeten worden, zodat er vaker moet worden gecorrigeerd; dat heeft een nadelig effect op de levensduur van de hydraulische installatie. Gekozen is voor een meetonnauwkeurigheid van 1 à 2 cm, wat voor de hoogste schuif van 11,9 m een meetolerantie van 1,5 ‰ betekent. Met conventionele middelen is zo iets niet realiseerbaar.

Energievoorziening

Voor het bewegen van de schuiven is een vermogen benodigd dat afhankelijk van de afmetingen van de schuif varieert van 49 tot 73 kVA. Voor het gelijktijdig bewegen van alle

schuiven is in totaal een vermogen van 4000 kVA nodig.

Het overige voor de kering benodigde vermogen, voor het in bedrijf houden van de verlichting, de verwarming, de bewaking en de signalering en voor het bedienings- en dienstengebouw en de Roompotsluis, bedraagt in totaal 450 kVA.

Het sluiten van de kering zal slechts onder uitzonderlijke omstandigheden plaatsvinden, en het piekvermogen hoeft dus maar zelden te worden opgebracht. Indien alle energie zou worden betrokken uit het openbare elektriciteitsnet, zou de Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij dat piekvermogen voortdurend beschikbaar moeten houden. Hieraan zouden zeer hoge kosten voor vastrecht verbonden zijn.

Op financieel-economische gronden alleen al is eigen opwekking van energie aantrekkelijker. Er kan dan gebruik worden gemaakt van apparatuur van de centrale die is opgesteld voor de bouw van de stormvloedkering. In de energie-behoefte voor het gelijktijdig bewegen van alle schuiven wordt voorzien door eigen opwekking; alleen de energie die onder normale omstandigheden wordt verbruikt, wordt betrokken uit het openbare net van de Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij.

De centrale die energie levert voor de bouw van de stormvloedkering, maakt gebruik van aggregaten van 725 kVA. Voor het gelijktijdig bewegen van alle schuiven moeten er ten minste zes aggregaten beschikbaar zijn. In de faalkansanalyse wordt er rekening mee gehouden dat er twee aggregaten buiten bedrijf kunnen zijn in verband met revisie. Om zekerheid te hebben dat het gevraagde vermogen met de vereiste betrouwbaarheid beschikbaar is zullen er nog twee extra aggregaten geplaatst worden; in totaal worden dus 10 aggregaten opgesteld. Om te voorkomen dat brand of explosie in één aggregaat de gehele eigen opwekking in de war stuurt, is de installatie gesplitst in twee centrales van elk vijf aggregaten.

Beide centrales hebben hun eigen bekabeling, hoofdrails en schakelapparatuur, er is een volledige brandscheiding doorgevoerd. Bij het uitvallen van één centrale kan de kering, door het beurtelings en eventueel getrapt bewegen van de schuiven, toch worden gesloten, zij het met enige vertraging.

De aggregaten wekken een laagspanning van 380 V op. Deze opwekspanning wordt per aggregaat met behulp van een transformator van 800 kVA omhoog getransformeerd naar een distributie-spanning van 10 kV. De opwekeenheden worden aan de 10 kV-zijde, na

synchronisering, parallel geschakeld op het hoofdtrailsysteem.

Onder normale bedrijfsomstandigheden, wanneer niet alle schuiven gelijktijdig behoeven te worden bewogen, wordt de energie betrokken uit het openbare net van de PZEM; daartoe is op de kering een aansluiting van 800 kVA aanwezig.

Dit heeft nogal wat voordelen. De eigen aggregaten behoeven niet continu in bedrijf te zijn; en dit verlengt de levensduur. Er hoeft ook niet voortdurend service-personeel aanwezig te zijn. In het bedienings- en dienstengebouw, waarin de centrales zijn ondergebracht, wordt de geluidshinder beperkt. De energiekosten zijn lager, aangezien het continu benodigde vermogen te gering is om één aggregaat voldoende te belasten; het brandstofrendement zou daardoor laag zijn, en bovendien zou de dieselmotor ernstig vervuilen.

Ten behoeve van onderhoudswerkzaamheden zal geregeld een beperkt aantal schuiven worden bewogen. De energie daarvoor zal eveneens worden betrokken uit het openbare net.

Voor elke centrale is een ballastweerstand van 800 kVA beschikbaar voor het afregelen en testen van de aggregaten.

Maandelijks draaien de aggregaten proef. Ze worden dan beurtelings parallel geschakeld op het openbare net, waaraan de opgewekte energie wordt teruggeleverd. Hierdoor wordt veel minder energie verloren, dan wanneer gebruik werd gemaakt van de ballastweerstand. Om een stabiel bedrijf te garanderen wordt op het hoofdtrailsysteem van de centrales een kleine ballastweerstand als grondlast bijgeschakeld. Als alle schuiven gelijktijdig moeten worden bewogen, wordt de energievoorziening voor de gehele kering overgenomen door de eigen centrales. De omschakeling vindt zonder spanningsonderbreking plaats doordat men de centrales kortstondig parallel laat draaien aan het openbare net, waarna de externe voeding wordt afgeschakeld.

Vervolgens kan het groene licht worden gegeven voor het bewegen van de schuiven. Nadat de schuifbewegingen zijn voltooid, wordt de energievoorziening voor de kering weer overgenomen door de externe voeding, opnieuw zonder spanningsonderbreking. In de installatie zijn voorzieningen opgenomen om het maximale vermogen van de beide centrales te leveren aan het provinciale net, in geval er een storing optreedt in de energievoorziening daar.

Vanuit de hoofdverdeling in het bedienings- en dienstengebouw wordt zowel naar het noorden,

ten behoeve van de kering in de Hammen en de Schaar, als naar het zuiden, ten behoeve van het gedeelte van de kering in de Roompot, een 10 kV-distributienet aangelegd. Terwille van de bedrijfszekerheid is de hoofdverdeling weer in twee delen gesplitst, met brandscheiding, en bestaan beide distributienetten uit een 10 kV-ringleidingsstelsel.

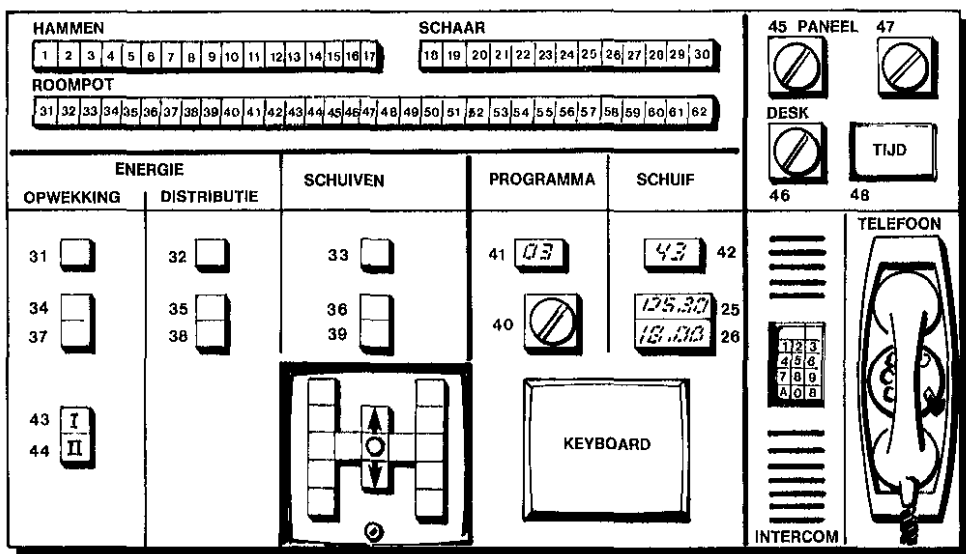
Vanaf elk van de beide delen van de hoofdverdeling gaat een 10 kV-kabel in noordelijke en in zuidelijke richting. Verdeeld over de sluitgaten wordt een aantal transformatorstations opgesteld: 3 stuks in de Hammen, 4 in de Schaar, en 9 in de Roompot. Er wordt ook een transformatorstation opgesteld voor de Roompotsluis. Deze stations worden om en om aangesloten op een van de beide 10 kV-kabels. Het meest noordelijke en het meest zuidelijke transformatorstation dienen als koppelstations; daar worden de beide 10 kV-kabels van een ringleiding aangesloten op een koppelschakelaar.

Gewoonlijk zijn de ringkoppelschakelaars geopend, en staat het ringleidingsstelsel dus open. Het meest noordelijke en het meest zuidelijke transformatorstation zijn dus elk slechts gekoppeld aan één van de beide 10 kV-kabels. Als ergens in het distributienet een storing optreedt, bij voorbeeld door kabelbreuk of een defect in een transformatorstation, zullen de transformatorstations die op dezelfde 10 kV-kabel zijn aangesloten en die achter de storingslocatie liggen, van energie verstoken blijven. Indien nodig wordt het gestoorde deel van het net dan afgeschakeld en sluit men de ringkoppelschakelaar van de betreffende ring. De uitgevallen transformatorstations krijgen hun voeding dan vanaf de andere zijde.

In de transformatorstations wordt de 10 kV-spanning omlaag getransformeerd naar de gebruiksspanning van 220/380 V. Omdat niet alle schuifinstallaties hetzelfde vermogen vragen wordt vanuit één transformatorstation een wisselend aantal schuiven gevoed, drie, vier of vijf, al naar de energievraag.

In geval van storing in een transformator kan een beroep worden gedaan op de laagspanningsverdeling van een van de beide naastliggende stations. In iedere verkeerskoker wordt voor de schuif die daar hangt een plaatselijke elektrische installatie geïnstalleerd; vanuit de laagspanningsverdeling daarin worden de verschillende installatie-onderdelen – de verlichting, de besturingsinstallatie, de hydraulische installatie en de communicatie-installaties – gevoed.

Een aantal van deze installaties krijgt rechtstreeks 220/380 V wisselspanning. Enkele



SCHUIVEN:
BEDIENING / SIGNALERING
ALLEEN VOOR VEILIGHEIDSSLUITING
AFGEDEKT MET PLAAT

KEYBOARD:
• PROGRAMMA (42)
• SCHUIFKEUZE
• INDIVIDUELE GEWENSTE SCHUIF HOOGTE (26)

31, 32 EN 33 ALGEMEEN ALARM + RESET
34, 35 EN 36 NIET PARAAT
37, 38 EN 39 PARAAT
43 EN 44 BRAND ALARM + RESET

45. SLEUTELSCHAKELAAR LAMP - TEST PANEEL
46. SLEUTELSCHAKELAAR LAMP - TEST DESK
47. SLEUTELSCHAKELAAR ALARM GEBOUW / ALARM A.S.A.
(AUTOMATISCHE TIJDINTERVAL)
48. AUTOMATISCHE TIJDSCHAKELAAR-ALARM MET 47 IN TE
STELLEN
40. SLEUTELSCHAKELAAR VOOR ALLE ANDERE PROGRAMMA
DAN DE VEILIGHEIDSSLUITING
41. UITLEZEN PROGRAMMA KEUZE
42. UITLEZEN SCHUIF KEUZE
25. ABSOLUTE HOOGTE METING SCHUIF (ACTUELE HOOGTE)
26. UITLEZEN GEWENSTE HOOGTE, SCHUIF

Fig. 4. Indeling van de centrale
lessenaar

andere installaties, waaronder die voor de besturing, worden met behulp van omvormers en accu's gevoed met een gelijkspanning van hoge kwaliteit.

Bij een sluiting ter wille van de veiligheid van het Oosterschelde-gebied zal men de kering zo snel mogelijk en met hoge betrouwbaarheid geheel dicht willen hebben. Evenwel, deze sluitwijze kan nadelige gevolgen hebben voor het milieu. Er zijn daarom ook alternatieve sluitingsmethoden mogelijk gemaakt. Om bepaalde uit een oogpunt van milieu-bewaking gewenste effecten te kunnen bewerkstelligen moet het mogelijk zijn iedere schuif afzonderlijk bedieningscommando's te geven, zodat ieder denkbaar bewegingspatroon met de schuiven kan worden uitgevoerd, en het doorstroomprofiel van de sluitgaten vrijelijk kan worden bepaald.

De bediening van de schuiven vindt plaats in het centrale bedieningsgebouw, vanaf een lessenaar.

Daaromheen staat op enige afstand een signaleringstableau, waarop de toestand van iedere schuif afzonderlijk kan worden afgelezen, alsmede het schema van de energieopwekking en -distributie.

De bedieningslessenaar is onderverdeeld in twee delen. Het eerste gedeelte functioneert bij veiligheidssluitingen; hiervandaan kunnen rechtstreeks commando's worden gegeven aan alle schuifinstallaties. Als vanaf dit paneel een sluitcommando is gegeven, zullen de schuiven dichtgaan volgens een programma dat vast is ingebouwd in de nabij de schuiven geplaatste elektrische installatie en dat een sluiting garandeert die voldoet aan de betrouwbaarheidseisen.

Vanaf het deel van de lessenaar dat dient voor alternatieve sluitingen kunnen slechts commando's worden gegeven nadat met een sleutel-schakelaar is omgeschakeld van het veiligheids-paneel naar het alternatieve paneel. Dit lessenaargedeelte staat in verbinding met een centrale gegevensverwerkende installatie. Voor iedere schuif afzonderlijk kan de hoogte worden opgegeven tot waar de schuif na een commando dient te worden gesloten of geopend. Door middel van keuzetoetsen kan men verschillende programma's oproepen in de centrale verwerkingseenheid, waarmee de schuiven volgens een van tevoren bepaald patroon kunnen worden bewogen. Alle daarvoor noodzakelijke en door de centrale gegenereerde commando's worden naar de lokale installaties overgedragen via een afzonderlijk net, waarlangs eveneens wordt teruggemeld wat de commando's hebben uitgewerkt. Als dat om veiligheidsredenen gewenst is, kan te allen tijde teruggeschakeld worden naar het veiligheidspaneel; de alternatieve sluitwijze verandert dan weer in een veiligheidssluiting. Voor elke schuifeenheid is ter plaatse een elektrische installatie noodzakelijk.

Deze installaties zijn voor iedere schuif gelijk, ongeacht het verschil in afmeting van de schuiven. De gegevens die nodig zijn om de taken van besturing, beveiliging, bewaking en signalering te kunnen uitvoeren, worden betrokken uit de hydrauliek, van meetopnemers bij de schuiven, of ze komen binnen vanuit het centraal bedieningsgebouw, dan wel, indien men de installatie ter plaatse van de noodzakelijke gegevens wil voorzien, van een lokale terminal.

De uitgangen van het besturingsgedeelte worden direct naar de hydraulische installaties gevoerd en sturen daar de diverse hydraulische

stuurkleppen en motoren.

Vanuit de hydraulische installaties wordt de procesinformatie bestemd voor de besturing, beveiliging, bewaking en signalering naar de besturingseenheid teruggekoppeld. De door de besturingseenheid afgegeven signalen en de teruggekoppelde informatie worden centraal verwerkt.

We gaan nu nog wat nader in op de taken van besturing, beveiliging, bewaking en signalering. De besturingstaak omvat allereerst de correctie van scheefstand van de schuiven. De linker- en de rechterzijde van een schuif worden bewogen door twee onafhankelijke hydraulische hefinrichtingen. Door ongelijkheid in de afstelling van de hydrauliek kan een schuif scheeflopen. Dit dient beperkt te worden, om de geleidingen waarlangs de schuif wordt bewogen zo gelijkmatig mogelijk te belasten.

Verder moet de besturing er zorg voor dragen dat de commando's 'dalen' en 'stoppen', die horen bij een sluiting in het belang van de veiligheid, altijd met voorrang worden uitgevoerd. Deze commando's kunnen vanuit het bedieningsgebouw worden gegeven, en lokaal bij de schuif. Wanneer zo'n commando wordt gegeven, wordt een eventueel in uitvoering zijnd besturingscommando onmiddellijk beëindigd.

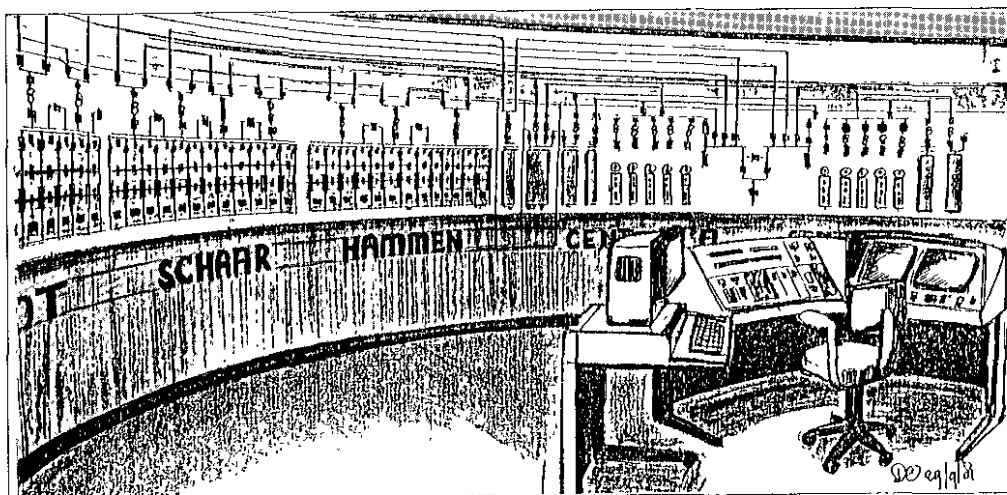
Bij het uitvoeren van een besturingscommando kan de besturing een beperkt aantal terugmeldingen verrichten van de hydraulische inrichtingen. De scheefstandcorrecties vinden plaats parallel met het uitvoeren van een besturingscommando.

Nadat een eindstand of een ingestelde hoogte is bereikt, zou een schuif kunnen gaan wegzakken. Door de besturing wordt dit automatisch gecorrigeerd.

Beschouwen we vervolgens de beveiligingstaak, dan zien we dat beveiligingen worden aangebracht op extreme scheefstand, op de eindstanden van de schuiven, en op onderdelen van de hydrauliek; daarover nog een woord. Treedt er extreme scheefstand op, dan is een scheefstandcorrectie niet uitgevoerd. De hydraulische eenheden worden in dat geval uitgeschakeld. De hefhoogte van de linker- en de rechterzijde van een schuif wordt door middel van codegevers ingewonnen, voor de zekerheid drie maal. Daarna kan er worden gecorrigeerd.

Bij het bereiken van de eindstand van één schuifzijde, wordt de hydraulische eenheid die daarbij hoort, uitgeschakeld. De eindstand wordt eveneens afgeleid van de stand van de codegevers.

Verder wordt een aantal grootheden in de hydraulische installatie, zoals maximale druk,



Overzicht van de bedieningsruimte

oliepeil enzovoort, van een beveiliging voorzien. De beveiligingstaak is van zeer groot belang; falen in deze taak kan ernstige schade aan de kering ten gevolge hebben.

Ten slotte controleert de elektrische installatie zichzelf en de hydraulische installatie op goed functioneren.

Bij niet of niet goed functioneren en significante procesgebeurtenissen wordt daarvan melding gedaan aan de centrale verwerkingseenheid. De signaleringstaak staat los van de besturings- en beveiligingstaak.

Fig. 3 geeft een blokschema van onderdelen waaruit de besturings- en bewakingsinstallatie is opgebouwd. In de bovenste helft van de figuur zien we de centrale verwerkingseenheid, die is opgesteld in het bedieningsgebouw. Ze bestaat uit een dubbele computer voor het operationele beheer. Daarnaast staat een kleiner computer-systeem, waarmee bijzondere taken zoals storingsdiagnoses verricht kunnen worden, zonder het operationele gedeelte te beïnvloeden. In het midden van de figuur zijn symbolisch de verbindingen getekend tussen de centrale bedieningspost en de installaties. Deels betreft het hier rechtstreekse kabelverbindingen; het overgrote deel van de signalen wordt evenwel overgedragen via het data-net. De onderste helft van het blokschema wordt in

beslag genomen door een voorstelling van één van de installaties.

De kern ervan bestaat uit een micro-computer-systeem, dat om betrouwbaarheidsredenen drievoudig wordt uitgevoerd, en middels een zogenaamde 2-uit-3-schakeling de hydraulische installatie stuurt. De micro-computer maakt het mogelijk de schuifhoogte zeer nauwkeurig te meten. Ook alle andere bedieningscommando's en terugmeldingen uit de hydraulische installatie worden door de micro-computer verwerkt. In de centrale bedieningsruimte wordt een staand paneel geplaatst dat een overzicht geeft van alle operationele onderdelen van de kering, met de benodigde bedieningsorganen en signaleringen. Het overzichtspaneel zal bestaan uit een deel 'energie-opwekking', een deel 'energiedistributie' en een deel 'schuiven'. Vóór het staande paneel wordt een centrale lessenaar geplaatst vanwaar men tevens een goed overzicht heeft over het staande paneel. Er wordt onderscheid gemaakt tussen de signaleringen en meldingen ten behoeve van bewakings- en onderhoudsdoeleinden: algemene storing/alarmmeldingen komen op de lessenaar, specifieke meldingen op het wandpaneel en detailinformatie wordt gepresenteerd op een printer/beeldscherm. Ter voorkoming van overbodige informatie zal voor het staande signaleringspaneel van het alarm-signaleringsprincipe gebruik worden gemaakt. Er wordt dan niets gesignaleerd, zolang er zich geen bijzonderheden of calamiteiten voordoen. Slechts als men dit wenst, of in geval van een specifieke alarmmelding, zal de aandacht getrokken worden door het oplichten van signaleringslampjes.

Het ontwerp van de drempel

De drempel van de Oosterschelde-kering dient een aantal functies te vervullen. De voornaamste zijn bescherming van de ondergrond tegen erosie, en steun aan de pijler en de ondergrond.

Maar de drempel is ook een onderdeel van de kering als geheel, en dus heeft hij tevens zowel een afsluitende functie, bij gesloten kering, als een stroomgeleidende functie wanneer de kering open staat. Om de ondergrond te beschermen dient de drempel als een filterconstructie opgebouwd te worden, waarbij als randvoorwaarden gelden enerzijds de afmeting van de korrels van de ondergrond en anderzijds de afmetingen van de stenen van de toplaag. Vanwege de afsluitende functie worden eisen gesteld aan de doorlatendheid, terwijl de constructie daarnaast flexibel moet zijn, om ongelijke zettingen te kunnen volgen en aansluiting te behouden op andere onderdelen van de kering. Een gelijkmatige vorm van de drempel is aantrekkelijk voor de stroomgeleiding onder dagelijkse omstandigheden. In verband met de steun aan de pijler worden eisen gesteld aan de minimale afmetingen van de drempel.

Dit scala van eisen heeft geleid tot een principe-ontwerp van de drempel (fig. 1). Het is een ontwerp met een open toplaag van stortsteen, dat de voorkeur verdiende boven een ontwerp met een dichte toplaag van steenasfalt, vanwege de kosten en de herstelbaarheid bij schade. Om het principe-ontwerp verder uit te kunnen werken was het noodzakelijk de grenstoestanden te bepalen: de situaties, waarbij de sterkte van de drempel nog net voldoende is om de belasting te weerstaan. Een marginale overschrijding van de belasting leidt al tot bezwijken van de drempel en daarmee tot het bezwijken van andere delen van de kering en tenslotte tot het bezwijken van de kering als geheel. Het onderscheiden van grenstoestanden behoort bij de probabilistische benadering, een moderne ontwerp-methode (zie Bericht 81, augustus 1977). Uitgaande van een zekere ontwerpbelasting is het volgens deze ontwerpfilosofie toegestaan dat de constructie bezwijkt als er maar voldoende marge bestaat tussen de ontwerpbelasting

en de bezwijkbelasting. Deze marge wordt de veiligheid van de beschouwde constructie genoemd.

De eerste laag van de drempel gerekend van beneden af dient te bestaan uit materiaal dat in voldoende mate als filter fungeert ten opzichte van het onderliggende bodemzand.

Het is een laag grind met een gemiddelde diameter van 0,02 m. Daarentegen bestaat de bovenste laag van de drempel uit zeer grote stenen, met een gemiddelde diameter van ruim 1 m. Om te voldoen aan de filtereisen dient de drempel te worden opgebouwd uit een aantal lagen van loskorrelige materialen, waarvan de diameter van beneden naar boven steeds toeneemt. Zodoende is iedere laag in staat het materiaal van de eronderliggende laag vast te houden, ook wanneer bij gesloten kering tengevolge van een groot waterstandsverschil tussen de Noordzee en de Oosterschelde een sterke waterstroming door de drempel loopt. Deze stroming kan zeer sterk worden, zodat de filterwerking van de lagen slechts dan voldoet als de strengste filtereisen worden toegepast. Dit laatste houdt in dat de holle ruimten tussen de korrels van de filterlaag kleiner moeten zijn dan de korrels van de onderliggende laag. Zo'n filter wordt 'geometrisch ondoordringbaar' genoemd.

Voor de dimensionering van de onderste filterlagen is naast de grenstoestand met betrekking tot de filterwerking nog een grenstoestand van belang, namelijk de stroombestendigheid tijdens de bouw. Het gaat daarbij om de stabiliteit van het materiaal, dat nadat het is aangebracht gedurende een kortere of langere periode blootstaat aan de mogelijk eroderende werking van overtrekkende stroom, voordat het is afgedekt met grover en dus stabiel materiaal.

De optredende stroomsnelheden zijn natuurlijk in eerste instantie beslissend. Daarnaast veroorzaken de pijlers lokale versnellingen en vertragingen, waardoor het materiaal eerder in beweging komt dan in een volledig ongestoorde situatie. Echter, in deze fase is enig materiaaltransport nog wel toelaatbaar, omdat de gevolgen vrij gering zijn en opgetreden schade relatief eenvoudig hersteld kan worden.

Voor de bepaling van de benodigde steenafmeting van de diverse lagen is uitgebreid modelonderzoek verricht. Er kwam uit, dat het mogelijk is een constructie te ontwerpen die zowel aan de filtereisen voldoet als in voldoende mate stroombestendig is. Wel is een aangepaste uitvoeringsmethodiek noodzakelijk, waarop in een later Bericht zal worden teruggekomen. Op één van de grenstoestanden, de stabiliteit

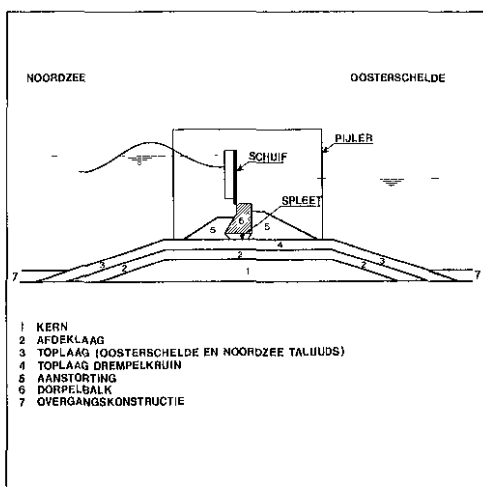
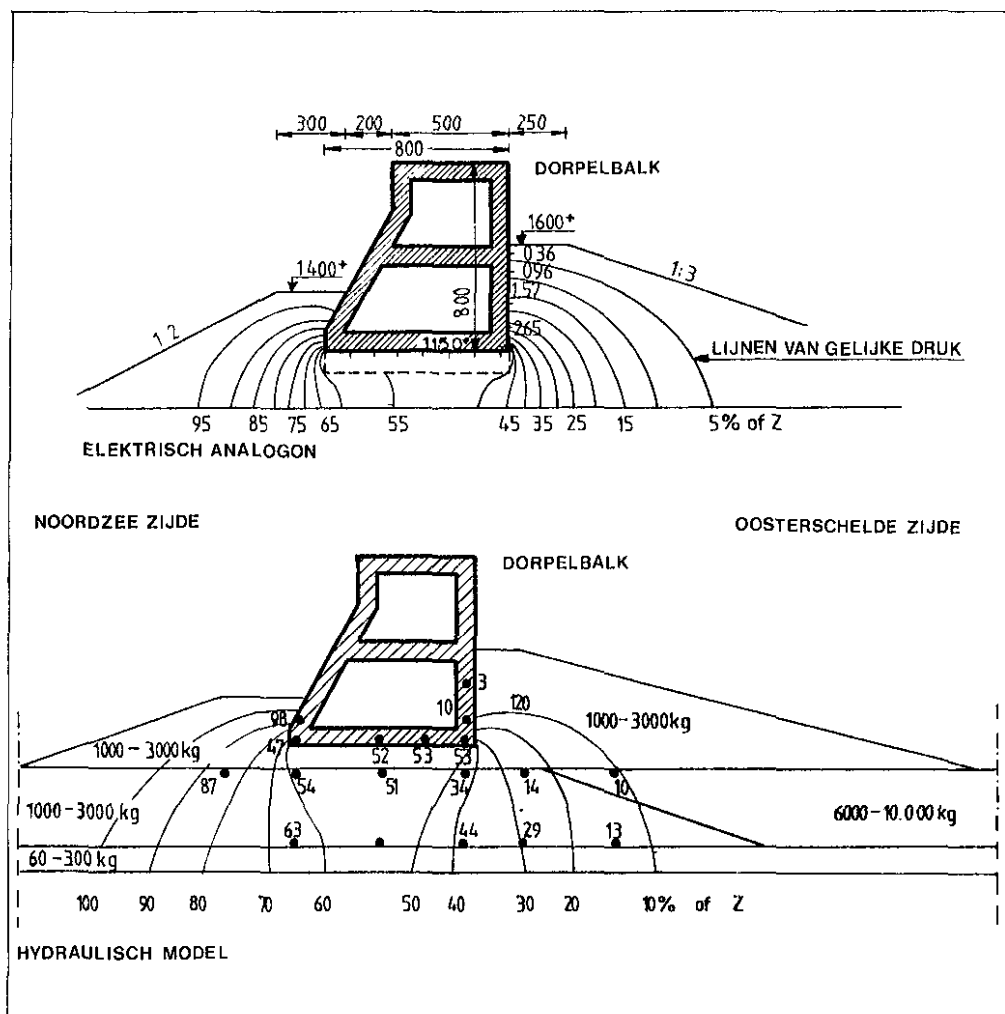


Fig. 1. Algemeen schema van de drempelopbouw

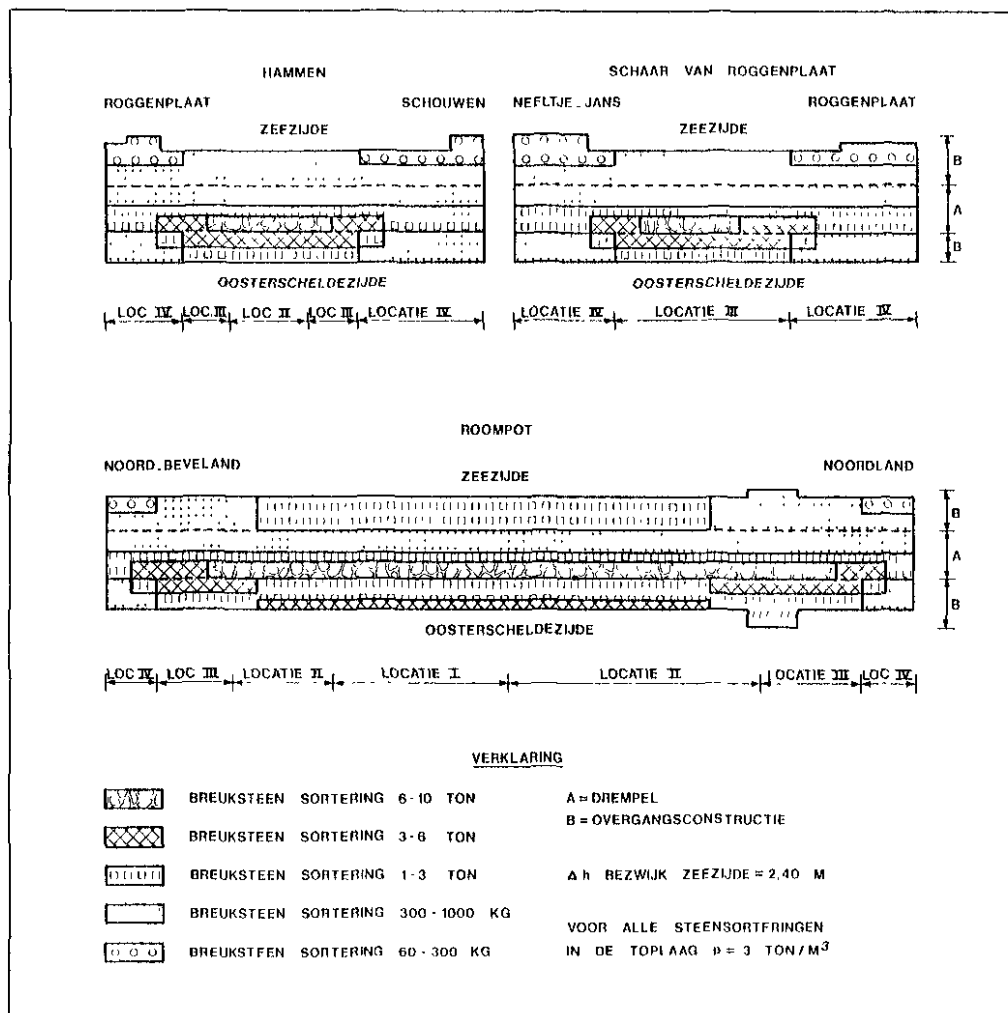
Fig. 2 Overeenstemming tussen het hydraulisch model en het elektrisch analogon

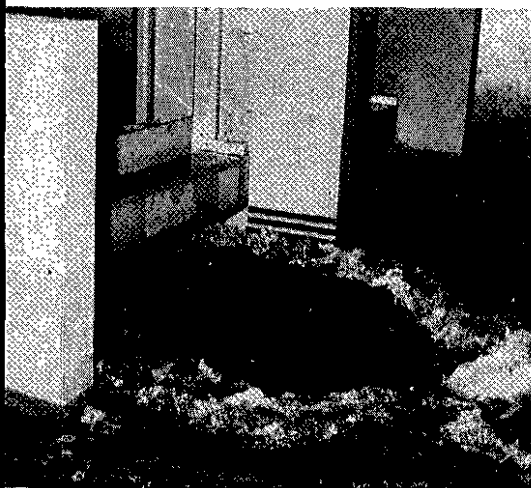


van de toplaag, zal meer en détail worden ingegaan. De stabiliteit dient onderzocht te worden voor twee situaties, een geheel gesloten kering en een gesloten kering met één weigerende schuif, beide onder extreme condities. In het eerste geval treden in het gebied rondom de dorpelbalk hoge verhangen op, die bij overschrijding van een kritieke waarde het opdrukken van de benedenstroomse aanstorting tot gevolg kunnen hebben, waardoor de steun voor de drempel gedeeltelijk wegvalt en het totale bezwijken van de drempel kan worden ingeleid. Behalve dit bezwijkmechanisme, waarbij de aanstorting in feite steen voor steen bezwijkt, kunnen ook hele lagen afschuiven langs een glijvlak. Weigert er een schuif dan treden er zeer hoge snelheden op boven de drempel en de overgangsconstructie, die bovendien gepaard gaan met zeer hoge

Destabilisatieproef in de 5 m brede modelgoot met drie secties van de Oosterscheldekering

Fig. 3. Overzicht van de steensortering in de toplaag van de drempel





turbulenties. Hierdoor kunnen, bij overschrijding van een bepaalde kritieke waarde, de stenen uit de toplaag wegspoelen. Als dit transport doorgaat, zal op den duur de onderliggende laag bloot gesteld worden aan de stroom, die bestaat uit kleinere elementen, die minder weerstand bieden. Verwacht kan worden, dat vervolgens de gehele drempel wegspoelt. In deze situatie is het stroombeeld zeer complex. Onderzoek naar de stabiliteit is daarom uitgevoerd met behulp van een hydraulisch schaalmodel. Voor de definitieve vaststelling van de benodigde steengewichten was het noodzakelijk dat de dorpelbalken en het niveau van de dorpel vastlagen, omdat die de mate van stroomaanval op de toplaag beïnvloeden. De geometrie wordt op zijn beurt echter weer mede bepaald door andere aspecten.

Het niveau van de dorpelbalken wordt grotendeels bepaald door het gewenste ontgrondingspatroon achter de bodembescherming. Naast dergelijke aspecten spelen vanzelfsprekend aspecten als kosten en planning een voorname rol.

Voordat begonnen werd met het hydraulisch onderzoek in het model, is eerst een rekenmodel opgesteld, waarin zo volledig als de huidige kennis toelaat de relatie tussen de belasting- en de sterkteparameters wordt beschreven. Het hydraulisch onderzoek was er op gericht gegevens aan te dragen waarmee onzekerheden in dit rekenmodel in voldoende mate konden worden weggelaten. Na het opstellen van het rekenmodel voor zowel de situatie 'gesloten kering' als de situatie 'weigerende schuif' is eerst een tweedimensionaal onderzoek uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium de Voorst.

Naast de sterkte van de constructie kon met deze proefopstelling tevens de verdeling van de waterdruk in het gebied rondom de dorpelbalk worden vastgesteld. De gemeten verdeling stemde in bevredigende mate overeen met de met behulp van een rekenmodel en een elektrisch analoog bepaalde verdeling (figuur 2). Met de resultaten van dit onderzoek is de geometrie van de aanstorting vastgesteld, die vervolgens als randvoorwaarde fungeerde voor het toplaagonderzoek bij de situatie 'weigerende schuif'.

Dit laatste onderzoek vond plaats in een 5 m brede goot, waarin op schaal 1:30 ruim 3 compartimenten van de kering zijn nagebouwd (foto). In de proefopstelling kon een verval worden ingesteld, al dan niet gecombineerd met golven. De sterkte van de toplaag werd uitgedrukt in het aantal stenen dat tijdens een extreme situatie verplaatst wordt. Als criterium werd hierbij het zichtbaar worden van de onderliggende laag gehanteerd, omdat dit vrijwel gelijkstaat aan totaal bezwijken van de drempel. Door het onderzoek uit te voeren voor een aantal karakteristieke sluitgatlocaties kon inzicht verkregen worden in de verdeling van het benodigde steengewicht over het sluitgat. Bij conventioneel stabiliteitsonderzoek wordt in de meeste gevallen als criterium het 'begin van bewegen' van bodemmateriaal gehanteerd. Bij de toplaag echter wordt een zekere schade geaccepteerd.

Daarom is naast de extreme situatie waarbij totaal bezwijken op mag treden tevens de schade bij lagere en vaker voorkomende belastingen bepaald. Omdat de schade onder deze omstandigheden onacceptabel hoog was, is het ontwerp op een aantal plaatsen aangepast. Met name de teen van de aanstorting is om deze reden verzwakt.

Na evaluatie van de resultaten van het toplaagonderzoek is de verdeling van het benodigde steengewicht over het sluitgat vastgesteld (figuur 3). De benodigde steengewichten variëren tussen stortsteen 60–300 kg en basalelementen van 6–10 ton.

Vermeldenswaard is nog dat steen zwaarder dan 300–1000 kg in verband met beschadiging van de betonnen pijlers en dorpelbalken niet vanaf de waterlijn mag worden gestort, maar zeer voorzichtig met een speciale kraan geplaatst dient te worden. Steen zwaarder dan 1 tot 3 ton mag bovendien niet tegen de betonnen onderdelen kantelen; daarom wordt tussen dit materiaal en de pijlers ter bescherming een strook asfalt aangebracht.





Morfologische veranderingen in het Krammer en het Slaak

De bouw van de Grevelingendam en de Volkerakdam heeft tot gevolg gehad dat de getijstromen op het riviertraject Volkerak-Krammer-Zijpe-Mastgat aanzienlijk zijn gewijzigd. In Bericht 49 (augustus 1969) en 51 (februari 1970) zijn deze veranderingen beschreven.

Als gevolg van het gewijzigde stroombeeld heeft zich sedertdien een ingrijpende verandering voltrokken in het patroon van geulen en platen, met name in de omgeving van het Krammer. Dat is het onderwerp van deze bijdrage; tevens zal aandacht worden besteed aan de veranderingen als gevolg van de werken in het tracé van de Philipsdam. Hoofdelement in de dynamische morfologie van het gebied vormt het patroon van eb- en vloedscharen en indifferente geulgedeelten. Een ebschaar wordt gekenmerkt door een over de getijcyclus gemeten resulterende waterbeweging in de richting van de ebstroom; bij een vloedschaar is het omgekeerde het geval. Bij geulgedeelten die niet de morfologische kenmerken van een schaar hebben, de 'indifferente' geuldelen, ontbreekt een dergelijk verband. Er wordt van uitgegaan, dat de resultante van eb- en vloedstroming daar *relatief klein* is. In het diepste deel van een schaar – de geulas – zal de dominante stroming in het algemeen het sterkst zijn. Het patroon van geulassen met eb- en vloed-karakteristieken komt daardoor min of meer overeen met het verloop van de stroomdraden tijdens de getijfase van maximale vloed- of ebstroom. Voorwaarde is daarbij wel, dat zich in of op de bodem geen structuren bevinden die een vrije ontwikkeling van de morfologie belemmeren of vertragen. Zinkstukken en andere verdedigings-

De Grevelingendam met op de achtergrond het werkeiland voor de Krammersluizen

werken daargelaten, is dit in het betrokken gebied in het algemeen het geval. Figuur 2 geeft een overzicht van de veranderingen in de ligging van een aantal dieptelijnen en in het patroon van geulassen, die zich hebben voltrokken in de jaren na de afsluiting van de noordelijke Grevelingen.

Met de afsluiting van de zuidelijke Grevelingen in 1962 en die van het noordelijk gedeelte in december 1964 kwam een einde aan de complexe uitwisseling van getijwater tussen het Zijpe en de Grevelingen.

Grote veranderingen deden zich voor in het horizontaal getij. Uit afvoerkrommen van het Zijpe, berekend uit stroommetingen die werden verricht vóór en na de afsluiting van de Grevelingen, kan worden afgeleid dat het getijvolume – dat is de som van het vloed- en het ebdebiet – in het Zijpe toenam met meer dan 30 %, voornamelijk als gevolg van een sterke vergroting van het ebvolume. Tijdens de maximale ebstroom verliep meer dan 25 % van de stroom uit het Volkerak via de bocht van Sint Jacob naar de Grevelingen.

Daarentegen vertakte de stroom vanuit het Zijpe zich tijdens de maximale vloedstroom voor slechts 6 à 7 % naar de bocht van Sint Jacob. Na de afdamming van de bocht van Sint Jacob door de Grevelingendam moet de toename van de ebstroom in het Krammer evenals in het Zijpe, die van de vloedstroom aanzienlijk hebben overtroffen.

Al deze hydraulische veranderingen hadden tot gevolg dat in het Krammer een proces van geulverruiming begon, waarbij tevens een proces van snelle uitbochtting naar het noorden op gang werd gebracht, voornamelijk door de sterk toegenomen ebstroom. Van 1962 tot de afsluiting van het Volkerak in 1969 verplaatste de geulas van het Krammer zich in de omgeving van het tracé van de Philipsdam ongeveer 1 km naar het noorden, waarbij de maximale geuldiepte ten oosten van het tracé met 8 m toenam tot N.A.P. – 18 m.

Door deze ontwikkeling nam de Plaat van Oude Tonge sterk in omvang af, terwijl zich tussen de zuidelijke binnenbocht van het Krammer en de noordelijke oever van het Slaak een nieuwe plaat begon uit te breiden: de Plaat van de Vliet. Het Slaak veranderde niet van ligging. Wel verminderde de geul belangrijk in diepte, van maximaal 14,5 m in 1962 tot 10 m in 1969. Kennelijk nam het Krammer in deze periode een deel van het getijvolume van het Slaak over.

In twee gebieden van het Krammer, ten zuiden van de Krammerse Slikken en bij de westelijke afsplitsing van het Slaak, waar de stroming

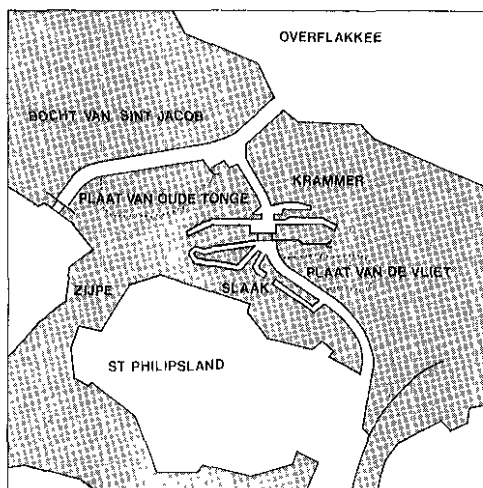
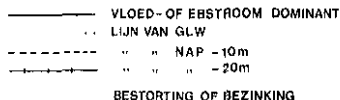


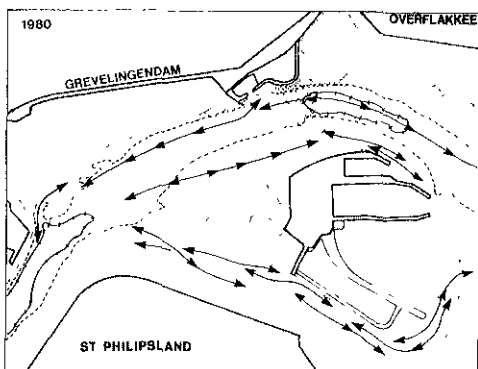
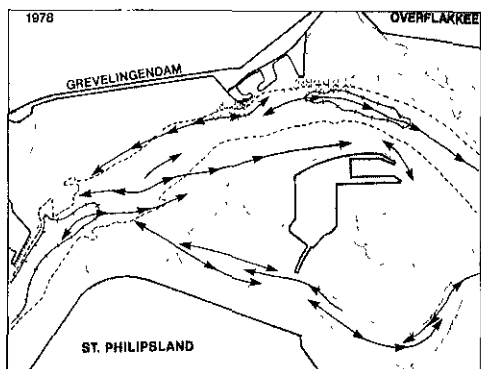
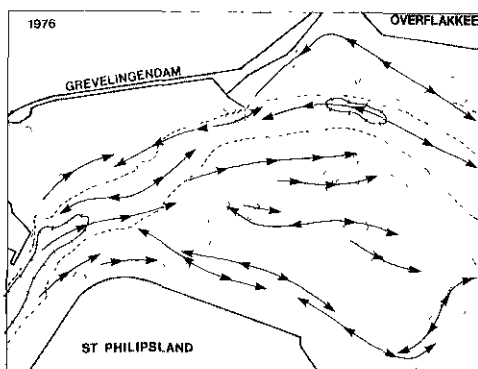
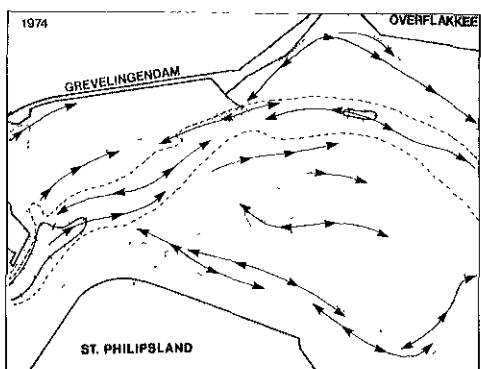
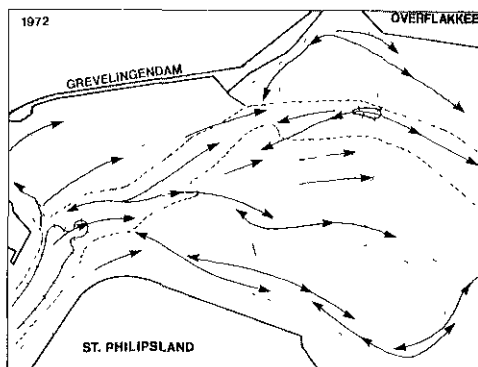
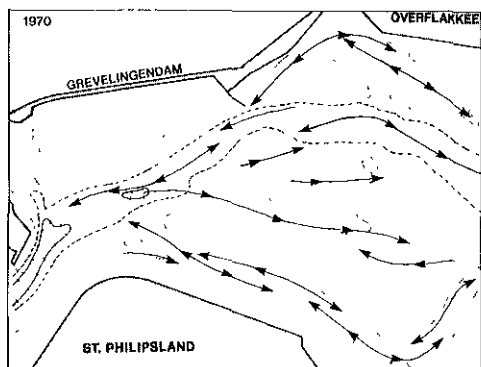
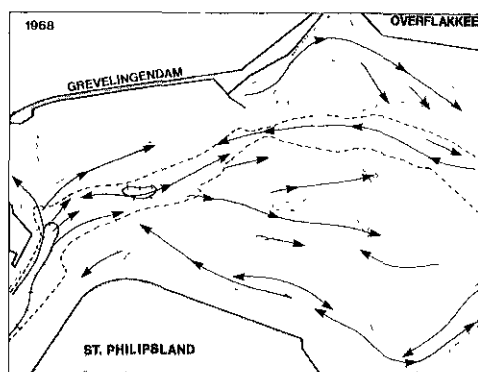
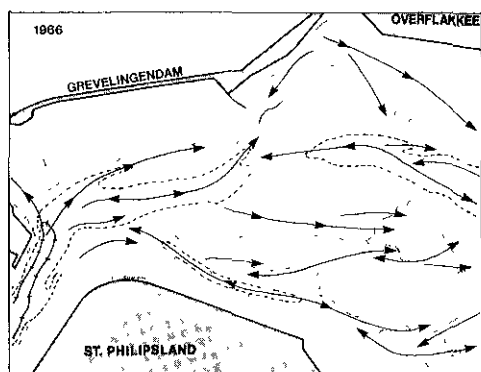
Fig. 1. Waterloopkundige situatie in de omgeving van het werkeiland op de Plaat van de Vliet

Fig. 2. Ontwikkeling van de hydraulische en morfologische situatie 1966–1980



zich concentreerde in een relatief smalle geul, traden de grootste verdiepingen op. Hydraulisch minder begrijpelijk is het lokale karakter van de sterke verdieping in het laatstgenoemde gebied en de sterke kromming van de geulas in de ontgrondingskuil. De oorzaak voor deze ontwikkeling moet naar alle waarschijnlijkheid worden gezocht in de aanwezigheid van erosiebestendige lagen in de drempel tussen de gevormde kuilen en de ingang van het Zijpe. Voor de aanwezigheid van dergelijke lagen pleiten ook de zeer steile en grillige taluds die zich vanuit het Zijpe bij het geleidelijk voortschrijden van de erosie in latere jaren in deze drempel vormden.

In tegenstelling tot de afsluiting van de Grevelingen had de sluiting van het Volkerak een belangrijke verhoging van het verticaal getij tot gevolg:



	GHW	GLW	Getijverschil
1941-1964	150	-125	275
1965-1968	155	-110	265
1970/1972/1977	195	-185	380

Wat het horizontaal getij betreft waren de veranderingen het grootst in het Volkerak, waar het sterk afnam. In westelijke richting vanaf de Volkerakdam werd de afname geleidelijk minder. In het Zijpe ter hoogte van Bruinisse veranderde de afname van het getijvolume zelfs in een geringe toename. In de omgeving van het tracé van de Philipsdam heeft het getijvolume dus slechts een geringe afname ondergaan. Van veel grotere betekenis voor het gebied was echter de verandering van het getijverloop. De vloeduur nam belangrijk toe, in het Zijpe wel met een half uur. Gedurende relatief lange tijd bleven de snelheden echter laag, en voor het zandtransport van betrekkelijk weinig betekenis. Op grond hiervan was al in 1959 te voorzien dat het zandtransport op het traject Zijpe-Krammer het vloedtransport zou gaan overtreffen, wat tot een verdere uitschuring van de geulen zou leiden.

Ondanks het feit dat het getijvolume geen belangrijke wijziging onderging, is als gevolg van het sterk gewijzigde verloop van het getij, een verdere verruiming van vooral het Krammer opgetreden. Van 1969 tot 1977 nam de maximale diepte van deze geul ten oosten van het tracé van de toekomstige dam met 6 m toe, tot N.A.P. - 24 m. Ook het proces van uitbochtiging ging verder, zij het dat de snelheid ervan belangrijk afnam, voornamelijk als gevolg van de aanleg vanaf december 1970 van bezinkingen en bestortingen bij de voormalige Oostkop langs de rand van de Plaat van Oude Tonge. Door de afname van de Plaat van Oude Tonge kwam de voormalige Oostkop steeds verder als een bolwerk in de rivier te liggen.

Dit had de geleidelijke ontwikkeling van een ontgrondingskuil tot gevolg, die zich, na de aanleg van de bestorting langs de rand van de Plaat, snel naar het westen uitbreidde. Mede door deze ontwikkeling werd met name de ebstroom steeds verder geconcentreerd langs de noordelijke oever van het Krammer. Het patroon van inscharingen wijst erop dat in 1970 nog een belangrijk deel van de vloedbeweging zijn weg vond over de Plaat van de Vliet.

Door de geleidelijke noordwaartse uitbreiding en ophoging van de Plaat van de Vliet vond een zekere concentratie plaats van de vloedstroom langs de zuidelijke oever van het Krammer. Ten westen van de Oostkop leidde de achteruitgang van de Plaat van Oude Tonge

tot een belangrijke verbreding van het Krammer. Er ontstond nu ruimte voor een betere stroomvoering, waarin de vloed- en ebbeweging geleidelijk meer overwicht kreeg in respectievelijk het zuidelijke en het noordelijke gedeelte van de geul. Ter compensatie van de verbreding van het Krammer in dit riviertraject vond verondieping plaats van het diepere deel van de geul, met name van de ontgrondingskuil die na 1965 in het westelijke deel van het Krammer was ontstaan.

Door de aanleg van het werkeiland en de damaanzet bij de werkhaven Oostkop werd het doorstroombroefiel in het tracé van de toekomstige Philipsdam verkleind, waardoor de stroomsnelheden – met name in het Krammer – toenamen. Dit had een verdere verdieping van het Krammer tot gevolg. Overigens ging het proces van uitbochtiging van deze geul gestaag verder. Om dit proces te vertragen werd aansluitend op de bodembescherming in het tracé van de dam een 'grindloper', aangebracht op de oever van de Krammerse Slikken. Door de aanleg van de werkhaven Oostkop en de noordelijke damaanzet werd het hydraulisch effect van de voormalige Oostkop als bolwerk in de stroming nog belangrijk versterkt. Dit had tot gevolg dat de ontgrondingskuil bij de Oostkop zich naar het oosten uitbreidde en de diepe put ten zuiden van de Krammerse Slikken een westwaartse uitbreiding onderging. De voortgaande uitbochtiging van het Krammer leidde tot ondergraving van de grindloper. In januari en oktober 1980 traden daardoor enkele aanzienlijke vallen op, waarbij respectievelijk het westelijke en het middelste gedeelte van de grindloper vrijwel volledig werden opgeruimd. De eerste val vond plaats vlak naast de bodembescherming in het tracé van het sluitgat. Uit peilgegevens bleek dat daarbij 600 m² van de bodembescherming werd meegenomen. In verband met deze ontwikkeling werd de bezinking en bestorting langs de zuidoostzijde van de damaanzet uitgebreid. Bij de aanleg van de noordelijke damaanzet werd een geul die langs de Grevelingendam liep – het 'afgesloten Krammer' – afgesloten. Een nieuwe verbinding tussen het Krammer en het kombergingsgebied van deze geul kwam tot stand door een geultje dat zich op 100 meter ten oosten van de grindloper ontwikkelde.

In juni 1979 had dit geultje een diepte van bijna 8 meter bereikt, daarna deden zich hier geen wijzigingen van betekenis meer voor. Voor de ver naar het zuiden uitstekende damaanzet naar de overbrugging van het Slaak ontstond een turbulent stromingsbeeld,



Het middelste gedeelte van de grindloper is door de stroom opgeruimd

hetgeen de vorming van een ontgrondingskuil tot gevolg had. Na de aanleg van de zuidelijke omkading van het Lage en het Hoge Bekken stak deze dam niet langer als een vooruitgeschoven bolwerk in de rivier. Het hydraulische effect was daardoor verdwenen, zodat de ontgrondingskuil geleidelijk weer wat werd opgevuld.

De aanleg van de noordoostelijke havendam van de oostelijke voorhaven bracht een wijziging teweeg in de ligging van de ontgrondingskuil die zich had gevormd voor de kop van de noordelijk havendam van de werkhaven. Vóór de aanleg van de oostelijke voorhaven stond de stroom hier gedeeltelijk dwars op het havenhoofd. Na de aanleg van de voorhaven was dit veel minder het geval en was de stroom meer langs het havenhoofd gericht. Deze hydraulische verandering is gevolgd door een morfologische verandering waarbij de ontgrondingskuil meer naast dan voor de dam van de werkhaven kwam te liggen en waarbij de ebinscharing vanuit de kuil zich naar het westen uitbreidde. Dit ging gepaard met teruggang van de oever langs de dam, vooral langs het naar het zuidoosten afbuigende gedeelte. Deze ontwikkeling heeft in december 1980 geleid tot een kleine afschuiving, waarbij de bestorting langs de dam enigszins werd aangetast.

Ten zuidoosten van het werkeiland is in de loop van de jaren zestig een geul ontstaan

tussen het Krammer en het Slaak. Deze geul heeft zich nadien geleidelijk naar het noordwesten verplaatst. Dit kan als volgt worden verklaard: de zuidoostelijke flank van de verbindingegeul wordt gevormd door een vloedinscharing vanuit het Slaak en een ebinscharing vanuit het Krammer. De dominante stromen in deze scharen zorgen voor sedimentaanvoer vanuit het Krammer en het Slaak. Langs de westflank bestaat een netto transport in omgekeerde richting, dus terug naar het Slaak en het Krammer. Hierdoor bestaat er langs de noordwest- en zuidoostflank een neiging tot respectievelijk verdieping en aanzanding, hetgeen resulteert in geleidelijke verplaatsing van de geul naar het noordwesten.

De aanleg van het damvak Plaat van de Vliet en de zuidelijke omkading van het Lage Bekken brachten enige wijziging in de hydraulische situatie. Voor de kop van de damaanzet van het sluitgat Slaak ontstond een versnellingsgebied waarin ontgrondingen optraden. Door concentratie van de stroming langs de kop van de dam kon de ebschaar langs de noordwestelijke flank van de geul zich verder naar het zuiden uitbreiden.

De vloedinscharing vanuit het Slaak is wat verder naar het zuidoosten uitgebocht. Mogelijk houdt dit verband met een toename van de stroming in deze schaar die het getijvolume heeft overgenomen van een kleine vloedinscharing die bij de aanleg van de zuidelijke omkading van het Lage Bekken werd afgedamd. Tengevolge van de uitbouw van de noordwestelijke havendam in juni 1980 trad opnieuw een belangrijke wijziging op in de stroomsituatie in dit gedeelte van het Krammer.

Door concentratie van de stroom langs de kop van de dam ontstond hier een versnellingsgebied, waar sterke ontgrondingen plaatsvonden. Binnen zeven maanden werd de geul hier maximaal 5 meter dieper waardoor dicht tegen de kop van de dam een kuil ontstond tot N.A.P. - 11 m met een helling naar de oever van ruim 30%. Dit zeer snelle proces van verdieping is mede verklaarbaar door de omstandigheid dat de bodem tot ongeveer N.A.P. - 10 m uit zeer los gepakt zand bestaat, dat daar, zoals blijkt uit de peilkaarten, na 1964 is afgezet. Een vergelijkbare ontwikkeling doet zich op het ogenblik voor langs het meest westelijke gedeelte van de zuidelijke omkading van het Hoge Bekken. Doordat de stroomsnelheden hier kleiner zijn zal de snelheid waarmee de ontgraving voorschrijdt en de omvang van de kuil die uiteindelijk bereikt wordt, echter minder groot zijn.

Doorbraak van de Westelijke Markiezaatskade

In de vroege ochtend van 11 maart 1982 is de in uitvoering zijnde Westelijke Markiezaatskade doorgebroken. Het gebeurde tijdens een stormvloed waarbij ten westen van de kade een maximale waterstand is geregistreerd van N.A.P. + 3,70 m. Het precieze tijdstip van de doorbraak is niet bekend, maar waarschijnlijk lag het tussen half vier en zes uur 's ochtends. De doorbraak vond plaats bij de aansluiting van de stenen sluitkade op het zuidelijk damvak; de damkop van het zuidelijk damvak is hierbij bezwaken. Hoe kon dit gebeuren?

In het volgende wordt een overzicht gegeven van de voorgeschiedenis, de omstandigheden en de mogelijke oorzaken van de doorbraak, de getroffen noodmaatregelen, de alternatieve mogelijkheden tot sluiting en het daartoe opgestelde ontwerp.

Eerder werd over het ontwerp van de Markiezaatskade gerapporteerd in Bericht 96 (mei 1981).

De Westelijke Markiezaatskade ligt net ten oosten van de Schelde-Rijnverbinding. Hij verbindt de Molenplaat met het Kreekraksluizen-komplex (figuur 1). De kade ligt op 200 m van de oostelijke insteek van de Schelde-Rijnverbinding en 300 m ten westen van de 380 kV-hoogspanningsleiding die de centrale van Borssele verbindt met die van Geertruidenberg.

De Westelijke Markiezaatskade bestaat achter- en vervolgens uit een 1900 m lang laag zuidelijk damvak, een sluitkade van 800 m, een laag noordelijk damvak ter lengte van 400 m, dan een 1100 m lang hoog damvak ten westen van de Molenplaat en tenslotte een verbindingdam met de zuidkant van de Molenplaat.

Omdat het uit milieu-overwegingen aantrekkelijk is het zoutgehalte in het Markiezaat tot de sluiting van de Oesterdam op peil te houden, is de sluitkade ontworpen als een doorlatende constructie. De kruin van de sluitkade moest komen te liggen op N.A.P. + 3,50 m, exclusief 50 cm overhoogte wegens zettingen.

Bij dit niveau wordt de sluitkade gemiddeld één maal per jaar overstroomd. Bij de dimensionering en de keuze van de materialen is daar rekening mee gehouden. Ook de iets hoger dan de sluitkade gelegen damvakken ten noorden en zuiden ervan zijn bij hoge stormvloed overstroombaar, en daarom geheel met zware

stortsteen afgedekt. De overstromingsfrequentie zal hier echter niet hoger zijn dan gemiddeld één maal per 4 à 5 jaar.

In het bestek was de volgorde van werkzaamheden voorgeschreven. Allereerst moest een bodembescherming van zinkstukken worden aangebracht ter plaatse van de te bouwen sluitkade. Dan zou het zuidelijk damvak worden uitgebouwd door het opspuiten van een zandkade die vervolgens werd afgedekt met stortsteen. Dan volgde in het noorden een kade van stroombestendige fosforslakken met daarachter een zanddam. Als laatste werd de eigenlijke sluitkade gelegd op de reeds aangebrachte bodembescherming.

De damgedeelten bij de Molenplaat dienden te worden aangelegd voordat met de uitbouw van het noordelijke lage damvak werd begonnen. De sluitkade zou laagsgewijs worden opgebouwd tot een niveau van N.A.P. + 1,00 m met het oog op de stabiliteit van de te gebruiken stortsteen en ter beperking van dwarsstroom op de Schelde-Rijnverbinding.

Uiterlijk op 15 oktober 1981 diende de sluitkade op N.A.P. + 2,50 m te zijn gebracht, over een breedte van 5 m, terwijl de oplevering van het gehele werk was bepaald op 18 december 1982. In verband met de te verwachten dwarsstroomhinder op de Schelde-Rijnverbinding zou ten behoeve van de veiligheid van de scheepvaart een verkeersregeling worden ingesteld vanaf een daartoe ter beschikking gesteld vaartuig.

Vooraf is grondmechanisch onderzoek verricht naar de zettingen van de gehele kade, de stabiliteit van de sluitkade en de zettingsvloeiingsgevoeligheid van de ondergrond ter plaatse van het sluitgat. Op grond van beschikbare sonderingen en boringen werden zettingen berekend van maximaal 1,3 à 1,4 m. Dat er door stabiliteitsverlies van de ondergrond doorpersingen zouden kunnen optreden werd in het grondmechanisch rapport niet voorzien. Bij het ontwerp is daarom wel met grote zettingen rekening gehouden, maar niet met doorpersingen.

Verder werd gesteld dat de veenlaag aan de oppervlakte een veel grotere weerstand tegen ontgronding bezit dan zand, waarmee normaal rekening wordt gehouden. De dimensionering van de bodembescherming is hierop afgestemd geweest.

Ten behoeve van de vaststelling van het tracé van de kade, de dimensionering van het sluitgat, de sluitingsmethode en de stabiliteit van de toe te passen materialen zowel van de sluitkade als de aansluitende damvakken, is uitgebreid waterloopkundig onderzoek uitge-

voerd. Het ontwerp van de kade was mede op dit onderzoek gebaseerd.

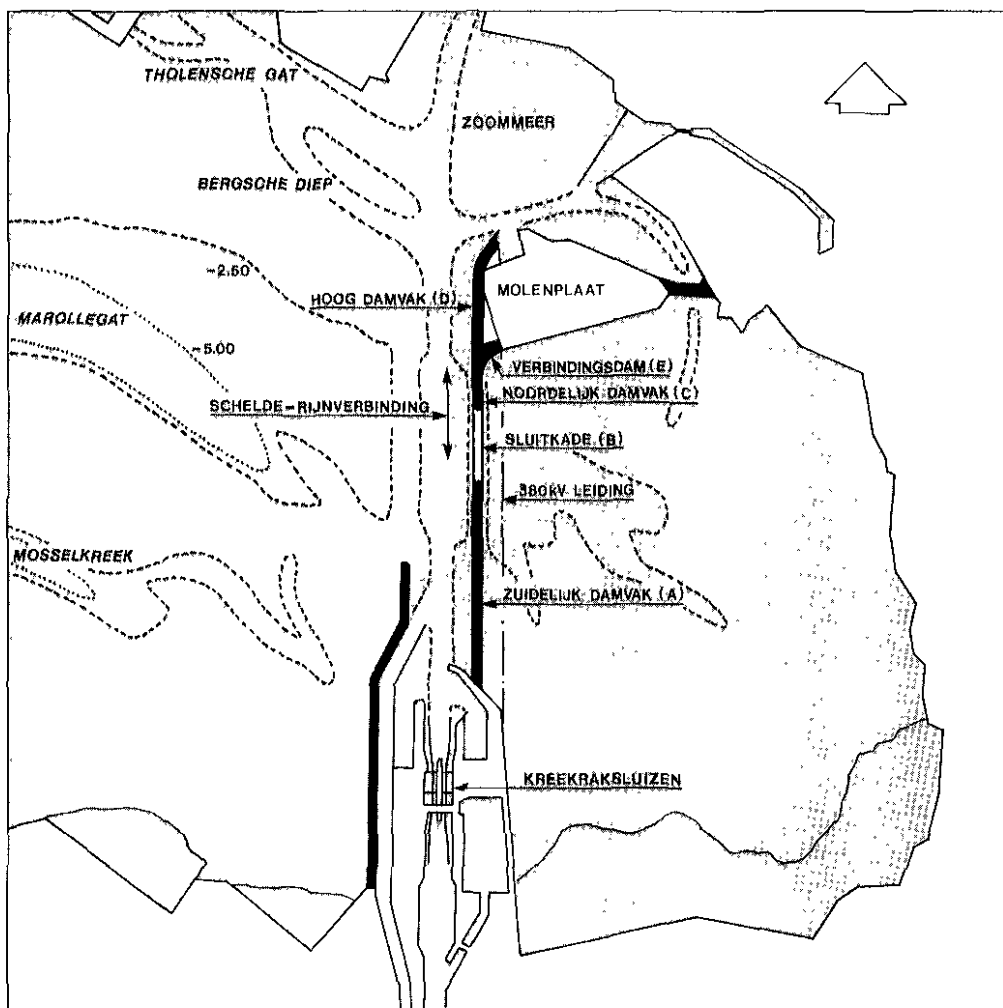
Uitvoering

Tijdens de uitvoering van het zuidelijke damvak ontstonden onverwachte problemen doordat er toch doorpersingen optraden in de ondergrond. Bij het opspuiten van de zandkade zakte het aangebrachte materiaal soms in korte tijd enkele meters recht naar beneden. Aan de teen van de ophoging kwamen daarbij grote brokken veen naar boven. Bij de uitbouw van de noordelijke kade traden dezelfde verschijnselen op. Deze doorpersingen leidden tot aanzienlijke vertraging.

Een specifiek op dit probleem gericht grondmechanisch onderzoek bracht aan het licht dat er onder het grootste deel van de kade onder de

De doorgebroken Markiezaatskade. Het gat is inmiddels kunstmatig verruimd





bovenlaag van veen een slappe kleilaag aanwezig was variërend van één tot enkele meters dikte. Hoewel het rapport dit nergens zo stelt zijn deze kleilagen hoogstwaarschijnlijk debet aan de doorpersingen. De beide damvaken zijn verder geheel bekleed met stortsteen om bestand te zijn tegen overstroming zoals eerder beschreven. Dit gedeelte van het werk is begin augustus gereedgekomen, met iets meer dan een maand vertraging. Er resteerde toen nog een sluitgat tussen de beide damkoppen ter lengte van 800 m, waarin de sluitkade moest worden aangelegd, op de reeds aangebrachte bodembescherming. In dit sluitgat traden stroomconcentraties op die vooral tijdens de eb een grote dwarsstroomhinder veroorzaakten voor de scheepvaart op de Schelde-Rijnverbinding.

Op grond van de resultaten van het ingestelde

Fig. 1. Overzicht van de omkading van het Markiezaat van Bergen op Zoom

aanvullende grondonderzoek werd het niet verantwoord geacht, de sluitkade volgens het bestek uit te voeren. Besloten werd eerst ten westen van de reeds in het sluitgat aangelegde bodembescherming een grondverbetering uit te voeren. Daarna kon, omstreeks eind oktober, met de sluitingsoperatie worden begonnen. De vertraging was inmiddels opgelopen tot ruim vier maanden.

In de periode juli tot en met oktober 1981 hebben zich ter hoogte van het sluitgat als gevolg of mede als gevolg van de dwarsstromen zes scheepsongevallen voorgedaan, waarvan één met een geladen benzinetanker.

Bovendien zijn volgens waarnemingen van de scheepvaartregelaars 23 bijna-ongevallen opgetreden.

In verband met de onveilige situatie op de Schelde-Rijnverbinding, die nog ongunstiger werd door de winterse omstandigheden, werd besloten de sluitkade zo snel mogelijk te voltooien. Dat de sluitingsoperaties nu in de winter moesten worden uitgevoerd en daardoor aan grotere risico's zouden worden blootgesteld werd als minste van de twee kwaden geaccepteerd.

Vanaf 17 november is de sluiting in een geforceerd tempo uitgevoerd. Dit heeft ertoe geleid dat de dwarsstroomhinder op de Schelde-Rijnverbinding in de tweede helft van december sterk was verminderd. Medio januari 1982 kon de scheepvaartregeling worden opgeheven.

De sluitkade had toen een hoogte bereikt van N.A.P. + 2,25 m. Gedurende een aantal weken is vervolgens steen aangevoerd naast de kade, om daarmee de kade in een later stadium te kunnen verhogen tot het vereiste niveau. Met dit laatste is daadwerkelijk begonnen omstreeks 1 maart 1982. Steen 300/1000 kg moest daarbij boven op de eerder aangebrachte laag van 60/300 kg worden geplaatst. De verhoging werd uitgevoerd met hydraulische kranen. Die waren wel in staat om zich voort te bewegen op steen 60/300 kg, maar bleken dit niet te kunnen op de grotere steen 300/1000 kg. Toen is de aannemer vanuit het midden van de kade gaan werken naar de aansluitende damvakken toe, zodat de hydraulische kranen achterwaarts rijdend over de steen 60/300 kg de steen 300/1000 kg konden aanbrengen. Met deze werkwijze was in een eerder stadium reeds ervaring opgedaan.

Op 10 maart was de ophoging tot het vereiste niveau over een lengte van ongeveer 500 m gerealiseerd. De beide uiteinden van de sluitkade echter hadden op dat moment over een lengte van 150 en 200 m nog hetzelfde niveau van N.A.P. + 2,25 m als in januari.

Op 11 maart 1982 lag de damkop van het zuidelijk damvak op een hoogte van N.A.P. + 4,5 m; hij was onder een helling van 1:3 op kruin en taluds geheel afgewerkt met 1600 kg/m² stortsteen 60/300 kg. De sluitkade, op die plaatsen nog niet hoger dan N.A.P. + 2,25 m, sloot hierop aan onder een hoek van 45° (figuur 3).

De doorbraak

De stormvloed in het Oosterschelde-gebied waarbij de sluitkade zou breken is veroorzaakt door een kleine depressie die in de loop van de nacht van 10 op 11 maart verder uitdiepte. De wind ruimde van zuidwest naar west tot noordwest en bereikte op 11 maart tussen vier en vijf uur een kracht van 9 à 10 Beaufort. In het oostelijk deel van de Oosterschelde werden windgolven opgewerkt met een maximale hoogte van 1,50 m.

Het was echter tegelijk springtij; onder normale omstandigheden zou de hoogwaterstand om tien voor vijf 's ochtends N.A.P. + 2,30 m. hebben bedragen. Uit figuur 2 valt af te lezen dat het water aan de Oosterschelde-kant van de kade omstreeks 4.15 uur een maximale stand heeft bereikt van N.A.P. + 3,67 m, dus ruim 1,40 m hoger dan het lage deel van de sluitkade. Dit is de hoogste waterstand ter plekke sinds de stormvloed van 1976; hij heeft een statistische frequentie van voorkomen van ongeveer 1/3 keer per jaar. Zulke hoge standen treden voornamelijk op in het herfst- en winterseizoen, van november tot en met maart. In de rest van het jaar is het optreden van hoge waterstanden niet uitgesloten, maar de frequentie ligt dan veel lager dan in het stormseizoen. Deze stormvloed had een plotseling karakter, zodat de normale procedure voor het instellen van een beperkte dijkbewaking niet kon worden gevolgd. Er werd gebruik gemaakt van een spoedalarmering. De op dat moment verwachte waterstand werd overigens nog aanzienlijk overschreden.

De snelheid waarmee de waterstand steeg, was onder andere een gevolg van het feit dat de grootste windsnelheden juist voorkwamen in de periode van hoog water. Hierdoor en omdat de sluitkade al over meer dan de helft van de lengte op N.A.P. + 4 m lag, was de waterstand op het Markiezaat op het tijdstip van hoog water nog erg laag, ongeveer N.A.P. + 0,60 m. Dit bedreigde de stabiliteit van de damkop. Op de damkop stond een hydraulische kraan van 40 ton, die overdag werd gebruikt voor het opbouwen van de zware stenen kap. Door de plotseling optredende onverwacht hoge waterstand kon deze kraan niet tijdig

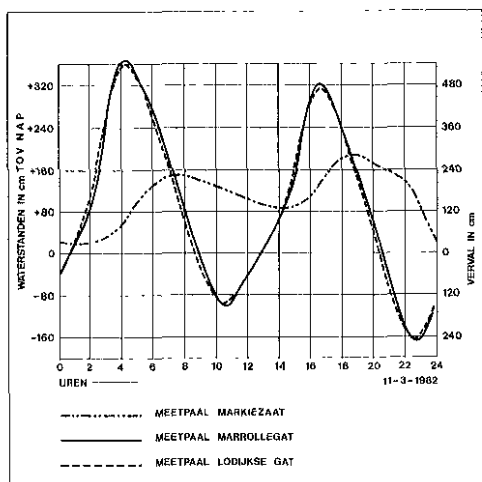


Fig. 2. Verloop van het getij op 11 maart 1982

Vloedstroom door het op 11 maart 1982 ontstane gat

verwijderd worden, en de extra bovenbelasting door de kraan maakte de grondmechanische stabiliteit van de damkop nog ongunstiger.

Het bezwijken van de damkop heeft zich, voor zover bekend, voltrokken zonder dat er ooggetuigen aanwezig zijn geweest. Het is dan ook niet mogelijk om er een op waarnemingen berustend verslag van te geven. We moeten volstaan met het opstellen van een bezwijkprocedure die mogelijk een verklaring kan geven van de doorbraak.

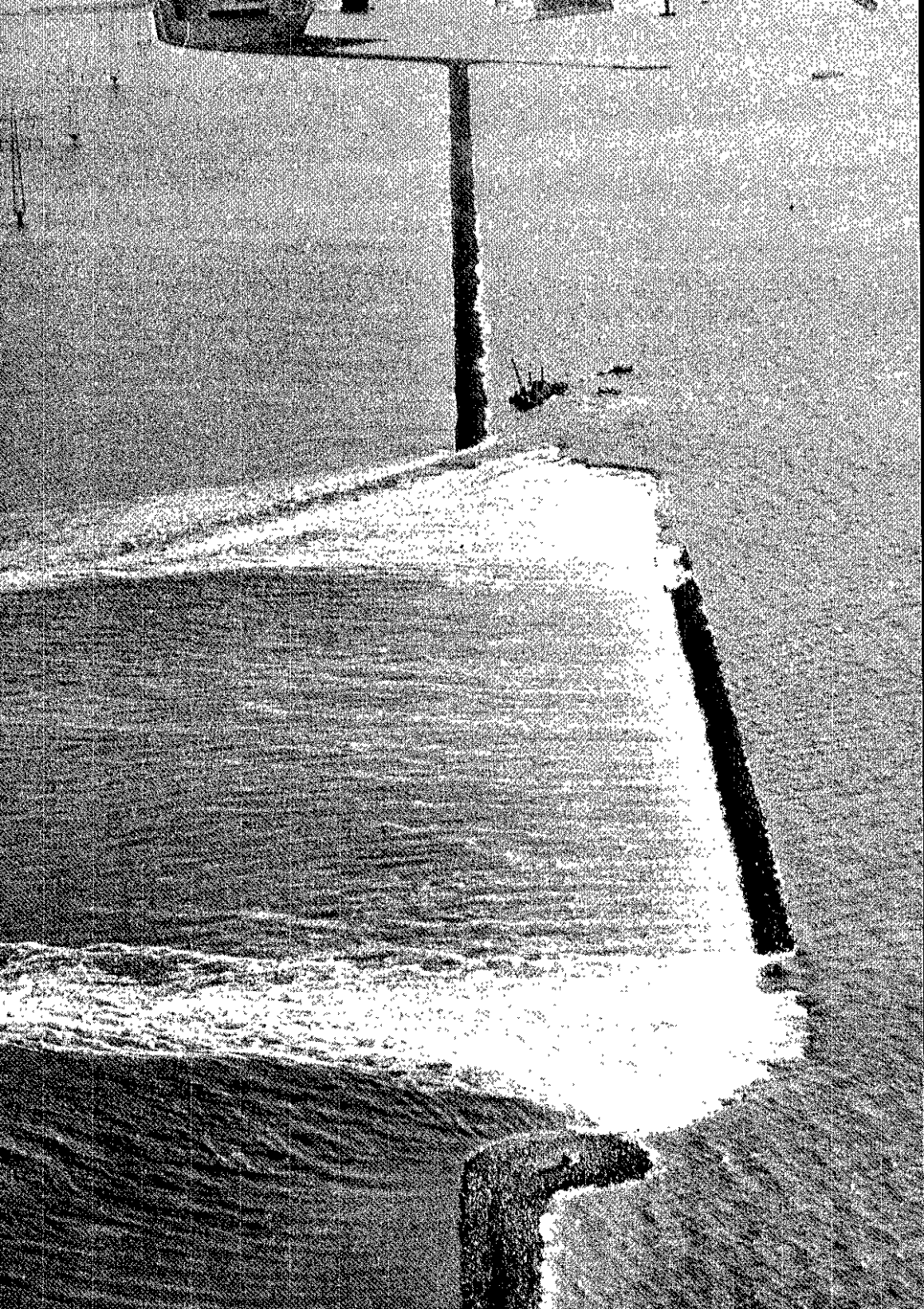
Bij het overstromen van de lage gedeelten van de sluitkade is naar alle waarschijnlijkheid een stroombeeld opgetreden zoals weergegeven op de bijgaande foto, die gemaakt is vlak voor het eerste hoogwater na de doorbraak. Op het moment van hoogwater (11 maart om 4.15 uur) stroomde over het lage gedeelte van de kade een schijf water van ongeveer 1 m dikte met een snelheid op de kruin van ruim 3 m/s. De waterstand op het Markiezaat was op hetzelfde tijdstip N.A.P. + 0,60 m.

De lage delen van de sluitkade functioneerden in feite als een lange overlaat, waarbij zich op het binnentalud een duikende straal heeft ontwikkeld. Een dergelijke straal met een zo grote dikte heeft een sterk eroderende kracht. Dit verschijnsel heeft zich ook voorgedaan vlak vóór zowel de noordelijke als de zuidelijke damkop. Het is mogelijk dat de overstortende straal het talud van de damkop heeft aangetast. De steen 60/300 kg, waaruit ook de sluitkade tot N.A.P. + 2,25 m is opgebouwd, was mogelijk, hoewel berekend tegen overstortend water, op een aantal plaatsen niet bestand tegen deze overstortende watermassa's, zodat plaatselijk erosie van het benedenstroomse talud kan zijn opgetreden. Bij de sluitkade leidde dit op een

aantal plaatsen tot zo'n grote vervorming van het dwarsprofiel, dat een stabiel schadeprofiel ontstond. Op het talud van de damkop was niet zoveel steen aanwezig dat er een stabiel schadeprofiel kon ontstaan.

De erosie van de taludbekleding van de damkop kan zijn gevolgd door het eroderen van de volgende lagen – kunststoffilterweefsel en mijnsteen – die zonder de beschermende laag stortsteen niet lang weerstand konden bieden aan de overstortende straal. Na deze lagen richtte de aanval zich op het zandlichaam van de dam, dat geleidelijk aan werd opgeruimd en tenslotte bezweek onder de druk van de hoge buitenwaterstand.

Maar het kan ook heel anders zijn gegaan. Bij voorbeeld zo: De overstortende straal heeft – mede door het optreden van een sterke turbulentie – in korte tijd geleid tot grote ontgrondingen achter de bodembescherming. Het extreme verval over de kade veroorzaakte een sterk verhang in de bodem, waardoor zowel aan de achterzijde van de damkop als in de daarop aansluitende bodem aanzienlijke overdrukken in de ondergrond zijn opgetreden. Door het ontstaan van de ontgrondingskuil is de tegendruk aan de teen van de damkop minder geworden. Daarna trad afschuiving op van een groot deel van de damkop. Dit proces kan zich in een aantal stappen hebben voltrokken. Het feit dat bij de bouw van de damkop geen versterking van de ondergrond door volledig doorpersing is opgetreden, kan hierbij een rol hebben gespeeld. Het ontstaan van een ontgrondingskuil van grote afmetingen in korte tijd kan samenhangen met mogelijke beschadigingen aan het veenpakket, waardoor grote brokken vanuit de bodem konden worden



losgescheurd en de daaronder liggende lagen snel erodeerden.

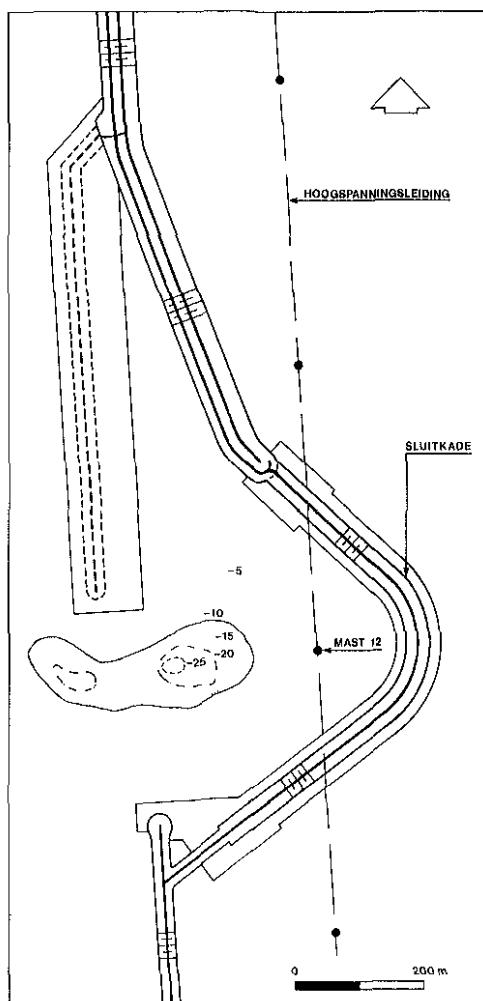
Bij het beschrijven van het bezwijkmechanisme vormt het gedrag van de ondergrond een groot probleem. De samenstelling ervan varieert sterk. Uit ervaring in de omgeving is bekend dat naast plekken met grote resistentie tegen erosie plotseling diepe kuilen optreden. De storm viel op een ongunstig moment van de bouw. Was de kade lager dan zou de stroomaanval op de aansluiting van de sluitkade op de damkop veel geringer zijn geweest. Wanneer de storm twee weken later was opgetreden zou de sluitkade op hoogte zijn geweest. Ook dan was de schadekans veel geringer. Het risico dat is verbonden aan het werken in het stormseizoen werd echter aanvaard om de risico's voor de scheepvaart zoveel mogelijk te beperken.

Noodmaatregelen

Na de doorbraak moest snel een aantal noodmaatregelen worden getroffen, vooral ter wille van de stabiliteit van een 300 m ten oosten van het gat gesitueerde hoogspanningsmast van het 380 kV-koppelnetsgedeelte Borssele-Geertruidenberg en van de scheepvaart op de Schelde-Rijnverbinding.

In enkele dagen tijd ontstond een gat van ongeveer 150 m breed. In het tracé van de dam bleef een drempel zitten op een gemiddelde diepte van N.A.P. - 13 m. Aan weerszijden daarvan ontstonden ontgrondingskuilen met een grootste diepte van N.A.P. - 26 m aan de oostzijde en - 22 m aan de westelijke kant. De oostelijke ontgrondingskuil breidde zich snel uit in de richting van de hoogspanningsmast. Om de standzekerheid van deze mast te waarborgen is een aantal zinkstukken aangebracht tot op een afstand van 70 m ten westen van de mast en over een breedte van 84 m. Naast en achter de mast werden fosforslakken gestort. In verband met de voortschrijdende erosie en de tijd die gemoeid is met de verbetering van de waterloopkundige omstandigheden, is vervolgens de oostelijke helling van de kuil over een breedte van 80 m en een lengte van 200 m aansluitend aan de bezinking bestort met een laag fosforslakken.

Op de Schelde-Rijnverbinding ontstond een sterke dwarsstroom, die tijdens de gehele eb-fase van het getij scheepvaart onmogelijk maakte. Om deze situatie zo snel mogelijk te verlichten moest het doorstroomprofiel in zuidelijke richting tot 250 m worden verbreed. Het verbrede deel moest bovendien worden verdiept tot N.A.P. - 8 m, vanaf 100 m ten



oosten van het damtracé tot de Schelde-Rijnverbinding.

Voorts diende de bestaande sluitkade over 300 m te worden opgeruimd tot op de bodembescherming op N.A.P. -2 m. Stremmingen worden zo vrijwel voorkomen. Er is een continue scheepvaartbegeleiding ingesteld, waarvoor twee speciaal ingerichte vletten zijn ingezet.

Hersluiting

Voor het hersluiten van de Markiezaatskade zijn twee alternatieven bestudeerd met enkele varianten. De oplossing zou kunnen worden gevonden in de aanleg van een sluitkade recht door het diepe gat, volgens het oorspronkelijk tracé, nadat eerst een verbreding van het sluitgat in noordelijke richting is gerealiseerd

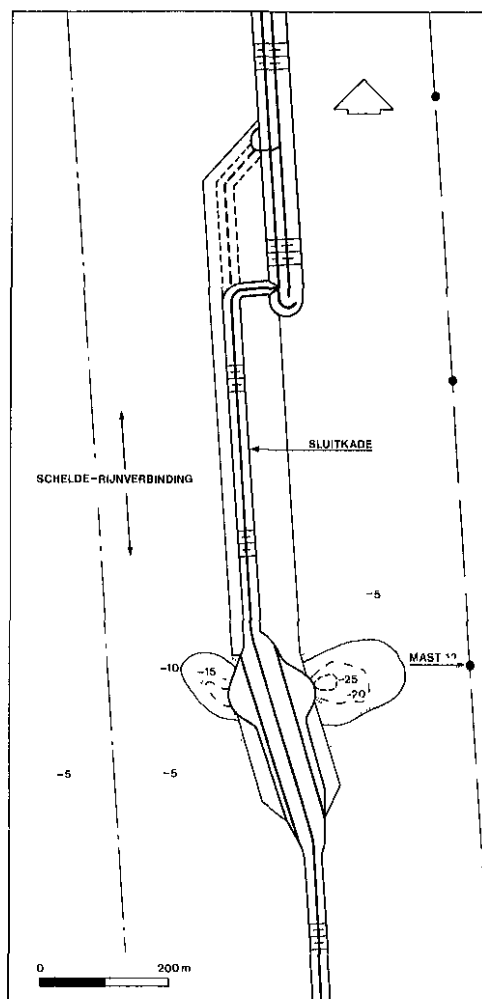
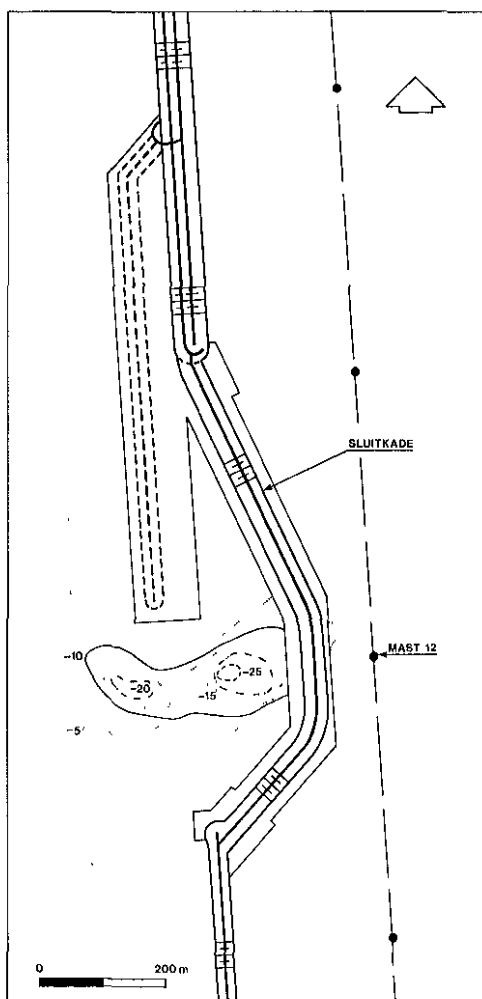


Fig. 3. Alternatieven voor de hersluiting van de Markiezaatskade

tot een totale breedte van 800 m (figuur 3 rechts). Een verbreding in zuidelijke richting is op grond van een globale kostenvergelijking verder buiten beschouwing gelaten. Ook zou een hoefijzervormige inlaagdijk kunnen worden gelegd achter de Oostelijke ontgrondingskuil aansluitend op een damvak achter de oorspronkelijke sluitkade. Dit zou kunnen voor de hoogspanningsmast langs (figuur 3 midden) en er achterlangs (figuur 3 links).

De belangrijkste onderdelen van het eerste plan zijn het verder opruimen van de bestaande sluitkade, de aanleg van een slakkenkade door het diepe gat tot N.A.P. - 4 m en het uitvoeren van een geleidelijke verticale sluiting van het sluitgat met stortsteen, die bijna geheel uit het bestaande werk kan worden betrokken.

Bij de alternatieve oplossingen gaat het vooral

om het graven van een cunet in het tracé van het damvak en de sluitkade, het aanvullen van het cunet plaatselijk tot boven het huidige maaiveld, het aanbrengen van een bodembescherming en het uitvoeren van een geleidelijke verticale sluiting met stortsteen uit de bestaande sluitkade.

De sluiting resulteert bij beide alternatieven in een sluitkade van steen met een hoogte van N.A.P. + 2,5 m en een lengte van 800 m. Om die stormveilig te maken moet hij verder worden verhoogd, of er moet voor of achter de sluitkade een hoog damvak worden aangelegd. Hoewel het tweede alternatief minder tijd vergt dan het eerste, kan het werk in geen van beide gevallen vóór het stormseizoen 1982/1983 zover gereed zijn dat de veiligheid voldoende verzekerd is. Het is daarom in elk geval noodzakelijk een wintersluitgat te maken. Na het stormseizoen kan het werk dan worden voltooid. Uit een globale raming blijkt dat het kostenverschil slechts marginaal is. In het verleden is in soortgelijke gevallen dikwijls een maaiveldsluiting toegepast. In het geval van de Markiezaatskade moet rekening worden gehouden met enkele specifieke omstandigheden, zoals de scheepvaart op de nabij gelegen Schelde-Rijnverbinding, de grondgesteldheid in het Markiezaat en de aanwezigheid van een hoogspanningsleiding op korte afstand. Daarom wordt in dit geval de voorkeur gegeven aan een sluiting 'rechtdoor' volgens alternatief één. Bij het andere alternatief blijft het diepe stroomgat intact, waardoor lange tijd een ongunstige debietverdeling wordt gehandhaafd, met hoge stroomsnelheden als gevolg in de omgeving van de hoogspanningsmast bij vloed, en op de Schelde-Rijnverbinding bij eb. Bij alternatief één wordt het sluitgat meteen in de breedte verruimd en tegelijk opgevuld, waardoor de dwarsstroomhinder op de Schelde-Rijnverbinding eerder zal worden beperkt.

Alternatief twee is geen echte maaiveldsluiting. Er dient in verband met de slechte grondgesteldheid zowel voor het noordelijke damvak als voor de sluitkade een diep cunet te worden gebaggerd. Opvullen van dat cunet met zand zal op een aantal plaatsen vanwege de hoge stroomsnelheden niet mogelijk zijn. Als de dam volgens dit alternatief voor de mast langs moet lopen, dan komt de sluitkade gedeeltelijk op de rand van de ontgrondingskuil te liggen. Er zullen dan in het gebied van de hoogste stroomsnelheden grote hoeveelheden stroombestendige materialen moeten worden toegepast om een stabiel dwarsprofiel te krijgen. Gaat de dam achter de mast langs, dan heeft de sluitkade een sterk gekromde vorm. Hierdoor

ontstaat een ongunstig stroombeeld, dat in combinatie met het diepe stroomgat een grote dwarsstroomhinder op de Schelde-Rijnverbinding zal veroorzaken, erger nog dan bij het andere tracé. Bij de uitvoering is het een nadeel dat men voor het werk dikwijls onder de hoogspanningsleiding door moet. Bij alternatief twee ontstaan extra risico's door het werken in de onmiddellijke omgeving van de hoogspanningsmast, en dat bij een sterke vloedstroom. Bij het andere alternatief is het wintersluitgat niet alleen gunstiger voor de scheepvaart, maar ook voor de stabiliteit van de ontgrondingskuilen. Bovendien kan dan gebruik worden gemaakt van de ervaringen en meetgegevens die bij de eerder verrichte sluiting zijn verkregen.

Besloten is dus om de sluiting recht door het gat uit te voeren. Men begint dan aan de zuidzijde het sluitgat vast te leggen met een stevige damkop, waaromheen een ruime bodembescherming. De toplaag op het talud zal bestaan uit stortsteen 300-1000 kg. In het tracé van de sluitkade wordt de bodem vastgelegd, om verdere ontgroningen te voorkomen. Deze bescherming bestaat deels uit een laag fosforslakken, deels uit zinkstukken. Tegelijkertijd wordt verder gegaan met het opruimen van de bestaande sluitkade tot N.A.P. - 2 m; wel wordt de aldaar aanwezige bodembescherming intact gelaten. Dit gebeurt tot op een afstand van 800 m van de zuidelijke damkop. Op deze plaats wordt de noordelijke damkop gemaakt, die een verbinding vormt tussen de bestaande sluitkade en een achter het meest noordelijke deel van de bestaande sluitkade aan te leggen hoog damvak. Na de aanleg daar van dit laatstgenoemde damvak kan de steen uit het meest noordelijke deel van de bestaande sluitkade opnieuw worden gebruikt. Voor het aanbrengen van een drempel in het diepste gedeelte van het sluitgat worden fosforslakken gebruikt, die onder een taludhelling van 1:3 zeker stabiel zijn. Verwacht wordt, dat de drempel tot N.A.P. - 4 m met slakken kan worden opgebouwd. De drempel moet met een filterlaag van lichte stortsteen worden afgedekt, en met zwaardere steen verhoogd tot ongeveer N.A.P. - 2 m. Het sluitgat wordt vervolgens gedicht volgens de geleidelijke verticale methode. In varend bedrijf zou laagsgewijs steen in het sluitgat kunnen worden gebracht tot ongeveer N.A.P. - 0,5 m over een breedte van 28 m. Zo is men ook te werk gegaan bij de oorspronkelijke sluiting, en daarmee zijn goede ervaringen opgedaan. Daarna kan, eveneens laagsgewijs, met hydraulische kranen bij laag water een minimale sluitkade worden gemaakt ongeveer

tot N.A.P. + 1 m. Als deze minimale sluitkade is gevormd, kan over water meer steen worden aangevoerd, die met hydraulische kranen onder profiel wordt gebracht tot N.A.P. + 2,5 m; dan is de sluiting een feit.

Gezien de slechte bodemgesteldheid en de onvoorspelbare ontgrondingen is besloten de lage noordelijke en zuidelijke damvakken eveneens te versterken. Dit zal geschieden door verwijdering van de bekleding van het oostelijk talud en aanleg van een hoog noordelijk en zuidelijk damvak volgens de gebruikelijke ontwerpen, waarbij vrijwel geen golfoverslag voorkomt. Na het gereedkomen van de sluitkade zal erachter een damvak worden aangelegd. De Markiezaatskade wordt dan een rechte dam met overal een vrijwel gelijk dwarsprofiel. Wanneer de zandlichamen nog in 1982 worden aangelegd is er voldoende tijd voor zetting en consolidatie van de ondergrond, en behoeven er geen grondverbeteringen te worden toegepast.

De grote hoeveelheid steen die in de sluitkade is verwerkt, kan meteen na de bouw van het hoge damvak worden gebruikt voor de voltooiing van de compartimenteringswerken. Bij het oorspronkelijke ontwerp was daar ook mee gerekend, maar dan uitsluitend voor de sluiting van het Tholense Gat, waarbij dan, juist voorafgaand aan die sluiting, een damvak van minimale afmeting achter de sluitkade moest worden aangelegd. Wel moet bij deze oplossing meteen een doorlaatmiddel worden aangelegd, in plaats van een of twee jaar later. Met het definitieve doorlaatmiddel wordt in het budget van de compartimenteringswerken rekening gehouden. Indien de bouw van het definitieve doorlaatmiddel niet voldoende kan worden versneld, zullen tijdelijke voorzieningen moeten worden getroffen.

Het tijdschema van de belangrijkste activiteiten is erop gericht om bij het begin van het stormseizoen 1982/83 een situatie te scheppen waarbij de scheepvaartbegeleiding op de Schelde-Rijnverbinding kan worden opgeheven. In het voorjaar en de zomer van 1983 kan de sluiting met de bijkomende werken worden afgemaakt. De kosten van het totale werk zijn indicatief geraamd op f 35 miljoen.

Samenvatting

Ten behoeve van de voltooiing van de compartimenteringswerken op een voor de scheepvaart op de Schelde-Rijnverbinding aanvaardbare wijze is het noodzakelijk dat de op 11 maart 1982 doorgebroken Markiezaatskade opnieuw

gesloten wordt. De omkading van het Markiezaat vervult een belangrijke waterbouwkundige functie bij de aanleg van de Oesterdam, zowel met het oog op de kosten van aanleg van de dam als in verband met de veiligheid van de scheepvaart op de Schelde-Rijnverbinding; de aanleg is voorts aantrekkelijk uit een oogpunt van milieu en planologie. Hersluiting van de Markiezaatskade dient op korte termijn te gebeuren, omdat uitstel aanzienlijke kosten zal vergen, wil men een aanvaardbare situatie voor de scheepvaart bewerkstelligen. Na de doorbraak zijn noodmaatregelen getroffen om de stabiliteit van een hoogspanningsmast te garanderen en om de hinder voor de scheepvaart op de Schelde-Rijnverbinding te verminderen.

Voor het opnieuw sluiten van de kade zijn alternatieven bestudeerd: recht door het diepe gat en met een hoefijzervormige sluitkade achterom de ontgrondingskuil, voor of achter de hoogspanningsmast langs. De aanleg van een sluitkade recht door het diepe gat verdient op grond van een aantal overwegingen de voorkeur.

Bij deze oplossing moet het diepe gat worden gepasseerd, waarbij een grote hoeveelheid stroombestendig materiaal benodigd is. De bestaande sluitkade moet naar het noorden toe worden opgeruimd tot een sluitgat van 800 m is gerealiseerd. Er wordt naar gestreefd een wintersluitgat te maken waarbij geen scheepvaartbegeleiding meer nodig is. Na het stormseizoen 1982/83 wordt de sluiting uitgevoerd volgens de verticale geleidelijke methode.

Vóór het voltooiën van de kade moeten de damvakken worden verhoogd tot een niveau dat niet of nauwelijks meer overstroombaar is, en moet ook achter de sluitkade een hoog damvak worden aangelegd.

Bij het tijdschema wordt ervan uitgegaan, dat in het stormseizoen een stabiele situatie aanwezig moet zijn. De kosten zijn nog slechts globaal aan te geven: f 35 miljoen, inclusief de noodmaatregelen en B.T.W.

De uitvoering van de sluiting zou in twee delen kunnen uiteenvallen: aanleg van het wintersluitgat in 1982 en vervolgens sluiting en afwerking van de kade in 1983.

Sedimentologisch onderzoek op het werkeiland in de Philipsdam

Hoe de waterbeweging in een zeearm de morfologie van de bodem beïnvloedt, is later af te lezen uit de afgezette sedimenten. Het onderzoek daarnaar draagt bij tot een beter begrip van het verband tussen water- en sedimentbeweging. Dit inzicht is van betekenis voor de aanzandings- en ontgrondingsproblematiek tijdens en na de bouw van de Oosterscheldewerken, met name voor de voorspelling van de morfologische veranderingen die in de Oosterschelde en de voordelta zullen optreden na het gereedkomen van de Oosterscheldekering. Ook was het belangrijk bij de interpretatie van boor- en sondeer gegevens die gebruikt werden voor de berekening van de stabiliteit van de dammen en voor de vaststelling van zandwinplaatsen. Voornamelijk om deze laatste reden werd al meer dan tien jaar geleden een sedimentologisch onderzoek uitgevoerd (Bericht 60, mei 1972).

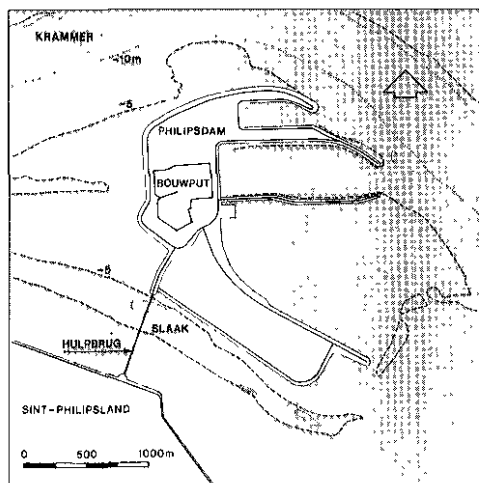
De bodemmorfologie in de geulen van de Oosterschelde wordt in hoge mate bepaald door de sterkte van de getijstroom. Bij geringe waterbeweging ontstaat een min of meer vlakke bodem; bij grotere snelheden worden achtereenvolgens kleine en grote bodemribbels gevormd, die zich in de richting van de stroom verplaatsen. Iedere bodemconfiguratie en de beweging en verandering daarvan, beantwoordt aan een bepaald stroombeeld nabij de bodem en de verandering daarvan in de tijd. De sedimentaire gelaagdheid is een neerslag van dat gebeuren. Bij een eerste benadering kan men de recente afzettingen van het getijdemilieu van Zuidwest-Nederland onderverdelen in drie sedimenttypen. Type 1 wordt gekenmerkt door grof tot matig fijn zand met afgeronde kleibrokjes, verspoelde schelpen en grootschalige scheefgelaagde sedimentaire structuren. De dikte van

de afzonderlijke scheefgelaagde eenheden bedraagt minimaal 10 cm. Dit sedimenttype ontstaat bij aanzanding in een veld van grote bodemribbels. Zij treden pas op als de maximale stroomsnelheden een halve meter boven de bodem groter zijn dan 0,65 à 0,70 m/s. In type 2 vindt men kleinschalig scheefgelaagd matig fijn tot fijn zand. De afzonderlijke scheefgelaagde eenheden bereiken een maximale dikte van enkele centimeters en zijn al dan niet afgedekt door een kleilaagje. Dit sedimentatiebeeld ontstaat in een veld van kleine bodemribbels bij stroomsnelheden tussen 0,45 en 0,70 m/s. Als naast de getijstroom de golfbeweging van invloed is op het sedimenttransport, kan dit sedimenttype bij nog lagere stroomsnelheden ontstaan.

Type 3 biedt een afwisseling van fijn zand en kleilaagjes met een onregelmatige horizontale

Fig. 2. Hydrografische ontwikkeling van het Krammer en het Slaak tussen 1964 en 1976. Het kruisje geeft de plaats weer van het beschreven profiel

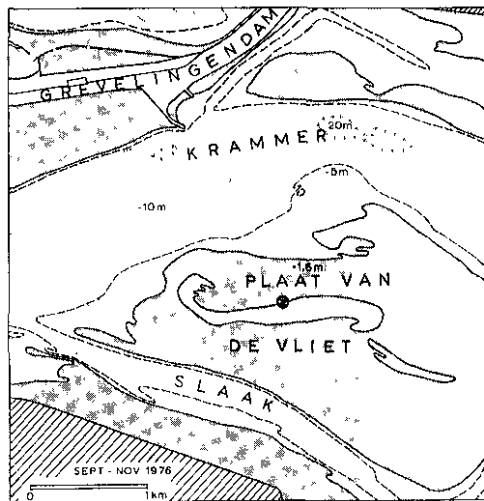
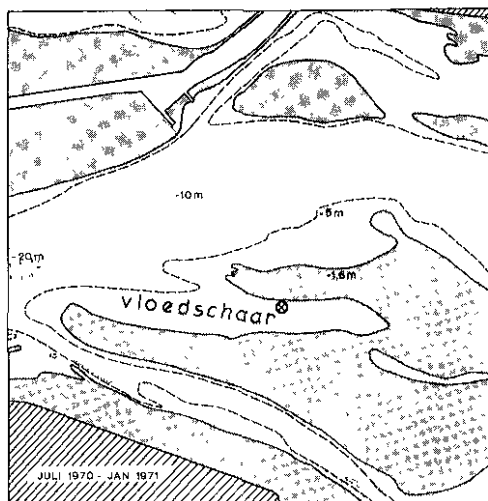
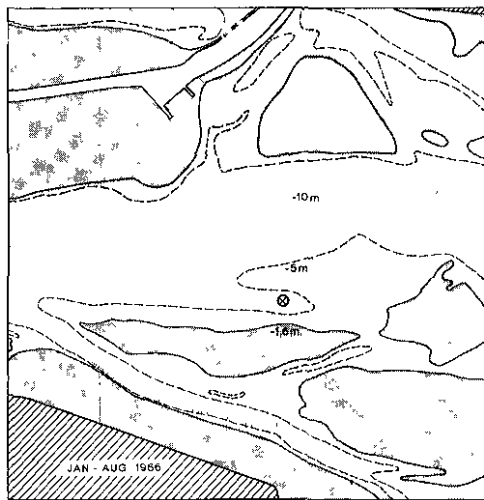
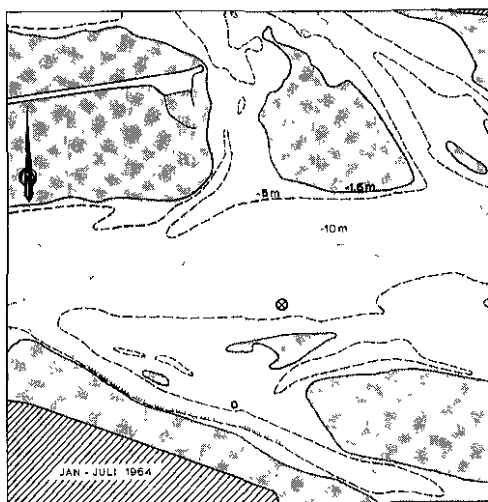
Fig. 1. Situatie van de bouwput van het sluizencomplex in de Philipsdam



gelaagdheid, en ontstaat bij stroomsnelheden kleiner dan 0,45 meter per seconde.

In de ontgravingen voor de bouwput van de dorpelbalken in de Oosterscheldekering op het werkeiland Neeltje Jans en in de ontgravingen voor de aanleg van het sluizencomplex in de Philipsdam konden de afgelopen jaren verscheidene varianten van bovengenoemde sedimenttypen nader worden bestudeerd. We zullen nu nader ingaan op de sedimentaire structuur van een afzetting stammend uit een nog zeer recent verleden, die werd aangetroffen in de bouwput op het werkeiland van de Philipsdam (figuur 1). Het gaat hier om een zandpakket opgebouwd uit sedimenttype 1, dat in de ontgravingen reikte tot N.A.P. - 9 m. De jeugdigheid ervan werd alras duidelijk door de aanwezigheid van eigentijdse producten als stukken plastic en

een fietsband. Bij nadere beschouwing bleek uit peilbladen dat de afzetting minder dan twintig jaar geleden tot stand gekomen is bij de verzanding van een vloodschaar. In figuur 2 zijn de morfologische veranderingen weergegeven die tijdens de opbouw van het sedimentpakket optraden. De vloodschaar vormde zich in het begin van de jaren zestig langs de zuidflank van het Krammer, toen nog Noorder Slaak geheten. Het proces van aanzanding in de schaar begon na de afsluiting van de Grevelingen in 1964: dat bracht een ingrijpende wijziging teweeg in het verloop van de getijstromen in dit gebied, en dus in het patroon van geulen en platen. De belangrijkste verandering was dat in de hoofdgeul een proces van verdieping en uitbochtting optrad, terwijl in de zuidelijke binnenbocht van het Krammer de Plaat van de Vliet ontstond. Een

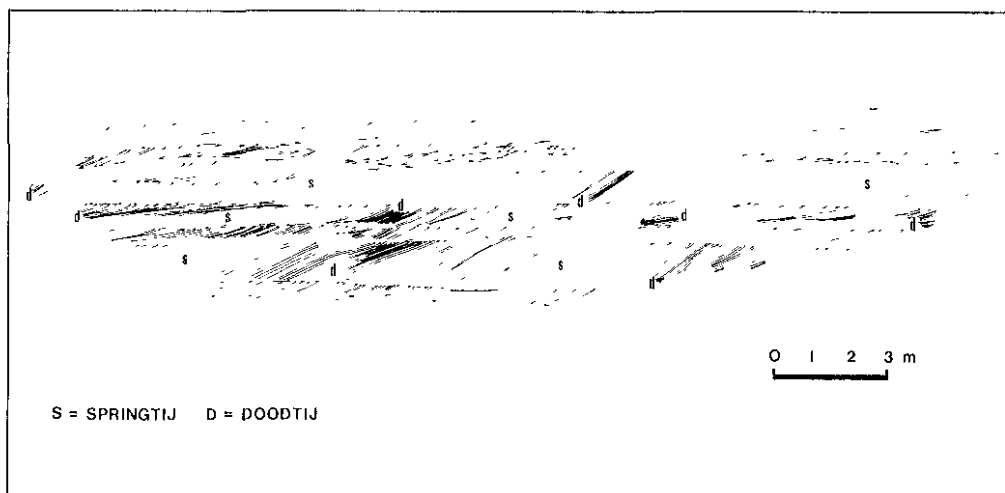
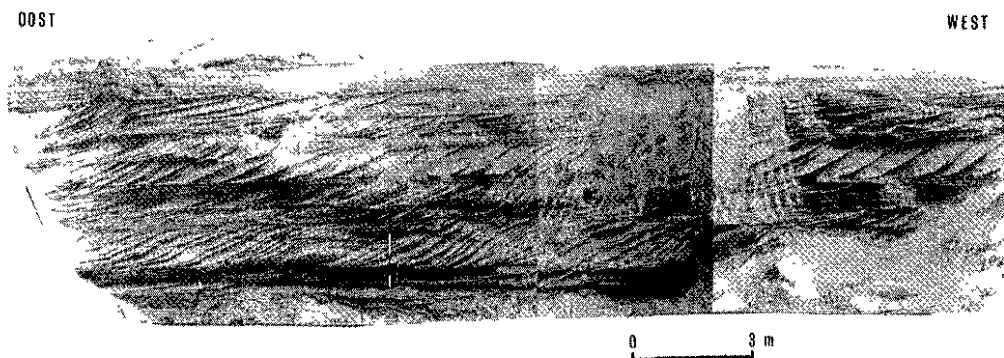


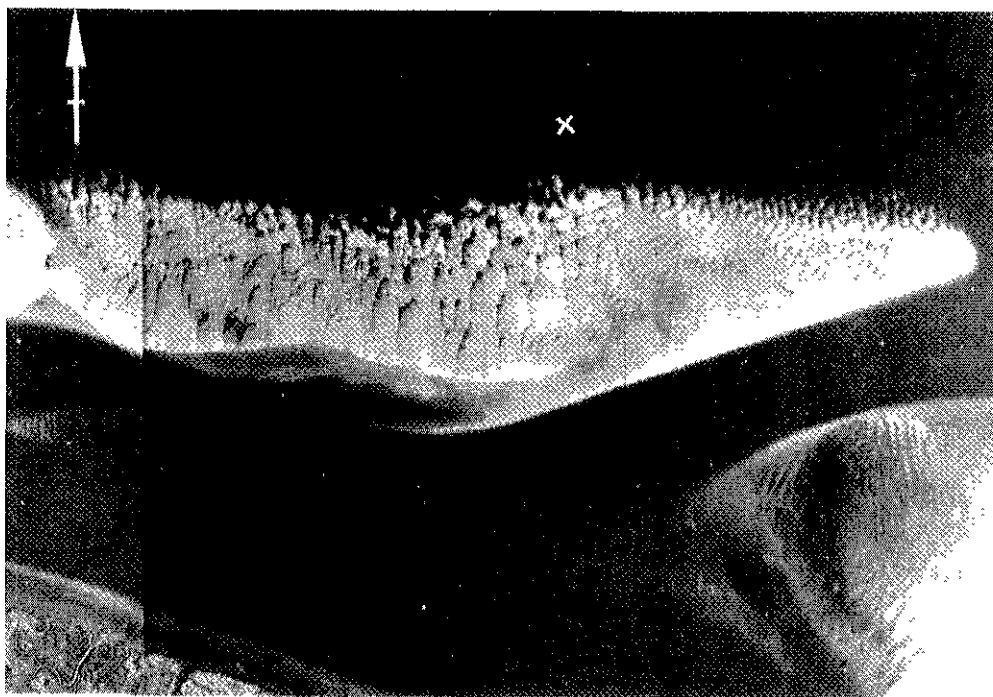
en ander bracht met zich mee dat de vloodschaar in kwestie al snel minder stroom ging voeren, waardoor de geul begon te verzanden. De opeenvolging van scheefgelaagde structuren, die in de ontgraving waar te nemen was (figuur 3), is tijdens het verzanden van de geul gevormd. Scheve gelaagdheid ontstaat bij sedimentatie op de steile lijzijde van de bodemribbels. Uit het feit dat de scheve gelaagdheid in de ontsluiting in oostelijke richting helt, valt af te leiden dat zij gevormd is door ribbels in de vloedrichting. Dat er geen scheve gelaagdheid wordt aangetroffen in de ebrichting, duidt erop dat de ribbelverplaatsing volledig werd beheerst door de vloedstroom, zodat aangenomen mag worden dat de ebstroom minder krachtig was.

Dit is in overeenstemming met de schaarvorm van de geul. Op een luchtfoto van 12 mei 1966,

Fig. 4. De zuidoever van het Krammer ten tijde van de vorming van de beschreven afzetting

Fig 3 Grootschalige scheve gelaagdheid, gevormd door bodemribbels





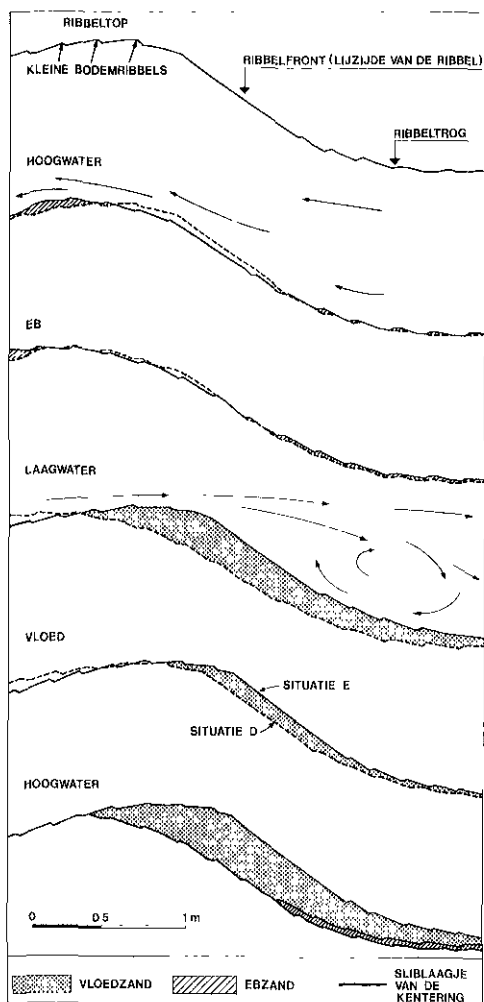
0 250 500 m

genomen in de tijd waarin de verzanding en de vorming van scheefgelaagde eenheden in volle gang was, zien we de voortzetting van het vloedribbelveld langs de ondiepe zuidelijke flank van de vloedschaar (figuur 4).

Aan de loefzijde van een ribbel erodeert tijdens de ribbelverplaatsing het eerder aan de steile voorkant afgezette materiaal. Zo komt het dat de afzonderlijke scheefgelaagde eenheden begrensd worden door erosievlakken en er nergens in de ontgravingen een top van een ribbel is te ontwaren. Het is dan ook niet mogelijk de oorspronkelijke ribbelhoogte uit de afzettingen af te leiden. Uit de dikte van de eenheden blijkt wel dat de grootste ribbels in ieder geval hoger moeten zijn geweest dan 1,5 meter. Bij onderzoek naar het voorkomen van ribbels in de getijgeulen van de Oosterschelde werden – als we de sluitgaten in de monding buiten beschouwing laten – nergens ribbels waargenomen met een hoogte van meer dan twee meter. Op de originele echogrammen van de geulbodem van de plaats en de tijd waarop de afzetting tot stand kwam, wordt deze waarde ook niet overschreden. Dit betekent dat bij de dikste scheefgelaagde eenheden alleen het topje van de ribbel door erosie kan zijn weggenomen.

Tijdens de kentering van de stroom bezinkt een zekere hoeveelheid slib. Dit komt tot uitdrukking in de aanwezigheid van zeer dunne kleilaagjes in het scheefgelaagde zand. Aan de basis van de scheefgelaagde eenheden komen vaak dubbele kleilaagjes voor, gescheiden door een zandlaag. Meer naar boven toe vinden we geen dubbele kleilaagjes meer; het onderste is weg en er ontwikkelt zich vaak onder het resterende kleilaagje een erosieve discontinuïteit met de onderliggende scheve gelaagdheid. Deze configuratie van structuren is het gevolg van een regelmatige opeenvolging van gebeurtenissen, die samenhangt met het cyclisch verloop van de getijstrooming. In figuur 5 zien we dit aan vier fasen van het getij toegelicht. Tijdens fase A, de hoogwaterkentering, wordt een dunne kleidrapering afgezet. Tijdens B, de ebfase, vindt afzetting plaats van enig zand in het onderste gedeelte van het ribbelfront, de ribbeltrog en de loefzijde van de ribbel. Doordat de stroom pal op de steile voorzijde van de ribbel is gericht, overwegen daar erosieve processen, vooral nabij de top. Hier wordt niet alleen het bij de voorgaande kentering afgezette slib geërodeerd, maar wordt tevens een gedeelte van het onderliggende zand weggenomen.

Fig. 5. Erosie en sedimentatie op het front van een grote zandribbel gedurende de getijdencyclus

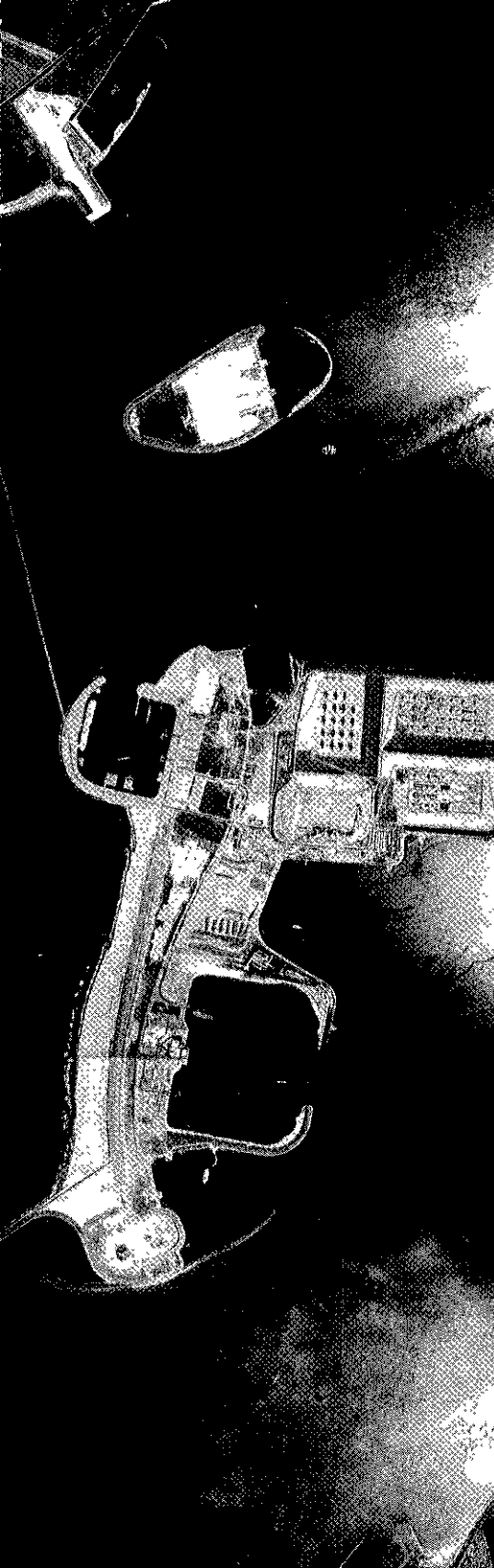


Tijdens C, de laagwaterkentering, wordt weer een dunne kleidrapeerling afgezet. Bij de daarop volgende vloedfase D wordt het aan de lijzijde van de ribbel en in de luwte van de stroom gelegen kleilaagje in het algemeen gespaard voor erosie en spoedig overdekt door scheefgelaagd zand. Naarmate de ebstroom krachtiger is zal het erosievlak minder hellen en een grotere hoek vormen met de grootschalige scheve gelaagdheid die bij vloed op het ribbelfront ontstaat; dit noemen we discontinuïteit. In de hier besproken afzetting was het ondergeschikte getij – de eb – dermate zwak ontwikkeld, dat van discontinuïteit nauwelijks sprake is. De ebstroom was vaak slechts in staat om alleen de dunne slibdeken die in de daarvoor gelegen kentering was afgezet te verwijderen.

In de scheve gelaagdheid markeren die kleidrapeerlingen die wél bewaard bleven, de stilstand in de ribbelverplaatsing tussen opeenvolgende vloedfasen. Binnen de begrenzingen van de boven elkaar gelegen scheefgelaagde eenheden vindt men de kleidrapeerlingen van de laagwaterkenteringen. Er is een grote variatie in de dikte van de door deze kleilaagjes van elkaar gescheiden zandbundels, die duidt op de verplaatsingssnelheid van het ribbelfront. Op enkele punten bedroeg de verplaatsing gedurende een aantal opeenvolgende vloedfasen slechts enkele centimeters, terwijl de snelheid even verderop oplet tot meer dan een halve meter per getijperiode. Op verschillende plaatsen in de bouwput was het mogelijk het aantal zandbundels tussen opeenvolgende minima te tellen. Het lag steeds om en nabij de 28 à 29. De bewegingssnelheid van de ribbels heeft kennelijk alles te maken met de verandering in de stroomsterkte tijdens een cyclus doottij-springtij.

Er komen ook series van zandbundels voor met een opvallend patroon van om en om een dikke en een dunne bundel. Dit patroon moet een gevolg zijn van de periodieke dagelijkse ongelijkheid van het getij.

Door de in de sedimenten vastgelegde cycli van doottij naar springtij kon nu gemakkelijk de gemiddelde snelheid worden berekend van de ribbels die aan de opbouw van het zandpakket hebben bijgedragen. Gemiddeld bedroeg die 160 m per jaar. Uit de peilkaarten blijkt dat het gedeelte van de wand in figuur 3 tussen de basis van de ontgraving op N.A.P. – 9 m tot 2,5 meter daarboven, in één jaar werd afgezet. Waarschijnlijk hebben alle ribbels die in dat jaar op deze locaties voorbijtrokken, aan de sedimentatie bijgedragen.



Slibtransport in de Oosterschelde

De Oosterschelde is een getijdenbekken met een slibgehalte van gemiddeld 25 milligram per liter. Dat is opvallend laag: in de Westerschelde en in de Waddenzee is het enkele malen hoger. Toch speelt het slib in de Oosterschelde een belangrijke rol, met name voor milieu en visserij.

In het Oosterschelde-slib komt organisch materiaal voor, dat dient als voedselbron voor veel bodemdieren, zoals mossels, kokkels, oesters en wadpieren. Verandering van het slibgehalte, of van de fractie organische bestanddelen erin, zou daarom consequenties hebben voor de totale massa bodemdieren die in de Oosterschelde kan voorkomen. Er bestaat een relatie tussen de gemiddelde gehalten aan anorganisch en organisch slib in die zin, dat een langdurige verlaging van het gemiddelde gehalte anorganisch slib – het klei- en zandmengsel – in veel gevallen leidt tot een verhoging van het gemiddelde gehalte aan organisch slib. Dat werkt zo: hoe lager het slibgehalte van het water, des te groter is de lichtindringing in de waterkolom. Dit bevordert de fotosynthese, en daarmee de produktie van fytoplankton. Het slibtransport heeft dus twee tegengestelde invloeden op de hoeveelheid organische stof in de Oosterschelde en daarmee op de voedselvoorraad voor bodemdieren: extra toevoer van slib betekent enerzijds een verhoging van het voedselaanbod besloten in de organische fractie van het slib, maar anderzijds een vermindering van de lokale produktie van organisch materiaal, als gevolg van vertroebeling van het water en verminderde lichtindringing.

Schelpdieren zoals mossels, kokkels en oesters voeden zich door uit het water vaste deeltjes te filtreren. De anorganische bestanddelen van deze deeltjes worden afgezet in de vorm van slibhoopjes, 'pseudo-faeces'. Als de stroom die door getij of wind wordt opgewekt, langs de bodem niet sterk genoeg is blijven die slibhoopjes liggen. Een mogelijk gevolg is dat de mossels op den duur stikken in hun eigen

slibproductie. Deze vorm van sedimentatie verdient dus de aandacht, temeer daar een belangrijk deel van het slib in de Oosterschelde door schelpdieren wordt gefiltreerd. Bezinking van slib kan ook gevolgen hebben voor de morfologie van het getijdebekken. Men kan dan met name denken aan de aangroei van slikken en schorren langs de geuloevers. In de Oosterschelde verloopt dit proces maar langzaam, als gevolg van de relatief lage slibconcentraties in het water. Snelle aanslibbing vindt alleen plaats in gedeeltelijk ingesloten gebieden, zoals havens, waar het water stagneert.

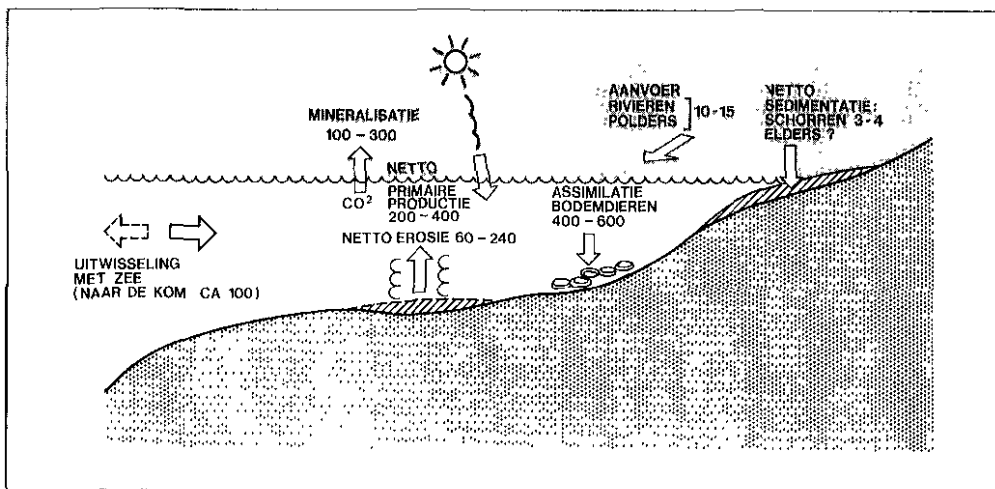
Het is niet eenvoudig goed te omschrijven wat men onder 'slib' verstaat. Het meest gebruikelijk is om 'slib' te noemen: alle vaste stof, in het water, organisch en anorganisch, die een zeefje met een maas van 50 micron (0,05 millimeter) passeert, maar achterblijft op een filter met een maas van 1 micron. Alle vaste stof in het water die achterblijft in dit filter wordt aangeduid als 'seston'. Werkelijk eenduidig zijn deze omschrijvingen niet, omdat hetzelfde materiaal als gevolg van vlokvorming en ontvlokking zich nu eens met een omvang groter dan 50 micron en dan weer met een omvang kleiner dan 50 micron kan voordoen. Bovendien zegt het zeefcriterium alleen iets over de omvang van slib en seston, maar niets over biologische eigenschappen zoals de plankton-fractie, chemische eigenschappen zoals bij voorbeeld het gehalte aan organische koolstofverbindingen, of fysische eigenschappen als elektrische lading en dichtheid. Uit metingen blijkt dat het seston in de Oosterschelde gemiddeld ongeveer 10 – 20% dood en levend organische materiaal bevat, dat door bodemdieren verteerd kan

worden. In de meeste gevallen wordt het totaalgewicht aan organisch materiaal niet direct gemeten, maar indirect bepaald uit metingen van de hoeveelheid koolstof die in de vaste organische bestanddelen aanwezig is. Het is gebruikelijk om deze laatste grootte, het 'Particulate Organic Carbon', te gebruiken als aanduiding voor het aanwezige vaste organische materiaal. Gemiddeld bedraagt de hoeveelheid P.O.C. ongeveer de helft van de totale hoeveelheid organische stof.

In figuur 1 zijn de belangrijkste stromen van zwevend organisch materiaal in de Oosterschelde aangegeven. We zien dat de invoer van organisch materiaal in de Oosterschelde het gevolg is van lozingen op het bekken van polder- en rivierwater, van de netto erosie van veen- en kleihoudende bodemlagen gemiddeld

Fig. 1. Koolstofstromen in de Oosterschelde, in tonnen P.O.C. per dag

Fig. 2. Sestonstromen in de Oosterschelde, in tonnen per dag



over het getij door verlegging van geulen en afschuring van plaatranden, en tenslotte van de groei van fytoplankton door fotosynthese. We noemen deze bijdragen 'bronnen' van organisch materiaal.

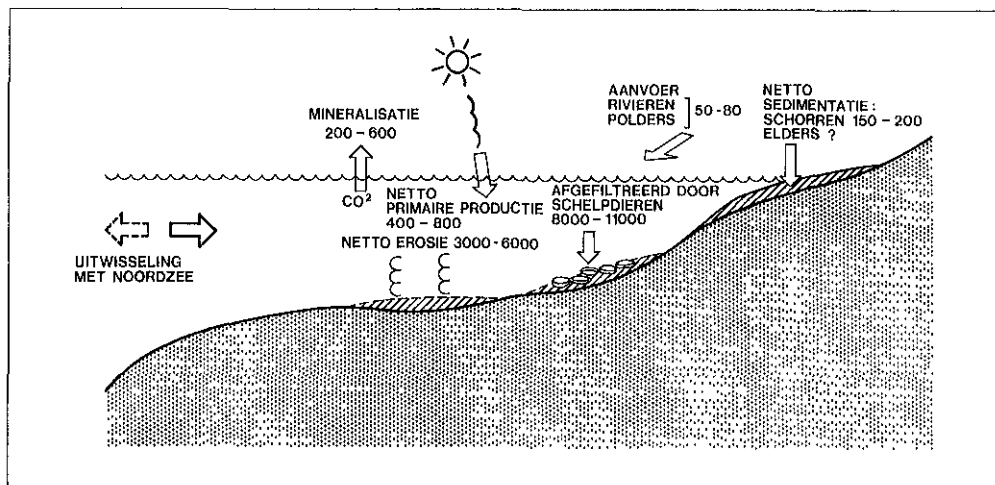
Organisch materiaal verdwijnt uit het water door netto sedimentatie, die onder meer gepaard gaat met de aangroei van slikken en schorren, door mineralisatie in de waterkolom en op de bodem, en door consumptie van dood en levend organisch materiaal, voornamelijk door bodemdieren en zoöplankton. Hier spreken we van 'putten' van organisch materiaal. Al naar gelang de som van bovengenoemde organische stoffstromen resulteert in vermindering dan wel in vermeerdering van organisch materiaal in de Oosterschelde, vindt er import of export van organisch materiaal plaats vanuit of naar de Noordzee.

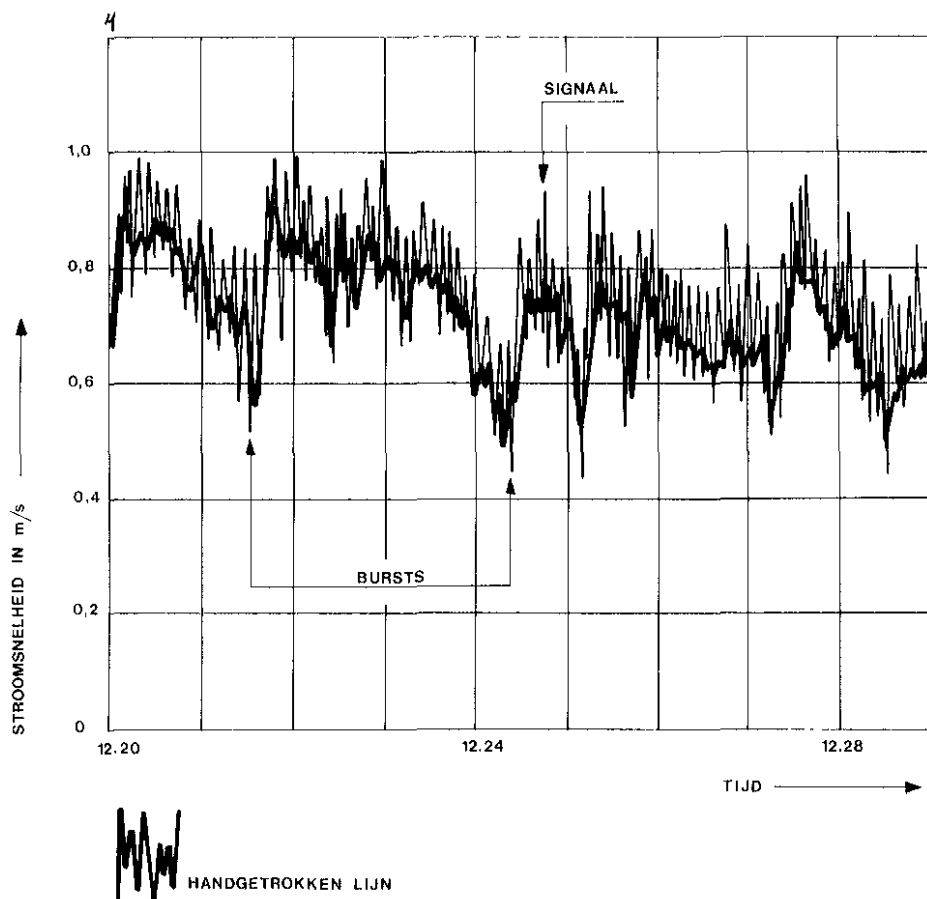
De getallen die zijn aangegeven voor de verschillende 'bronnen' en 'putten' in de organische-stofbalans moeten worden opgevat als voorlopige ruwe schattingen van gemiddelden over de hele Oosterschelde gedurende een jaar. Momenteel vindt onderzoek plaats dat binnen enkele jaren zal leiden tot nauwkeuriger cijfers, met name voor primaire produktie, de mineralisatie en de consumptie. De onnauwkeurigheid van de huidige schattingen maakt het onmogelijk om op basis van de organische-stofbalans conclusies te trekken ten aanzien van de invoer of de uitvoer van organische stof vanuit of naar de Noordzee.

Om informatie te krijgen over de bijdrage van het transport van zwevende organische stof in de Oosterschelde, is in april 1979 een directe bepaling voor een specifieke getijperiode

gedaan, door in een vaste dwarsdoorsnede gelijktijdig de stroomsnelheid en het concentratieverloop van zwevende organische stof te meten. Uit deze meting bleek dat door de doorsnede Wemeldinge-Tholen gemiddeld een transport van zwevende organische stof plaatsvindt in de richting van de Kom van de Oosterschelde in de orde van 100 ton P.O.C. per dag! Het is echter wel mogelijk dat dit resultaat niet representatief is voor het hele jaar, maar dat het resulterend longitudinaal transport seizoensafhankelijk is. Om hier een inzicht in te verkrijgen is in de tweede helft van het afgelopen jaar de transportmeting van april 1979 in vereenvoudigde vorm elke maand eenmaal herhaald. Over de resultaten kan nog niet bericht worden, omdat bij het schrijven van dit artikel nog niet alle metingen waren uitgewerkt. Vooral nog lijkt het erop dat het longitudinaal transport aanzienlijk bijdraagt tot de organische-stofbalans van de Oosterschelde. Deze conclusie wordt ook ondersteund door de resultaten van een troebelheidsmeting op 19 maart 1981 (figuur 4). Het zwevende stofgehalte van het water dat bij vloed de Kom van de Oosterschelde instroomt is belangrijk hoger dan het zwevend-stofgehalte van het water dat bij eb de Kom verlaat. Of het bij deze import gaat om slib dat afkomstig is uit de Noordzee, of om slib dat in de Oosterschelde vrijkomt door erosie van oude klei- en veenlagen, kan niet met zekerheid worden gezegd.

Momenteel wordt ook een andere methode beproefd om na te gaan in hoeverre de bodemdieren in de Oosterschelde voor hun voeding gebruik maken van zwevende organische stof die van elders is aangevoerd, bij voorbeeld vanuit de Noordzee. Men onderzoekt dan





bepaalde karakteristieken van het organisch materiaal die kenmerkend zijn voor de plaats van herkomst en die niet worden aangetast door fysisch-chemische processen die het materiaal in het water en in de bodem ondergaat. Een geschikte karakteristiek is de fractie van het koolstofisotoop C^{13} . Onderzocht zal worden in hoeverre de C^{13} -fractie in het organische Noordzeemateriaal afwijkt van de C^{13} -fracties in het organisch materiaal dat in de Oosterschelde wordt geproduceerd en geconsumeerd.

In figuur 2 zijn de belangrijkste sestonstromen in de Oosterschelde aangegeven. Opvallend is de grote hoeveelheid seston die naar schatting wordt afgefilterd door schelpdieren. Indien al het afgefilterde materiaal dat niet wordt geassimileerd, voorgoed zou worden vastgezet op de bodem, dan is aanvoer van seston uit de

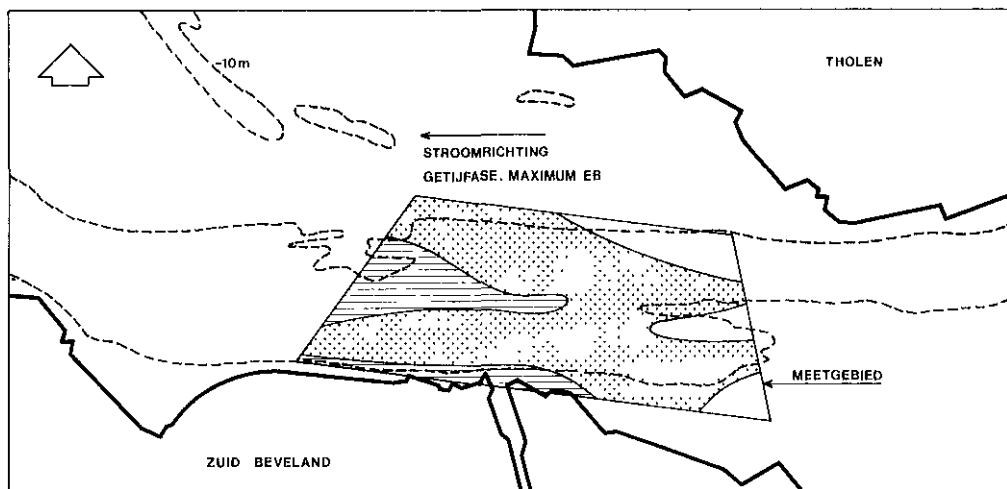
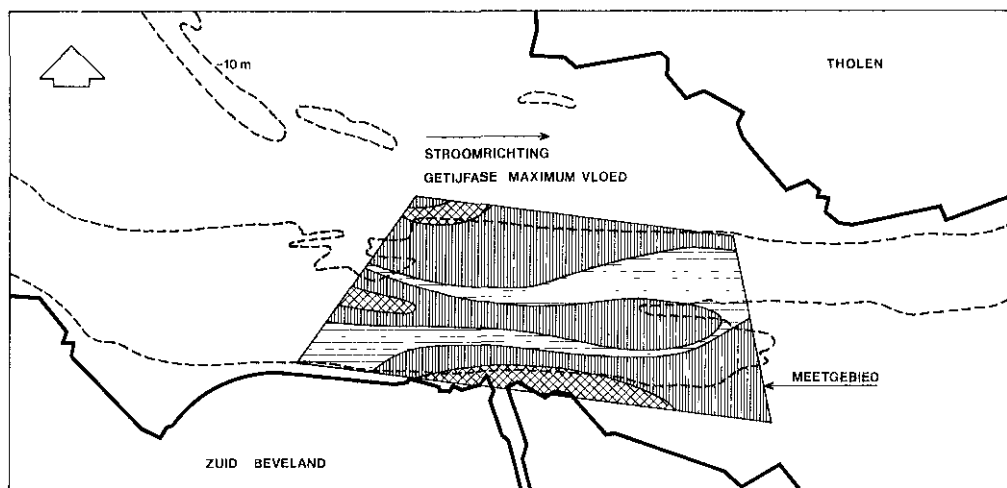
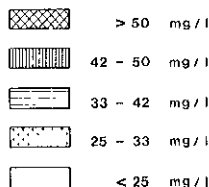
Fig. 3. Registratie van de horizontale stroomsnelheid in een punt van de Roompot op 13 juli 1981. Het signaal vertoont sterke negatieve fluctuaties, die nog worden versterkt door de handgetrokken lijn. Het verschijnsel vertoont overeenkomst met in de literatuur beschreven 'bursts'.

Noordzee nodig om de sestonbalans sluitend te maken. Het ligt echter voor de hand om te veronderstellen dat de slibhoopjes die door schelpdieren worden afgezet, grotendeels weer worden geërodeerd, zodat de schelpdieren hetzelfde slib herhaalde malen filtreren.

Algemeen wordt verondersteld dat in estuaria slibaanvoer plaatsvindt vanuit zee. Het mechanisme dat hier in de eerste plaats voor verantwoordelijk wordt gesteld, is een landwaarts gerichte stroom langs de bodem, die veroorzaakt wordt door het dichtheidsverschil tussen het zoute zeewater en het zoete rivierwater. Zo'n zoute onderstroom treedt voornamelijk op wanneer op het estuarium een grote rivier afvloeit. Het estuarium wordt dan dubbel met slib belast, enerzijds met rivierslib en anderzijds met zeeslib. Dit mechanisme kan verklaren

Fig. 4. Patronen van zwevende stof bij maximale vloed en maximale eb, gemeten op 19 maart 1981 nabij Wemeldinge, op 1 m onder het wateroppervlak

GEHALTE ZWEVENDE STOF



waarom de Westerschelde, in verhouding tot de Oosterschelde zo'n hoog slibgehalte heeft. Op de Oosterschelde is de zoetwateraanvoer naar verhouding klein. De longitudinale dichtheidsverschillen op de Oosterschelde zijn dan ook onvoldoende om een dichtheidsstroming aan te drijven; een uitzondering wordt gevormd door het Volkerak.

Ondanks de permanente zoetwateraanvoer is het zoutgehalte op de Oosterschelde hoog. Hoewel dichtheidsstromen afwezig zijn, vindt er dus toch een vrij intensieve uitwisseling van watermassa's plaats in het bekken. Door deze uitwisseling kan ook slib vanuit de Noordzee in de Oosterschelde worden aangevoerd. Uit de zoutverdeling blijkt dat de gemiddelde tijd die nodig is om het water in de Kom van de Oosterschelde te verversen met water uit het centrale deel op de lijn Stavenisse–Zierikzee–Colijnsplaat, ongeveer 25 dagen bedraagt. De concentratie van organische stof in het centrale deel is soms hoger dan in de Kom, maar het verschil bedraagt zelden meer dan 0,5 mg P.O.C. per liter. Rekenend met een watervolume in de Kom van 700 miljoen m³ kan men afleiden dat de verversing van de Kom een transport van organische stof veroorzaakt van ten hoogste 15 ton P.O.C. per dag. Dit is belangrijk minder dan de hoeveelheid die is gevonden bij de transportmeting van april 1979.

Een andere manier om aan te geven dat slibtransport als gevolg van de uitwisseling van watermassa's geen belangrijke bijdrage kan leveren aan de organische stofbalans is deze. Alle schelpdieren in de Kom van de Oosterschelde samen filtreren gemiddeld per dag 10 tot 20% van het totale volume water in de Kom. De aanvoer van organische stof naar de Kom als gevolg van de uitwisseling van watermassa's neemt echter gemiddeld 25 dagen in beslag. Als de schelpdieren voor hun voeding op dit transport waren aangewezen, zou vrijwel al het organisch materiaal uit het water in de Kom worden geconsumeerd, zodat het gehalte aan organische stof in de Kom veel lager zou zijn dan in het centrale deel. Uit metingen blijkt dit echter niet: de gehalten aan organische stof zijn in de Kom vergelijkbaar met de gehalten in andere delen van de Oosterschelde.

Een vergelijkbare situatie treedt op in de Waddenzee. In de Waddenzee is duidelijk sprake van aanslibbing. Maar ook zijn de slibconcentraties in de Waddenzee hoger dan in de aangrenzende Noordzee. Uitwisseling van watermassa's tussen de Waddenzee en de Noordzee zou dus export van slib moeten

veroorzaken; wat geconstateerd wordt is evenwel import!

Een verklaring voor deze paradox ligt mogelijk hierin, dat slib zich in de waterkolom anders gedraagt dan een opgeloste stof, in die zin dat slibdeeltjes kunnen uitzakken, zich kunnen vastzetten op de bodem en eventueel op een later tijdstip weer geërodeerd en opgewerveld kunnen worden. Om het transportgedrag van slib te kunnen begrijpen en om het te kunnen simuleren in hydraulische of wiskundige modellen is inzicht nodig in de processen die een rol spelen bij erosie en sedimentatie. Wanneer slibdeeltjes uit de waterkolom bezinken en zich afzetten op de bodem, ontstaat een sliblaag die snel consolideert: er ontsnapt water, de pakking neemt toe en daarmee de weerstand tegen erosie. De schuifspanning die de stroming uitoefent op de bodem moet een bepaalde kritische waarde overschrijden, voordat erosie kan plaatsvinden. De kritische erosiesnelheid hangt van een groot aantal factoren af, zoals het organische-stofgehalte van het slib, de aanwezige zandfractie, de consolidatietijd, de temperatuur en de configuratie van de bodem. Uit recent onderzoek in de Oosterschelde blijkt dat ook bepaalde karakteristieke turbulenties in de getijstrooming een belangrijke rol spelen.

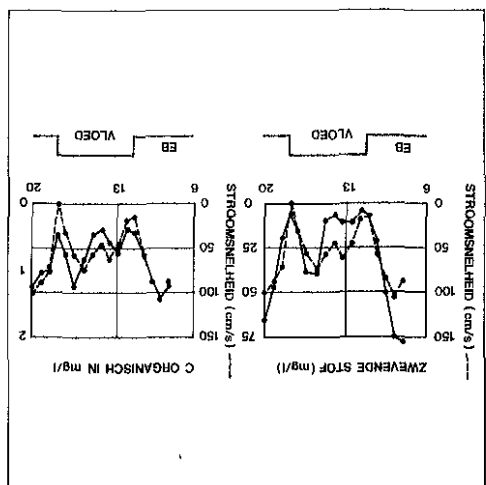
We doelen op kortdurende, zeer heftige turbulente stoten, die in de literatuur bekend staan als 'bursts' (figuur 3). Er zijn aanwijzingen dat deze 'bursts' in sterkere mate verantwoordelijk zijn voor de bodmerosie dan de stroomsnelheidsfluctuaties die in het turbulentie-energiespectrum het grootste aandeel vormen. Nader onderzoek naar het 'burst'-verschijnsel zal in de nabije toekomst worden uitgevoerd, onder andere met behulp van hydraulische modellen.

Volgens Iodigen wordt in de Oosterschelde jaarlijks 30 miljoen ton bodemmateriaal geërodeerd, dat overigens voor het grootste deel elders in het bekken weer wordt afgezet. Door deze erosie komt – uitgaande van een slibgehalte van 5% – een hoeveelheid slib vrij die geschat wordt op gemiddeld 3000 tot 6000 ton per dag. Indien dit slib ongeveer 5% organische stof bevat, dus 2,5% P.O.C., dan komt er door de erosie in de Oosterschelde een hoeveelheid P.O.C. vrij die geschat wordt op 60 tot 240 ton gemiddeld per dag. Al dit organisch materiaal is in principe als voedselbron beschikbaar; in hoeverre er ook daadwerkelijk gebruik van wordt gemaakt is vooralsnog niet duidelijk.

Er wordt thans een meetprogramma uitgevoerd

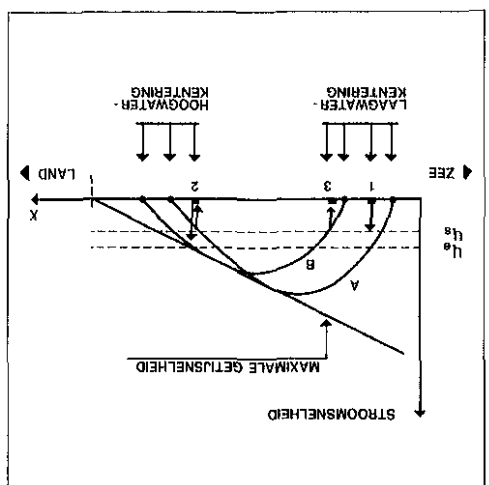
met het doel, na te gaan in welke gebieden de belangrijkste erosie plaatsvindt, en naar welke gebieden het geproduceerde materiaal wordt getransporteerd. Deze kennis is noodzakelijk voor het interpreteren van meetgegevens inzake de silt- en organische-stofgehalten van de silttoestand in de Oosterschelde in wiskundige modellen. Voor het longitudinaal transport van silt is onder meer de ligging van erosie- en sedimentatiegebieden ten opzichte van de eb- en vloedscharen van belang. Bovendien kan zo een indruk verkregen worden van de mate waarin de bodemerose bijdraagt tot de voedselbalans van het ecosysteem in de Oosterschelde. Aanvankelijk lag het accent op metingen vanaf schepen. De Oosterschelde is opgedeeld in een groot aantal gebieden waarin de troebelheidspatronen met

Fig. 5. Verloop van het zwevende-stofgehalte, het P.O.C.-gehalte en de stroomsnelheid in de Roompot gedurende een getij, op 12 augustus 1980



Omdat het soortelijk gewicht van siltdaaltjes over het algemeen groter is dan dat van water, ondervinden zij onder invloed van de zwaartekracht een neergaande beweging, bovenop de op- en neergaande fluctuerende beweging veroorzaakt door turbulentie. Naarmate de turbulentie afneemt, neemt de concentratie van siltdaaltjes nabij de bodem toe, in vergelijking met de concentratie nabij het oppervlak. Siltdaaltjes zetten zich pas vast aan de bodem wanneer de schuifspanning die het water op de bodem uitoefent een bepaalde waarde, de kritische sedimentatieschuifspanning, overschrijdt. De kritische sedimentatieschuifspanning is kleiner dan de kritische erosieschuifspanning

sporaadisch toe. heden laten dit type metingen echter slechts metingen vanaf een schip. De weersomstandigheden van een groot deel van de Oosterschelde zijn op deze manier kan een simultaanoverde erosie en verspreiding van silt is luchtfoto. Een andere techniek om inzicht te verkrijgen in rol spelen. re stromen, vooral transversale circulaties, een een gedeelte ervan verspreid, waarbij secundair uit geleidelijk over de hele dwarsdoorsnede of opgewervelde bodemmateriaal wordt van hier ondiepe gebieden en langs de gulliranden. Het uit de metingen is dat erosie vooral optreedt in aanzienlijk. Een voorzichtige eerste conclusie meertspanning die hiermee gemoeid is, is als springtijtsituaties onderzocht te worden. De te bemeten, bovendien dienen zowel doordt-echter onvoldoende om alle gebieden simultaan (figuur 4). De beschikbare scheeps capaciteit is vastgelegd bij verschillende getijfasen behulp van een snel varende schip worden



ning. Wanneer de stroomsnelheid zo is dat de bodemschuifspanning kleiner is dan de kritische erosieschuifspanning en groter dan de kritische sedimentatieschuifspanning, dan worden de slibdeeltjes van de bodem losgerukt voordat ze zich kunnen vastzetten. Slibdeeltjes die bij een kleine stroomsnelheid zijn afgezet op de bodem, worden pas geërodeerd wanneer de stroomsnelheid zo ver is toegenomen dat de bodemschuifspanning de kritische waarde voor erosie overschrijdt.

Bij het uitzakken van slibdeeltjes onder invloed van de zwaartekracht en bij het sedimenteren op de bodem spelen ingewikkelde fysisch-chemische processen een rol, die leiden tot vlokvorming en ontvlokking. Hierdoor variëren de slibdeeltjes in vorm, omvang, dichtheid en elektrische lading. De snelheid waarmee slibdeeltjes uitzakken, hun 'valsnelheid' en de kritische sedimentatiesnelheid zijn in principe dan ook afhankelijk van een groot aantal factoren, zoals de concentratie van slibdeeltjes, het gehalte aan organische bestanddelen, de zandfractie, de watertemperatuur en de turbulentiegraad van het water. Wanneer men onder laboratoriumomstandigheden een watermonster onderzoekt op de fysische eigenschappen van het slib, kunnen de resultaten niet zonder meer beschouwd worden als representatief voor het fysische gedrag van slib in de natuur. In verband hiermee zal binnenkort een systematisch onderzoek worden gestart naar de fysische eigenschappen van Oosterscheldeslib onder verschillende natuurlijke omstandigheden.

Met behulp van een valbuis zijn in het laboratorium al enkele oriënterende proeven uitgevoerd om een indruk te krijgen van de bezinksnelheid van het Oosterscheldeslib. Uit de resultaten blijkt dat minder dan 30% van het seston, en minder dan 20% van het P.O.C. uitzakt met een snelheid groter dan 3 meter per uur. Dezelfde proeven wijzen uit dat meer dan 50% van het seston en meer dan 60% van het P.O.C. vrijwel helemaal niet bezinkt. Metingen in de Oosterschelde van het concentratieverloop van seston en P.O.C. als functie van de tijd geven echter een ander beeld (figuur 5). Indien men veronderstelt dat horizontale gradiënten geen overheersende rol spelen – en dit wordt gerechtvaardigd door het feit dat de variatie van de seston- en P.O.C.-concentraties het grootst is rond de stroomkentering, wanneer de snelheid vrij klein is – dan wijst de sterke vermindering van de concentratie tegen de laag- en hoogwaterkentering erop dat een grote fractie van het maximaal in suspensie aanwezige seston en P.O.C., respectievelijk

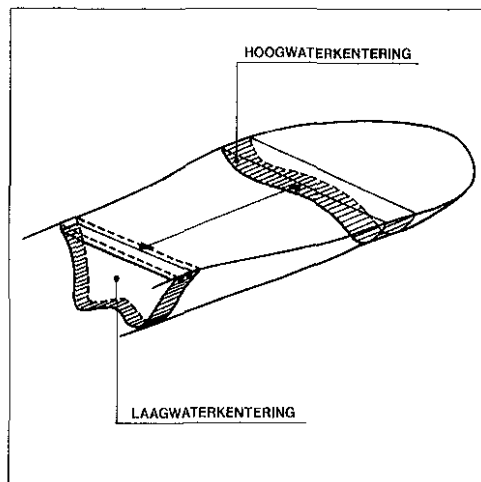


Fig. 7. Positie van een waterschiff op de hoog- en laagwaterkentering in een getijdebekken dat landwaarts ondieper wordt

90% en 65%, uitzakt met grote snelheid, tenminste met enkele meters per uur.

In het voorgaande is er reeds op gewezen dat een kleine erosie van slechts enkele centimeters per jaar relatief grote hoeveelheden zwevende stof in het water kan brengen. Omgekeerd is het dan ook zo dat de sedimentatie over het algemeen slechts tot een kleine aanslibbing leidt, behalve in inhammen en havens. Men moet hierbij bedenken dat het zwevende-stofgehalte in de Oosterschelde vrij laag is. Ter illustratie twee voorbeelden. De totale hoeveelheid water die door alle schelpdieren in de Oosterschelde wordt gefiltreerd bedraagt 200 miljoen m³ per getij. Bij een slibconcentratie van gemiddeld 25 mg/l wordt per getij ongeveer 5000 ton slib afgefilterd en afgezet. Veronderstellen we dat de schelpdieren geconcentreerd zijn op 10% van de oppervlakte van de Ooster-

scheldebodem en dat de dichtheid van het sediment 2500 kg/m^3 bedraagt. De aanslibbing door schelpdieren in het betreffende gebied zou dan nog maar in de orde liggen van 35 mm per jaar.

Het andere voorbeeld betreft de bezinking van de totale primaire produktie. Als die 300 ton P.O.C. per dag bedraagt, en bezinkt in een gebied dat 10% van de oppervlakte van de Oosterscheldebodem beslaat, dan levert dit een aanslibbing van ongeveer 2 mm per jaar. Omdat de sedimentatie klein is, is het moeilijk om er door middel van lodingen en peilingen de grootte van te bepalen. In de literatuur vindt men aanwijzingen dat in estuaria een belangrijk deel van het fijnere zwevende materiaal wordt afgezet in schorgebieden langs de randen. Voor de Oosterschelde is een schatting gemaakt van de aanslibbing van de schorren, door het slibtransport van en naar het schor te meten. Deze metingen zullen in een volgend Bericht uitvoeriger worden besproken. De aanvoer van fijn sediment naar de schorren blijkt uiteindelijk relatief klein te zijn in vergelijking met andere sestonstromen in de Oosterschelde (figuur 1 en 2).

Achtereenvolgende bezinking en opwerveling van slibdeeltjes kan van invloed zijn op het netto longitudinale transport, dat is dus de resulterende verplaatsing in een getijperiode. Hierbij speelt mee dat slib erodeert bij grotere snelheden dan waarbij het wordt afgezet en dat bij de hoog- en de laagwaterkering niet dezelfde hoeveelheid slib sedimenteert. Figuur 6 toont schematisch de verplaatsingen van een slibdeeltje gedurende een getijperiode in een estuarium met overal gelijke diepte, en zonder rivierafvoer. De netto verplaatsing in landwaartse richting van 1 naar 3 wordt veroorzaakt door twee processen: Waterkolom A erodeert tijdens vloed het slibdeeltje in 1, en neemt het mee totdat het bezinkt bij 2 op het moment dat de vloodsnelheid kleiner is dan of gelijk aan de kritische sedimentatiesnelheid. Tijdens eb kan waterkolom A het slibdeeltje 2 echter niet opnieuw eroderen en meenemen, omdat hij de kritische erosiesnelheid nog niet heeft bereikt bij het passeren van punt 2. Het slibdeeltje kan bij eb pas worden geërodeerd en meegenomen door waterkolom B, landwaarts van kolom A. Dit is een gebied met kleinere getijsnelheden: de ebweg van waterkolom B is kleiner dan de ebweg van waterkolom A. Het slibdeeltje bezinkt tegen het einde van de ebperiode dus landwaarts van de positie die het een getijperiode eerder innam.

Als in de periode rond de hoogwaterkeringing

een grotere hoeveelheid slib sedimenteert uit een bepaalde schijf water in het bekken dan in de periode rond de laagwaterkeringing, dan zal er ook een netto landwaarts gericht slibtransport optreden. Tijdens het begin van de eb, voordat de kritische erosiesnelheid wordt overschreden, bevat die schijf namelijk minder zwevend materiaal dan bij het begin van de vloed. Het vloedtransport is dus groter dan het ebtransport. In de omgekeerde situatie, als er meer slib sedimenteert tijdens de laagwaterkeringing, mag men een netto zeewaarts gericht transport verwachten.

In die delen van een getijbekken waar de waterdiepte sterk afneemt, zal over het algemeen tijdens de hoogwaterkeringing meer slib tot sedimentatie komen dan tijdens de laagwaterkeringing. Het netto slibtransport is daar dus gericht naar de ondiepe gebieden. Hiervoor kunnen twee belangrijke oorzaken worden aangegeven. In de ondiepe gedeelten van een getijbekken zijn de waterspiegelverhangen in de periode rond het laagwater belangrijk groter dan omstreeks de hoogwaterkeringing; dit hangt samen met de grotere invloed van de bodemwrijving. Rondom de laagwaterkeringing wordt de stroom dus snel door grote verhangkrachten aangedreven. De periode waarin de stroomsnelheden voldoende laag zijn om sedimentatie toe te laten, is in vergelijking met dezelfde periode rond de hoogwaterkeringing kort.

Als de diepte sterk afneemt over een afstand kleiner dan de gemiddelde vloedweg van een schijf water, is het bodemoppervlak dat deze waterschijf beslaat bij de hoogwaterkeringing groter dan bij de laagwaterkeringing (figuur 7). Ook dit heeft tot gevolg dat er rond de hoogwaterkeringing meer slib bezinkt. Hierbij moet echter wel worden aangetekend dat windgolven in ondiepe gebieden een schuifspanning op de bodem uitoefenen die groter kan zijn dan de schuifspanning die wordt veroorzaakt door de getijstroom. De sedimentatie van slib in ondiepe gebieden wordt hierdoor belemmerd. Landwaarts gericht transport zal dus vooral plaatsvinden onder rustige weeromstandigheden. Bij stormachtige weer kan daarentegen zelfs sprake zijn van transport zeewaarts!

De hierboven beschreven transportmechanismen zijn tot op heden alleen in kwalitatieve zin gebruikt om het netto landwaarts gericht sedimenttransport te verklaren dat optreedt in estuaria met een kleine rivierafvoer. Voor het slibonderzoek van de Oosterschelde is een numeriek wiskundig model ontwikkeld waarin de invloed van de getijstroom en het golfklimaat op het slibtransport in kwantitatieve zin wordt

gesimuleerd. Momenteel wordt met dit model een principe-onderzoek uitgevoerd om na te gaan in hoeverre achtereenvolgende bezinking en opwerveling bij kan dragen tot landwaarts gericht transport in estuaria, en om na te gaan of de grootte-orde van het in de Oosterschelde gemeten transport daarmee verklaard kan worden. Over de resultaten van dit onderzoek zal later bericht worden.

Bij gebrek aan inzicht in de processen die leiden tot vlokvorming, ontvlokking, bezinking, bodemconsolidatie en erosie, wordt de invloed van deze processen op het verticale transport van slibdeeltjes in het wiskundige model momenteel verdisconteerd in de vorm van parameterfuncties. De numerieke waarden van de onbekende parameters kunnen worden bepaald door de resultaten van het model voor verschillende groepen van parameterwaarden te vergelijken met natuurwaarnemingen van de tijds- en/of ruimtevariatie van het sestongehalte. Ook wanneer het voorspellend vermogen van dergelijke modellen beperkt blijft, zijn ze zeer waardevol als hulpmiddel bij de analyse van natuurmetingen van slibgehalten.

Directe interpretatie van dit soort metingen is meestal moeilijk, vanwege het grote aantal factoren dat het slibgehalte beïnvloedt: horizontaal transport in relatie tot het getij en de plaatselijke geometrie, verticaal transport in relatie tot vlokvorming, plaatselijke erosie, primaire produktie, en zo meer. Een andere complicerende factor bij de interpretatie van slibmetingen die niet onvermeld mag blijven, is de sterke ruimtelijke variatie van de slibconcentratie: slib verschijnt in water in de vorm van wolken. Waarschijnlijk moet dit worden toegeschreven aan het feit dat de meeste zwevende stof sneller opwervelt en uitzakt dan de tijd die nodig is voor de fijnverdeling door turbulentie over een voldoende groot deel van dwarsdoorsnede. Wanneer een meting wordt uitgevoerd met kleine watermonsters, dan constateert men meestal zeer grote fluctuaties in seston- en P.O.C.-gehalte bij opeenvolgende monsters. Bij toenemend bemonsteringsvolume nemen deze fluctuaties af: om een representatief beeld te krijgen van de getijvariatie van de grootschalige slibverdeling dienen watermonsters dus over een groot tijd- of ruimte-interval geanalyseerd te worden.

De uitvoering van natuurmetingen is vaak afhankelijk van de weersomstandigheden. De meeste meetresultaten hebben daardoor betrekking op situaties waarbij windsnelheden en golfhoogten geen extreme waarden bereiken. Wel is uit metingen gebleken dat bij toenemende windsnelheid en golfhoogten de erosie in

ondiepe gebieden aanzienlijk toeneemt en dat de slibconcentratie er het tienvoudige kan bedragen van de normale waarden. Het is daarom wel mogelijk dat stormen een wezenlijke rol spelen in de slibhuishouding van het Oosterscheldebekken. Om hierin een beter inzicht te verkrijgen wordt binnenkort een permanent meetstation ingericht op een ponton, dat de eerste jaren waarschijnlijk zal worden afgemeerd in de toegangsgoed tot de Kom van de Oosterschelde, ten noorden van Wemeldinge. De aldus verkregen meetreeksen zullen ook belangrijke informatie verschaffen over seizoensvariaties in de aanvoer, de produktie en de consumptie van P.O.C. in de Oosterschelde.

Uit de schattingen van de seston- en P.O.C.-stromen die zijn gegeven in figuur 1 en 2 blijkt dat biologische processen als de primaire produktie en het filtreren door schelpdieren een belangrijke bijdrage leveren tot het seston- en P.O.C.-budget van de Oosterschelde. Wil men de slibtoestand van de Oosterschelde in een wiskundig model simuleren, dan dienen deze biologische processen erin opgenomen te worden. Omgekeerd is het zo dat de primaire produktie en de consumptie door bodemdieren in de Oosterschelde niet gemodelleerd kunnen worden zonder kennis van de transporten van seston en P.O.C.. De primaire produktie wordt namelijk beperkt door de vertroebeling van het water als gevolg van aangevoerd of ter plaatse opgewerveld zwevend materiaal, en bodemdieren zijn voor hun voeding ten dele afhankelijk van de aanvoer van zwevende organische stof

Om deze redenen is het onderzoek naar het slibtransport in de Oosterschelde opgenomen in een breder onderzoek naar het ecosysteem dat de naam 'BALANS' draagt en waarvan al melding werd gemaakt in het artikel 'Aquatisch ecologisch onderzoek' in Bericht 95 (februari 1981). In dit onderzoek wordt gewerkt aan een wiskundig ecosysteemmodel van de Oosterschelde, dat gekoppeld zal worden aan een slibtransportmodel. De verwachting bestaat dat het geïntegreerde model zoveel zal bijdragen tot het inzicht in de onderlinge relaties tussen fysische, chemische en biologische processen in de Oosterschelde, dat op basis van deze inzichten daadwerkelijk ondersteuning van het beheer van de toekomstige Oosterschelde mogelijk zal worden. Het project is een samenwerking tussen de Rijkswaterstaat en het Delta Instituut voor Hydrobiologisch Onderzoek. Deelonderzoeken worden uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium.

Samenvattingen

Schuiven en bewegingswerken voor de Oosterscheldekering

Ten vervolge van een artikel over ditzelfde onderwerp in het vorige Bericht wordt een beschrijving gegeven van de hydraulische en elektrische installatie van de Oosterscheldekering.

Bij elke schuif zullen twee onafhankelijke hydraulische hefwerktuigen worden geplaatst. Deze installaties zijn ondergebracht in containers. De elektrische installatie is gebonden aan een extreem lage faalkans – één duizendste per jaar –, en dient onmiddellijk te reageren als de toegestane tolerantie in de scheefstand van de schuiven wordt overschreden.

De energievoorziening voor bijzondere omstandigheden blijft in eigen beheer. Een 10 kV-ringleiding zorgt ervoor dat alle installaties steeds van stroom kunnen worden voorzien. De elektrische installatie controleert zichzelf en de hydraulische installatie permanent op goed functioneren.

Het ontwerp van de drempel

De drempel van de Oosterschelde-kering wordt uitgevoerd als een open filterconstructie. Het materiaal van de onderste laag van dit filter is 0,002 m in doorsnee, dat van de bovenste laag 1 m. De vereiste afmetingen van alle tussenliggende lagen zijn in een afzonderlijk modelonderzoek vastgesteld. Daarbij werd ook gekeken naar de stabiliteit van de lagen tijdens de bouw. Voor de eindsituatie is uitgegaan van de veronderstelling dat één schuif hapert en blijft openstaan. Als criterium voor het bezwijken werd het zichtbaar worden van de volgende laag gehanteerd. De toplagen zullen met speciale grijpers op hun plaats worden gebracht.

Morfologische veranderingen in het Krammer en het Slaak

In het Krammer en het Slaak zijn sinds 1962 grote morfologische veranderingen opgetreden onder invloed van respectievelijk de afsluitingen van de Grevelingen en van het Volkerak, en van de aanleg van het werkeiland voor de Krammersluizen. Het Krammer heeft een voortdurend proces van verruiming en uitbochtiging ondergaan. De maximale diepte van deze geul nam uiteindelijk toe tot N.A.P. – 24 m, voornamelijk als gevolg van het feit dat het ebtransport het vloedtransport permanent ging overheersen. De Plaat van de Vliet, waarop het werkeiland is aangelegd, is eigenlijk pas sinds het begin van deze ontwikkelingen ontstaan.

Doorbraak van de westelijke Markiezaatskade

Op 11 maart 1982 is de westelijke kade rond het Markieaat van Bergen op Zoom tijdens een storm doorgebroken. Dit gebeuren was vooral gevaarlijk voor de scheepvaart op de Schelde/Rijn-verbinding en voor een hoogspanningsmast in de onmiddellijke omgeving. Er zijn dan ook terstond noodmaatregelen genomen.

Op korte termijn moet de breuk hersteld worden. Voor de nieuwe sluiting zijn alternatieven bestudeerd. Gekozen werd voor een nieuwe sluiting recht door het oude tracé. Er zal moeten worden overwinterd met een sluitgat van 800 m. De sluiting daarvan wordt uitgevoerd na het stormseizoen 82/83. De gehele Markiezaatskade wordt na de sluiting verhoogd. De kosten van het werk zullen ongeveer f 35 miljoen bedragen.

Sedimentologisch onderzoek op het werkeiland in de Philipsdam

De bodemmorfologie in de geulen van ons Deltagebied wordt in hoge mate bepaald door de sterkte van de getijstromen. De sedimentaire gelaagdheid van bodemprofielen geeft later een exact beeld van de processen die zich hebben voorgedaan.

Bij de aanleg van de bouwput voor de Kramersluizen is een profiel onsloten dat pas twintig jaar geleden gevormd werd bij de verzanding van een vloedschaar: in het profiel verschijnen telkens zandribbels in de vloedrichting. Het sedimentatie- en erosieproces kon nauwkeurig worden geconstrueerd. Het bleek dat de dikte van de ribbels correspondeert met de cyclus van doottij en springtij.

Slibtransport in de Oosterschelde

Verandering van het slibgehalte in de Oosterschelde of van de fractie organische bestanddelen erin, zou consequenties hebben voor de bodemdieren. Daarom worden de slibstromen en de sedimentatiepatronen in het bekken bestudeerd.

Metingen en berekeningen hebben tot nu toe een aantal tegenstrijdige resultaten opgeleverd; ter verklaring is verbetering nodig van ons inzicht in de mechanismen van afzetting en erosie. Tot op heden is het alleen in kwalitatieve zin gelukt het resulterend sedimenttransport in landwaartse richting te verklaren. In een numeriek wiskundig model dat voor dit doel is ontwikkeld, zullen voortaan ook gekwantificeerde simulaties worden doorberekend.

Summaries

Gates and operating mechanisms for the Oosterschelde-barrier

This article can be seen as a sequel to one on the same subject in the previous Threemonthly Review of the Deltaproject.

Two independently operating hydraulic lift-mechanisms will be installed at each gate. These mechanisms will be housed in containers. The electric installation must be of a prime quality with the lowest chance possible of failure – one thousandth time per annum. It must react immediately if the tolerated incline of the gates is exceeded. The electric power required for special circumstances will be provided by an independent power plant. A 10 kV circuit will continuously supply electric power to all installations.

Local electric installations check the functioning of the electric and the hydraulic installations uninterruptedly.

The design of the sill

The sill of the Oosterschelde-barrier will be built as an open filter construction. The material used for the lowest layer of this filter will have a diameter of 0,02 m, whereas the top layer will consist of material with a diameter of 1 m. The dimensions required for the intermediate layers have been defined in hydraulic models.

Here the stability of each layer during construction was checked. In the end situation the assumption has been made that one gate will fail to close. Exposure of the next layer was *maintained as a criterion for failure*. The top layers will be positioned with the aid of special grabs.

Morphological changes in the Krammer and Slaak channels

Since 1962, great morphological changes have taken place in the Krammer and Slaak channels, as a result of the closures of the Grevelingen and the Volkerak, as well as of the construction of the working-island for the Krammer Sluices. The Krammer has been expanded and bent out continuously. Finally, the maximum depth had increased to 24 m below MSL, mainly as a result of the permanent dominance of the ebbtransport over the floodtransport. In fact, the *Plaat van de Vliet*, a shoal on which the working-island was built, came into being only after these developments started.

Breach of the western dike of the Markiezaat

On March 11, 1982, the western part of the dike surrounding the area known as the Marquisate of Bergen op Zoom, was breached during a storm. This incident endangered particularly the shipping on the Schelde/Rijn-connection as well as a power pylon in the immediate vicinity. Emergency measures had to be taken immediately.

The breach must be repaired as soon as possible. Various possibilities to do this have been investigated. It was decided that the new closure will be executed in the axis of the former alignment. As the breach can only be filled after the stormy 82/83 season, this means that throughout next winter period there will remain a breach, enlarged to 800 m. After the closure has been completed the entire Marquisate dike will be raised. The costs will approximate 35 million guilders.

Sedimentation studies on the working-island in the Philipsdam

The morphology in the channel-beds in our Delta area is determined, to a great extent, by the strength of the tidal currents. Layers of sediment in cross-sections of the bed clearly demonstrate the different processes that have taken place

When the building activities for the Krammer Sluices started, a cross-section was disclosed which had been formed only twenty years ago due to the silting of a flood channel: the cross-section often shows sediment-ripples in the flood-direction.

It appeared that the thickness of the ripples corresponded with the neap-tide and spring-tide cyclus.

Sediment transport in the Oosterschelde estuary

Any change in the amount of sediment in the Oosterschelde, or of the organic fraction in it, may possibly affect the zoo-benthos in the estuary. Therefore, the sediment-flows and sedimentation patterns in the basin are being investigated.

Measurements and calculations have shown a number of contradictory outcomes up till now. To explain these, further knowledge about the mechanisms of sedimentation and erosion is required. Up to the present it has only been possible to explain qualitatively the resultant sediment transport in landward direction. In the future, quantified simulations will also be computerized in a numerical mathematical model, which has been developed for this specific purpose.

Vorderingen

In de periode
1 januari - 1 april 1982

A. De werken van het Deltaplan

Philipsdam

In de verslagperiode werd voortgegaan met het grondwerk ten behoeve van de verschillende onderdelen van het sluizencomplex, het riolenstelsel, de uitlaatwerken van het gemaal, de overbrugging en het dienstengebouw. Ook de betonbouw werd voortgezet en er werd verder gewerkt aan de voltooiing van de schuivengebouwen van het riolenstelsel. Het heilwerk voor de grondkerende constructie en voor het dienstengebouw is gereed.

Flakkeese spuilsuis

De vloer van de westelijke hevelknie is gestort. Begonnen werd met de opbouw van de bekisting voor de wanden en het dak van deze hevelknie. De oostelijke hevelknie is volledig gestort en grotendeels ontdaan van de bekisting. De afbouw van de stroomkoker vordert. Begonnen is met de afbouw van het pompgebouw. De verankering van de damwand aan de Krammerzijde is geheel gereed; die aan de Grevelingenzijde voor de helft. Aan de Krammerzijde is begonnen met de uitstroomvloer en de aanzet voor het stortebed.

Oesterdam

Het zuidelijk damvak van de Oesterdam is geheel uitgebouwd, tot een lengte van 3200 m. Aan weerszijden van de dam werden taludverdedigingen aangebracht. Voor de kop van het damvak is een bezinkingsveld gelegd. Voortgegaan werd met het aanbrengen van kleibekledingen. Met het oog op de nog uit te voeren werkzaamheden was het niet mogelijk het werk volgens bestek op 1 april 1982 op te leveren. De aannemer is uitstel van oplevering verleend tot 1 juli 1982.

Omkading van het Markiezaat

Op 15 januari was de sluitkade opgebouwd tot N.A.P. + 2 m. De scheepvaartbegeleiding kon toen worden beëindigd. Daarna werd voortgegaan met het verzwaren van de sluitkade met stortsteen 60/300 kg. In de nacht van 10 op 11 maart 1982 is tijdens zware storm en bij een waterstand van N.A.P. + 3,67 m de kop van het zuidelijk damvak doorgebroken. Er ontstond een stroomgat van 100 m waarvan het dieptepunt lag op N.A.P. - 25 m. In de dagen na de doorbraak zijn onder andere met behulp van zinkstukken conserverende maatregelen uitgevoerd ter bescherming van een hoogspanningsmast. Na de doorbraak was de scheepvaart tijdens de eb volledig gestremd in verband met de hinderlijke dwarsstroming en aanzanding op de Schelde-Rijnverbinding. Onmiddellijk na de calamiteit is de scheepvaartbegeleiding op de Schelde-Rijnverbinding hervat. De aanzandingen zijn inmiddels verwijderd door een sleephopperzuiger. Door het gat met een zuiger te vergroten tracht men de hinder voor de scheepvaart te verminderen.

Spuikanaal Bath

De verlegging van de noordelijke en de zuidelijke zinkerbundel is voltooid. Op 18 maart is het werk opgeleverd, met uitzondering van de aansluiting van de noordelijke afvalwaterleiding van het Hoogheemraadschap West-Brabant op de drukput ten oosten van de Schelde-Rijnverbinding. Er zijn namelijk problemen ontstaan bij de constructie van deze drukput. De verwachting is dat de aansluiting van de noordelijke leiding medio 1982 kan plaatsvinden.

De kanaalinsteken ten zuiden van de Bathsebrug zijn gereed. Begonnen is met de kanaalinsteken ten noorden van de Kreekrakdam. De afwatering werd voor de bouw van een sifon verlegd. Voortgegaan is met het maken van de funderingen voor de onderhoudswegen langs het Spuikanaal ten zuiden van de Bathsebrug. De werkzaamheden voor de bouw van de vier verkeersbruggen over het toekomstige Spuikanaal verlopen volgens schema.

Het betonwerk van de brug in de Bathseweg is gereed. In de eerste helft van mei worden de wegaansluitingen gemaakt en kan de brug voor het verkeer worden opengesteld. De tijdelijke wegomlegging kan dan weer buiten gebruik worden gesteld. In de noordelijke brug in Rijksweg A58 is de druklaag gestort. Van de brug in Rijksweg 258 zijn de voorgespannen liggers al gemonteerd.

Oosterschelde-kering

Een storm gedurende de doorbaggering van compartiment I van de bouwput Schaar heeft er toe geleid dat de eerste pijlerrij in een zandrug kwam te staan. Het overtollige zand is zeer

voorzichtig verwijderd om de grindzakken rond de pijlers niet te beschadigen. Naast de ingang van het bouwdoek is een afmeersteiger gebouwd voor de 'Ostrea'. De pijlerbouw in de compartimenten II en III verloopt volgens plan. Compartiment IV is op diepte gebracht: N.A.P.

– 15,20 m. De inrichting en de bekleding van de taluds is in volle gang. Binnenkort zal hier begonnen worden met de fabricage van de dorpelbalken. De bouw van de Roompotsluis vordert gestaag. De doorbagging van de bouwput is inmiddels opgedragen. De werkzaamheden zullen na de bouwvakvakantie beginnen. De verbouwing van de voormalige fabriek van blokkenmatten tot tegelmattenfabriek verloopt naar wens, evenals de verbouwing van de mattenlegpontoon 'Dos I'. De transportrol en de bijbehorende zinkbalken worden eveneens verbouwd.

Ontwikkelingen bij het ontwerp van de negatieve overlap hebben geleid tot een wijziging van de rand van de funderingsmat, waar nu een andere zand-grindsortering wordt gebezigd dan in het overige gedeelte van de mat. De fabriek wordt hiertoe aangepast. De 'Ensis', de eerste rol van de Cardium, is gearriveerd. De lieren op de loswal van de fabriek worden ingeregeld.

De toegangsgeul tot de Roompothaven is op diepte gebaggerd om de werkzaamheden ongestoord plaats te kunnen laten vinden.

De steenaanvoer uit Finland heeft zoals gebruikelijk in de winter wegens weersomstandigheden stilgelegen. De aanvoer uit Duitsland ging normaal door.

Voor de uitvoering van de opbouw van de drempel zal gebruik gemaakt gaan worden van steenstorters met een eigen plaatsbepalingssysteem.

Roerpropellers komen in de plaats van ankerdraden. Het verlaten van het systeem van verankerde afvierpontons maakt het bedrijf veel flexibeler en heeft gunstige gevolgen voor de planning. Onderzocht wordt nog hoe het verdichten, opschonen en controleren dient te worden aangepakt.

De natte werkzaamheden van de damaanzet Roggenplaat-Zuid zijn gereed. In de afgelopen periode is aan de westzijde van de damaanzet een gepeetreeerde breuksteenglooing aangebracht. De oostzijde is voorzien van een betonblokkenglooing. Op de kop worden de laatste hoeveelheden breuksteen 60/300 kg aangebracht. De oevers werden bestort met fosfor- en staalslakken.

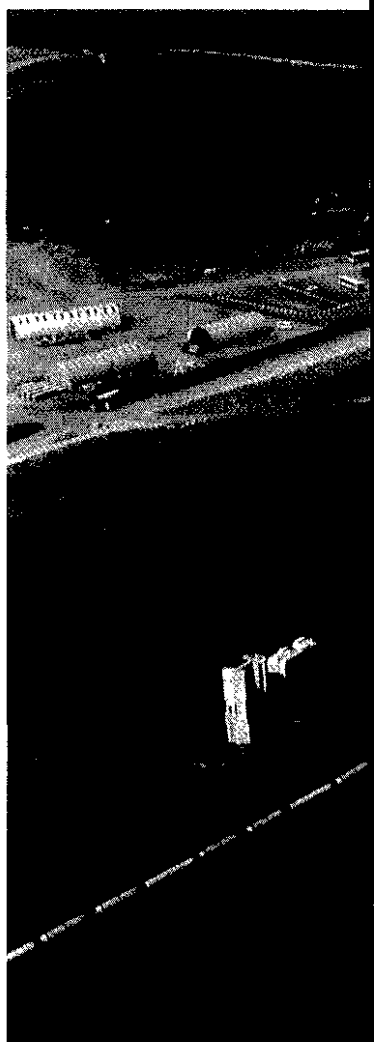
De aanzanding die zich heeft voorgedaan bij de opbouw van de stenen kop van de damaanzet Roggenplaat-Zuid heeft geleid tot ontwerpaanpassingen voor de damaanzetten Roggenplaat-Noord en Neeltje Jans. Het ontwerp voorziet nu in meer naar achteren geplaatste landhoofdelementen en dientengevolge in langere landhoofdverkeerskokers. Het uitspoelen van zand wordt daardoor minder kritiek.

Deze aanpassing kost bovendien minder. Met de bouw van de damaanzet Roggenplaat-Noord zal in mei worden begonnen.

Het verdichtingswerk in de as van de kering verloopt voorspoedig. Naar verwachting zal de 'Mytilus' medio 1982 gereed zijn met het verdichten in de as. Daarna moet nog enige tijd verdicht worden bij de rand van de bodembescherming in de Schaar.

De mattenlegpontoon 'Cardium' is in de Oosterschelde gearriveerd. In de Roompothaven zijn de lieren ingeregeld en worden verhaalproeven

Het hefschip 'Ostrea' afge-meerd bij compartiment I van de bouwput



gedaan. Tijdens beproevingen van de baggerladder zijn moeilijkheden opgetreden met de onderwaterpomp-motoren. Mede hierdoor is de datum waarop de eerste mat aan de grond gebracht kan worden, naar achteren gescho-ven.

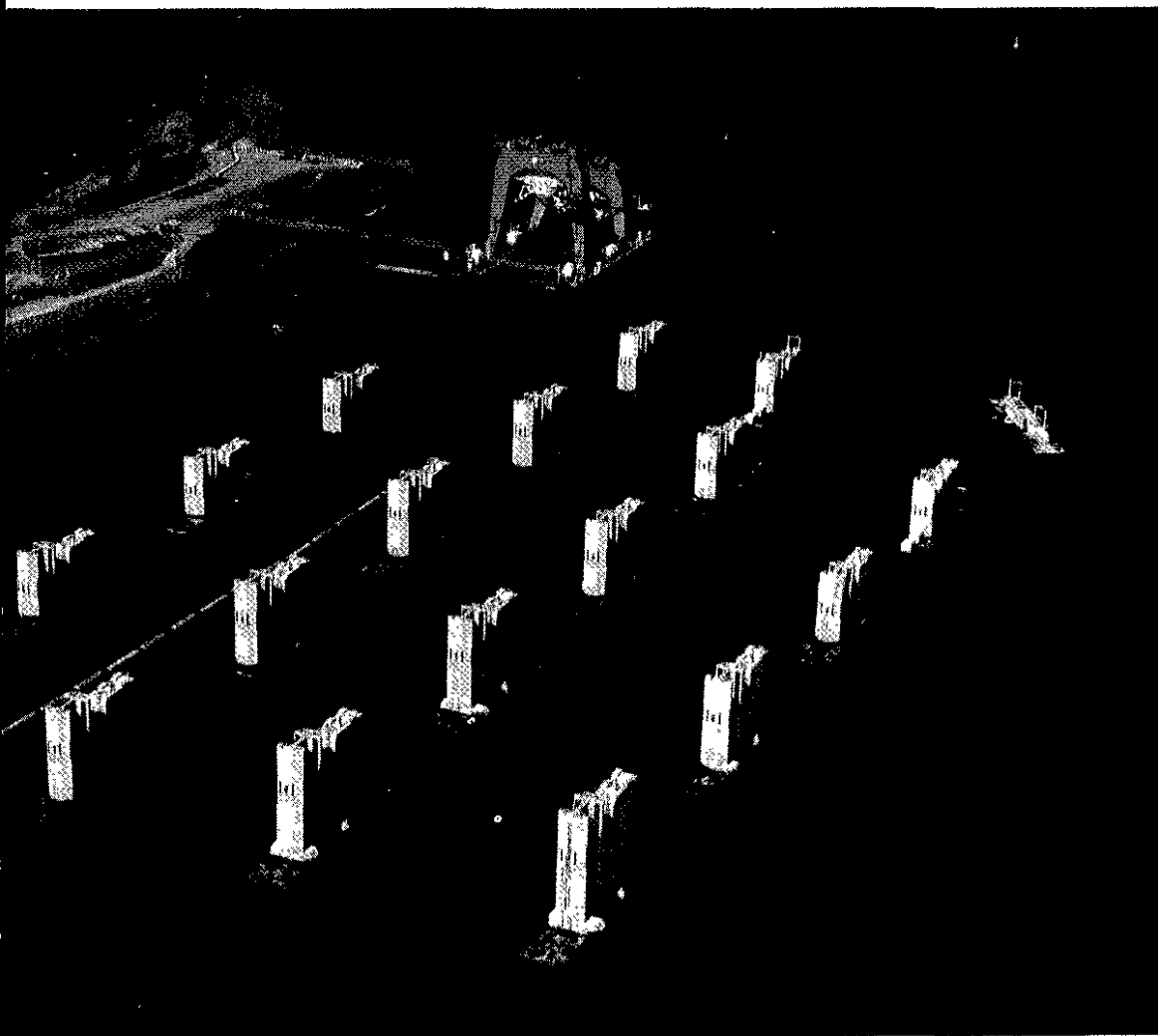
Binnenkort vertrekt de 'Cardi-um' naar zijn proeflocatie in de Roompot, waar schip en bemanning zich gaan voorbe-reiden op hun eigenlijke werk. De oplevering van de eerste mattenrol, de 'Ensis', is vertraagd door problemen met de hydraulische installatie.

De tweede mattenrol, de 'Twensis', zal medio 1982 gereed zijn. De zinkbalken zijn geleverd.

Ook het hefschip 'Ostrea' is aangekomen in de Ooster-schelde. De werfbeproevingen zijn in volle gang. De verwach-tig is dat de 'Ostrea' in mei opgeleverd zal gaan worden. De uitgebreide werkbeproevin-gen kunnen dan beginnen. De bouw van de afmeerponton 'Macoma' vordert gestaag. In april wordt dit schip in de Oosterschelde verwacht. De grindstorters 'Jan Heymans' heeft een deel van zijn werfbe-

proevingen met goed gevolg voltooid. De tweede stortpijp, waarmee het filter van de negatieve overlap wordt afgedekt, moet evenals de grindinstallatie nog worden aangebracht. Tevens wordt nog hard gewerkt aan aanpas-singen van de ontzandingsin-stallatie. In de afgelopen periode is met de asfaltinstal-latie van de 'Jan Heymans' gedurende een zestal weken het nog resterende asfalt voor de stortbedden aangebracht in de Roompot.

Er is allerlei materiaal voor de schuiven besteld. De fabricage



van onderdelen begint medio april.

De resultaten van het golfklap-onderzoek zijn in het ontwerp verwerkt. De detaillering van de bewegingswerken is gereed. Op korte termijn worden contracten gesloten voor belangrijke onderdelen. In discussie is nog of op een pijler steeds twee gelijke cilinders moeten worden aangebracht. Op 26 pijlers zijn ze volgens het huidige ontwerp namelijk ongelijk van hoogte, omdat ook de bijbehorende schuiven ongelijk van hoogte zijn, door de vormgeving van de bodem van de sluitgaten. Van de elektrische installatie is een deel aanbesteed. De aanbestedingen worden geëvalueerd.

In de verslagperiode zijn in het proefbassin te Schelphoek proeven uitgevoerd met een geperforeerde trilplaat. De trilplaat bleek geen beschadiging van de filtermat te veroorzaken. Er worden ook proeven uitgevoerd voor het verdichten van de negatieve overlap. Een steenpakket van 4 m dik met als bovenlaag stortsteen 10/60 kg, 60/300 en 300/1000 kg wordt in één keer verdicht, waarbij nagegaan wordt of slepend verdichten met een trilplaat mogelijk is. In de stroomgoot te Lith worden proeven uitgevoerd voor het ontwerp van de

damaanzetten. Daartoe wordt het uitspoelgedrag van ingesloten zandlenzen bestudeerd.

De verificatieproef van de tegelmat, waarbij de in werkelijkheid te verwachten krachten en extreme situaties zijn gesimuleerd, is met succes afgerond. De risico-analyses werden afgerond van het funderingsbed, de filtermattenfabriek, de 'Cardium', de 'Jan Heymans', de fabricage en het leggen van de tegelmatten, de ankerbehandeling en het plaatsen van pijlers.

Bij de ontwikkeling van het meetsysteem van de 'Cardium' zijn vertragingen opgetreden. Een meetsysteem gebaseerd op een minimum eisenpakket zal als noodstelsel worden gebruikt voor de begeleiding van de proefperiode.

Het meetsysteem van de 'Ostrea' is gereed; het heeft zijn eerste beproevingen ondergaan. De ontwikkeling van het meetsysteem van de 'Macoma' lijkt momenteel wat traag te verlopen. De datum van aankomst op de Oosterschelde komt echter niet in gevaar.

De bouw van de 'Portunus' en de verbouwing van de 'Wijker Rib' lopen ten einde. Op de 'Wijker Rib' dient alleen de kraan nog gemonteerd te worden. Ten aanzien van het drempelmaterieel beginnen

de inspectie-activiteiten tastbare vormen aan te nemen. De functionele specificaties van het meetsysteem van de topaagstorters zijn zo goed als gereed; de beschrijving van het meetproces van de steenstorters is begin maart gereedgekomen. Beslissende keuzes zullen zeer binnenkort gedaan worden ten aanzien van de opschoon- en verdichtingsponton en de bodemcontrole. Het informatie-verwerkingscentrum van uitvoeringsgegevens is in ontwikkeling. De behuizing is gereed en de computer-apparatuur is geïnstalleerd. Met de bouw van de randapparatuur en de programmering zal men voorlopig doorgaan tot het eind van de proefperiode van de 'Macoma', de 'Ostrea' en de 'DOS I'.

Er zijn acties gaande om het uitgebreide scala van dragers van onderwaterinspectie-sensoren op effectieve wijze in te passen in de operaties van het bijzonder materieel. Bekeken wordt waar de 'Portunus', uitgerust met een manipulator, verder nog ingezet kan worden, waar duikers gebruikt kunnen worden, met welke inspectie-sensoren, en hoe de sonar vanaf de 'Orisant' zo duidelijk mogelijk de resultaten kan presenteren.

Fotoverantwoording

Bart Hofmeester 4, 19, 25, 55
W. Riemens 40

