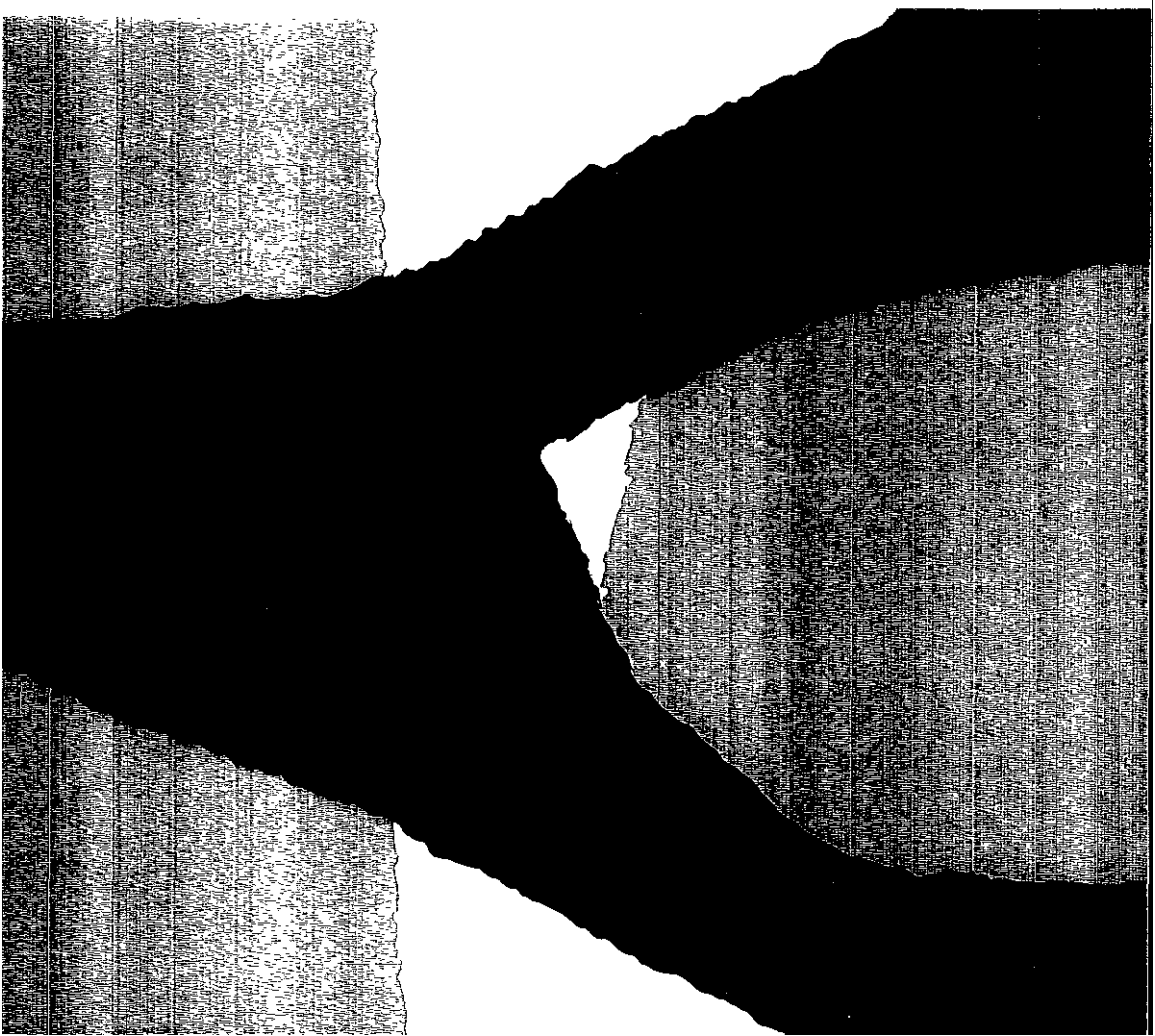


Driemaandelijks Bericht
nummer 94, november 1980

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
2597 AT 's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1
2515 TZ 's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 23,- per jaar
of f 6,- per nummer

Inhoud

Voortgang van het ontwerp voor de Oosterschelde-kering 175

Prognose van de bodemligging in de omgeving van de Oosterschelde-kering tijdens de bouw 180

Ervaringen bij de uitvoering van grondverbeteringen in de as van de sluitgaten 184

Het asfaltmastiëk voor de stortebedden nader onderzocht 189

Onderzoek en ontwerp van de damaanzetten en landhoofden 195

Eerste resultaten van het experimentele lozingsprogramma voor de Volkeraksluizen 202

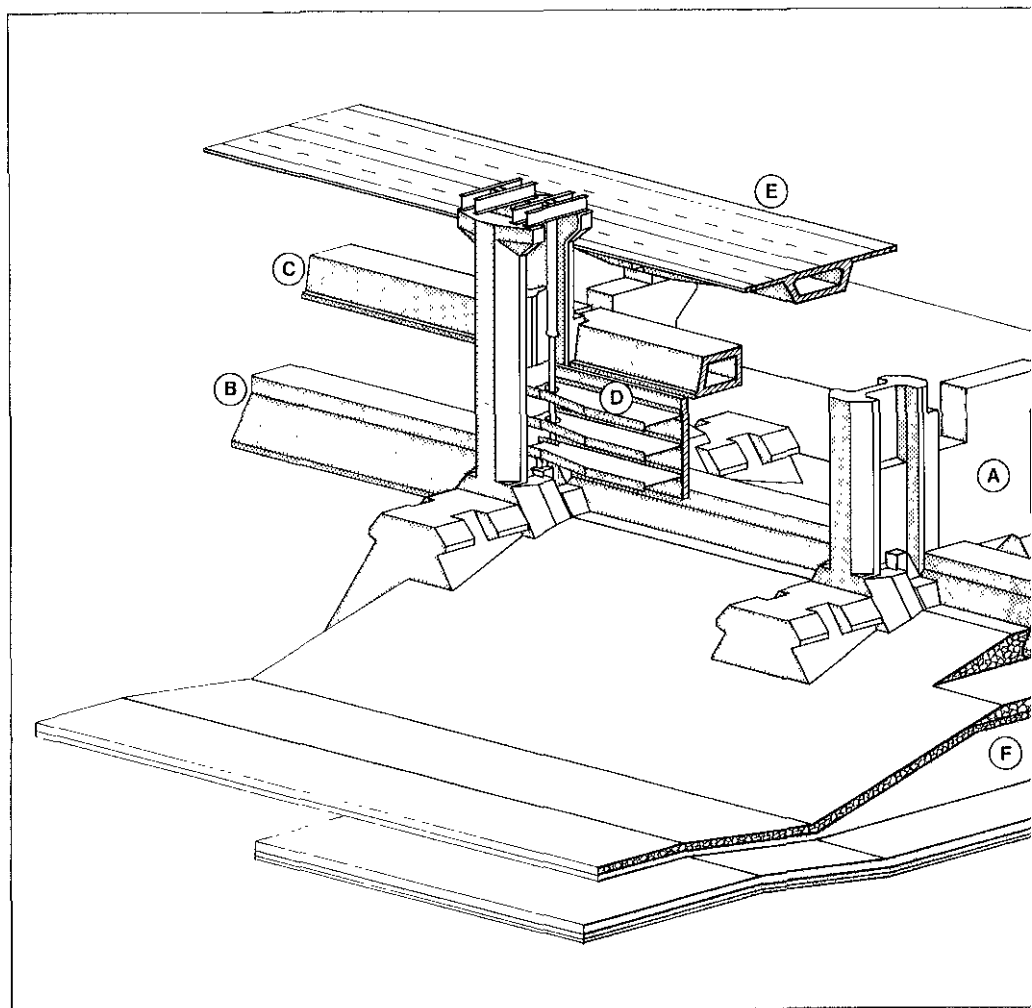
Zware metalen in het Deltagebied 209

Geologisch onderzoek in de mond van de Oosterschelde 218

Samenvattingen/Summaries 222

Vorderingen 226

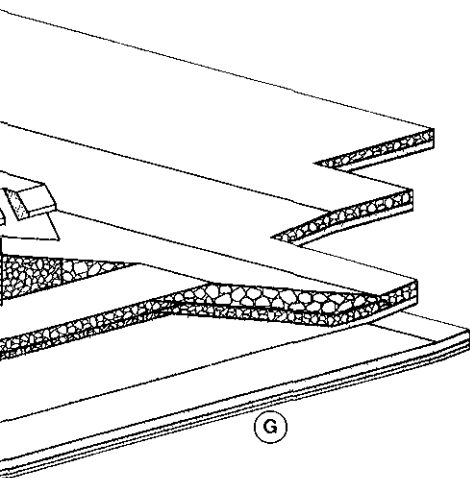
Perspectivische doorsnede van
de hoofdconstructie van de
Oosterscheide-kering.



Voortgang van het ontwerp voor de Oosterschelde-kering

Hoewel er in vrijwel elk Driemaandelijks Bericht nieuws wordt verstrekt over onderdelen van de Oosterschelde-kering of over studies die daarmee samenhangen, moeten we teruggaan tot Bericht 87 (februari 1979) om een artikel te vinden dat is gewijd aan de stand van zaken met betrekking tot het algemeen ontwerp van de kering. In dat artikel werd de toestand in ogen-schouw genomen van omstreeks november 1978.

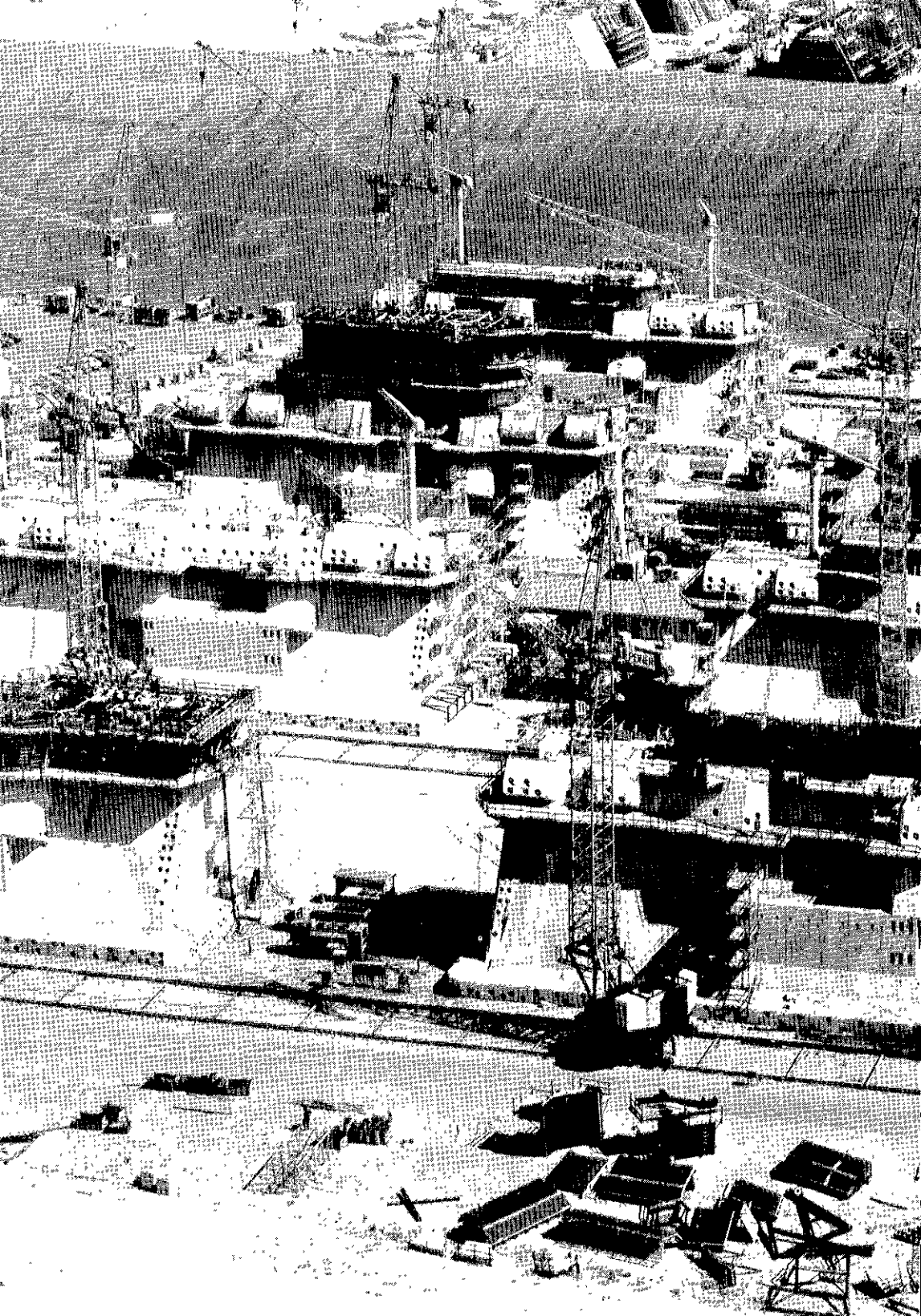
A-PIJLER
B-ONDER DORPELBALK
C-BOVEN DORPELBALK
D-SCHUIF
E-VERKEERSKOKER
F-DREMPEL
G-FILTERMAT

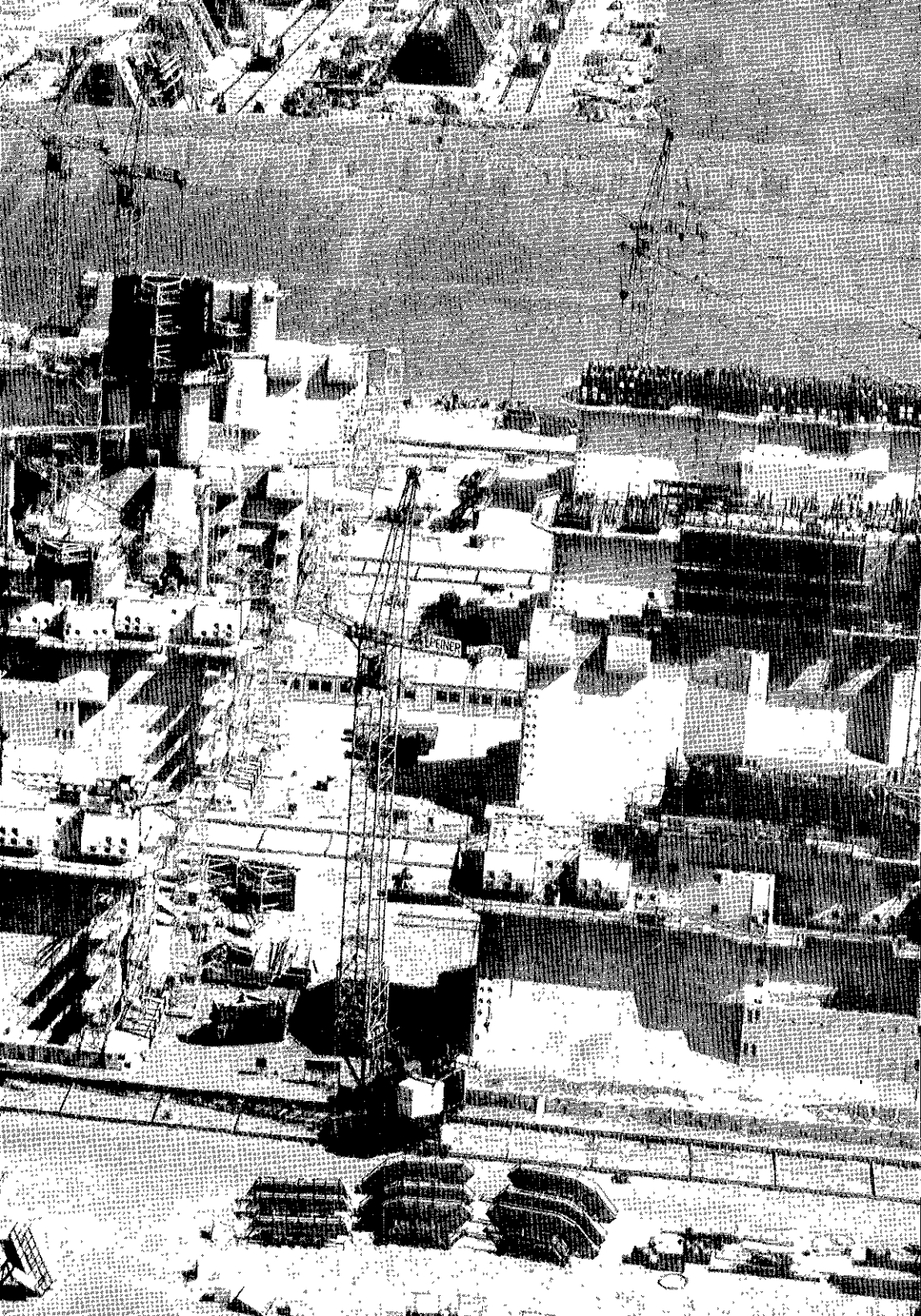


Sedert dat tijdstip heeft het ontwerp een verdere ontwikkeling ondergaan. Verschillende werkonderdelen en hulpwerken zijn reeds gereedgekomen of in uitvoering genomen; het totaalontwerp heeft onder invloed daarvan langzamerhand zulke vaste vormen aangenomen, dat de hoofdlijnen eenduidig zijn bepaald. Nog slechts weinig onderdelen van het ontwerp vragen om verdieping van inzicht, alvorens tot de uitvoering kan worden besloten.

Met de bouw van de Oosterschelde-kering wordt beoogd de in de Deltawet bedoelde veiligheid tegen overstromingen door hoge stormvloeden te scheppen en tegelijk het bestaande waardevolle natuurlijke milieu zoveel mogelijk te handhaven.

In de praktijk betekent dit dat de Oosterschelde-kering als hoofdwaterkering een stormvloed moet kunnen keren met een overschrijdingskans van 1/4000 keer per jaar; maar tegelijk dat het getijverschil bij Yerseke gemiddeld niet kleiner mag zijn dan 2,70 m. Thans is het ongeveer 3,50 m. De kering moet daarenboven in 1985 operationeel zijn, en mag, wat de kosten betreft, het eenmaal vastgestelde budget niet overschrijden, behoudens inflatiecorrecties. Daarnaast worden nog enkele belangrijke uitgangspunten voor het ontwerp en de realisering van de Oosterschelde-kering in acht genomen. Het ontwerp dient aan de toekomstige beheerder de benodigde vrijheid te bieden bij het gebruik en beheer van de kering. Voor een groot aantal onderdelen is gekozen voor een systeem van prefabricage. Het voordeel hiervan is, dat de kwaliteit van de gemaakte onderdelen beter controleerbaar wordt, terwijl vermeden wordt dat er langdurig moet worden gewerkt onder de ruwe en ongewisse omstandigheden die in de





stroomgeulen soms overheersend zijn, met alle daaraan verbonden risico's. De toe te passen materialen, die moeilijk kunnen worden vervangen, dienen een levensduur te hebben van ten minste 200 jaar.

De Roompot zal ook na de afsluiting 60% van het debiet verzorgen, de Schaar van Roggenplaat en de Hammen ieder 20%.

De Oosterschelde-kering wordt opgebouwd uit 66 pijlers en 63 schuiven, verdeeld over de drie stroomgeulen. De afstand tussen de pijlers bedraagt 45 m hart op hart. De schuiven bewegen verticaal tussen de pijlers en sluiten aan op een onder- en een bovendorpelbalk. Deze laatste ligt met de onderkant op N.A.P. + 1 m. De onderdorpelbalk sluit aan op de tussen en om de pijlers gelegen stenen drempel.

Over de Oosterschelde-kering en over de aansluitende grondwerken is de mogelijkheid voor een autoweg voorzien met een netto breedte van $2 \times 3,50$ m; daarnaast komt, aan de zeezijde, een parallelweg met twee rijstroken van 2,75 m breed. Dit geheel vormt een verkeersverbinding tussen Noord-Beveland en Schouwen-Duiveland. In de kering is een scheepvaartsluis opgenomen die in eerste instantie is bedoeld voor de werkvaart gedurende de uitvoering van de werken, en na 1985 primair ten dienste staat van het beheer. De autoweg kruist deze sluis door middel van een vaste brug, met een vrije doorvaarthoogte van N.A.P. + 20 m.

Het ontwerpproces verloopt in grote lijnen als volgt. Binnen de gegeven randvoorwaarden worden nadere doelstellingen en uitgangspunten geformuleerd. Op basis hiervan worden, in samenhang met mogelijke uitvoeringsmethoden, voorontwerpen van verschillende werkonderdelen gemaakt en daarna ontwikkeld tot volwaardige ontwerpen. De ontwerpmethodiek die wordt toegepast, is gebaseerd op beschouwingen van de kans dat de kering en haar onderdelen niet goed zullen functioneren, of anders gezegd, overbelast raken. Onder de titel 'De probabilistische benadering van het ontwerp van de stormvloedkering' werd hierover reeds eerder gepubliceerd in de Berichten 84, 85, 86 en 87 (mei 1978-februari 1979). Langs deze weg kan een harmonieus ontwerp worden verkregen, dat wil zeggen een ontwerp dat bij overschrijding van de maatgevende belastingen in al zijn onderdelen gelijktijdig bezwijkt. De omvang van de Oosterschelde-kering en in het bijzonder ook de gekozen werkwijze – prefabricage van zoveel mogelijk onderdelen – brengen met zich mee dat bijzondere, geavanceerde uitvoeringsmethoden moeten worden ontwikkeld. Aangezien de ontwikkeling van de uitvoeringsmethodieken niet los van het ontwerp kan worden gezien, kan het ontwerp alleen dan

goed tot stand worden gebracht en voltooid, wanneer gelijktijdig ook de wijze van uitvoering wordt uitgewerkt.

Dit vraagt aanhoudend om een sterk geïntegreerde aanpak van ontwerp- en uitvoeringszaken. *Enkele onderdelen van het ontwerp vragen nog de aandacht.*

Men buigt zich thans over de vraag in welke fase van de uitvoering de ontgrondingskuilen langs de rand van de bodembescherming tot volle ontwikkeling zullen komen, en met welke snelheid die ontwikkeling zal verlopen. Een en ander is van belang om de materieelinzet te bepalen waarmee deze ontwikkelingen kunnen worden gevolgd en beteugeld. De problemen zijn inmiddels reeds voor een belangrijk deel opgelost. Van de asfaltmastiekstortbedden worden thans de reeds gemaakte gedeelten aan een kwaliteitsonderzoek onderworpen. Intensief modelonderzoek heeft al eerder plaatsgevonden. Uit beide onderzoeken zal binnenkort blijken of het ontwerp nog moet worden aangepast. Verder worden met een spuitapparaat proeven genomen om vooraf de aansluiting tussen de verschillende banen asfaltmastiek vrij te maken van aanzandingen; de aanwezigheid van zand verhindert namelijk de goede aanhechting van de asfaltmastiekanen onderling. De resultaten van deze proeven zijn in bewerking.

Het verdichtingsschip 'Mytilus' is thans geheel operationeel. Voor zover nu kan worden geconcludeerd, voldoet het verdichtingsresultaat aan de gestelde eisen. Het blijkt echter dat in gebieden met een bepaalde grondgesteldheid aan de trilnaalden zo'n groot vermogen moet worden afgegeven, dat de elektromotoren overbelast raken. Door het bijplaatsen van een derde motoreenheid kan de belasting van de motoren tot de normale waarde worden teruggebracht. Bij het ontwerp van de 'Mytilus' werden reeds voorzieningen getroffen die uitbreiding met een derde motoreenheid mogelijk maken. Gezocht wordt nog naar afdoende oplossingen ter voorkoming van defecten aan de toevoerbuizen voor water en lucht in de naaldschacht. Door de genoemde storingen blijft de produktie van de 'Mytilus' enigszins bij de prognose ten achter. Tot nu toe heeft dit voor de planning geen consequenties.

De funderingsmat die onder de pijlers komt te liggen, bestaat uit een geprefabriceerd verpakt granulaire filter. De matten zullen met de mattenlegponton 'Cardium' op de plaats van bestemming worden afgezonken.

De algemene problematiek die zich in het ontwerp nog voordoet, kan worden samengevat in de vraag hoe kan worden voorkomen dat onder de mat plaatselijk onderloopsheid optreedt als

gevolg van een zekere mate van stijfheid van de mat, waardoor hij mogelijk niet overal goed op de bodem aansluit. Gezocht wordt naar een perfectie in ontwerp en/of uitvoeringsmethoden die het gevaar uitsluit, dat onder de mat liggend zand in beweging zou komen.

Er heeft onderzoek plaatsgevonden om de vlakheid van de funderingsmat te kwantificeren.

De vlakheid van de funderingsmat bepaalt of de stand van de pijlers zo verticaal is, dat de schuiven nog passen. Het onderzoek heeft uitgewezen dat dit niet zonder aanvullende maatregelen het geval kan zijn. De eventuele onvlakheden kunnen worden opgevuld met een geprefabriceerde betontegelmat die in zijn geheel wordt afgezonken. De dikte van de tegels wordt dan bepaald door na het leggen van de funderingsmat de resterende onvlakheden op te meten. Er is ook een andere werkwijze mogelijk, waarbij de eventuele onvlakheden ter plaatse op de funderingsmat worden vereffend met behulp van een duikerklok.

De uit verschillende steengraderingen opgebouwde drempel is in principe een open, en dus waterdoorlatende constructie.

Ingeval deze open constructie zou dichtgroeien met schelpdieren ontstaat een wezenlijk andere constructie, die zich onder extreme omstandigheden ook principieel anders zal gedragen dan de aangelegde. Een onderzoek is gaande naar de kans dat dit voor zal komen.

In verband met de mogelijkheid van ongewenste zettingen, bij voorbeeld van de pijlers, is het ontoelaatbaar dat op de funderingsconstructie zand zou worden afgezet, dat niet zou kunnen worden verwijderd of zelfs niet ontdekt. Daarom wordt gezocht naar betrouwbare zanddetectiemethoden en naar middelen waarmee aange troffen zand kan worden verwijderd, dan wel vastgelegd.

Om gemaakt werk onder water te kunnen controleren wordt gewerkt aan de ontwikkeling van meet- en controle-apparatuur.

Bij het ontwerp van de Oosterschelde-kering is gekozen voor een systeem van prefabricage. Dit brengt mee dat vooraf gemaakte zware onderdelen in het werk op hun plaats moeten worden gebracht. Een en ander vereist nog studie, om tot optimale uitvoeringsprogramma's te komen. We denken hierbij allereerst aan het leggen van de funderingsmat met de 'Cardium', dan aan het plaatsen van de pijlers met het hefschip 'Ostrea', in combinatie met een afmeer- en opschoonponton en ten slotte aan het monteren van schuiven, dorpelbalken en verkeerskokers met een zware hijsbok.

Het definitieve schuifontwerp is een zogenaamde vakwerkschuif, waarvan het hoofddraagsysteem is opgebouwd uit buisprofielen. Dit in af-

wijking van het ontwerp omschreven in Bericht 79 (februari 1977). Voor het verkrijgen van meer inzicht in het spanningsverloop in de vrij gecompliceerde knooppunten is nog studie en onderzoek nodig.

Management

De kennis en de wetenschap die nodig is voor de realisering van de Oosterschelde-kering is bijeengebracht in een samenwerkingsverband, waarin wordt deelgenomen door de Delta-dienst, de directie Sluizen en Stuwten, de directie Bruggen, diverse onderzoeksinstituten en de aannemerscombinatie Dosbouw. Deze diensten, instituten en bedrijven hebben een vrij groot aantal medewerkers ingezet voor het tot ontwikkeling brengen van de Oosterschelde-kering, een innoverend project met vele onbekendheden en onzekerheden. De management-taak moet in zo'n samenwerkingsverband niet worden onderschat.

Immers met de vervulling van deze taak wordt in hoge mate gestreefd naar een voorspelbare en controleerbare aanpak van zaken, zodanig dat op een efficiënte wijze wordt voldaan aan de doelstellingen en randvoorwaarden. In hoofdlijnen richt de managementtaak zich op de organisatie, de planning, de leiding en de controle.

Hoewel het hoofdstramien van de organisatie niet verandert, is het in verband met de ontwikkelingen die het project doormaakt, toch steeds weer nodig, dat de organisatie op onderdelen wordt aangepast, opdat de nieuwe deeltaken op een doelmatige wijze door de juiste mensen kunnen worden aangepakt.

Het tegengaan van verstarring in de organisatie en het op peil houden van de benodigde personele capaciteit vereisen voortdurende zorg.

Onder de noemer planning kunnen worden samengevat de tijdsplanning en de kostenplanning.

De tijdsplanning heeft nog kort geleden wijzigingen moeten ondergaan als gevolg van het besluit om de 'Cardium' in elementen te bouwen. Dit besluit betekent namelijk zeven maanden vertraging in de oplevering van de 'Cardium'. Daar de 'Cardium' bepalend is voor de datum van gereedkomen van de kering dient de vertraging te worden gecompenseerd om toch in 1985 gereed te zijn. Dit kan door de opvolgende activiteiten in verhoogd tempo uit te voeren.

Het zal duidelijk zijn, dat als gevolg van wijzigingen in de tijdsplanning, ook de kostenplanning verandert, in die zin dat er verschuivingen optreden in de meerjarenramingen.

Elk waterstaatswerk, vooral als het in den natte gebouwd wordt, beïnvloedt zijn omgeving sterk. De morfologische en hydraulische condities waar men bij de bouw van de Oosterscheldekering rekening mee moet houden, verschillen derhalve van bouwfase tot bouwfase.

Prognose van de bodemligging in de omgeving van de Oosterschelde-kering tijdens de bouw

Er leven thans nog een groot aantal vragen met betrekking tot de verschillende bouwfasen. Ze betreffen onder meer de te verwachten stromingscondities tijdens verschillende bouwactiviteiten, zoals het leggen van de funderingsmaten en het plaatsen van de pijlers.

Voor een gedetailleerde prognose van de stroomomstandigheden zal gebruik gemaakt moeten worden van de bestaande modellen M 1000 en M 1001 in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst. Met het model M 1000 kan het algemene stroombeeld in het gehele Oosterscheldebekken bestudeerd worden onder allerlei getij-omstandigheden. Doordat de horizontale en verticale schalen van dit model niet gelijk zijn, worden stroomverticalen, neren en wervelstraten er echter niet goed in weergegeven, zeker niet in de directe omgeving van de stormvloedkering in aanbouw. In het model M 1001 kan het stroombeeld in de omgeving van de kering wel betrouwbaar worden gereproduceerd. De randvoorwaarden voor de modelproeven in M 1001 dienen geleverd te worden door het model M 1000. Beide modellen vullen elkaar aan. Model M 1001 is eveneens geschikt voor het onderzoek naar ontgrondingskuilen in het gebied rond de sluitgaten.

De bodem van de Oosterschelde bestaat uit zand, dat door stromingen door de geulen heen en weer wordt verplaatst. Deze beweging is echter niet constant. Afhankelijk van de optredende hydraulische condities neemt het transport plaatselijk toe of af, hetgeen resulteert in lokale erosie dan wel aanzanding. Hierdoor wijzigt zich de topografie van de bodem. Ten gevolge van wijzigingen in de bodemtopografie veranderen ook de stromingen weer, en daarmee de mate en plaats van aanzanding en erosie. Er treedt dus een voortdurende wissel-

werking op tussen de bodemtopografie en de stromingscondities.

Voor een zo exact mogelijke voorspelling van de stromingscondities tijdens de verschillende bouwfasen is het dus noodzakelijk, dat ook de bodemligging tijdens die bouwfasen zo nauwkeurig mogelijk bekend is.

Grote veranderingen in het stroombeeld worden pas verwacht vanaf 1982, wanneer bepaalde relatief grote ingrepen zijn gedaan, zoals het uitbouwen van dam aanzet Schouwen en de aanleg van de drempel.

Ten behoeve van het bouwfasenonderzoek is nu een prognose opgesteld voor de te verwachten bodemligging in 1982. Deze toestand is vervolgens ingebouwd in de modellen M 1000 en M 1001. Met behulp van de voorspellingen van de stroomsituatie tijdens de bouwfasen 1981-1983 zal vervolgens een prognose worden opgesteld van de bodemligging in 1984.

De studie van de sedimentbeweging in het algemeen en die in estuaria in het bijzonder heeft tot op heden niet zulke betrouwbare methoden opgeleverd, dat er een goede schatting van de bodemligging op middellange en lange termijn mee kan worden gemaakt. Voor het opstellen van een prognose van de bodemligging in de Oosterschelde was daarom een meer pragmatische benadering nodig: de verplaatsingen, verdiepingen en verondiepingen van geulen en banken worden in de tijd gevolgd; vervolgens worden de ontwikkelingen naar de toekomst geëxtrapoleerd. Het menselijk ingrijpen in de natuur stelt echter beperkingen aan deze methode. Grote ingrepen in het verleden zijn de afsluitingen geweest van het Volkerak in 1969 en van de Geul in 1972. Daarom zijn in het onderzoek alleen veranderingen in de bodemligging vanaf 1973 in beschouwing genomen.

Bij het begin van het onderzoek, juli 1979, vormden de resultaten van de in 1977 verrichte lodingen de meest recente gegevens, behalve in de directe omgeving van de Oosterschelde-kering. De prognose is daarom grotendeels gebaseerd op een meetperiode van 5 jaar, lopend van 1973 tot 1977. Het zal duidelijk zijn dat een extrapolatie van de uit deze periode van vijf jaar gedestilleerde ontwikkelingen naar een volgende periode van eveneens vijf jaar slechts een beperkte betrouwbaarheid heeft. Daarom zijn in een latere fase van de studie bij het beschikbaar komen van lodingskaarten van 1978 en 1979 de nieuwe gegevens voor die gebieden waar aanpassing van de modelbodem gewenst of vooralsnog niet uitgesloten werd, alsnog verwerkt; daarmee werd de betrouwbaarheid van de prognose verhoogd.

Daar de stroomomstandigheden in de omgeving van de Oosterschelde-kering voornamelijk bepaald worden door de ligging en de vorm van de geulen en platen in de omgeving van de kering, is het onderzoek beperkt tot een gebied van 10 km aan weerszijden van de Oosterschelde-kering.

Methodiek

Morfologische ontwikkelingen kunnen op verschillende manieren worden geëxtrapoleerd. Zo zou men bij voorbeeld het te beschouwen gebied kunnen schematiseren tot een net van vierkanten, en dan per vierkant de verandering in de gemiddelde diepte kunnen volgen met het verstrijken van de tijd. Om de geometrie van de geulen goed te kunnen weergeven mag een vierkant niet te groot zijn, niet meer dan $25 \times 25 \text{ m}^2$. Bij een onderzoeksgebied van 100 km^2 betekent dit altijd nog 160 000 vierkan-

ten. Er dienen bij deze methode dus zeer veel gegevens te worden ingevoerd en verwerkt. De lodingen worden uitgevoerd in raaien met een onderlinge afstand van 100 m, zodat een groot aantal gegevens via interpolatie verkregen moet worden. Daar de extrapolatie bovendien slechts in één dimensie, de verticale, kan plaatsvinden, moet verwacht worden, dat deze methodiek alleen niet tot bruikbare resultaten zal leiden.

Een tweede methode bestaat erin, dat voor een geselecteerd aantal raaien de ontwikkeling van het profiel in verticale richting wordt gevolgd en geëxtrapoleerd. Bij verschuiving van een geul zijn de verticale variaties op het talud vrij groot. Extrapolatie van deze verticale verschuivingen over langere perioden zal ertoe leiden, dat het model de geulen bij de eroderende oever als zeer diep voorspelt, terwijl bij de oever waar aanzanding optreedt huizenhoge banken worden voorspeld. Men zou ook voor geselecteerde raaien de ontwikkeling van het profiel alleen kunnen volgen en extrapoleren in horizontale richting. Met deze methode zullen de veranderingen in de ligging en de vorm van de geulen en banken goed kunnen worden vastgelegd, maar de hoogte/diepte-veranderingen niet.

Bij het opstellen van de prognose voor de bodemligging in 1982 zullen de twee laatstgenoemde methoden gecombineerd worden toegepast. Dit houdt in dat de verschuiving in horizontale richting wordt gevolgd van een aantal punten met een vaste diepte, - diepte-interval 2,5 m - en van de diepste punten van de geulen en de hoogste punten van de banken. Voor de diepste en hoogste punten en in vlakke gebieden wordt tevens de ontwikkeling in verticale richting gevolgd.

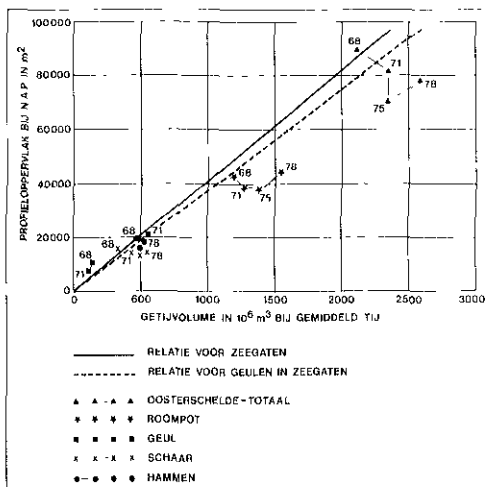
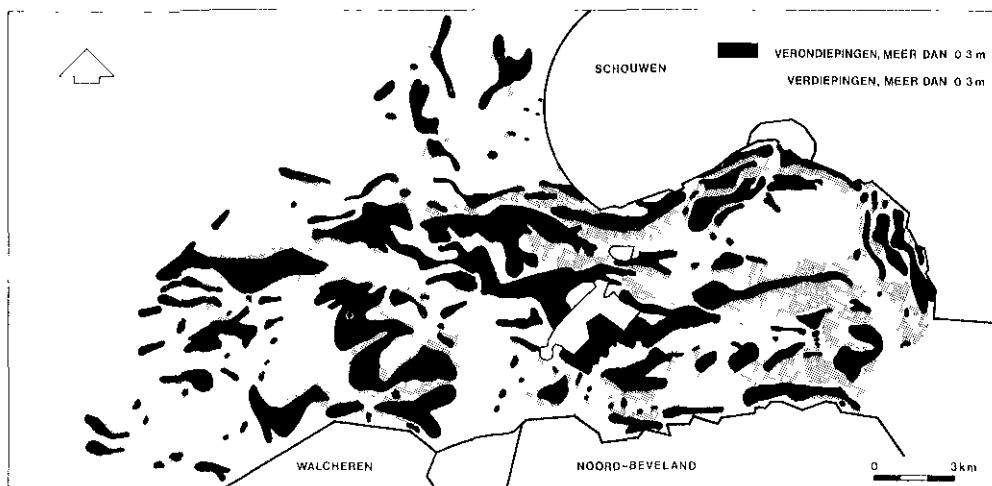


Fig. 1. Relatie tussen getijvolume en doorstroombestend van de geulen van het Oosterschelde-systeem



In gebieden waar zeer sterke geulverplaatsingen optreden, groter dan de breedte van de geul, zoals het geval is bij enkele ebscharen in de omgeving van de Schaar van Onrust, bereikt men met deze methode echter geen bevredigende resultaten. In deze gebieden is de ontwikkeling van het dieptelijnenpatroon gevolgd en geëxtrapoleerd. Bij deze methode is sprake van een extrapolatie in drie dimensies, waarbij voor een juiste interpretatie inzicht vereist is in de morfologische processen. Bij de verwerking van de beschikbare gegevens is eerst nagegaan of er gebieden waren waar de diepteveranderingen in de periode 1973-1977 zo klein zijn, dat verdere wijzigingen in dezelfde trend geen merkbare invloed zullen hebben op het stroompatroon in de omgeving van de Oosterscheldeking. Als criterium is hierbij aangenomen een diepteverandering van minder dan 0,3 m over

Fig 2 en 3. Verdiepingen en verondiepingen tussen 1973 en 1977, groter dan 30 cm (boven) en groter dan 1 m.

deze periode, wat ongeveer overeenkomt met de lodingson nauwkeurigheid. Hierbij bleek dat de diepte veranderingen in vrijwel het gehele gebied groter waren dan 30 cm. In ongeveer de helft van het beschouwde gebied waren de veranderingen groter dan 1 m. Op grond hiervan is besloten de ontwikkelingen in het gehele gebied te volgen. De raaien werden uitgezet op een onderlinge afstand van 500 m. Op grond van de ontwikkelingen in deze raaien werden via extrapolatie de in 1982 te verwachten geulprofielen bepaalde (fig. 4). Met behulp van de aldus bepaalde profielen is een dieptelijnenkaart voor de bodemligging van 1982 geconstrueerd.

Morfologische ontwikkelingen

In de sluitgaten is de bodem na 1973 vastgelegd met een bodembescherming. Thans is deze bo-

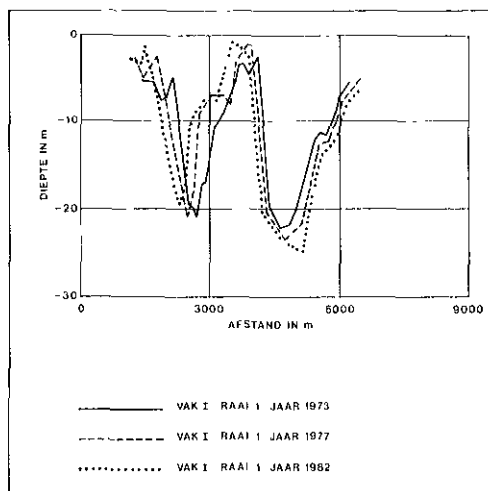


Fig. 4. Ontwikkeling van het geulprofiel in de mond van de Oosterschelde.

dembescherming tot 600 m uit de as van de Oosterschelde-kering aangebracht. Bij voor gaande studies is aangetoond dat er een natuurlijk evenwicht bestaat tussen getijvolume en doorstroomoppervlak. Daar het getijvolume van de Oosterschelde in de afgelopen jaren steeds verder is toegenomen, zijn de vastgelegde doorstroomoppervlakten kleiner dan de oppervlakten in een evenwichtssituatie. Om deze reden zullen in de sluitgaten geen aanzandingen van enige betekenis plaatsvinden, uitgezonderd in inbaggeringen als de cunetten voor grondverbetering en voor het leggen van de funderingsmatten. Aan het eind van de bodembescherming zullen ontgrondingskuilen ontstaan.

Voor een juiste interpretatie van het bouwfasen-modelonderzoek zal de gegeven prognose voor de bodemligging 1982 in de natuur moeten worden geverifieerd, en zo nodig bijgesteld. Dit betekent dat de ontwikkelingen op de voet gevolgd moeten worden. Dit is ook van belang voor het opstellen van prognoses voor latere bouwfasen, en het heeft bovendien het voordeel dat meer alert kan worden gereageerd op detailvragen op het gebied van de morfologische consequenties van diverse ingrepen. Zo wordt een goed inzicht verkregen in de ontwikkelingen in het gebied.

In de as van de sluitgaten van de Oosterschelde-kering komen op een aantal plaatsen zandhoudende kleilagen en kleihoudende zandlagen voor. Zouden de pijlers op deze samendrukbare lagen worden neergezet dan zouden er grote ontoelaatbare zettingen ontstaan in de bovenste 8 à 10 m van de grondslag. Er werd daarom besloten om deze samendrukbare grondlagen te verwijderen en door schoon zand te vervangen.

De samendrukbare grondslag werd verwijderd met een speciaal daartoe ontwikkelde zuiger. Het schone zand werd aangebracht met hopperzuigers. Dit zijn zuigers die zand kunnen meevoeren in hun beun.

De onderbegrenzing van de te maken grondverbetering varieert tussen N.A.P. - 16 en - 38 m; de dikte van de lagen tussen een halve en 10 m. Totaal dient er 2 500 000 m³ samendrukbare grond te worden verwijderd.

Ten aanzien van de productiecapaciteit en de nauwkeurigheid van het werk werden hoge eisen gesteld. Gezien deze eisen en de grote baggerdiepte, bleek geen van de normaal in Nederland gebruikte baggerschepen het werk te kunnen uitvoeren. Na enige studie werd besloten het werk te laten doen door een zogenaamde 'dustpanzuiger'. Hiertoe werd de cutterzuiger Sliedrecht 27 omgebouwd en wel door de zuigpijp te voorzien van een 10 m brede 'dustpankop'. Uit de tot nu toe opgedane ervaringen met de dustpanzuiger blijkt dat de grootte van de netto uurproductie sterk afhankelijk was van de grondsoort die gebaggerd moest worden. Met sterk slibhoudend zand kon per uur 1100 m³ worden gehaald; zandhoudende klei liet maar een uurproductie toe van 750 m³, terwijl schoon zand erdoor ging met 3000 m³/uur.

De lagere produktie bij sterk slibhoudend zand en zandhoudende klei wordt grotendeels veroorzaakt doordat in deze grondlagen slechts kleine baggersneden gemaakt kunnen worden. Bovendien raakt hierbij de zuigmond van de dustpanzuiger vrij vaak verstopt, hetgeen stagnatie oplevert.

Het werk met de dustpanzuiger is eind september 1979 gestart en wordt in het laatste kwartaal van 1980 beëindigd.

Ervaringen bij de uitvoering van grondverbeteringen in de as van de sluitgaten

Voor het aanbrengen van het schone zand voor de grondverbetering is gebruik gemaakt van sleep-hopperzuigers met een beuninhoud van 3000 m³. De grondverbetering bestaat in het algemeen uit fijn zand met een gemiddelde korrel diameter van 0,2 mm. De te klappen laag varieert in dikte van 6 tot 12 m.

In het midden van de sluitgaten treden de hoogste stroomsnelheden op; de geklapte ophogingen staan daar dan ook bloot aan erosie. Om deze reden wordt de bovenste 3 m van de ophoging gemaakt van grof zand met een gemiddelde korrel diameter van 0,35 mm. Als de ophoging op het vereiste niveau is gekomen, wordt hij afgedekt met betongrind, een stroombestendig materiaal.

Het zand is op twee manieren in het werk gebracht. Veruit het goedkoopst is het zogenaamde bakkenklappen. Daarbij worden de beunkleppe van de hopper open gezet. De storttijd bedraagt ongeveer 10 minuten. Maar men kent ook het zogenaamde pijpstorten. Dan wordt het zand afgevoerd door de zuigpijp van de hopper. De storttijd ligt hier veel hoger, ongeveer een uur. Bij deze methode moet de hopper tijdens het storten bovendien aan een afvoerpontoon gekoppeld liggen, die de hopper tijdens het storten verhaalt. Daar staat tegenover dat het stort nauwkeuriger kan zijn.

Met het klappen van zand op zo grote waterdiepten als in de Oosterschelde, 30 tot 40 m beneden de waterspiegel, had niemand op de wereld ervaring. Het was daarom niet mogelijk om van tevoren een vastomlijnde uitvoeringsprocedure te bepalen. De meest efficiënte uitvoeringsprocedure moest gedurende de aanvangsperiode van het hopperproces door uitproberen worden bepaald.

Allereerst werd getracht om het gegraven cunet

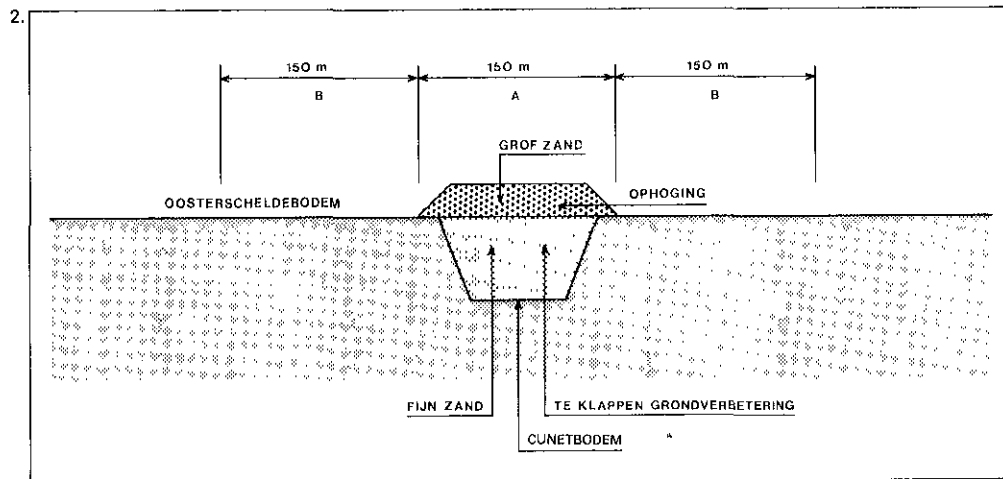
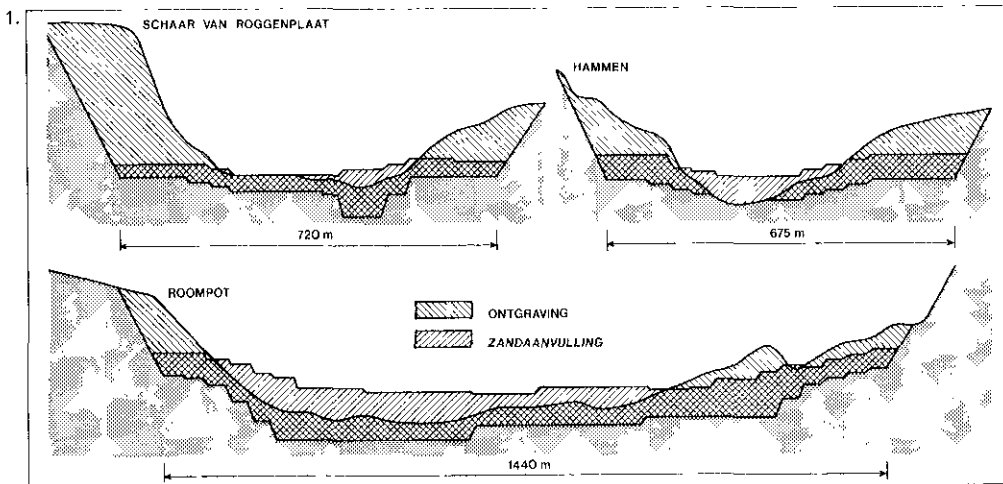


Fig. 1 Noodzakelijke ontgraving en zandaanvulling in de sluitgaten van de Oosterschelde.

Fig. 2. Doorsnede van de grondverbetering.

op hoogte te brengen door 8 tot 12 hopperladingen op één plaats te klappen. Het bleek dat met deze werkwijze op de stortlocatie in de cunetbodem enkele meters diepe kraters ontstonden. Het zand werd afgezet op de taluds van het cunet terwijl de cunetbodem werd verdiept. Daarna werden op één punt nog slechts 1 à 2 hopperladingen geklappt. Het opgeklapte profiel kreeg hierdoor de vorm van figuur 3 (rechts). Op het stortpunt werd zodoende op de taluds de maximale sedimentatie bereikt; een vlak bodemprofiel echter werd niet verkregen. Op grond van deze ervaringen werd nu de volgende werkwijze toegepast om de cunets vol te krijgen.

Eerst werden op één plaats twee hopperladingen gestort. Uit echolodingen was gebleken dat de sedimentatiesfeer van het geklapte fijne zand een cirkel was met een straal van 100 m.

Aan weerszijden van het stortpunt vond in het tracé van het cunet dus eveneens sedimentatie plaats; en hier werd wel een vlakke bodem bereikt. Het volgende stortpunt voor twee hopperladingen werd gekozen op 20 à 30 m afstand van het eerste, gerekend langs de lengte-as van het profiel. Daar op het tweede stortpunt ten gevolge van het eerste stort sedimentatie had plaatsgevonden, verkreeg het bodemprofiel na dit tweede stort niet meer zo'n kratervorm. Door de sedimentatiesfeer van dit tweede stort werd het bodemprofiel in het eerste stort weer enigszins afgelakt en verdween de kratervorm. Het derde stortpunt voor twee hopperladingen lag weer op 25 à 30 m afstand van het tweede. Toen de grondverbetering op de juiste hoogte bodemprofiel verkregen. Op enkele plaatsen resteerden echter na het op hoogte klappen nog

Zandverliezen

De zandverliezen begonnen al gedurende het zuigproces van de hopper. Het opgezogen zand komt in een zeer losse pakking in de beun van

golvende oppervlakteprofielen.

In deze gevallen kon het theoretische profiel van de ophoging kennelijk niet met bakkenklappen worden vergegen. Nu viel men terug op de stormmethode middels de zuigpomp van de hopper. De zuigpomp bevond zich tijdens het storten 1 m boven de aan te storten oppervlakte, terwijl het zand bij het bakkenklappen vanuit de waterspiegel werd gestort. Ook kon de zuigpomp worden dichtgetraaid, waardoor de hoeveelheid te storten zand in de hand gehouden kon worden. Dit rechtvaardigde het gebruik van het duurdere

Fig. 4. Theoretisch en werkelijk oppervlakteprofiel.

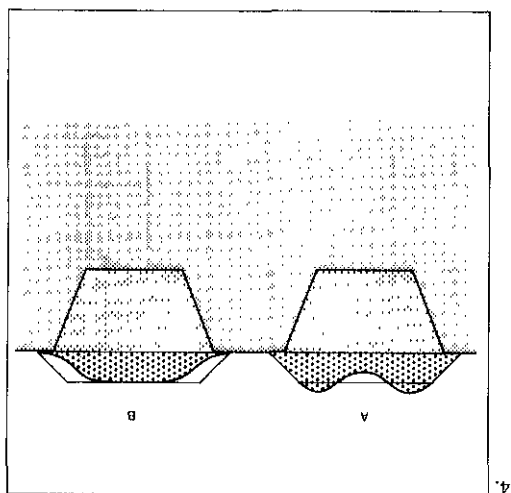
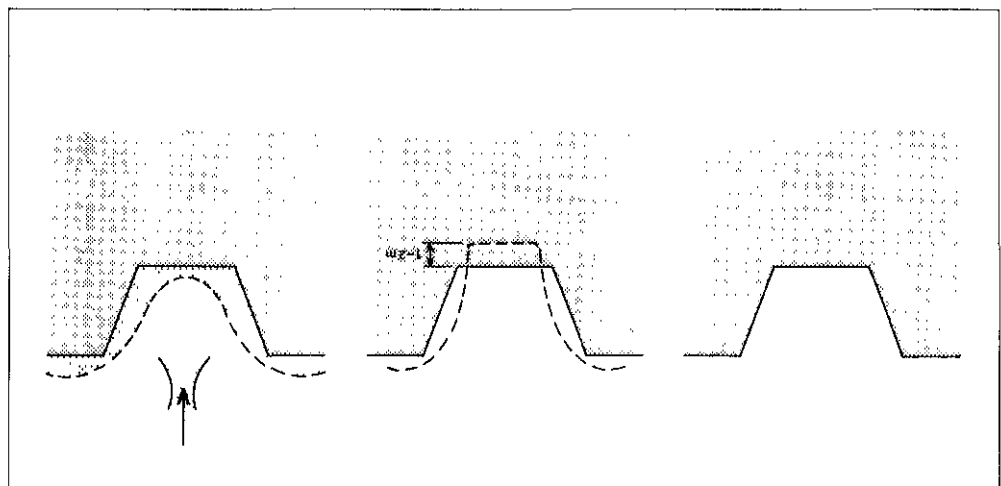


Fig. 3. Het schone cunet (links) na 8 tot 12 hopperladingen (midden) en na 2 hopperladingen.



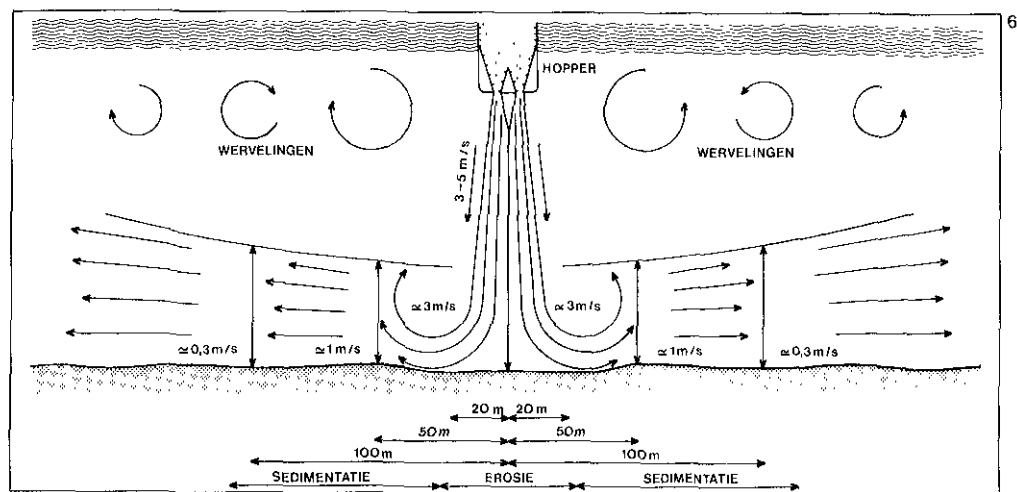
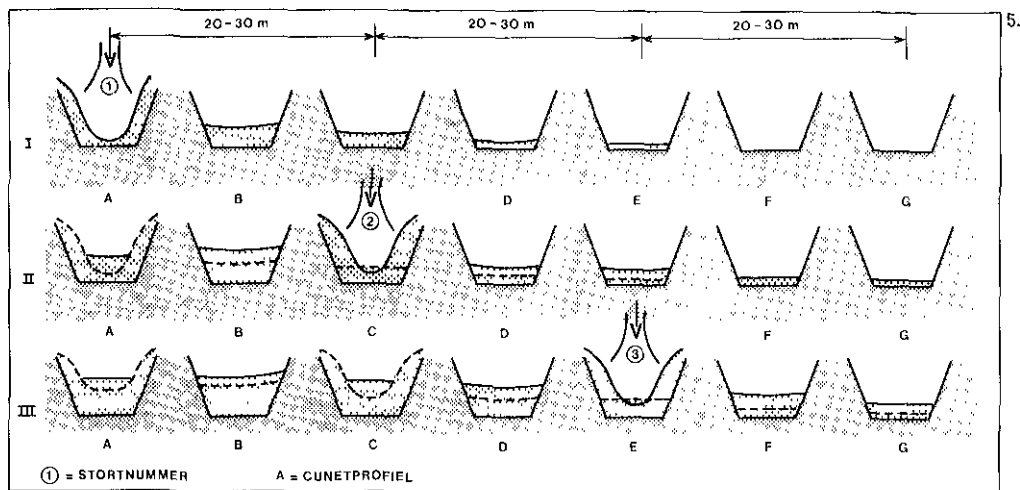


Fig. 5. Schema van de uiteindelijk gevolgde procedure.

Fig. 6. Analyse van het zandverlies bij bakkenklappen.

de hopper terecht: in feite wordt geen zand gezogen, maar een zand-watmengsel. Het poriëngehalte van het zand in de beun van de hopper bedraagt wel 48 à 50%. Wanneer ditzelfde zand wordt geklappt, blijkt het op de bodem een poriëngehalte van 40 tot 42% te hebben. Eén kubieke meter zand in de beun van de hopper komt dus overeen met 0,85 à 0,90 m³ geklappt zand op de bodem. Dit verschijnsel staat bekend als de 'uitlevering' van zand ten gevolge van het klappen; de uitlevering bedraagt dus 10 à 15%.

Bij het klappen van zand komt niet al het zand binnen het gewenste profiel terecht. Alleen wat binnen het theoretische profiel terecht komt, draagt bij tot het netto-rendement van het klappen-proces.

Met behulp van echolodgingen, die dagelijks werden uitgevoerd, kon voor het bakkenklap-

pen van zand de volgende zandbalans worden samengesteld.

Het netto-rendement voor fijn en grof zand bedroeg 45 tot 55%. Binnen een afstand van 150 m en buiten de begrenzing van het gewenste profiel komt 10–15% van het geklapt zand tot sedimentatie. Door erosie verdwijnt nog eens 10%. Het overige zandverlies kon aanvankelijk niet nauwkeurig worden verantwoord. Slechts viel te gissen dat het al tijdens het klappen meegevoerd werd door de stroom. Met andere woorden, de zandverliezen gedurende het klapproces zijn groot. Als vuistregel geldt voor de Oosterschelde: voor het aanbrengen van $A \text{ m}^3$ zand voor de grondverbetering moet men $2A \text{ m}^3$ zand klappen. De zandverliezen worden in het algemeen veroorzaakt door een combinatie van factoren, zoals de stortsnelheid van de hopper, de stroomsnelheid van de getijstroom, de waterdiepte en de vorm van de aan te klappen bodem.

Tijdens het klapproces zijn concentratie- en snelheidsmetingen uitgevoerd. Zo was het mogelijk een indruk te krijgen van de fysische verschijnselen die optreden tijdens het klappen van zand.

Wanneer het zand op de cunetbodan terecht komt, ontstaan ten gevolge van stromingen, veroorzaakt door dichtheidsverschillen, wervels. Daardoor stroomt het geklapt zand voor een gedeelte weer naar boven, en wordt met de getijstroom afgevoerd. Uit de metingen blijkt dat dit inderdaad het geval is met ruwweg $\frac{1}{3}$ van het geklapt zand. Het hoge verliespercentage wordt hierdoor voor een groot deel verklaard. Bij de stortmethode via de zuigpijp van de hopper kunnen hogere netto-rendementen worden verwacht – 60–80% –, omdat het stortpunt zich maar 1 m boven de bodem bevindt.

De ervaring heeft echter geleerd dat het netto-rendement met het pijpstorten in sterke mate afhangt van de uitvoeringsprocedure. Gedurende het pijpstorten dient de hopper zoals gezegd aan een afvoerponton te zijn gekoppeld; deze afvoerponton verhaalt de hopper in de stroomrichting en schuin tegen de stroomrichting in, al zigzaggend over het storttraject.

De nauwkeurigheid van het verhalen bepaalt in feite de nauwkeurigheid van het pijpstorten. En de verhaalnauwkeurigheid hangt weer sterk af van de snelheid van de getijstroom.

De ervaring heeft geleerd dat bij stroomsnelheden groter dan 0,2–0,4 m/s het verhalen erg wordt bemoeilijkt.

Bij zulke stroomsnelheden daalt het netto-rendement van het pijpstorten dan ook van 60–80% tot 40 à 60%. Het hoge netto-rendement van 60–80% wordt alleen bereikt als bij stroomkentering met de zuigpijp wordt gestort.

Bij stroomsnelheden groter dan 0,2–0,4 m/s is het tevens zeer moeilijk om met pijpstorten een vlak bodemprofiel te krijgen.

Hoewel met pijpstorten hogere netto-rendementen kunnen worden verkregen, is het storten van zand door bakkenklappen toch goedkoper, daar pijpstorten alleen bij kentering optimaal werkt. Daar komt nog bij dat het pijpstorten zoveel langer duurt.

In Bericht 91 (februari 1980), is uiteengezet dat de stortebedden voor de Oosterschelde-kering zullen worden gemaakt van een laag asfaltmastiek, eventueel plaatselijk beschermd door een laag breuksteen. Nader onderzoek zou moeten uitwijzen of die stortsteen nodig is, en zo ja op welke plaatsen. Dat onderzoek is nu afgerond. Het wordt in dit artikel besproken.

Het asfaltmastiek voor de stortebedden nader onderzocht

Aan weerszijden van de stormvloedkering wordt de bodem van de Oosterschelde beschermd tegen uitschuring. Het gedeelte van de bodembescherming dat het dichtst bij de kering ligt, wordt stortebed genoemd. De constructie daarvan is zwaarder dan die van de rest. Primair omdat de stroomaanval daar zwaarder is, maar ook nog om de volgende reden. Als een gedeelte van de bodembescherming dicht bij de kering faalt, zodat de bodem daar uitschuurt, is het risico voor de kering veel groter dan wanneer dat verderop gebeurt.

Het stortebed van asfaltmastiek wordt bedreigd door twee gevaren: stroken asfaltmastiek kunnen onder invloed van hoge stroomsnelheden omklappen, en de hele laag kan worden opgetild door drukverschillen tussen boven- en onderkant. Beide gevaren kunnen bezworen worden door het aanbrengen van een laag breuksteen. Maar die breuksteen zou dan erg zwaar moeten zijn, en dus erg duur. Uit het onderzoek naar beide gevaren is gebleken dat die breuksteen niet nodig is, als maar bepaalde maatregelen worden genomen.

Het omklappen van stroken asfaltmastiek

Als de stormvloedkering gesloten is omdat een zware storm de waterstand in de Noordzee tot grote hoogte heeft opgestuwd, kan het verval over de kering in extreme omstandigheden oplopen tot enkele meters. Als dan per ongeluk een van de schuiven niet dicht is gegaan, zal het water zich met enorm geweld door die opening storten. De stroomsnelheid boven het stortebed bereikt dan waarden van meer dan 5 m per seconde; de stenen ter verzwarening van het asfaltmastiek, zouden afmetingen van 1 m of meer

moeten hebben om die stroomaanval te kunnen weerstaan.

Als die stenen er niet zijn, kan de vrij dunne laag asfaltmastiek toch stroombestendig zijn, mits het oppervlak glad en aaneengesloten is. De stroom mag nergens een richeltje vinden om vat op de laag te krijgen. Hoe kan men er zeker van zijn dat dat goed zit, terwijl de constructie geheel onder water wordt gemaakt?

Het asfaltmastiek wordt aangebracht door de 'Jan Heymans', een drijvende asfaltfabriek, die continu warm, vloeibaar asfaltmastiek produceert. Dat wordt door een verticale pijp naar beneden gebracht. Het stroomt dan op de bodem via een verdeelmond, die het verspreidt over 5 m breedte.

Tegelijkertijd beweegt de 'Jan Heymans' zich langzaam vooruit. Zo wordt een 5 m brede strook asfaltmastiek gelegd van ongeveer 10 cm dikte. De volgende strook wordt gedeeltelijk over de vorige heen gelegd. Zo komen de stroken dakpansgewijs over elkaar heen te liggen. Een ongewenste situatie zou kunnen optreden als door koersafwijkingen van de 'Jan Heymans' of onderbrekingen in de productie, er eens geen enkele strook asfaltmastiek zou liggen. Door dat overigens kleine gat in de mastieklaag zou het zand beginnen te eroderen. Dat zou nog niet zo erg zijn, als het gat klein bleef. Maar de stroom zou vat kunnen krijgen op één van de randen van het gat, waardoor die rand zou omklappen. Het gat zou dan groter worden, een volgende rand zou omklappen, enzovoort.

Mede om dit gevaar te vermijden wordt zowel de koers van de 'Jan Heymans' als het productieproces boven- en onderin de pijp continu gecontroleerd en geregistreerd. Bovendien wordt het geproduceerde asfaltmastiek na iedere

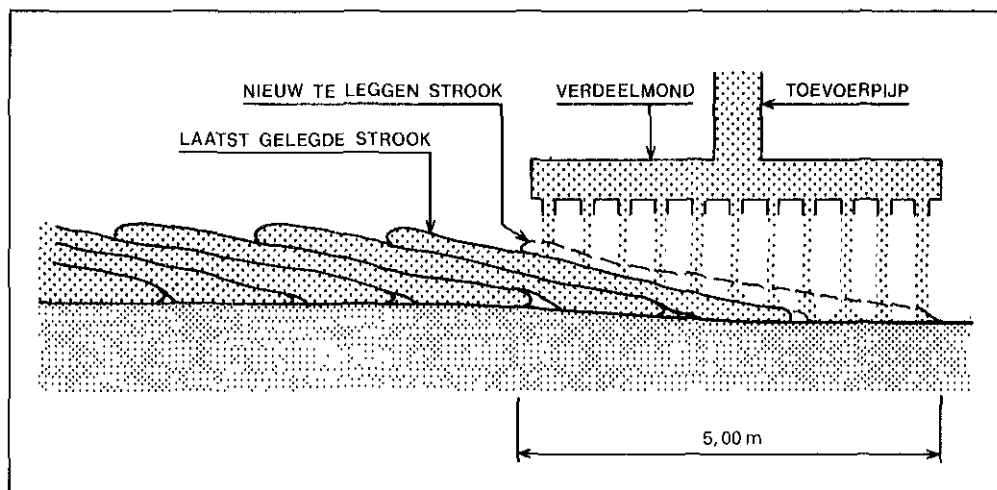


Fig. 1. Principe van de opbouw van het asfaltmastiëken stortebed.

werkdag geïnspecteerd door duikers. Deze visuele inspectie kan niet meer zijn dan een steekproef. Door het hoge slibgehalte van het water kan een duiker namelijk maar een klein stukje asfaltmastië tegelijk zien, en de inspectietijd is beperkt tot een korte periode rondom de stroomkentering. Ten slotte wordt achteraf de dikte van het mastië op vele plaatsen gemeten met een sonderingsapparaat. Dat geeft een idee over de spreiding van de totale laagdikte. Een ander gevaar treedt op als de dakpansgewijs over elkaar liggende stroken niet aan elkaar vast smelten, doch van elkaar gescheiden blijven, bij voorbeeld door een laag zand. Om dat gevaar te onderzoeken zijn proeven op ware grootte gedaan in de stroomgoot in Lith. In die goot kan een stroomsnelheid van 5 m per seconde bereikt worden.

Het bleek dat een strook asfaltmastië onder alle omstandigheden stabiel blijft als hij op een schone asfaltmastië ondergrond is gegoten. Dan smelt hij vast aan de laag eronder. Maar als hij van die onderlaag gescheiden blijft door een laagje zand, hoe dun ook, dan klapt hij al om bij een stroomsnelheid van 1,5 tot 2 m per seconde, loodrecht op de rand. Dat is niet toelaatbaar, ondanks het feit dat het water in werkelijkheid niet loodrecht op de rand zal aanstromen, maar scheef. De stroken asfaltmastië worden namelijk evenwijdig aan de hoofdstroomrichting gelegd. Maar de stroomrichting kan daar plaatselijk sterk van afwijken. In een goot in het Waterloopkundig Laboratorium in De Voorst is nagegaan in welke mate de stroomkracht op een rand afneemt als het water niet loodrecht, maar scheef op de rand aanstroomt. Die reductie bleek hier niet voldoende. Dus moet beslist vermeden worden dat een strook volledig gescheiden blijft van de strook eronder.

Bij verdere proeven in Lith bleek echter ook, dat de situatie veel gunstiger wordt als zo'n strook mastië slechts gedeeltelijk door zand gescheiden wordt van de laag eronder, maar er gedeeltelijk toch ook aan vast kan smelten. Op basis van die informatie wordt de mogelijkheid dat er wat zand terechtkomt op een juist gelegde strook asfaltmastië, vlak voordat de volgende strook wordt aangebracht, aanvaardbaar geacht. Voorwaarde is wel, dat die laatste strook niet later dan ongeveer een uur na de vorige wordt gelegd. Als er een langere periode tussen zit, moet het eventueel op de laatste strook gesedimenteerde zand verwijderd worden. De 'Jan Heymans' is daartoe uitgerust met een stel spuitlansen. Aan het begin van elke dag vaart het schip een of twee keer over de laatst aangebrachte strook, om met een lucht-watermengsel het eventueel aanwezige zand groten-

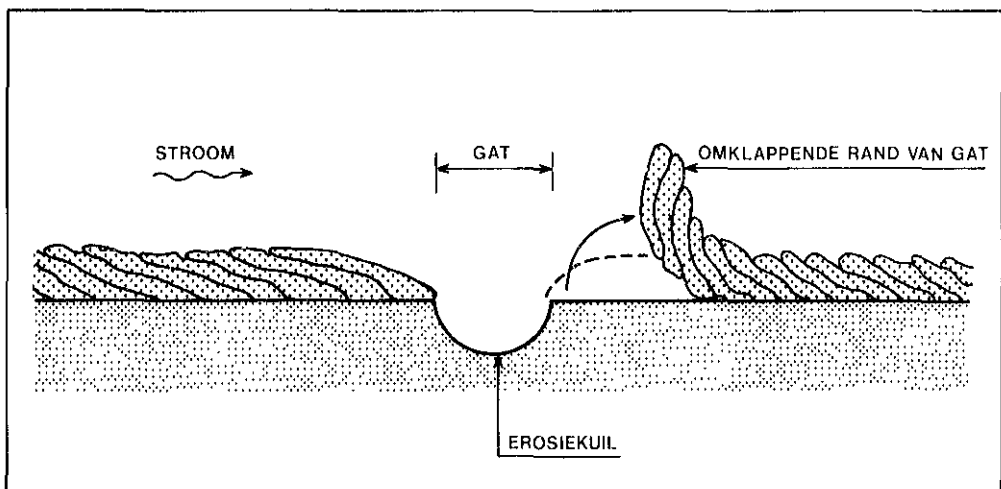
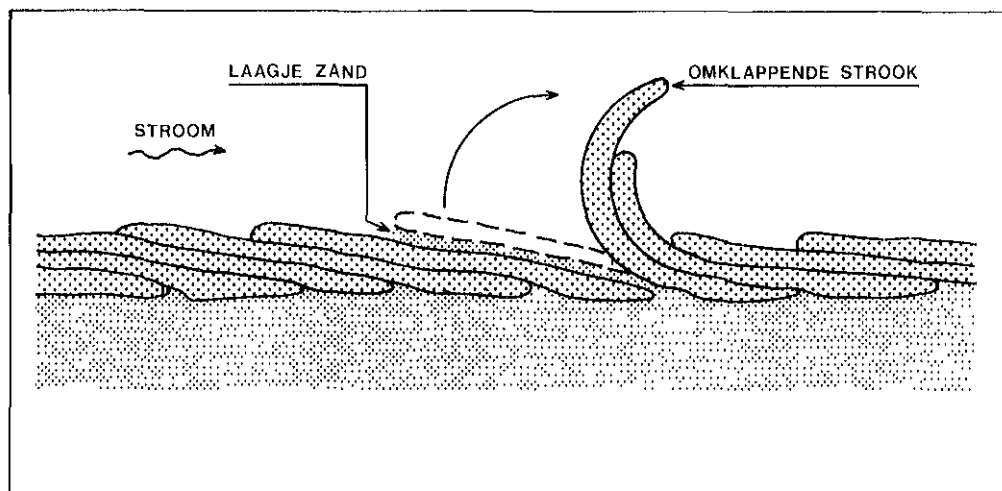
deels weg te spuiten. Gedurende de rest van de dag brengt de 'Jan Heymans' dan achter elkaar ongeveer tien stroken asfaltmastiek aan.

Wordt de asfaltmastieklag opgetild?

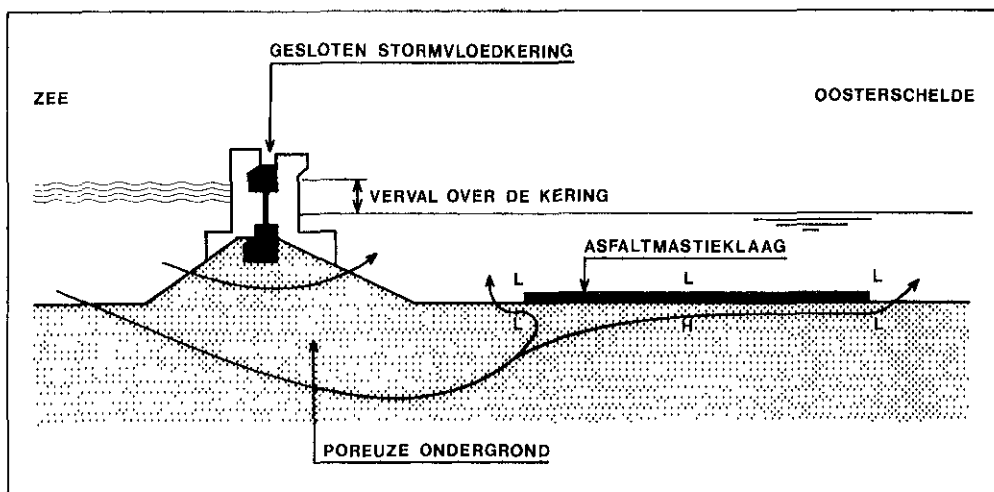
Bij een groot verval over de gesloten kering wordt grondwater onder de kering door gestuwd. Een deel ervan komt terecht onder de waterdichte asfaltlaag, alvorens langs die laag af te stromen naar de randen, waar de constructie waterdoorlatend is. Dat gaat gepaard met een verhoogd grondwater-drukniveau onder het midden van de asfaltmastieklag.

Het grondwater-drukniveau is dan hoger dan het drukniveau direct boven de laag, waardoor de laag omhoog geduwd wordt. Als het drukverschil groter zou zijn dan het onderwatergewicht van de laag, dan zou hij opgetild worden. Met

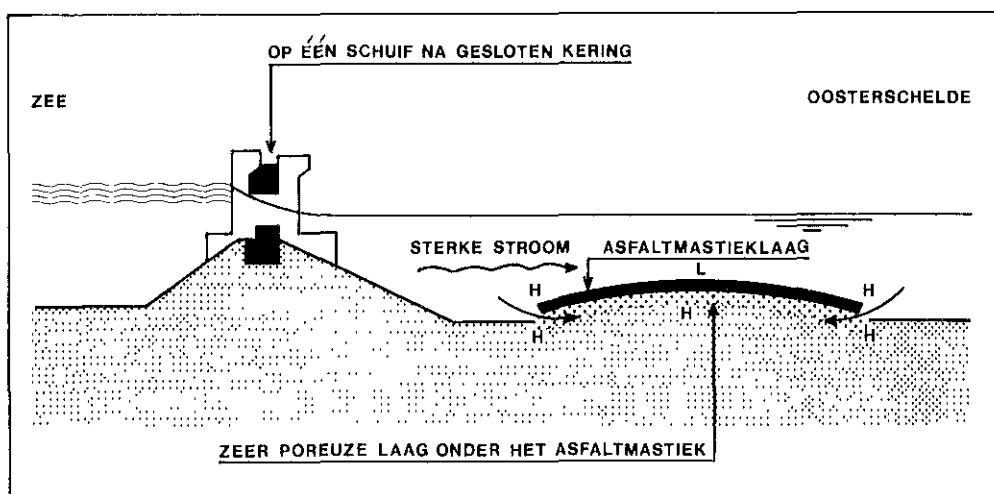
Fig. 2. Grenssituatie en begin van bezwijken van de asfaltmastieklag.



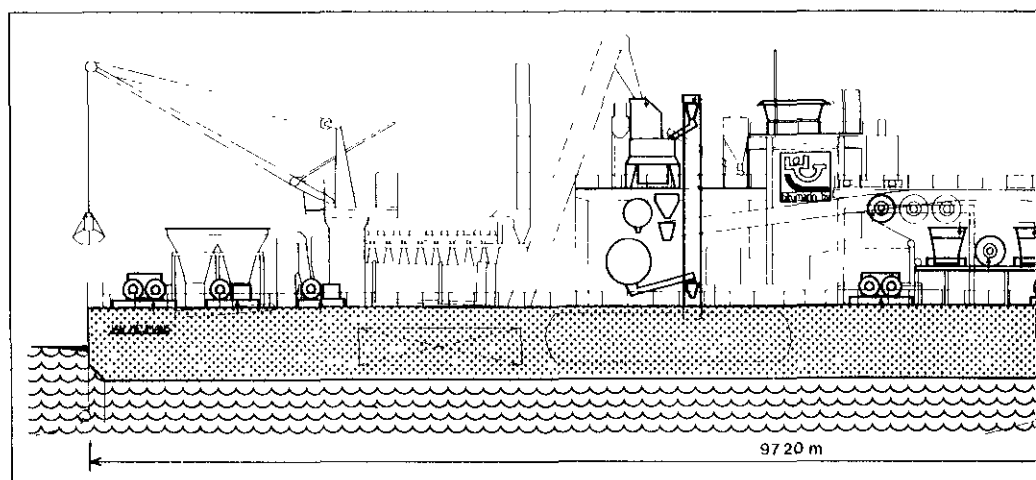
3



4



5



behulp van een elektrisch analoog voor grondwaterstroom en grondwaterdruk is uitgerekend hoe hoog dat drukverschil kan worden. Zoals uiteengezet in het vorige artikel is de kans aanvaardbaar klein dat de laag ooit ergens door deze grondwaterstroming wordt opgetild, mits aan twee voorwaarden wordt voldaan. De constructie tussen de as van de stormvloedkering en de rand van het stortbed moet waterdoorlatend zijn, en de dikte van de laag moet 20 tot 30 cm bedragen.

Maar ook een andere situatie kan leiden tot drukniveauverschil onder en boven de asfaltmastieklaag. Het is weer de situatie waarbij één schuif open is, terwijl alle andere schuiven dicht zijn en er een groot verval over de kering staat. Dan kunnen de hoge stroomsnelheden boven het stortbed drukniveau-verschillen veroorzaken tussen twee plaatsen aan de bovenkant van

de asfaltmastieklaag: een hoog drukniveau waar het bodemoppervlak hol is, een laag niveau waar het bodemoppervlak bol is. En dit drukniveau-verschil in horizontale richting kan drukniveau-verschil in verticale richting veroorzaken.

Het grondwater-drukniveau onder de waterdichte asfaltmastieklaag zal mogelijk gelijk zijn aan het drukniveau aan de randen. Direct onder het asfaltmastiek ligt namelijk de oude bodemverdediging van blokkenmatten, afgestort met staalslakken. Het is mogelijk dat de laag staalslakken zo waterdoorlatend is dat er nauwelijks drukniveau-verschillen in die laag – en dus onder het asfaltmastiek – mogelijk zijn.

Als nu het bodemoppervlak ergens in het midden van het stortbed bol is en/of aan de randen hol, dan zal, ter plaatse van het midden, het drukniveau boven het asfaltmastiek laag zijn en eronder hoog, omdat het drukniveau daar gelijk is aan dat aan de randen.

Er is uitgebreid onderzoek verricht naar het stroombeeld en het drukverloop boven de bodem voor de situatie met een weigerende schuif. Daarmee is een bevredigend rekenmodel ontwikkeld waarmee de drukverschillen langs de bodem berekend kunnen worden voor alle plaatsen van het stortbed.

Het blijkt dat een 20 tot 30 cm dikke laag asfaltmastiek op enkele plaatsen onder extreme omstandigheden kan worden opgetild. Er gaat dan water stromen door die poreuze laag van staalslakken naar het punt onder de asfaltmastieklaag waarboven de druk het laagst is. Aanvankelijk achtte men dit ontoelaatbaar: een grenstoestand was overschreden. Later vroeg men zich echter af of het opgetild worden van de laag asfaltmastiek wel als grenstoestand moest worden beschouwd. Uit de proeven in Lith en proeven van de aannemer was namelijk gebleken, dat het asfaltmastiek niet zou bezwijken voordat het ongeveer 1 m of meer zou zijn opgetild.

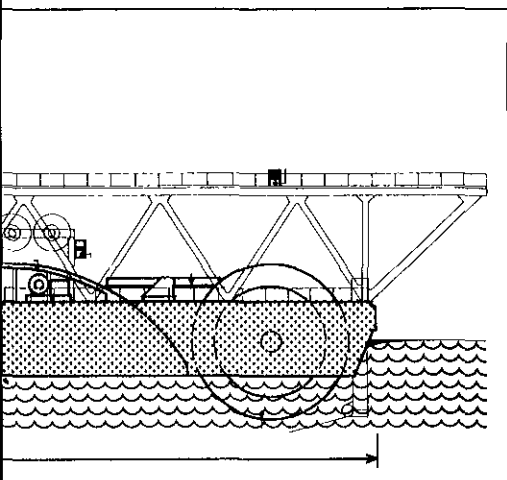
Er zijn toen berekeningen uitgevoerd over de hoeveelheid water die zou kunnen toestromen door de laag staalslakken en over de vervormingen die het asfaltmastiek zou ondergaan als functie van het drukverschil. Daaruit bleek dat de kans dat het asfaltmastiek tot die hoogte zou worden opgetild, aanvaardbaar klein is.

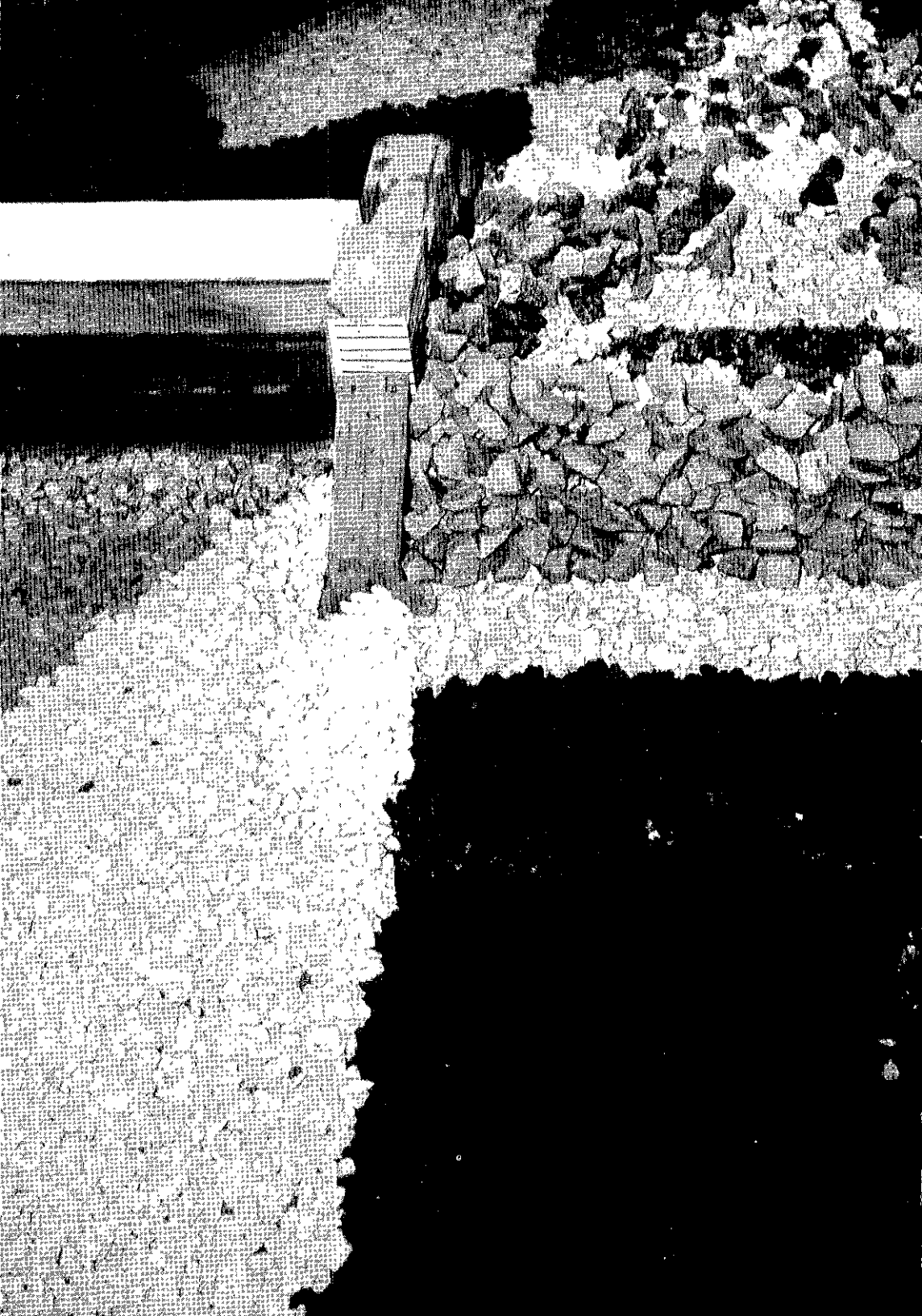
Uit een en ander mag worden geconcludeerd dat het stortbed opgebouwd kan worden uit asfaltmastiek van 20 tot 30 cm dik en dat het niet hoeft te worden beschermd door een laag breuksteen.

Fig. 3. Opwaartse druk onder het stortbed bij verval over de gesloten kering.

Fig. 4. Drukniveauverschillen boven het stortbed bij 'weigerende schuif'.

Fig. 5. Opbouw van de 'Jan Heymans'.





Onderzoek en ontwerp van de damaanzetten en landhoofden

In de tweede helft van 1979 heeft het ontwerp van de overgangsconstructies tussen de oevers en de werkeilanden enerzijds en de randpijlers van de Oosterscheldekering anderzijds in hoofdzaak zijn beslag gekregen. Inmiddels is met de uitvoering van de eerste van de zes damaanzetten tegen de oever van Schouwen begonnen.

Elk van de zes overgangsconstructies bestaat uit een damaanzet, een op de damaanzet gefundeerd betonnen landhoofd, een breukstenen dam tussen de damaanzet en de randpijl en een brugligger. Deze onderdelen onderhouden alle een sterke relatie met de grondverbetering, de verdichting, het funderingsbed, de pijlers en de drempel. Hieruit en uit de volgorde waarin de onderdelen worden uitgevoerd, volgen belangrijke randvoorwaarden voor de constructie.

Schadebeeld na beproeving van een model van de breukstenen dam in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst.

Met het oog op de tijdens de bouw van de stormvloedkering toenemende stroomsnelheden en de gewenste spreiding van werkzaamheden, is besloten de damaanzetten te bouwen voorafgaand aan het leggen van de funderingsmatten voor de randpijlers. Een ander belangrijk aspect in het ontwerp is de afstand tussen randpijler en landhoofd.

In Bericht 87 (februari 1979) werden voor de overspanning van deze afstand twee varianten genoemd. Bij de eerste variant overspande een stalen kokerligger een afstand van 90 m, terwijl in het tweede alternatief een afstand van 130 m werd overbrugd met twee betonnen liggers en een tussensteunpunt. Stalen liggers bleken echter niet alleen technisch, maar vooral ook financieel, niet aantrekkelijk. Er is toen gestreefd naar verkleining van de afstand tussen randpijler en landhoofd; uiteindelijk werd besloten tot een afstand van 65 m.

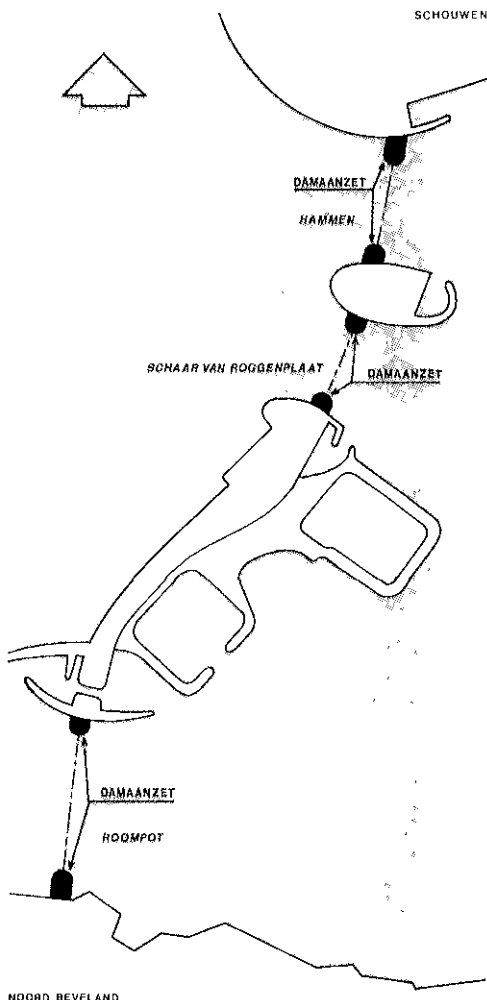
Dit is de maximale afstand die kan worden overspannen door een betonnen brugligger met dezelfde uitwendige constructiehoogte als die voor de brugliggers op de rest van de kering. De hier beschreven werkonderdelen worden gedimensioneerd op een waterstand aan de Noordzezijde van N.A.P. + 5,5 m, een waterstand aan de Oosterscheldezijde van N.A.P. - 0,7 m en significante golfhoogten die variëren van 3,5 m in de stroomgeulen Hammen en Schaar van Roggenplaat tot 4,0 m in de stroomgeul Roompot. De overschrijdingskans van de belastingen die bij deze randvoorwaarden behoren, bedraagt 1/4000 keer per jaar.

De constructies dienen tegen deze belastingen volledig bestand te zijn; eerst bij hogere belastingen mogen ze bezwijken. Het gedrag van de constructies is echter ook beschouwd bij hogere stormvloed, die dus een kleinere overschrijdingskans hebben dan de genoemde.

Bij de bepaling van de belasting door golven spelen ook de lokale effecten een grote rol, die worden veroorzaakt door de topografie rondom de damaanzetten.

De *damaanzet* is een bekleed zandlichaam, variërend in lengte van 300 m bij Schouwen tot bijna 100 m bij Neeltje Jans. Het dwarsprofiel is voor alle damaanzetten gelijk. De kruin ligt op N.A.P. + 12 m en het buitenbeloop wordt geprofileerd onder een hoek van 1 : 6. Het binnenbeloop is daardoor voldoende beschermd tegen overslaande golven. Met uitzondering van het voortaluud aan de zijde van de randpijler worden de belopen van de damaanzet opgebouwd met mijnsteenknaden waartussen zand wordt geklapt en gespoten.

Vanaf N.A.P. benedenwaarts worden de belopen van de damaanzetten voorzien van rijshou-

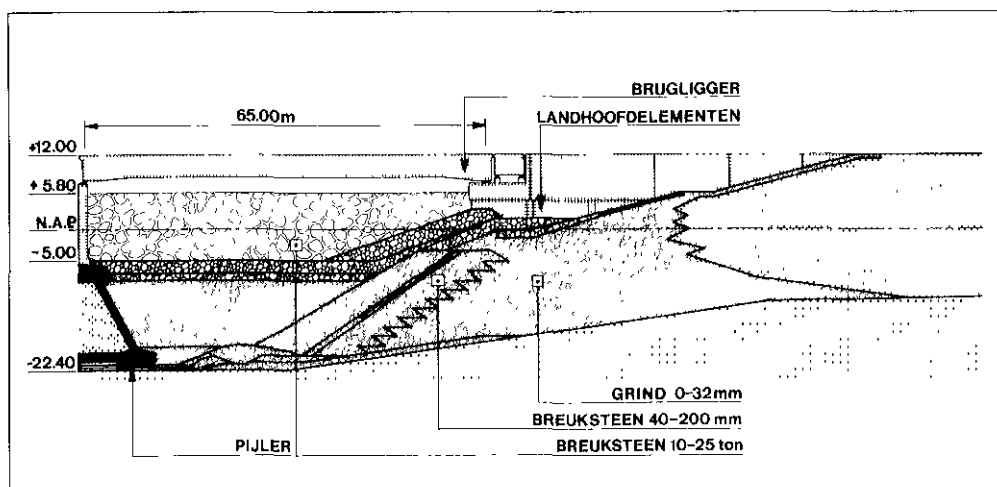


ten kraagstukken met een zool van polypropyleenweefsel. De kraagstukken sluiten aan op de bodembescherming en worden aan de zeezijde vanaf N.A.P. bestort met breuksteen. Tussen N.A.P. en N.A.P. + 6,0 m worden de belopen aan de zeezijde bekleed met gepenetreerde breuksteen. De teen wordt gesteund door een betonnen damwand waarachter een grindkoffer voor drainage is aangebracht. Deze drain vervult een belangrijke functie, ook tijdens de uitvoering, wanneer bij het spuiten van zand een hoge grondwaterstand kan ontstaan, en aan de zeezijde zo snel mogelijk een bekleding moet worden aangebracht.

Boven N.A.P. + 6,0 m wordt het buitenbeloop bekleed met waterbouw-asfaltbeton. Deze bekleding sluit aan op de wegverhardingen op de kruin van de damaanzet. De bekledingen op de binnenbelopen zullen tussen N.A.P. en N.A.P.

Fig. 1. Overzicht van de sluitgaten en de damaanzetten.

Fig. 2. Lengteprofiel van de overgangsconstructie.



+ 4,0 m van plaats tot plaats verschillend worden uitgevoerd, afhankelijk van de bij de aansluiting op de bestaande oevers aanwezige materialen, zoals betonblokken of koperslabblokken. Op N.A.P. worden de bekledingen tegen een teenschot gezet. Vanaf N.A.P. + 4,0 m tot en met de op N.A.P. + 6,0 m gelegen binnenberm wordt een bekleding aangebracht van waterbouw-asfaltbeton.

Het boven N.A.P. + 6,0 m gelegen beloop en een deel van de kruin worden ten slotte met klei bekleed.

In het voorttalud van de damaanzet moet een overgang worden gemaakt tussen het brede zandlichaam van de damaanzet en de smallere open breukstenen dam waarmee de opening tussen damaanzet en randpijler zal worden afgesloten. Ook moet hier een aansluiting tot stand worden gebracht op de filtermat onder de

randpijler; hoger op de damaanzet wordt het landhoofd voor de brugligger gefundeerd. We zeiden al dat de afstand tussen landhoofd en randpijler is teruggebracht tot 65 m. Samen met de voor het leggen van de funderingsmatten onder de randpijlers benodigde ruimte bepaalt deze afstand de helling van het voorttalud en de fasering bij de aanleg ervan.

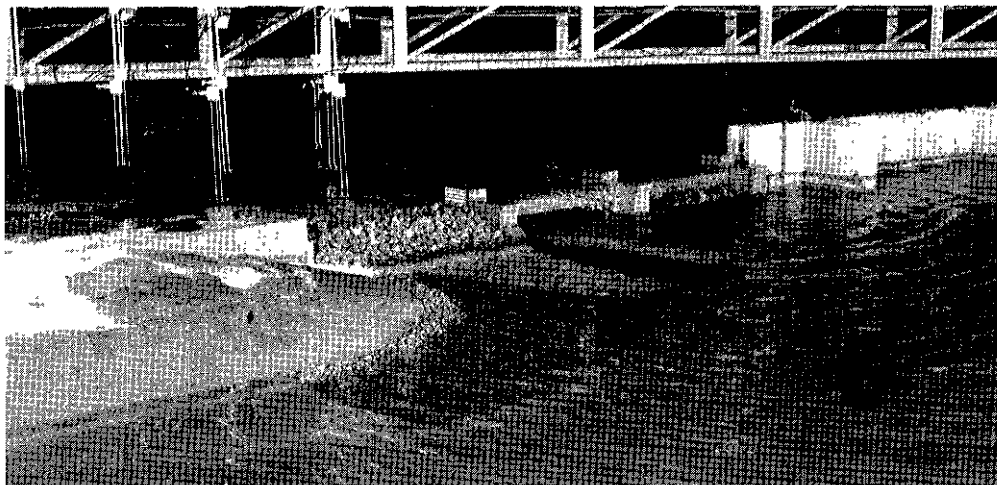
De opbouw van deze constructie verloopt in hoofdlijnen als volgt. In de verdichte grondverbetering wordt een sleuf gebaggerd die wordt volgestrooid met een laag grindzand. Daarop wordt, achter kaden van breuksteen, een grindzandlichaam opgebouwd in lagen, die achtereenvolgens worden verdicht. Op N.A.P. - 3,5 m wordt het grind afgedekt met lichte breuksteen en vlak afgewerkt; daarmee is het funderingsbed voor het landhoofd gereed. Dit funderingsbed wordt dan tijdelijk van het achterliggende

zandlichaam gescheiden, zodat de damaanzet verder kan worden afgebouwd.

Het voorttalud wordt, aansluitend op de kraagstukken op de zijtaluds, afgestort met zwaardere breuksteen.

In een later stadium wordt, aansluitend aan de grindkoffer in de teen van de damaanzet, de funderingsmat voor de randpijler gelegd. Nadat de matrand met een steenfilter is afgestort, wordt tegen het voorttalud nog een pakket breuksteen gestort. Op deze verbrede fundering worden ten slotte de geprefabriceerde betonnen landhoofdelementen geplaatst. Daarna kan het landhoofd worden afgebouwd. Vervolgens kunnen de hoger gelegen taluds tegen het landhoofd worden aangesloten.

Om uitspoeling van zand ten gevolge van hydraulische verhangen onder extreme omstandigheden te voorkomen, moeten aan de grade-



Overzicht van het modelonderzoek in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst

Het getij wordt losgelaten op de breukstenen dam.

ring van het grindzand ter plaatse van de mataansluiting en achter de breuksteenkaden strenge eisen worden gesteld.

Door middel van filterproeven is in het Waterloopkundig Laboratorium bepaald welke graderingsvariaties in de grindzandmengsels moeten worden toegepast om bij de ontwerpverhanden uitspoeling te voorkomen. Met het oog op mogelijke aanzandingen tijdens de uitvoering zijn ook filterproeven uitgevoerd op zandlagen tussen grindzandfilters. Hierbij zijn met name de bij eventuele uitspoeling van het zand optredende zakkingsen onderzocht.

Verder zijn er strooioproeven uitgevoerd om in de praktijk te onderzoeken in hoeverre grindzandmengsels, na het aanbrengen op grote diepte, nog aan de eisen zullen voldoen. Dat ging als volgt.

Met een gedeeltelijk geopende splijtbak werd in

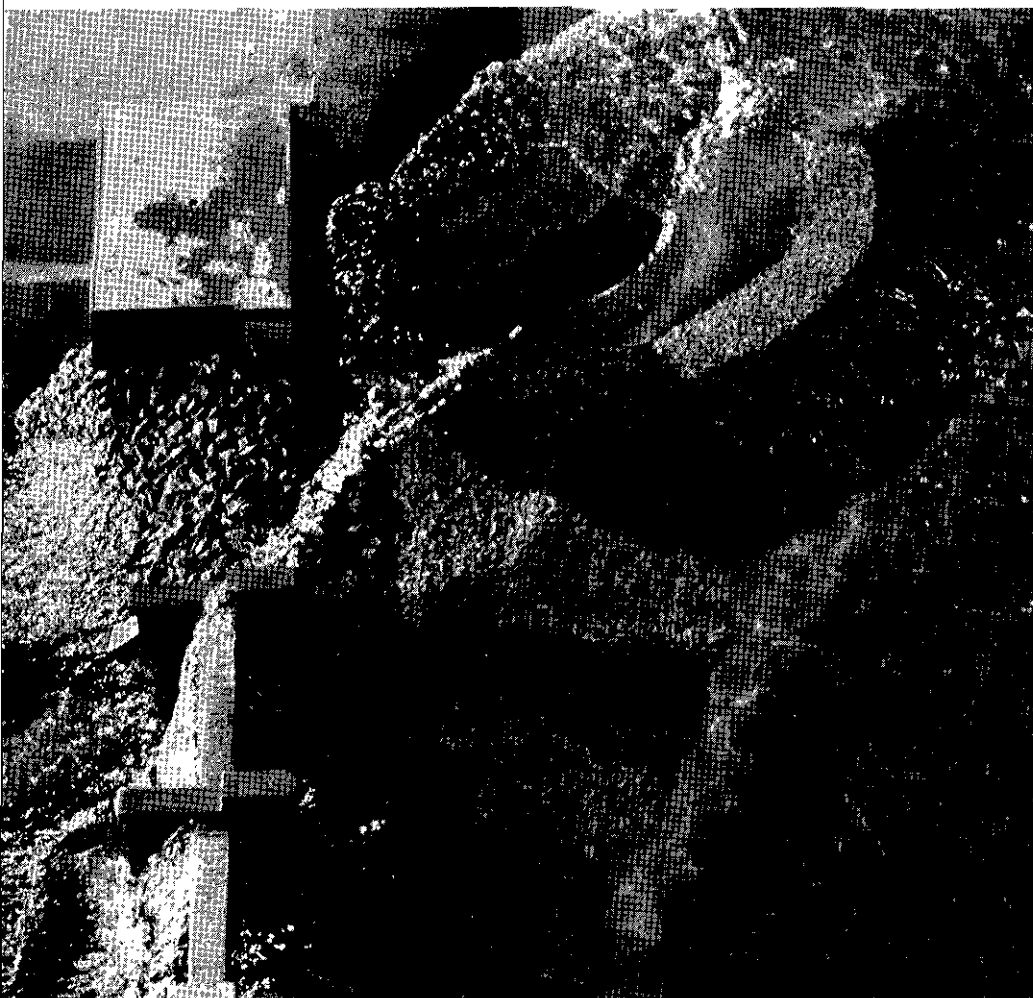


drie gangen een laag grind van in totaal ongeveer 1 m dikte gestort op de bodem van een van de stroomgeulen. Op de bodem waren vooraf bakken geplaatst van ongeveer 1 m³ inhoud, die na het storten werden opgehaald. Uit deze bakken zijn monsters genomen van het gestorte materiaal. In totaal zijn drie strooioproeven uitgevoerd bij stroomsnelheden tot 0,3 m per seconde en op diepten variërend tussen 17 en 25 m. Uit de resultaten is gebleken, dat kan worden volstaan met een relatief goedkoop grindzandmengsel, dat in de natuur kan worden gewonnen. Ter beperking van zettingsverschillen onder het toekomstige landhoofd zal al het grindzand, en een deel van de breuksteen worden verdicht. Op grond van in het verleden uitgevoerde proeven is besloten tot verdichting in lagen met behulp van een trilplaat.

De grondmechanische eigenschappen van ver-

dichte breuksteen zijn door middel van plaatdrukproeven bepaald. De eigenschappen van verdicht grind waren reeds bekend. De draageigenschappen van beide materialen blijken weinig te verschillen.

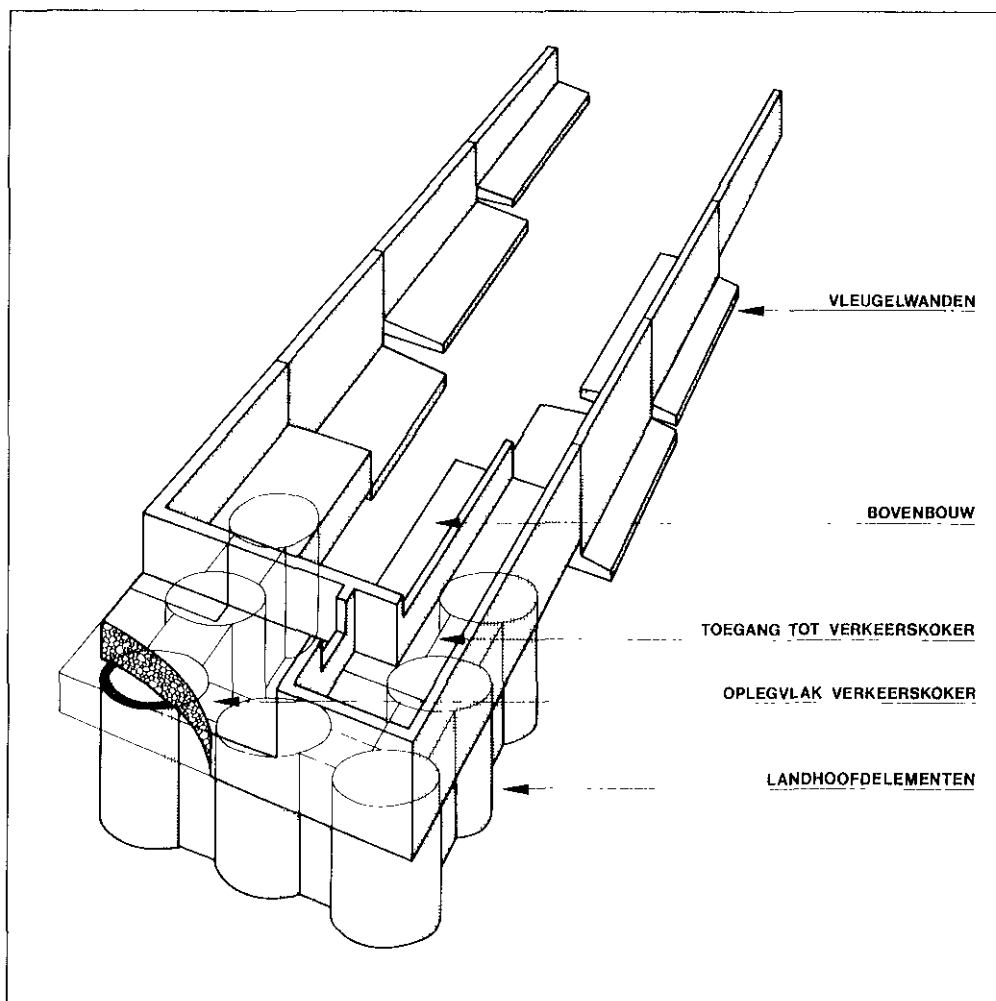
Voor het *landhoofd* is aanvankelijk aan een constructie met stalen damwanden gedacht. Dit ontwerp is echter in verband met onderhoudstechnische bezwaren verlaten. Het *landhoofd* zal nu geheel in gewapend beton worden uitgevoerd. De onderbouw van het landhoofd bestaat uit zeven cilindervormige elementen. Deze elementen worden geprefabriceerd en met een drijvende bok bij de hoogwaterkentering op het vlakke funderingsbed geplaatst. Dat zal alleen bij gunstige weersomstandigheden kunnen geschieden. Om hun stabiliteit te vergroten zullen de elementen direct na het plaatsen worden gevuld met ongewapend beton. De betonvulling



heeft in de eindfase een functie bij de overdracht van de belasting naar de fundering. Het funderingsniveau wordt bepaald door de tegen het landhoofd te beeindigen breukstenen dam en door de diepgang van de drijvende bok waarmee de elementen worden geplaatst. De bovenbouw van het landhoofd en de vleugelwanden worden ter plaatse gestort. In de bovenbouw wordt zowel de oplegging van de brugligger als de toegang tot het inwendige van de ligger opgenomen. Het landhoofd vormt als waterkering gedeeltelijk de overgang tussen de damaanzet en de breukstenen dam. In verband met de geringe lengte van de kwelweg wordt het landhoofd geheel met filterlagen omstort. De *breukstenen dam* is de waterkerende constructie tussen damaanzet en landhoofd enerzijds en randpijl anderzijds. De opbouw van deze dam vertoont veel over-

eenkomst met de drempel tussen de pijlers van de stormvloedkering. Op de filtermat en het voortalud van de damaanzet wordt een kern van lichte breuksteen opgebouwd en afgedekt met lagen breuksteen van toenemend stukgewicht. In het direct door de golven aangevallen gebied komen de grootste stenen.

De breedte van de dam wordt beperkt door de afmetingen van de pijler. De lager gelegen taluds worden kegelvormig langs de kopvlakken van de randpijl tot op de drempel doorgezet. De kruin ligt op N.A.P. + 5,8 m, dat is gelijk aan de bovenkant van de bovendorpelbalken tussen de pijlers. Vanwege de ingewikkelde vorm van de breukstenen dam en de beperkte kennis die wij hebben van door golven en verval belaste breukstenen dammen, is het ontwerp van dit werkonderdeel met uitvoerig hydraulisch modelonderzoek ondersteund.



In eerste instantie is in een golfgoot een tweedimensionaal model onderzocht. Dit onderzoek had een oriënterend karakter. Na verdere uitwerking van het ontwerp is een driedimensionaal modelonderzoek uitgevoerd op schaal 1 : 60. Het driedimensionale onderzoek is vooral gericht geweest op het golfbeeld rondom de damaanzet, de golfbelasting op de brugligger, de stabiliteit van de omkegelingen rond de randpijler onder extreme condities, op de stabiliteit van de breuksteen op de bermen en taluds van de damaanzetten en ten slotte op de stabiliteit van de breukstenen dam zelf.

In de proefopstelling is de situatie op Noord-Beveland ingebouwd. De constructie moet op deze plaats aan de zwaarste belastingen het hoofd kunnen bieden. Door aanpassing van het golfpatroon en draaiing van het model ten opzichte van de inkomende golfrichting is inzicht verkregen in de benodigde sterkte van de constructies op de vijf overige locaties.

Het onderzoek naar het golfbeeld bij de damaanzet heeft ons informatie verschaft voor de belasting op het landhoofd.

Bij de beproeving bleek weliswaar water tegen en over de brugligger te slaan, doch dit lag binnen aanvaardbare grenzen.

De stabiliteit van de omkegelingen bij een weigerende schuif gaf geen bijzondere problemen. De stukgewichten van de stenen in de toplaag van de omkegeling kunnen dus van dezelfde orde van grootte zijn als die in de toplaag van de drempel.

Voor de stabiliteit van de breukstenen op bermen en taluds aan de zeezijde blijkt voor een deel de situatie bij lagere waterstanden maatgevend. De breukstenen dam is evenals de andere hier besproken constructies onderdeel van een primaire zeewering, en moet als zodanig volgens de Deltawet volledig bestand zijn tegen stormvloed met een overschrijdingsfrequentie van 1/4000 keer per jaar. Dit houdt in dat de constructie eerst bij een hogere stormvloed mag bezwijken. De probabilistische ontwerpbenadering vereist de bepaling van een bezwijkkans van de constructie. De faalkans wordt berekend uit de kansverdelingen van de belasting

enerzijds en de sterkte van de breukstenen dam anderzijds.

Voor het modelonderzoek betekende dit, dat er proeven moesten worden uitgevoerd met hogere waterstanden en bijbehorende golven dan de theoretisch maatgevende, om daardoor alle onzekerheden te ondervangen die in het ontwerp komen door schaafeffecten, afwijkingen van steengrootten, dichtheden en uitvoeringstoleranties.

Bij hogere waterstanden gaat er water over de breukstenen dam heen stromen, en daardoor ontstaan er andere belastingssituaties, die dan maatgevend worden voor de stabiliteit van de steen in kruin en binnentalud.

Met behulp van een theoretisch model en de modelproeven is voor de toplaag van de breukstenen dam een relatie opgesteld tussen de waterstand met bijbehorende golf en het product van dichtheid en afmeting van de te gebruiken breuksteen. Aan de hand van kostenramingen voor breukstenen dammen met verschillende hellingen van het binnentalud en diverse stukgewichten van de steen in de toplaag is vervolgens een relatie opgesteld tussen faalkans en kosten.

Uiteindelijk is per locatie gekozen voor een faalkans die past in de faalkansbeschouwing voor de gehele stormvloedkering.

Voor de breukstenen dammen kwam de berekening uit op een helling 1 : 2,2 voor het binnentalud met steengewichten van 20–25 ton in de zwaarst belaste situatie, en een helling 1 : 1,5 met steengewichten van 15–20 ton op de minder zwaar belaste plaatsen. De dichtheid van de breuksteen in de toplaag bedraagt steeds 2950 kg/m³, dat komt overeen met die van leverbare steen uit bekende groeven. Een vergelijking tussen betonkubussen en breukstenen is in het voordeel van breuksteen uitgevallen.

De verhouding tussen de steengewichten van de opeenvolgende lagen in de dam is ongeveer 1 : 10, waarmee wordt voldaan aan de filtereisen. De stabiliteit van de afzonderlijke stenen is in hoofdzaak onderzocht in het hydraulisch model. Daarnaast is met grondmechanische rekenmodellen de totale stabiliteit bestudeerd.

Bij het ontwerp is ook nog gekeken hoe belangrijk de doorlatendheid van de breukstenen dam zou kunnen afnemen ten gevolge van mosselaangroei. Dit blijkt echter geen maatgevende invloed uit te zullen oefenen.

De damaanzetten, landhoofden en breukstenen dammen worden betrokken in het voor de stormvloedkering opgezette hydraulisch bouwfasenonderzoek. Dit modelonderzoek levert informatie over stroomsnelheden, waaraan gegevens worden ontleend betreffende aanzanding, erosie en belasting tijdens de uitvoering.

Fig. 3. Overzicht van de landhoofdconstructie.

Zoet water wordt op de Oosterschelde voornamelijk aangevoerd van het Hollands Diep, via de Volkeraksluizen. Het zoutgehalte in de Oosterschelde en ook andere, met het zoutgehalte samenhangende milieufactoren, worden dan ook in belangrijke mate mede bepaald door de grootte van deze zoetwateraanvoer.

Eerste resultaten van het experimentele lozingsprogramma voor de Volkeraksluizen

Voordat het Volkerak in 1971 werd afgesloten, was de invloed van de aanvoer via het Volkerak zeer groot. Er trad jaarlijks een piek op tijdens het natte seizoen. Sinds die afsluiting is de zoetwatertoevoer op het Volkerak sterk verminderd, en treden zulke pieken niet meer op. De daaruit resulterende verzilting op het traject Krammer-Volkerak en ook de stabilisering van het zoutgehalte hebben, zowel in kwalitatieve als in kwantitatieve zin, een gunstige invloed gehad op de levensgemeenschappen in dit gebied. Dat heeft onder meer geleid tot een hogere produktiviteit. Sedert begin 1977 is de totale zoetwateraanvoer op het Volkerak, inclusief de afwatering vanuit Noord-Brabant via de riviertjes Mark en Dintel, gestabiliseerd op 50 m³/s. De in dit totaal begrepen aanvoer van zoet water via de Volkeraksluizen wordt veroorzaakt door verlies ten gevolge van het schutten en door de noodzaak te spuien, om verzilting van het water in het Haringvliet te voorkomen.

Zoals werd aangekondigd in Bericht 90 (november 1979) is het lozingsprogramma van 1 november 1979 tot 26 maart 1980 verhoogd van 50 m³/s tot 100 m³/s. Ook dit was nog slechts een fractie van de voor de afsluiting van het Volkerak optredende pieken.

Het doel van deze operatie was enerzijds meer inzicht te verkrijgen in de processen die verantwoordelijk zijn voor de menging van zoet water en zeewater in de Oosterschelde en zodoende meer betrouwbare prognoses te kunnen opstellen over toekomstige situaties, anderzijds om de invloed van tijdelijk lagere zoutgehalten op de levensgemeenschappen in de Oosterschelde beter te leren kennen en derhalve genuanceerde criteria te kunnen stellen voor de uitvoeringsfase van de werken en voor het toekomstig beheer. De verwachting was dat de invloed van

het verhoogde lozingsdebiet zich in hoofdzaak zou beperken tot het gebied Krammer-Volkerak, dat in de toekomst, na het gereedkomen van de Philipsdam, zijn getijdekarakter verliest en deel gaat uitmaken van een zoet meer. Voor andere gedeelten van de Oosterschelde waren prognoses opgesteld ten aanzien van de laagste zoutgehalten die zouden optreden. Ze zijn vergelijkbaar met de zoutgehalten die, onder natuurlijke omstandigheden, in 1970, dus na de afsluiting van het Volkerak, zijn voorgekomen. In tabel 1 zijn de verwachte laagste zoutgehalten gemiddeld over het getij vergeleken met die welke werkelijk zijn opgetreden in de periode november 1979-maart 1980.

Om te voorkomen dat de levensgemeenschappen en de mosselcultures door de proef te zeer beïnvloed zouden worden is van tevoren een aantal veiligheidsinbouwen. De proef zou beëindigd worden wanneer de vooraf in overleg met het Rijks Instituut voor Visserij Onderzoek en de Directie der Visserijen gestelde waarden voor het zoutgehalte zouden worden overschreden; of als de mosselcultures op onaanvaardbare wijze zouden worden beïnvloed; en ook als de levensgemeenschappen bij de toekomstige Krammersluizen negatief zouden worden beïnvloed.

Bovendien zijn zowel de verhoging van het zoetwaterdebiet in november 1979 als de terugschakeling naar een debiet van 50 m³/s in maart/april 1980 geleidelijk uitgevoerd, om sterke wisselingen in het zoutgehalte te vermijden.

Ter bewaking van deze criteria is het experimenteel lozingsprogramma intensief begeleid door wekelijkse bemonsteringen op het traject Keeten-Mastgat-Zijpe-Krammer-Volkerak en door permanente registratie van het zoutgehalte op een groot aantal punten in de Oosterschelde.

de. Ook werd wekelijks de toestand van de mosselen gecontroleerd op een aantal percelen in de meest gevoelige gebieden.

Gedurende de looptijd van de proef zijn de gestelde criteria niet onderschreden, zodat het programma voortgang kon vinden. Wel overschreed in februari 1980 gedurende enkele dagen de afvoer van de Dintel alleen de 100 m³/s, als gevolg van overvloedige regenval. De inlaatsluis in de Volkerakdam is gedurende die dagen gesloten gebleven.

Toen de afvoer van de Dintel weer verminderde, is de inlaatsluis nog een aantal dagen dicht gehouden om aldus het teveel aan hemelwater van de voorgaande dagen te compenseren.

Waterloopkundig onderzoek

Het waterloopkundig gedeelte van het onderzoek, dat betrekking heeft op de menging van zoet water en zeewater, is allereerst gebaseerd op permanente registratie van het zoutgehalte in een aantal vaste punten, vervolgens ook op een 13-uurszoutmeting op de Schelde-Rijnverbinding op 12 maart 1980 en een 13-uursmeting van de stroomsnelheid en het zoutgehalte gelijktijdig in een aantal dwarsraaien op het traject Keeten-Mastgat-Zijpe-Krammer-Volkerak op 18 maart 1980.

Van de permanente registraties van het gemiddelde zoutgehalte over het getij wordt een gedeelte getoond in figuur 1. Hierin zijn tevens weergegeven de Rijnafoer bij Lobith, die het zoutgehalte in de Oosterschelde kan beïnvloeden door verzoeting van het kustwater, en het lozingsprogramma van de Volkeraksluizen.

Door de afvoeren van de riviertjes Mark en Dintel fluctueert het lozingsprogramma van de Volkeraksluizen aanzienlijk. Met name in de beginperiode traden daar hoge afvoeren op. Gemiddeld per maand werd een zoetwateraanvoer van 100 m³/s wel zeer dicht benaderd. De Rijnafoer bereikte begin februari de bijzonder hoge waarde van bijna 9000 m³/s. In deze periode was echter geen sprake van enige verzoeting van het water in de mond van de Oosterschelde. Dit was het gevolg van de overheersende zuidwestenwind, die het Rijnwater langs de kust naar het noorden afvoerde.

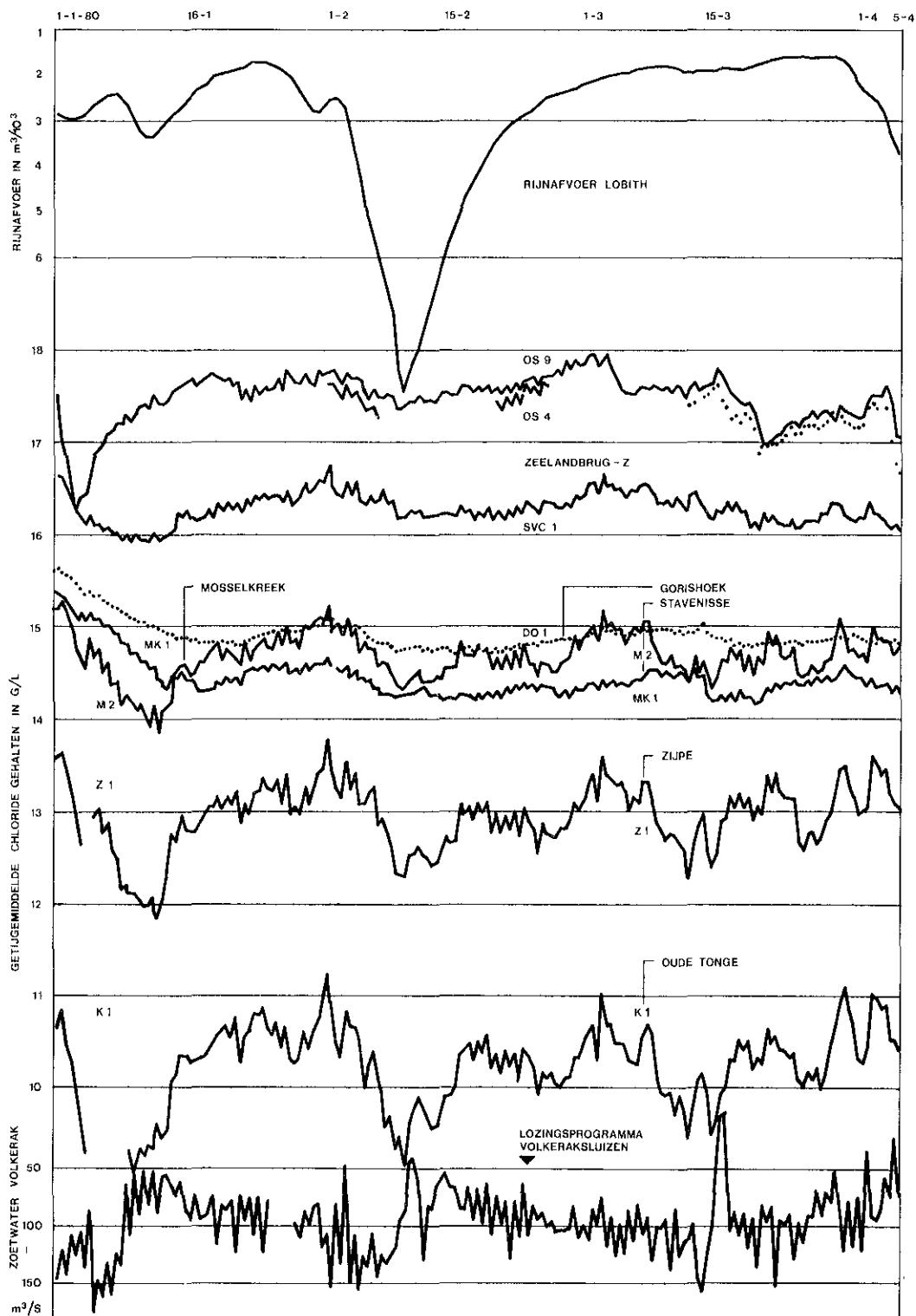
De invloed van het lozingsprogramma op de zoutgehalten in de Oosterschelde is in figuur 1 zeer goed waarneembaar; hij is ook in overeenstemming met de verwachtingen. Dit geldt ook voor de tijdsduur waarbinnen het zoutgehalte zich aan de verhoogde zoetwateraanvoer aanpaste. Voor de Kom van de Oosterschelde bleek de aanpassing ruim twee maanden in beslag te nemen. Alleen in de noordelijke tak van de Oosterschelde gaat de aanpassing zo snel, dat de

Tabel 1 Getijgemiddeld chloridegehalte in g/l

Locatie	gemeten bij 50 m ³ /s lozingsprogr.	voorspelde ondergrens bij 100 m ³ /s	gemeten laagste waarde bij 100 m ³ /s	gemeten gemiddelde bij 100 m ³ /s
Krabbenkreek	15,3	12,6	12,0	13,0
Zeelandbrug-N	16,5	15,1	15,1	15,6
Kom Oosterschelde	15,6	14,2	14,2	14,4

Tabel 2 Afvoer schutsluis, inlaatsluis en Dintel in de periode 5–11 februari 1980, in m³/s

	Schutsluis	Inlaatsluis	Dintel
5/2	21	32	80
	20	0	88
6/2	24	0	119
	20	0	108
7/2	20	0	113
	22	0	104
8/2	23	0	96
	26	0	71
9/2	24	0	64
	15	32	0
10/2	22	0	21
11/2	20	49	63



fluctuaties van het lozingsprogramma duidelijk in het verloop van de zoutgehalten terug te vinden zijn. Een gevolg van deze fluctuaties is dat het zoutgehalte in het Zijpe, bij de ingang van de Krabbenkreek, soms de verwachte ondergrens enigszins onderschreed.

Wat betreft het zoutgehalte in de Kom van de Oosterschelde, dit benaderde in de maanden februari en maart de voorspelde ondergrenswaarde zeer dicht. Deze maanden kenden een beduidend hoger neerslagoverschot dan gebruikelijk voor de tijd van het jaar. Desondanks is de gestelde ondergrenswaarde van het gemiddelde zoutgehalte per getij niet onderschreden. Na het terugbrengen van het lozingsprogramma tot 50 m³/s, begin april 1980, was er een duidelijke tendens tot herstel van de oorspronkelijke zoutgehalten waarneembaar. De stijging van de zoutgehalten was echter minder sterk dan de daling destijds bij het instellen van het verdubbelde lozingsprogramma. Dit wordt veroorzaakt door een verandering van windrichting en de daaruit voortvloeiende daling van het zoutgehalte in de mond van de Oosterschelde.

De 13-uurszoutmeting in het Schelde-Rijnkanaal is uitgevoerd door het meetvaartuig Ventjager, op 12 maart 1980. De resultaten zijn van groot belang, enerzijds voor de schematisering van het kanaal in wiskundige modellen, anderzijds voor ons inzicht in de menging, die wordt veroorzaakt door de scheepvaart. Een eerste analyse van de resultaten toont de invloed van de scheepvaart duidelijk aan, doordat de normaal te verwachten zout/zoet-gelaagdheid vrijwel ontbreekt.

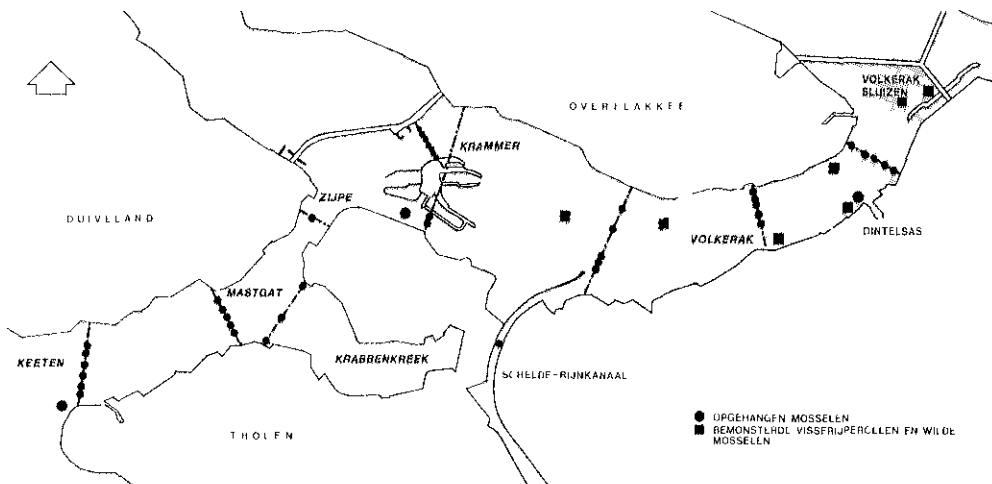
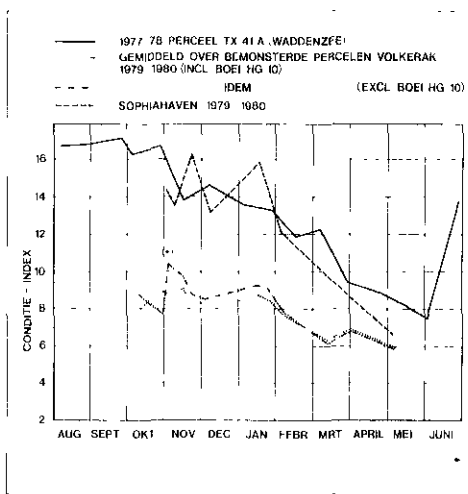
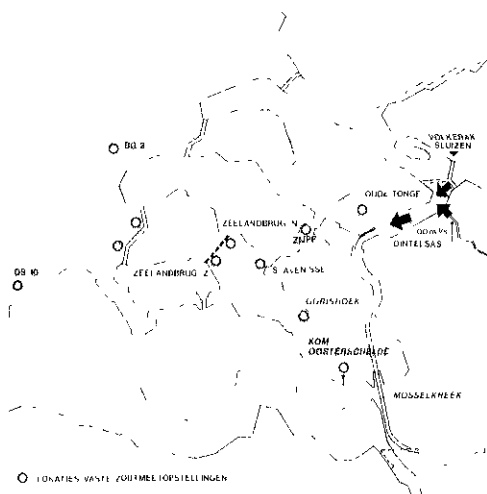
Bij de grote 13-uursmeting op 18 maart werden in veertig punten door even zoveel schepen het

zoutgehalte en de snelheid gemiddeld eens in het kwartier op verschillende diepten gemeten (fig. 3). Het doel van zo'n meting is het kwantificeren van de verschillende mengmechanismen. Voor het opstellen van wiskundige modellen van een gebied als de noordelijke tak van de Oosterschelde, is het noodzakelijk te weten welke processen een overheersende rol spelen. Voor het kwantificeren van de mengprocessen is het nodig om heel nauwkeurig de stroomsnelheid- en zoutverdeling te kennen. Hiervoor is enerzijds een dicht meetnet met een grote monsteringsfrequentie vereist, anderzijds een betrouwbare interpolatiemethode van de meetgegevens. Voor dit laatste is een wiskundig-numeriek programmapakket ontwikkeld, in samenwerking met het Mathematisch Centrum in Amsterdam.

In de zomer van 1977 is ook reeds een 13-uurszout- en stroomsnelheidsmeting uitgevoerd op het traject Keeten-Volkerak, in vrijwel dezelfde meetpunten. Het lozingsprogramma bedroeg toen echter 50 m³/s. De analyse van deze meting is thans ver gevorderd. Het is vooral de vergelijking van de resultaten van deze analyses voor beide metingen, die aan het licht moet brengen hoe de mengprocessen door de randvoorwaarden worden beïnvloed.

Hieronder wordt in het kort het verloop van de meting geschetst. Dinsdag 18 maart om 4 uur 's morgens voeren de eerste schepen vanuit de vluchthaven Zijpe naar hun meetpositie. Om 6 uur waren alle boten op hun bestemming aangekomen en begon de meting. Er stond toen een vrij sterke noordoostenwind, die in de loop van de dag toenam tot windkracht 4. De meetomstandigheden waren vrij ongunstig, maar dank zij de grote inzet van de scheepsbemanningen en meetploegen konden de metingen vrijwel volledig worden uitgevoerd. Op woensdag, de volgende dag, was een identieke meting gepland, met het doel eventuele hiaten en misers van de eerste dag aan te vullen. Verder zou deze meting bij de analyse moeten dienen ter controle van de resultaten. De weersomstandigheden op deze dag waren abominabel: een ijzige noordoostenwind, windkracht 7, temperatuur tegen het vriespunt. In de hoop dat de wind zou afnemen in de loop van de dag werd weer om 4 uur 's morgens met de afvaart begonnen. Vanwege de hoge golfslag konden de kleinere schepen hun positie echter niet bereiken; zij kwamen terug naar de vluchthaven om te wachten op de stroomkentering. Toen bij het kenteren van de stroom van eb naar vloed de harde noordoostenwind aanhield, leek het voor een groot aantal schepen niet langer mogelijk om bij de verwachte zware golfslag op de meetpositie te blijven liggen. Besloten is toen de meting

Fig. 1. Deel van de permanente registratie van de Rijnafvoer, het Volkerak-lozingsprogramma en de zoutgehalten op de Oosterschelde.



te beëindigen. Van deze meetdag zijn dus alleen gegevens beschikbaar over de eb fase van het getij. Momenteel worden de gegevens gepost voor verdere verwerking met de computer. Later zullen ze door de afdeling Zierikzee gecontroleerd worden en aangepast aan ijkgegevens. In het najaar kan een begin gemaakt worden met de kwantitatieve analyse, waarmee naar verwachting nog een groot deel van 1981 zal zijn gemoed.

Ecologisch onderzoek

Het ecologisch gedeelte van het onderzoek omvatte nog een monstertocht aan het eind van de 100 m³/s-periode. Hierna zullen nog gedurende ongeveer twee jaar regelmatig bemonsteringen van vooral de bodemfauna van zachte substraten plaatsvinden. Door duikers wordt ook naar

Fig. 2. Overzicht van de zoutmeetpunten bij het experimentele lozingsprogramma

Fig. 3. Meettraaien en mosselproefplaatsen in het onderzoeksgebied.

Fig. 4. Verloop van de mosselconditie op verscheidene plaatsen in het Oosterscheldegebied, in vergelijking met een perceel in de Waddenzee.

de bodemfauna van harde substraten gekeken. Ten slotte wordt een aantal parameters van de waterkwaliteit en de bodemsamenstelling gemeten.

De eerste resultaten van de bemonsteringen wijzen erop, dat het verhoogde lozingsdebiet *geen ingrijpende wijzigingen in de levensgemeenschap tot gevolg heeft gehad*. Een belangrijk vraagpunt gedurende de proef betrof het effect dat de verlaagde zoutgehaltes zouden hebben op de mossel-cultuur in het Volkerak en het Krammer. Daarom zijn, beginnend ongeveer één maand voor de aanvang van het 100 m³/s-programma, wekelijks monsters getrokken van een aantal percelen in het Volkerak, en tevens van een referentiepunt in de Sophiahaven in de Oosterschelde.

De bemonstering van de percelen werd door de Directie der Visserijen verzorgd. Deze monsters zijn geanalyseerd op conditie-index – dat is de verhouding tussen drooggewicht aan vlees en schelpinhoud – en op vochtverlies per tijdseenheid blootstelling aan de lucht, hetgeen een indicatie is van de weerstand van de mosselen tegen nadelige invloeden.

Daarnaast werden ook lengte, natgewicht en -asvrij drooggewicht bepaald. Soortgelijke bepalingen werden maandelijks gedaan aan proefmosselen die reeds een half jaar vóór aanvang van de proef op enkele plaatsen vanaf de Volkeraksluizen tot aan Stavenisse waren opgehangen. Figuur 4 geeft een overzicht van enkele van de belangrijkste resultaten. De reacties van de mosselen op verschillende beïnvloedingen bleken op de toegepaste manier goed gevolgd te kunnen worden. De Volkerak-percelen, naar verwachting de meest kwetsbare, zijn niet aantoonbaar beïnvloed door de verhoogde zoetwater-toevoer via de Volkeraksluizen.

Reeds vóór de aanvang van de 100 m³/s-proef was de conditie van de mosselen op de Volkerakpercelen zeer laag. Er trad geen wezenlijke verandering in deze toestand op totdat het voortplantingsseizoen begon. Vanaf dat moment *daalde de conditie-index vrijwel gelijk met die in het controlepunt, zij het iets minder sterk*. Van het 'normale' patroon is in feite nauwelijks afgeweken, zoals ook blijkt uit meldingen van de vissers bij het opvissen van naar de Oosterschelde over te zaaien mosselen.

Dit overzaaien vormde een tweede probleem. Mede op grond van literatuur werd verwacht, dat de mosselen op het zoutgehalteverschil tussen Volkerak en Oosterschelde zouden reageren met conditievermindering. Echter, in de eerste plaats bleek dit zoutgehalteverschil niet zo heel

veel groter dan onder normale omstandigheden. Ook is er een 'overzaalproef' genomen. Daarbij zijn 1500 mosselen van de twee minst goede Volkerakpercelen overgebracht naar een locatie in de monding van de Oosterschelde en daar in een waterkolom opgehangen. Elke twee dagen werd vervolgens het vochtverlies bepaald van 10 % van de overgezaaide mosselen. Ook werd het aantal dode mosselen elke twee dagen geteld. Aan het eind van de proef werd de conditie-index van de overgebleven 10 % bepaald. Dat gebeurde vier weken na het overzaaien. Uit de onderzoeken blijkt dat er tijdens de 100 m³/s-proef geen conditievermindering van de mosselen heeft plaatsgevonden, anders dan in verband met de jaarcyclus van deze dieren te verwachten valt. Daarentegen viel het op dat overzaaien naar de Oosterschelde vanuit het Volkerak een conditieverbetering tot gevolg had.

Het is van groot belang voor de interpreteerbaarheid van alle resultaten, dat de conditie-index nog een aantal maanden langer gevolgd wordt, zij het met een lagere bemonsteringsfrequentie.

Daarnaast lag het in de bedoeling de door de kwekers naar de Oosterschelde overgezaaide mosselen te bemonsteren en de conditie ervan te bepalen; dit ten einde na te gaan of de proefomstandigheden nog aanleiding gegeven hebben tot verschillen met bedrijfsmatig behandelde mosselen, terwijl ook hier de nacontrole in de tijd van belang geacht werd. Deze nacontrole bleek echter niet uitvoerbaar, doordat de kwekers op de percelen waar Volkerakmosselen uitgezaaid zijn, ook mosselen uit de Grevelingen en de Waddenzee hebben gezaaid. De Volkerakmosselen zijn in dit mengsel niet meer met zekerheid te herkennen.

Resultaten van het lozingsprogramma

De gegevens die met het experimenteel lozingsprogramma Volkeraksluizen zijn verkregen, vormen een goede basis voor het modelonderzoek waarmee verbeterde prognoses gemaakt kunnen worden voor de te verwachten zoutgehalten in het Oosterscheldegebied. Een voorlopige conclusie uit de bemonsteringen van de bodemlevensgemeenschappen in het onderzoeksgebied is, dat er zich als gevolg van de verlaagde zoutgehalten geen grote ecologische veranderingen hebben voorgedaan.



Zware metalen kunnen schadelijk zijn voor het milieu, als de gehalten in het oppervlaktewater en het sediment aanmerkelijk hoger liggen dan de natuurlijke niveaus. In het noordelijke Deltabekken, waar de invloed van de Rijn overheerst, blijken de gehalten veel hoger te zijn dan in de Oosterschelde en het Grevelingenmeer.

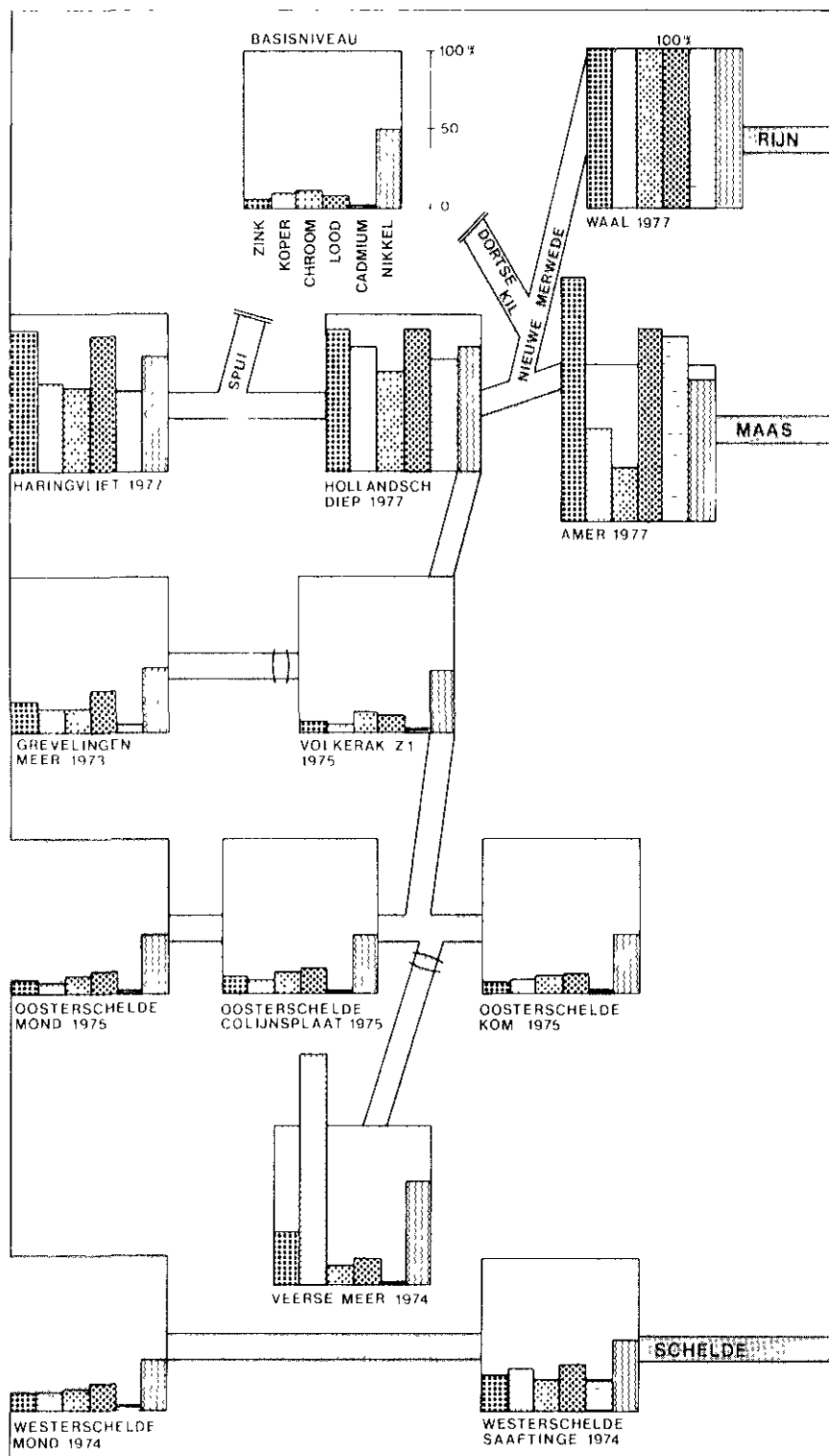
Zware metalen in het Deltagebied

Zware metalen is een verzamelnaam voor een aantal elementen waarvan de belangrijkste zijn: zink, koper, chroom, lood, cadmium en nikkel. Zij komen van nature in kleine hoeveelheden voor in oppervlaktewater en bodem. Planten hebben sommige van deze stoffen nodig; vandaar de ook wel gebruikte verzamelnaam sporenelementen. In het oppervlaktewater komen de zware metalen op twee manieren voor: in opgeloste vorm en gebonden aan zwevend slib. Hoe de verdeling over deze twee vormen zal zijn, hangt af van een groot aantal factoren, waaronder het soort metaal, de samenstelling en de concentratie van het zwevend materiaal, het chloridegehalte en de zuurgraad van het water. Gaande van Lobith naar de Noordzee neemt het aandeel van de gebonden vorm in verhouding tot de opgeloste vorm in het Rijnwater ruwweg af van 60 tot 20 procent. Dat betekent dus dat er

heel wat slib met zware metalen sedimenteert. Zoals veel estuaria is de Delta een sedimentatiegebied van slib, dat wordt aangevoerd door de grote rivieren en door de Noordzee. Het water van de grote rivieren is afkomstig van dicht bewoonde en geïndustrialiseerde gebieden in Midden- en West-Europa. Een flink deel van de daar geloosde zware metalen komt gebonden aan zwevend materiaal door sedimentatie in het Deltagebied terecht. De rest wordt, voornamelijk in opgeloste vorm, naar de Noordzee getransporteerd en beïnvloedt onder meer de gehalten aan zware metalen in de Waddenzee. Het vermoeden bestond, dat door de uitvoering van de Deltawerken belangrijke veranderingen konden plaatsvinden in de verdeling van zware metalen, zowel over de mogelijke vormen als over de verschillende wateren.

Daarom is vanaf het begin van de jaren zeventig in opdracht van de Deltadienst door het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid te Haren (Gr.) geochemisch onderzoek verricht met betrekking tot deze problematiek. Later is het Waterloorkundig Laboratorium, in zijn vestiging te Haren, dit onderzoek gaan ondersteunen. In het begin beperkte men zich tot het inventariseren van totaalgehalten van zware metalen in de onderwaterbodem, om de verdeling van de aangevoerde hoeveelheden over het Deltagebied te kunnen vaststellen. Sediment is hiervoor beter geschikt dan water, omdat de gehalten er hoger zijn en daardoor eenvoudiger te bepalen. Bovendien is de aanvoer van vele jaren terug nog in de bodem terug te vinden; de onderwaterbodem is het geheugen van een bekken. Dit laatste feit vormt overigens momenteel een ernstig probleem bij het terugdringen van de vervuiling, omdat 'schoon water' nog niet betekent: 'schoone bodem'.

NOORDZEE



Figuur 1 geeft een indruk van de resultaten van het inventarisatie-onderzoek. Ten behoeve van een juiste vergelijking van verschillende rivieren en bekkenbodems is het noodzakelijk een correctie uit te voeren voor verschillen in korrelgrootteverdeling tussen de onderwaterbodems. Een kleiige bodem is fijnkorrelig en bevat van nature meer zware metalen dan een grofkorrelige zandbodem. Deze overmaat aan metalen zit ingebouwd in de kleideeltjes. Daarom zijn voor elke plaats de gehalten zo omgerekend, dat ze overeenstemmen met het gehalte van een bodem waarvan 50 % van de korrels kleiner is dan 16 micrometer; dat is een vrij kleirijke bodem. Daarnaast zijn de gehalten uitgedrukt als percentage van het gehalte in de Waal en de Nieuwe Merwede, dat steeds op 100 % is gesteld. Uit de figuur kan dan het volgende worden afgelezen:

Het basisniveau of 'natuurlijk niveau' is vastgesteld aan de hand van bodemonsters uit de uiterwaarden van de Rijn; dit sediment is in vroeger eeuwen afgezet. De waarden komen redelijk overeen met gehalten die berekend worden uit de samenstelling van de gesteentes uit het stroomgebied van de Rijn. Behalve voor nikkel, blijken alle gehalten in de Waal tien of meer keren zo hoog te zijn als het natuurlijke niveau. De Maas voert ook verontreinigd water aan. Het zinkgehalte in sediment van de Amer is zelfs beduidend hoger dan dat in het Rijnsediment.

Gaande van Hollands Diep naar Haringvliet worden de gehalten lager. Dit komt door de vermenging van recentelijk afgezet slib met oudere, overwegend mariene afzettingen. Bij een vergelijkbare bemonstering in 1971 bij de Haringvlietsluizen was het gemiddelde metaalniveau

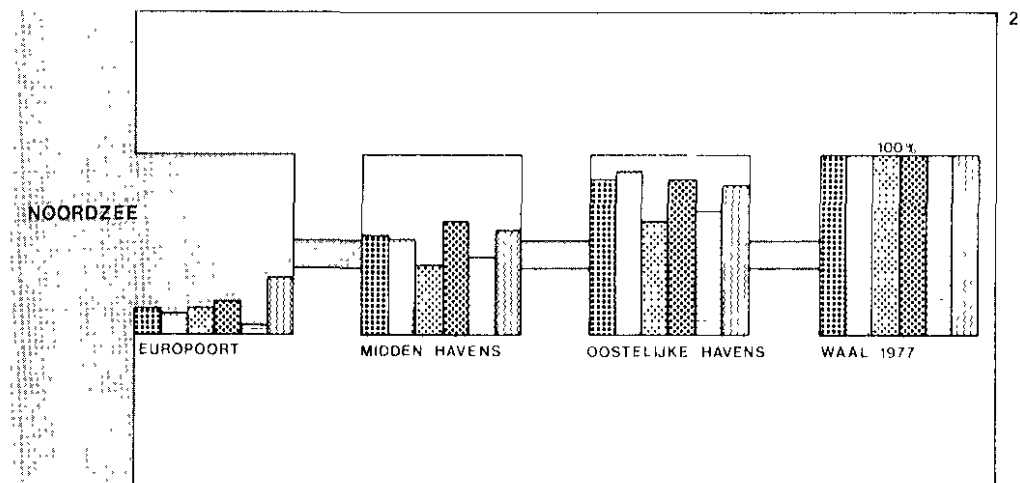


Fig. 2. Vergelijkbare weergave van het gehalte aan zware metalen in de Rotterdamse havens.

40 % van dat van de Waal. In 1977 bleek het echter reeds 60 % te zijn. De bodem van het Haringvliet wordt dus langzamerhand bedekt met Rijnsediment, dat door de bouw van de Haringvlietsluizen niet meer naar de Noordzee wordt afgevoerd.

Precies de omgekeerde invloed hebben de civiel-technische werken op het milieu in het Grevelingenmeer en het Volkerak. Vóór de afsluitingen stroomde een deel van het Rijnwater door deze bekkens, zodat de metaalgehalten in de bodem er iets hoger waren dan in de Oosterschelde. Zwevend materiaal van Noordzeewater bevat relatief zeer weinig metalen, hoewel in het kustwater toch wat hogere niveaus worden aangetroffen dan in de open oceaan. Door de bijmenging van dit zeeslib via de Brouwerssluis zullen de gehalten op de Grevelingen lager worden.

Fig. 1. Gehalten aan zware metalen in het bodemsediment van het Nederlandse rivierensysteem. De gehalten in de Waal 1977 zijn gesteld op 100 %.

Het mengproces wordt treffend geïllustreerd door een onderzoek van het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid en het Waterloopkundig Laboratorium in opdracht van de gemeente Rotterdam (figuur 2). De bodem van de Oostelijke Rotterdamse havens bleek bij dit onderzoek nog grotendeels te bestaan uit gesedimenteerd Rijnslib. De bodem van de middenhavens – de Botlek – en Petroleumhavens – bestaat uit een mengsel van zee- en rivierslib, terwijl sediment uit de Europoort vrijwel uitsluitend afkomstig is van zee.

In 1985 worden het Volkerak en het achterste deel van de Oosterschelde door compartimenteringsdammen gescheiden van het zoute getijdesysteem. Het Zoommeer dat dan ontstaat, zal voor een deel worden gevoed met water uit het Hollands Diep. Als de metaalgehalten in het Rijnwater in de nabije toekomst niet dalen, zal het bodemsediment in het Zoommeer derhalve evenals dat in het Haringvliet worden opgeladen met zware metalen. Het tempo waarin dat zal geschieden is echter veel lager, omdat het gemiddelde debiet een factor 10 lager zal zijn. In de Oosterschelde en in de monding van de Westerschelde bevat het sediment relatief weinig zware metalen. Men kan daar bijna spreken van een natuurlijk niveau. Zonder de hier toegepaste correctie voor de korrelgrootteverdeling is het verschil met de andere gebieden nog groter, omdat juist hier de bodem sterk zandig is. Sterk verhoogd zijn de koper-, zink- en nikkelgehalten in het Veerse Meer. Hier komt de geheugenfunctie van sediment duidelijk tot uiting. In vroeger jaren heeft er namelijk een lozing plaatsgevonden van deze stoffen via het kanaal door Walcheren. Rond 1970 was dat afgelopen; er is toen een zuiveringsinstallatie voor zware metalen gebouwd. Overigens zijn de waarden voor het Veerse Meer in figuur 1 afkomstig van een monsternamen in de buurt van het kanaal, en niet representatief voor het gehele Veerse Meer. Binnenkort zal opnieuw een bemonstering plaatsvinden om de juistheid aan te tonen van de verwachting, dat de niveaus intussen zijn gedaald door menging van verontreinigd sediment met de oorspronkelijk schone bodem. In de Westerschelde ten slotte worden de zware metalen afkomstig van lozingen op de Schelde ten dele teruggevonden in sediment in de omgeving van het Verdrongen land van Saeftinge. Maar door hetzelfde mengproces als in het Rotterdamse havengebied zijn de gehalten in de monding gelijk aan die in de Oosterschelde.

Biochemisch onderzoek

De geochemische inventarisatie van zware me-

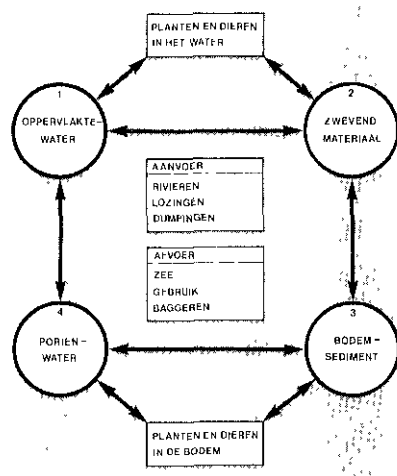
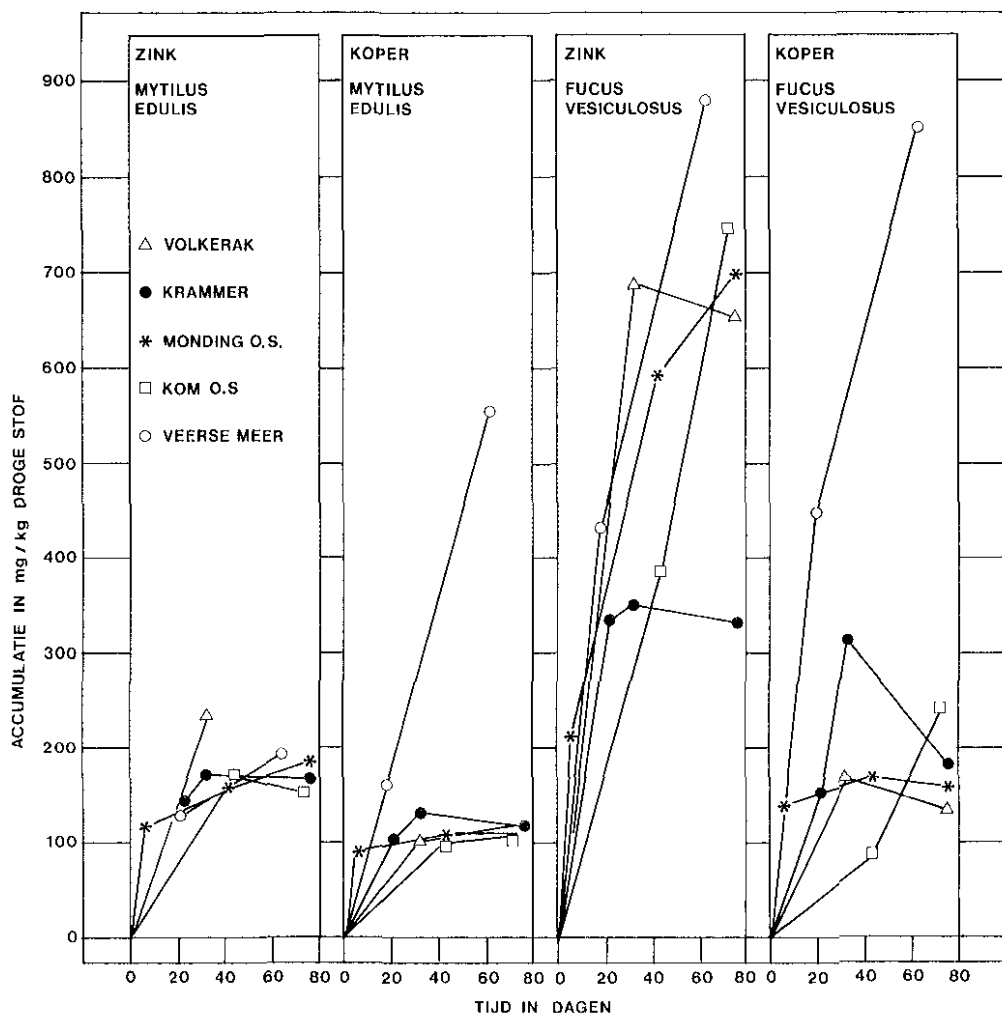


Fig. 3. Relaties tussen de vier verschijningsvormen van zware metalen.

Fig. 4. Zink- en koperaccumulatie in mosselen en bruine zee-wieren.

talen in onderwaterbodems geeft inzicht in de rol van watertransport, sedimentatie en menging bij de ruimtelijke verspreiding van deze stoffen. Ze geeft echter geen informatie over de effecten van zware metalen op de planten en dieren in het water en in het sediment. Voor een juiste afschatting daarvan is kennis van de totaalgehalten niet voldoende, er moet ook inzicht worden verkregen in de vormen waarin metalen in water en sediment voorkomen. Daarvoor is gecombineerd biologisch-geochemisch onderzoek noodzakelijk. In 1974 heeft de Deltadienst opdracht gegeven voor een dergelijk onderzoek in de Oosterschelde aan enerzijds de Hoofdafdeling Maatschappelijke Technologie T.N.O. voor het biologisch deel, anderzijds het Waterloopkundig Laboratorium en het Instituut voor Bodemvruchtbaarheid voor het geochemische deel.



Figuur 3 geeft aan, welke vier verschijningsvormen van zware metalen bij dit onderzoek werden onderscheiden:

1. Metalen die in opgeloste toestand in het oppervlaktewater aanwezig zijn, al dan niet verbonden met andere opgeloste stoffen zoals chloride.
Men spreekt hier van 'complexen'.
2. Metalen, die gebonden zijn aan zwevend materiaal. De bindingskracht verschilt van klein - absorptie - via middelmatig - absorptie en neerslagvorming - tot groot - inbouw in kristalroosters van klei.
3. Metalen die gebonden zijn aan sediment, met gradueringen, als bij 2.
4. Metalen die zich in opgeloste toestand bevinden in het water in de holtes tussen de sedimentkorrels, het zogenaamde poriënwater, of op grotere diepte, het grondwater.

De relatieve bijdrage van elk van deze verschijningsvormen aan de belasting met metalen van een organisme zal mede afhangen van zijn levenswijze. Ruwweg kan een indeling worden gemaakt in organismen die leven in de waterfase: plankton, vissen; organismen die leven op de bodem maar hun voedsel betrekken uit water: mosselen; en organismen die leven in de bodem: wormen, meiofauna. Een aparte groep wordt gevormd door de predatoren zoals vogels en zeehonden, en uiteraard ook de mens. Het onderzoek spitste zich in de beginfase toe op het meten van gehalten van weefsel van in het zuidelijk Deltagebied voorkomende organismen en van gehalten in poriënwater, omdat daar het minst van bekend was. Daarnaast werd aandacht besteed aan het ontwikkelen van extractiemethoden om de bindingsvormen van zware metalen in sedimenten te bepalen. Biolo-

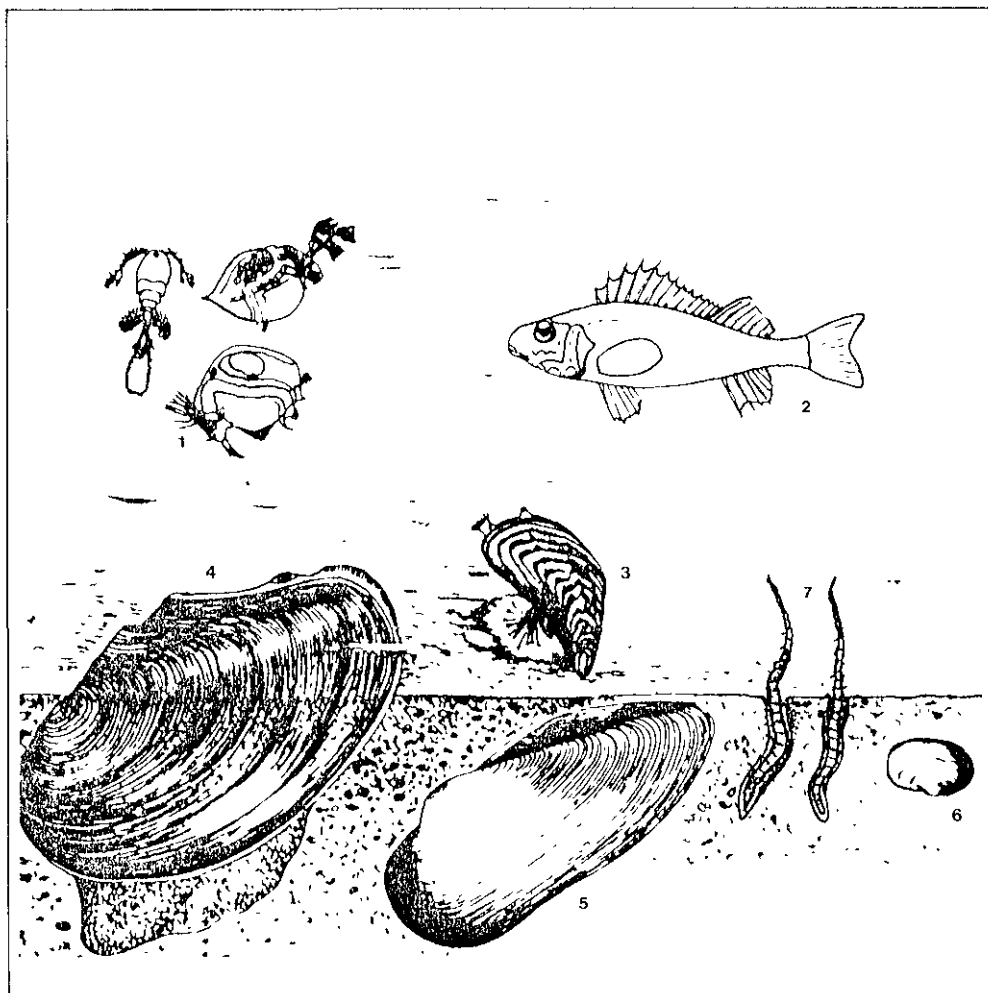
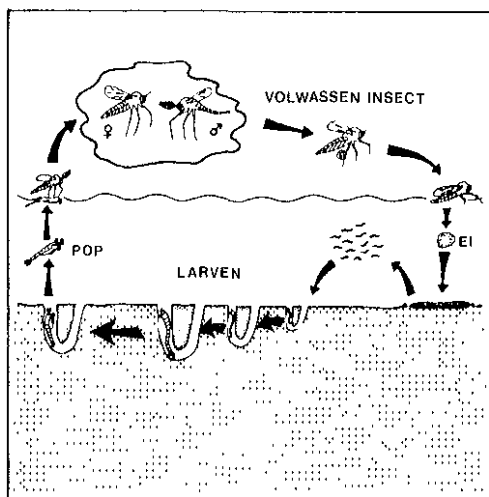


Fig. 5. Organismen die werden betrokken in het zoetwateronderzoek:

1. Zooplankton (watervlooiën) voornamelijk bestaande uit cladoceren en copepoden.
2. *Gymnocephalus cernua* (pos) een kleine vissoort, algemeen talrijk in het gehele onderzoeksgebied.
3. *Dreissena polymorpha* (driehoeksmossel) een tweekleppige mollusk. Deze soort leeft, vastgehecht met byssusdraden, op stenen en schelpenmateriaal boven de bodem.
4. *Anodonta* s.p. (vijvermossel) eveneens een tweekleppige mollusk, leeft half ingegraven in de bodem maar betreft zijn voedsel uit de waterfase.
5. *Unio* s.p. (schildersmossel) vergelijkbaar met *Anodonta*.
6. *Sphaerium* s.p. (erwtmossel) een kleine tweekleppige, wordt geheel ingegraven in de bovenste sedimentlaag (tot ca. 5 cm diep) aangetroffen.
7. Tubificiden, kleine wormen levend in en van de bovenste sedimentlaag.
8. Chironomiden, muggen (rechtsboven). Een deel van de levenscyclus speelt zich in het water af. Uitsluitend de larven zijn bemonsterd naar Beattie, 1978.



gisch gezien het meest interessant waren ten slotte de zogenaamde 'actieve biologische monitoring proeven' van T.N.O. Bij deze proeven worden organismen die zijn bemonsterd in een gebied met een natuurlijk niveau aan zware metalen, in dit geval de Atlantische kust van Ierland, uitgezet op locaties in het te onderzoeken gebied, in casu de Oosterschelde en het Veerse Meer. Na een bepaalde expositietijd werden de organismen verzameld om de metaalgehalten opnieuw te meten. Bij verhoging spreekt men van accumulatie, in het omgekeerde geval van eliminitatie. Figuur 4 geeft de resultaten weer met de mossel *Mytilus edulis* en met het bruinwier *Fucus vesiculosus* voor de metalen koper en zink. Op alle plaatsen blijken de gehalten te zijn toegenomen, met als uitschieter koper in het Veerse Meer, net als bij de totaalgehalten in sediment. Het bruinwier neemt snel, en misschien specifiek, zink op uit het milieu.

Om een aantal redenen werd het onderzoek voortijdig stopgezet en de aandacht verplaatst naar zoete wateren. Eind 1976 werd door R.I.Z.A. en Deltadienst gezamenlijk opdracht gegeven aan de eerder genoemde instituten tot het verrichten van biochemisch onderzoek in Rijn, Waal, IJssel en Maas en de door deze rivieren gevoede bekkens: Hollands Diep, Haringvliet, Ketelmeer en IJsselmeer. Het onderzoek in het IJsselmeer wordt mede gesubsidieerd door de E.E.G., omdat het ondersteuning moet geven aan het internationale overleg inzake de opstelling van waterkwaliteitseisen en richtlijnen voor lozingen van afvalstoffen. Net als in het zoutwateronderzoek worden de gehalten aan zware metalen gemeten in water, sediment, planten en dieren. De onderzochte organismen staan afgebeeld in figuur 5. Daarnaast worden experimenten gedaan om te proberen een verband te vin-

den tussen de gemeten metaalniveaus. Inmiddels zijn over de eerste gedeelten van het onderzoek deelrapporten verschenen. Hierna worden enige resultaten kort besproken, voor zover ze betrekking hebben op het noordelijk Deltagebied.

Processen die thans optreden in het traject Nieuwe Merwede-Haringvlietssluzen zullen in principe ook gaan optreden in het toekomstige Zoommeer en, eventueel, in een zoet Grevelingmeer. Dit geldt overigens evenzeer ten aanzien van andere stoffen dan zware metalen, zoals de voedingsstoffen voor algen: fosfor, stikstof en silicium. Daarom heeft gelijktijdig met het onderhavige onderzoek in opdracht van de Deltadienst een geochemisch onderzoek plaatsgevonden naar het gedrag van zwevend materiaal en voedingsstoffen in dit gebied; dit onderzoek is uitgevoerd door het Vening Meinesz-laboratorium van de Rijksuniversiteit te Utrecht. Het zal in een van de volgende Berichten aan de orde komen.

In tabel 1 staan de resultaten van het inventariserende onderzoek naar metaalniveaus in zwevend materiaal en bodemsediment. Duidelijk is te zien, dat de gehalten in de bodem afnemen in de richting van het Haringvliet, zoals reeds eerder geconstateerd; daarentegen blijven de gehalten in zwevend materiaal gemiddeld constant. Dit bevestigt het vermoeden, dat het Haringvliet wordt opgeladen met zware metalen. Overigens schommelen de gehalten in zwevend materiaal sterk, omdat ze afhankelijk zijn van sterk variërende factoren als debiet en hoeveelheid algen.

Het opmerkelijke feit doet zich voor, dat de metaalgehalten in poriënwater van het minst vervuilde sediment, dat in het Haringvliet, het hoogst zijn. Vooral voor lood zijn de niveaus hier hoger dan in oppervlaktewater. Overigens is het ook weer niet zo dat bij het opwervelen van het bodemsediment en de daardoor veroorzaakte vermenging van poriënwater en oppervlaktewater en metaalgehalten in het oppervlaktewater aantoonbaar worden verhoogd. Uit procesonderzoek is inmiddels onder meer gebleken, dat de vermindering van het cadmiumgehalte in oppervlaktewater in de richting van de Haringvlietssluzen waarschijnlijk samenhangt met de toename van de zuurgraad in deze richting (figuur 6). De toenemende zuurgraad hangt op zijn beurt samen met het meerkarakter van het Haringvliet, in tegenstelling tot het rivierkarakter van de Waal. Bij de verdeling van metalen tussen opgelost en gebonden aan slib speelt ook het chloridegehalte een rol, hetgeen een verband legt met de zoutlozingen in de Elzas.

De inventarisatie van metaalniveaus in de organismen zoals afgebeeld in figuur 5 leverde als algemene conclusie op, dat vooral de gehalten aan cadmium, zink en koper in de organismen op het traject Lobith-Haringvliet belangrijk hoger waren dan in de randmeren van het IJsselmeer, die als een soort basisniveau kunnen fungeren. Arseen en kwik komen in betrekkelijk lage concentraties voor. Er is een zekere variatie in de gemeten gehalten per plaats, veroorzaakt door verschillen tussen soorten organismen, door verschillen in leeftijd of grootteklasse per soort, door te kleine monsters van sommige organismen en door variatie in de gehalten van de vier verschijningsvormen. Ten opzichte van de variatie in metingen van opgeloste metalen in water is de variatie in organismen, evenals in sediment, echter laag, omdat de gehalten van het omringende water enigszins worden geïntegreerd. Sommige organismen bleken op een aantal plaatsen niet of nauwelijks te bemonsteren.

Tubificiden bij voorbeeld kwamen tot 1973 in ruime mate voor op het Hollands Diep en het Haringvliet en werden daar zelfs verzameld voor de handel en verkocht als aquariumvoer onder de naam 'tubifex'. In een paar weken tijd zijn ze echter verdwenen en tot op heden niet teruggekeerd. Het is wellicht niet toevallig dat de tafeleend, een predator van onder meer tubificiden, vanaf 1973 op deze overwinteringsplaatsen ook veel minder voorkomt.

Het bleek niet goed mogelijk te zijn op grond van de resultaten van de inventariserende metingen te komen tot duidelijke uitspraken over mogelijke verbanden tussen metaalniveaus in de vier verschijningsvormen en in organismen.

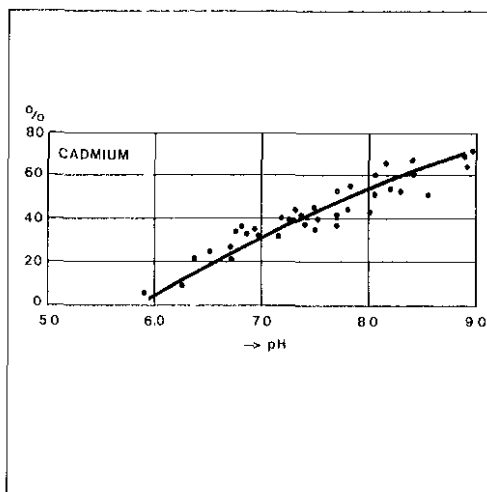


Fig. 6. Verband tussen Cadmium-gehalte en zuurgraad.

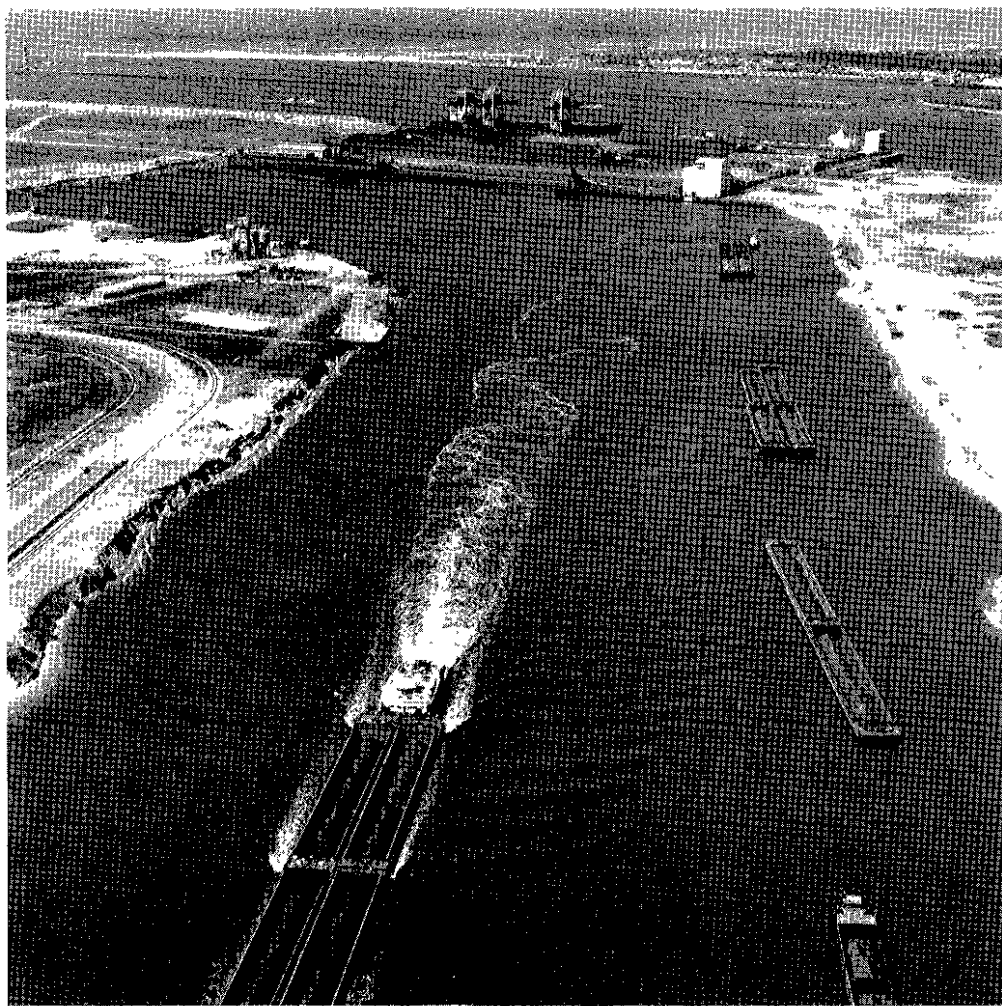
Europoort te Rotterdam. Op de achtergrond de vaargeul naar zee.

Tabel 1 Metaalgehalten in zwevend materiaal (A) en bodemsediment (B)

	Zink		Koper		Cadmium		Lood	
	A	B	A	B	A	B	A	B
Waal	1650	1650	275	300	35	37	475	400
Hollands Diep	2050	1350	300	200	40	25	475	325
Haringvliet	1950	1350	200	150	20	17	475	300

Tabel 2 Metaalgehalten in oppervlaktewater (C) en porienwater (D)

	Zink		Koper		Cadmium		Lood	
	C	D	C	D	C	D	C	D
Waal	80	20	5	7	1.5	3.0	1.5	25
Hollands Diep	45	40	3	7	1.0	3.0	2.0	25
Haringvliet	25	70	3	8	0.5	5.0	3.0	100



Tabel 2 geeft de metaalniveaus in oppervlaktewater en poriënwater. Hier geldt nog sterker dat de vermelde waarden gemiddelden zijn van wisselende gehalten.

Daarvoor speelden te veel factoren een rol en waren de metingen niet voldoende talrijk. De tweede fase van het onderzoek, waarin ook laboratoriumexperimenten zijn opgenomen, dient wel te leiden tot dergelijke uitspraken. Deze fase is inmiddels van start gegaan; van sommige onderdelen zijn de eerste resultaten bekend. Het R.I.Z.A. zal hierover in een later stadium rapport uitbrengen.

In dit artikel is op verschillende plaatsen gewezen op verbanden tussen metaalniveaus en andere grootheden, zoals chloridegehalte, verblijftijd, zuurgraad, sedimentatiesnelheid, maar ook factoren als plaatselijke lozingen, soort organisme en invloed op de voedselketen. Voor een

goed inzicht in oorzaken en gevolgen is een bio-geochemisch model onontbeerlijk. Een dergelijk model kan tevens van groot nut zijn bij het beheren van het oppervlaktewater, het opstellen van waterhuishoudingsplannen en het afschaffen van gevolgen van ingrepen zoals baggeren en het dumpen van onderhoudsbagger-specie. Het zal echter beslist nog jaren duren voor het inzicht in de problematiek voldoende groot is om alle effecten van metaallozingen te kunnen voorstellen.

Het is echter zonder meer wenselijk dergelijke lozingen waar mogelijk terug te dringen of geheel stop te zetten.

Geologisch onderzoek in de mond van de Oosterschelde

Enige jaren geleden kreeg de Rijks Geologische Dienst van de Deltadienst het verzoek om, samen met het Laboratorium voor Grondmechanica, een aantal grondonderzoekprojecten uit te voeren ten dienste van de afsluiting van de Oosterschelde.

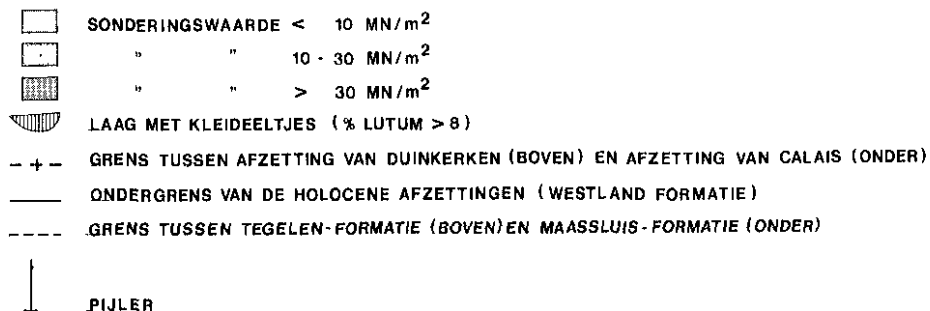
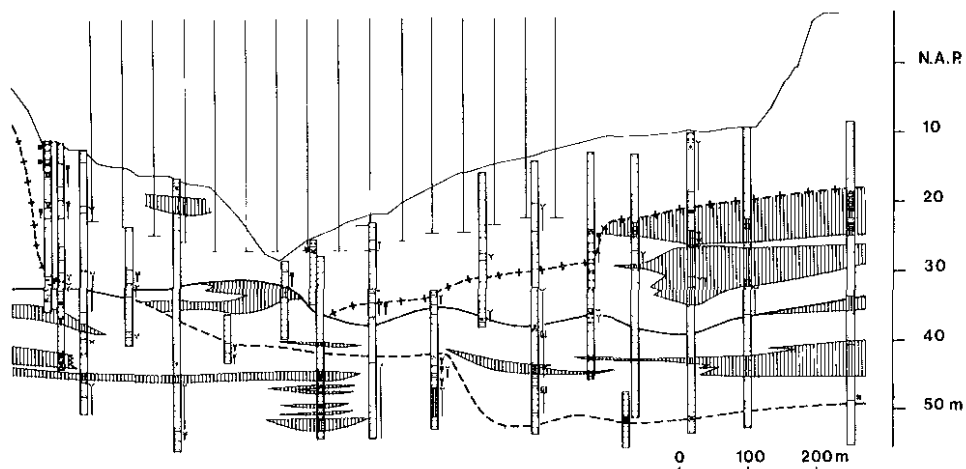
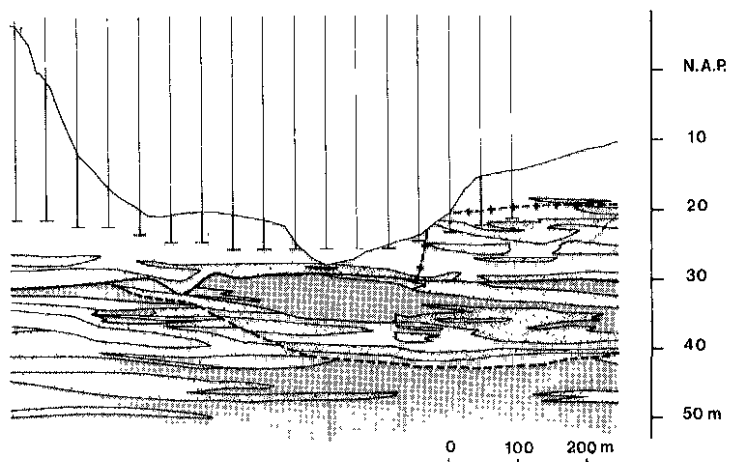
De opdracht behelsde een onderzoek naar de stabiliteit van dijken en oevers rondom het Oosterscheldebekken; voorts een onderzoek ter plaatse van de compartimenteringsdammen en een bodemonderzoek in de monding van de Oosterschelde, ten behoeve van de toekomstige stormvloedkering. Over dit laatste onderzoek volgt nu nader bericht.

De opdracht ten aanzien van het bodemonderzoek in de Oosterscheldemond omvatte in feite drie vragen. Allereerst moest de diepteligging worden vastgesteld van de draagkrachtige en in horizontale zin weerstand biedende lagen. Binnen dit pakket moesten dan verder het voorkomen en de verbreiding van klei- en leemlagen worden nagegaan, en ten slotte ook het voorkomen en de dikte van slappe zandpakketten, waarin zettingsvloeiing kan optreden.

Om deze vragen gedetailleerd te kunnen beantwoorden was een omvangrijk grondonderzoek nodig in de monding van de Oosterschelde. Vooraf echter heeft de Rijks Geologische Dienst, op grond van ervaringen bij de kartering van de Zeeuwse eilanden en tijdens de geologische begeleiding van een groot aantal waterstaatkundige werken in het Deltagebied, prognoses opgesteld aangaande de stratigrafische opbouw in het mondingsgebied van de Oosterschelde. Daarin werd de verwachting uitgesproken dat direct op de goed geconsolideerde zand- en kleipakketten van het Oude Pleistoceen matig tot slecht geconsolideerde, voornamelijk holo-

cene zandpakketten zouden worden aangetroffen. Tot goed begrip: het Pleistoceen is het oudste tijdperk van het Kwartair. Het beslaat de periode van ongeveer 2,5 miljoen tot 10 000 jaar geleden. Nederland was tijdens deze geologische periode onderhevig aan verscheidene ijstijden. Holoceen noemen wij de jongste geologische periode, van 10 000 jaar geleden tot nu. In de Oosterscheldemond werden in deze periode voornamelijk mariene sedimenten afgezet, thans bekend als de 'Westland-formatie'. Het eigenlijke geologische onderzoek werd in eerste instantie uitgevoerd aan de hand van grondmonsters, verkregen door boringen van het Laboratorium voor Grondmechanica. De monsters werden nauwkeurig lithologisch beschreven en hun stratigrafie bepaald. Waar de grenzen tussen de litho-stratigrafische eenheden macroscopisch niet eenduidig konden worden

Fig. 1. Verbreiding van kleilagen in de ondergrond van de Hammen (boven) en conusweerstand in de Schaar (beneden)



vastgesteld, werd aanvullend micro- of macro-paleontologisch onderzoek verricht. De boringen werden uitgezet in bodemprofielen en de lithologische eenheden, zoals bij voorbeeld kleilagen, gecorreleerd. Dat legde de basis voor profielen als weergegeven in figuur 1 (boven).

Een ander belangrijk correlatiemiddel vormden de talrijke sonderingen die werden uitgevoerd. De gemeten conusweerstanden werden daartoe in drie zones in profielen verzameld. Het verloop van de conusweerstandzones is in ruimtelijke zin volledig bepaald door geologische eigenschappen.

Zowel de goed geconsolideerde mariene laag – Formatie van Maassluis – als de fluviatiele formatie – Formatie van Tegelen – van de oud-pleistocene ondergrond bleken voldoende draagkracht in verticale zin en genoeg weerstand tegen cyclische en statische horizontale verhangen te bezitten om als ondergrond van de stormvloedkering te functioneren. Dit is ongetwijfeld het gevolg van een zeer langdurige voorbelasting.

In de marge van de verstrekte opdracht heeft de Rijks Geologische Dienst benaderingen opgesteld van de mate waarin de sedimenteenheden in dit gebied voorbelasting zullen hebben ondergaan.

Een belangrijk onderzoeksdoel was de bepaling van de diepteligging van de bovenkant van de oud-pleistocene pakketten in de Oosterschelde-mond. Het Laboratorium voor Grondmechanica had deze informatie onder meer nodig voor de interpretatie van in situ uitgevoerde dichtheidsmetingen. De bovenkant van de oud-pleistocene pakketten ligt op het hoogste punt van de Schaar op N.A.P. – 29 m, en in het diepste punt van de Hammen op N.A.P. – 39 m.

De grote diepte en het ontbreken van jongere pleistocene afzettingen zijn het gevolg van mariene erosie tijdens het Holoceen. In de diepste delen van de sluitgaten vormen de oud-pleistocene afzettingen de zeebodem.

Wat nu het voorkomen en de verbreiding van klei- en leemlagen binnen het pakket draagkrachtige lagen betreft: uit vroeger verricht geologisch onderzoek in het Deltagebied was al gebleken dat de fluviatiele en de mariene oud-pleistocene afzettingen aanzienlijke klei- of leempakketten kunnen bevatten. Zowel uit geohydro-gezichtspunt als uit een oogpunt van stabiliteit van de toekomstige stormvloedkering was het belangrijk om de dikte en de verbreiding van deze kleihoudende lagen in het Pleistoceen zo nauwkeurig mogelijk vast te stellen. De hier toe benodigde informatie werd verkregen door het uitvoeren van een aanzienlijk aantal diepere

boringen en (boor-)sonderingen.

Een op geologische inzichten gebaseerde correlatie tussen conusweerstanden en gegevens uit grondmonsters bleek daarbij onontbeerlijk.

De derde vraag betrof het vaststellen van de dikte en verbreiding van de voor zettingsvloeiing gevoelige slappe zanden. In verband met de stabiliteit van de stormvloedkering en van de randen van de bodembescherming, moet de kans op het optreden van dergelijke plotselinge sedimentuitvloeiingen in de omgeving van de pijlers en langs de randen van de bodembescherming worden geminimaliseerd. Allereerst moest daartoe worden bepaald welke sedimenten in het mondingsgebied het meest gevoelig zijn voor het optreden van zettingsvloeiingen. Uit eerder onderzoek aan oever- en dijkvallen in het Deltagebied was reeds gebleken dat zettingsvloeiingen vrijwel uitsluitend optreden in de zeer slappe, jong-holocene zanden van de Afzettingen van Duinkerke, behorende tot de Westlandformatie. Dit werd bevestigd door de uitkomsten van dichtheidsmetingen in situ, die ten behoeve van het Laboratorium voor Grondmechanica in dit gebied werden uitgevoerd. De geringe consolidatie van deze zanden wordt in hoofdzaak veroorzaakt door de relatief zeer geringe voorbelasting die ze ondergaan hebben. De wat oudere, doch eveneens holocene zanden van de Afzettingen van Calais die eveneens behoren tot de Westlandformatie, hebben daarentegen een 30 tot 40 maal grotere mate van voorbelasting ondergaan. De gevoeligheid voor zettingsvloeiing van een sedimentpakket hangt dus ten nauwste samen met de consolidatietoestand ervan. Voor het daadwerkelijk optreden van zettingsvloeiingen zijn daarnaast echter enige geomorfologische parameters bepalend, zoals de helling van het talud.

Het behoorde tot de taken van de Rijks Geologische Dienst om, op grond van de geringe lithologische verschillen tussen de Afzettingen van Calais en de Afzettingen van Duinkerke, in elke boring een eventuele grens tussen beide eenheden vast te stellen. Vervolgens dienden de voorkomens van de zandige Afzettingen van Duinkerke in de monding te worden gekarteerd. Naast de boormonsters werden hierbij wederom sonderingen geïnterpreteerd. De in de regel beter geconsolideerde zandige Afzettingen van Calais bleken veelal hogere conusweerstanden te vertonen. Met behulp van verdichting met trijnaalden, waardoor het poriënvolume in de slappe zanden wordt teruggebracht, kan de kwaliteit van de zandige Afzettingen van Duinkerke aanzienlijk worden verbeterd. Het bleek echter, dat de kwaliteit van de onderliggende pleistocene afzettingen terugliep liep wanneer

de trilnaalden daarin terecht kwamen. Ook om deze reden bleek een goed inzicht in de diepteligging van de bovenkant van de pleistocene pakketten noodzakelijk.

Behalve de bovengenoemde vragen werd aan de Rijks Geologische Dienst in het kader van hetzelfde project nog een groot aantal andere problemen voorgelegd. Zo was het bij voorbeeld noodzakelijk inzicht te verkrijgen in het toekomstige verloop van de relatieve zeespiegelstijging in verband met het vaststellen van de hoogte van de stormvloedkering en de dijken.

De relatieve zeespiegelstijging wordt veroorzaakt door de tectonische daling van het Noord-zeebekken en door de absolute stijging van de zeespiegel ten gevolge van het afsmelten van de ijskappen aan de polen na de laatste IJstijd. Het gezamenlijke effect van beide processen veroorzaakt nu, en naar verwachting ook de komende honderden jaren, een relatieve zeespiegelstijging van ca. 5 cm per eeuw. Wat de dijken betreft kan op een extra nadelig effect van verscheidene centimeters per eeuw gerekend worden ten gevolge van klink door belasting of van wateronttrekking aan de ondergrond.

Voortgang van het ontwerp van de Oosterschelde-kering

Sedert februari 1979 is het ontwerp van de Oosterschelde-kering niet meer in zijn geheel in het Driemaandelijks Bericht behandeld. Daarom passeren nu doelstelling, randvoorwaarden en uitgangsgeschiedenis nogmaals de revue.

Enkele onderdelen blijken nog niet bevredigend te zijn bestudeerd of te zijn gedetailleerd. Te denken valt aan de ontgrondingskuilen, de stortbedden, de verdichtingswerkzaamheden en de funderingsmat. Hoe de problemen ervoor staan, wordt nader toegelicht.

Prognose van de bodemligging van de Oosterschelde tijdens de bouw

De Oosterschelde-kering zal zelf, met het voortschrijden van zijn constructie, nieuwe hydraulische en morfologische condities oproepen, en met name de ligging van de bodem wijzigen. In een zogenaamd 'bouwfasen-onderzoek' wordt getracht hieromtrent betrouwbare prognoses op te stellen. Men gebruikt daarvoor de hydraulische modellen M1000 en M1001, het uitgangsmateriaal wordt geleverd door de gegevens over bodemontwikkeling over de jaren 1972-1977, voor zover mogelijk aangevuld met gegevens uit latere jaren. Het te onderzoeken gebied is voor dit doel geschematiseerd tot 160 000 vierkanten van 25×25 m. Door middel van extrapolatie beschikt men thans over de vermoedelijke bodemligging in 1982. Die is in de modellen ingebouwd. Met behulp van voorspellingen van de stroomsituatie in de jaren 1981-1983 laat men die zich nu ontwikkelen tot de bodemligging van 1984.

Ervaringen bij de uitvoering van grondverbeteringen in de as van de sluitgaten

Ongeveer 2,5 miljoen kubieke meter ondeugdelijke ondergrond moet uit de sluitgaten van de Oosterschelde-kering worden verwijderd, en vervangen door schoon zand. Anders zouden er ontoelaatbare zettingen optreden onder de pijlers.

Het wegzuigen van deze specie vereiste de verbouwing van een zandzuiger tot 'dustpan'-zuiger. Het schone zand werd aangevoerd met hopperzuigers. Als die hun lading lossen door het open zetten van de beunkleppen, legt het zand een verticale afstand af door 30 à 40 m water, waarin soms vrij sterke getijstroom heersen, alvorens de bodem te bereiken. Bovendien doen zich daar allerlei opwerfingsverschijnselen voor.

Pogingen om het cunet per locatie direct vol te storten, mislukten dan ook. Een hinkstap-sprong-procedure, waarbij gebruik werd gemaakt van de ruimere sedimentatiesfeer van het zand, heeft meer succes. Het zandverlies bedraagt toch nog wel 50%.

Het asfaltmestiek van de stortbedden nader onderzocht

De stortbedden, even buiten de as van de sluitgaten van de Oosterschelde-kering, worden uitgevoerd in lagen dakpansgewijs overlappend asfaltmestiek. Deze mestieklag behoeft niet met grote stenen tegen stroomaanval en drukverschillen te worden beschermd, zo lang hij maar goed en glad aaneensluit. Komen er gaten in, dan kan dat verdere erosie inleiden. Het blijkt nu dat de lagen slecht aaneenkleven wanneer

de contactlaag onder het zand zit. De 'Jan Heymans' die het stortbed legt, moet het werk van de vorige dag dan ook met spuitlansen opschoonen, voor er een nieuwe strook aan kan worden toegevoegd. Dat het asfaltmastiek zo nu en dan door overdruk van de bodem wordt opgetild, is geen bezwaar, zolang het maar niet hoger is dan 1 m.

Onderzoek en ontwerp van de damaanzetten en landhoofden

De overgangsconstructies tussen de vaste en de beweegbare delen van de Oosterschelde-afsluiting zijn nu definitief ontworpen. Ze zullen bestaan uit een damaanzet, een betonnen landhoofd, een brugligger en een breukstenen dam, tussen damaanzet en randpijler.

De bouw van de damaanzetten is in het werk-schema naar voren geschoven. De afstand tussen randpijler en landhoofd is ingekort tot 65 m, en zal met een betonnen brugligger worden overspannen.

De constructie van de verschillende onderdelen wordt in dit artikel nader toegelicht. Ook wordt aandacht besteed aan het omvangrijke model-onderzoek dat nodig is geweest om de verschillende componenten van de overgangsconstructie te dimensioneren op de ontwerpbelasting.

Eerste resultaten van het experimentele lozingsprogramma van de Volkeraksluizen

Tussen november 1979 en maart 1980 is de afvoer van zoet water op de Oosterschelde in de buurt van de Volkeraksluizen om experimentele redenen verdubbeld geweest, van 50 m³/s tot 100 m³/s. De proef maakte onderdeel uit van een onderzoek waarmee inzicht moet worden verkregen in de beheersbaarheid van het zoutgehalte op de Oosterschelde.

Ter wille van de leefgemeenschappen onder water, in de eerste plaats van de mosselen, is een aantal restrictieve voorwaarden vooraf gesteld. De toelaatbare waarden werden echter gedurende de proef niet significant onderschreden. Er zijn verscheidene grote meetcampagnes uitgevoerd om de gevolgen voor het zoutgehalte van de Oosterschelde vast te leggen. De resultaten worden nu uitgewerkt.

Ook werd voortdurend gecontroleerd hoe het stond met de conditie van de mosselen.

Deltagebied voor in opgeloste vorm of gebonden aan slib. In deze laatste vorm sedimenteren ze voor een belangrijk deel in onze benedenrivieren. Inventarisatie van de hoeveelheid zware metalen in het bodemslib, in vergelijking met een op grond van oude bodemonsters bepaald 'basisniveau', leidde tot overzichten als in figuur 1 en 2. In de Oosterschelde en de mond van de Westerschelde blijkt het niveau, in tegenstelling tot dat in alle andere wateren, nog gelijkenis te vertonen met het natuurlijke basisniveau.

Om de uitwerking van zware metalen op de levensgemeenschap in het water te kunnen inschatten is voorts gecombineerd biologisch/geochemisch onderzoek verricht, waarbij vier verschillende verschijningsvormen van de zware metalen werden onderscheiden, ieder met zijn specifieke invloed op planten en dieren al naar gelang de leefwijze. Het onderzoek heeft zich met name gericht op de accumulatie van metalen in mosselen en bruinwieren.

Geologisch onderzoek in de mond van de Oosterschelde

De Rijks Geologische Dienst heeft ten behoeve van de werken in de Oosterschelde veel bodemonderzoek gedaan, onder andere in het mondingsgebied. Door studies, waarnemingen en laboratorium-onderzoek konden profielen worden opgesteld van de stratigrafische opbouw van de bodem in de as van de stormvloedkering. Op oud-pleistocene lagen, die zich bevinden tussen N.A.P. - 39 en - 29 m, bevinden zich jongere holocene afzettingen, de zogenaamde 'Westlandformatie'. Daarin blijkt met name de Afzetting van Duinkerke slecht geconsolideerd en gevoelig voor zettingsvloeiingen. Nauwkeurige kartering van deze Afzetting was nodig om te markeren waar de zandbodem onder de stormvloedkering door trillen moet worden verdicht.

Zware metalen in het Deltagebied

Zware metalen komen in de wateren van het

Progress in the design of the Oosterschelde barrier

The design of the Oosterschelde barrier as a whole has not been discussed in the Driemaandelijks Bericht (Quarterly Review) since February 1979. The aims, the terms of reference and the basic data will therefore now be reviewed.

It is apparent that some elements have not been satisfactorily studied or set down in detail. This applies in particular to the excavations, the aprons, the compaction works and the foundation mattress, which items will be discussed below

Prognosis of the topography of the Oosterschelde during the construction stage

During the construction of the barrier, each stage of the construction will cause changes in the existing hydraulic and morphological conditions and, in particular, in the profile of the seabed. In a so-called 'construction research programme', data are being collected to be able to make reliable prognoses. The hydraulic models M 1000 and M 1001 are being used for this. The input material used are sounding data regarding the changing bed-profile, gathered between 1972 and 1977 and supplemented wherever possible by data collected in later years. The area to be investigated for this purpose has been divided into 160,000 squares of 25×25 metres. By extrapolating data, a prognosis could be made of the probable bed-profile in 1982. This prognosis has been used in the models. With the aid of current patterns predicted for 1981–1983, prognoses

are now being made about the probable bed-profile in 1984.

Experience gained with the soil improvements during construction in the centre line of the closure gaps

To prevent the occurrence of liquefaction 2.5 million m^3 of an inferior quality of subsoil will have to be removed from the closure gaps in the Oosterschelde barrier and subsequently be replaced by clean sand.

The dredging of this inferior subsoil required the modification of a suction dredger into a 'dustpan' dredger. The clean sand is delivered by hoppers. The sand is unloaded by opening the wells of the dredger. The sand descends vertically through 30 or 40 metres of water, in which there are sometimes rather strong tidal currents, before reaching the bed of the estuary. The drift of the sand and other turbulent phenomena cause great losses of sand during the dumping. As a consequence, efforts to fill the trenches at one go failed. A step by step procedure, by which a wider sedimentation sphere was created, gives a more satisfactory result. Nevertheless the loss of sand still amounts to 50 %.

Further investigation of the asphalt mastic layers used for the aprons

The aprons, situated just outside the centre line of the axis of the closure gaps of the barrier, will be built in overlapping layers of asphalt mastic, laid in the same manner as roof-tiles. If these layers are properly fitted they need not be

covered with quarry stones as a protective measure against current attacks or pressure differences. Should any perforation occur this could lead to scouring. It now appears that there is insufficient adhesion between the layers of asphalt mastic when the contact layer is covered by sand. As a consequence, the barge 'Jan Heymans', which lays the asphalt mastic for the aprons, has to clean the work done the previous day by hosing the last layer with jets before another layer can be added. The fact that, owing to seepage pressure, the layers of asphalt mastic can be pushed upwards is insignificant, as long as a limit of one metre is not exceeded.

Research and design of the dam approaches and the concrete land abutments

A final design has been drawn up for the interim structures to be built between the fixed and movable components of the Oosterschelde barrier. They will consist of a dam approach, a concrete land abutment, a bridge girder and rubble mould, to be built between the dam approaches and the end piers. In the working-scheme, priority has been given to the construction of the dam approaches. The distance between the end pier and the land abutment has been shortened to 65 metres and will be spanned by a concrete bridge girder. In this chapter further information is given about the construction of various components. Attention is paid to the extensive model research that was needed to calculate the exact dimensions of the various components of the interim construction with relevance to their load bearing properties.

First results of the experimental discharge-programme of the Volkerak-sluices

For experimental purposes, the discharge of fresh water into the Oosterschelde, near the Volkerak-sluices, was doubled from 50 m³ to 100 m³ between November 1979 and March 1980. The test forms part of an investigation programme, to gain insight into the control of the salinity of the Oosterschelde. For the benefit of the submarine biology, in particular the mussels, a number of restrictive pre-conditions was set. Throughout this test the permissible values were not significantly below the reference level. Extensive measurements were taken at various times to determine the impact on the salinity of the Oosterschelde. The results of these tests are now being worked out.

Simultaneously the condition of the mussels was constantly checked.

Heavy metals in the Delta area

Heavy metals occur in the waters of the Delta area either in a dissolved form or in cohesion with silt. The latter form mostly settles in the downstream rivers. An inventory of the amount of heavy metals in the silt of the bottom equated with a 'basic level', which was based on former bottom samples, led to surveys as shown in figures 1 and 2.

It appears that the level of heavy metals in the Oosterschelde and the mouth of the Westerschelde, in contrast with that found in all other waters, is still in conformity with the natural basic level.

A combined biological geochemical research team has tried to evaluate the effect of heavy metals on the biomass in the water. In this case field work data were collected of the specific influence of four different modes of heavy metals on the flora and fauna each in accordance with its own growth and behaviour pattern. The research was specifically aimed at the accumulation of heavy metals in mussels and green algae.

Geological research

In aid of the works in the Oosterschelde the Governmental Geological Service has spent much time and effort investigating the geological and morphological phenomena of the seabed, especially in the mouth of the estuary. Through studies, surveys and laboratory research the profiles could be determined of the stratigraphical layers of the bottom in the axis of the storm surge barrier. On the old pleistocene layers, situated between N.A.P. - 39 and - 29 m, more recent holocene formations have been found the 'Westlandformation'. It appears that the 'Deposit of Duinkerke' is poorly consolidated and susceptible to liquefaction. An accurate survey of the Deposit was necessary to mark the exact location under the barrier where the seabed must be compacted by vibration.

Vorderingen

In de periode 1 april–1 juli 1980

A. De werken van het Deltaplan

Philipsdam

De voorbereidingen voor de aanleg van een bouwput voor de Flakkeuse Spuisluis zijn gereedgekomen. Het wegverkeer Rotterdam–Zierikzee wordt thans over een omgelegde rijbaan geleid. Het zandlichaam van de toekomstige parallelweg is nagenoeg gereed. Hierin zijn nieuwe kabels en leidingen gelegd.

Het zandwingebied en de bouwput zijn ontgraven, behalve ter plaatse van de parallelweg.

De bouwput voor de jachtensluis werd verder ontgraven; begonnen werd met de aanleg van een bronbemaling.

Bij de duwvaartsluizen gaat men verder met het betonwerk. Rondom deze sluizen vinden ook grondaanvullingen plaats.

Inmiddels is het bestek voor de aanleg van de westelijke havendammen van de voorhaven en voor het maken van een bufferbekken aanbesteed. Er is met dit werkonderdeel ruim 15 miljoen gulden gemoeid. Met de uitvoering is een begin gemaakt. Over de Slikken van de Heen wordt alvast een damgedeelte aangelegd. Men is daar thans bezig met het aanbrengen van mijnsteen en met het ontgraven en opslaan van klei en bekledingsgrond. Het benodigde zand wordt gewonnen uit het zandwingebied in het Volkerak, en in het dijkvak gespoten.

Oesterdam

Het werkeiland voor de Bergse Diepsluis, en de bijbehorende werkhaven zijn op 1 juli klaar opgeleverd.

Op 10 juni werd het zuidelijke damvak aanbesteed. Van Oord Utrecht zal het werk uitvoeren, voor 12,5 miljoen gulden. Het moet op 1 april 1982 klaar zijn.

Bathse Spuisluis

Als eerste werkonderdeel voor de Bathse Spuisluis is op 18 maart de aanleg van een bouwput gegund, en wel aan Verboon Maasland, voor een bedrag van bijna 1,5 miljoen gulden.

Begin april werd gestart met de aanleg van een ringdijk. Het ophoozand is ontgraven ter plaatse van de bouwput, en droog verwerkt. Ook werd een verdediging aangebracht, bestaande uit mijnsteen, afgedekt met een kunststofweefsel en ten slotte bestort met steen 80/200 kg.

De Westerscheldedijk is ter plaatse van zijn verdediging ontstaan; de afkomende materialen zijn in depot opgeslagen.

De voorbelastingsterp is in ruw profiel aangebracht. Het benodigde ophoozand werd ontleend aan het tracé van het toekomstige Spuikanaal.

Oosterschelde-kering

Met het betonwerk voor de mattenfabriek en de bijbehorende kraanbaan is een begin gemaakt. Voorts werd een bij de accommodatie van de fabriek behorende brugkraan opgebouwd. De inrichting van het werkkerrein is nog niet klaar.

In de sluisgaten ging men verder met het leggen van bodembescherming, bestaande uit blokkenmatten, afgestort met staalslakken. In de verslagperiode werd ongeveer

263 000 m² gelegd.

Ook werd er 20 000 m² asfaltmastieken stortbed gelegd. De uitvoering van het laatste bestek in dezen is in juni ter hand genomen.

Een gedeelte van de grondverbetering in de stroomgeul Schaar kwam gereed. Daarna is voortgegaan met de grondverbetering in de Roompot; ook daar is het werk inmiddels gereedgekomen. Toenging men weer verder in de Schaar. In de Hammen is men gereed met het aanvullen van het cunet van de grondverbetering met schoon Oosterscheldezand. In deze periode werd al met al 1,4 miljoen m³ specie verwijderd, en 0,6 miljoen m³ aangebracht. Tijdens de werkzaamheden met de dustpanzuiger zijn bij Noordland en Neeltje Jans zettingsvloeiingen en grondafschuivingen waargenomen.

Het verdichtingswerk werd voortgezet, met name over een 26 m brede strook in de Hammen. Het resultaat voldeed aan de eisen. Eveneens werd een gedeelte in de as van de kering verdicht, in het gebied waar een grondverbetering werd uitgevoerd. Deze verdichting voldeed niet geheel aan de eisen. In verband hiermee werd aan de rand van de bodembescherming een aantal enigszins andere werkwijzen beproefd. Waarschijnlijk levert dit een verbeterd resultaat op.

Het blijkt echter dat de elektromotoren die de vibratoren aandrijven, worden overbelast, waardoor de motoren warmlopen. Overwogen wordt, de capaciteit te verhogen door het bijplaatsen van extra motoren. In het ontwerp van het verdichtingsschip werd hier destijds al rekening mee gehouden.

In mei werd begonnen met de aanleg van de damaanzet Schouwen. Tussen kaden van breuksteen en fosforslakken

werd tot N.A.P. - 7 m een mengsel van zand en grind gestort en onder water met een trilplaat verdicht.

Van de funderings-mattenrol-ponton werden in de verslagperiode het casco, de dieselgeneratoren, de baggerpompen, de matrollieren en de verhaallieren aanbesteed. Begonnen is met de inrichting van de werkhaven Roompot, waar breuksteen moet worden aangevoerd en verwerkt.

Ten behoeve van de aanleg van een ro-ro-steiger is een ponton aangekocht, waarvan thans het dak wordt versterkt. Rondom een aantal pijlers van

de hulpbrug naar het bouwdok Schaar zijn kratervormige verdiepingen waargenomen. Ze werden volgestort met stroombestendig materiaal.

Aanbouw van pijlers voor de Oosterschelde-kering. Stand van zaken in compartiment 1 op 1 mei 1980.

