

Driemaandelijks Bericht
nummer 86, november 1978

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadelaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr Plantijnstraat 1
's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 20,- per jaar
of f 5,50 per nummer

Inhoud

De probabilistische benadering van het ontwerp
van de stormvloedkering. III
Natuurrandvoorwaarden en belastingen 279

Aanstaande veranderingen in de getijbeweging
op het Oosterschelde-bekken 284

Stormvloedkering in de Oosterschelde

Aanzanding bij de drempelopbouw 291

Het doorstroomprofiel 298

Filteronderzoek ten behoeve van het drempel-
ontwerp 301

Hydraulisch onderzoek naar de lengte van de
bodembescherming 305

Rapportage van studies en voorbereidingen,
eerste halfjaar 1978 309

Proeven met de tweede schuif van de storm-
vloedkering in de Hollandse IJssel 311

Aanpassingswerken in het Zuidelijk Delta-
gebied 317

Samenvattingen/Summaries 321

Vorderingen 326



De probabilistische benadering van het ontwerp van de stormvloedkering. III

Natuurrandvoorwaarden en belastingen

De probabilistische benadering van het ontwerp van de stormvloedkering is er onder meer op gericht, de waterstanden en de golfbeweging die zich aan de zeezijde van het kunstwerk zullen voordoen, op statistische wijze te verdisconteren in de sterkte-eisen waaraan de stormvloedkering moet voldoen. We geven dit keer een beschrijving van de manier waarop statistische gegevens aan het gedrag van de zee worden ontleend, en beschrijven vervolgens hoe de statistiek aangaande die natuurrandvoorwaarden wordt vertaald in een statistische verdeling van de krachten op de stormvloedkering.

De natuurrandvoorwaarden vormen een van de belangrijkste uitgangspunten bij het ontwerp van de stormvloedkering. We moeten dan met name denken aan het gelijktijdig optreden van hoge waterstanden en van een sterke golfbeweging. Om een deugdelijke stormvloedkering te bouwen, moet men weten welke situaties men onder ogen moet zien. Dit kunnen ook omstandigheden zijn die op dit moment nog nooit zijn voorgekomen.

In de jaren die volgden op de ramp van 1953 kwam de Deltacommissie tot de slotsom dat toekomstige ontwerpen niet mochten zijn gebaseerd op de hoogste in het verleden waargenomen stormvloedstanden, maar dat men moest trachten te bepalen welke waterstanden in de toekomst zouden kunnen optreden. Er werd een zeker wetmatig verband gevonden tussen de hoogte van een stormvloedstand en de kans dat hij zal optreden. Zet men de waargenomen hoge waterstanden namelijk uit op zogenaamd waarschijnlijkheidspapier, dan blijken ze vrijwel op een rechte lijn te liggen, die men de hoogwateroverschrijdingslijn noemt (fig. 1). Als dit verband eenmaal vaststaat kan men de lijn door de punten van waarneming ook doortrekken voor-

bij het waarnemingsgebied, en zo kan een voorspelling worden gedaan over de kans van voorkomen van nog niet waargenomen zeer hoge stormvloedstanden.

De hoogwateroverschrijdingslijn werd de basis van alle dijk- en damontwerpen die ingevolge de Deltawet tot stand kwamen en zullen komen, en dus ook van de stormvloedkering in de Oosterschelde.

Papier is echter geduldig. De vraag rijst of het natuurgeweld zich aan statistische berekeningen gebonden voelt. Zijn waterstanden van N.A.P. + 5 m op de Noordzee nog wel mogelijk? Naast de statistiek is ook een fysische extrapolatie nodig gebleken. Ze werd uitgevoerd door het K.N.M.I. De verschijnselen die we hier bespreken, worden in hoofdzaak veroorzaakt door enerzijds het astronomisch getij en anderzijds door de windopzet die het gevolg is van krachtige stormvelden boven de Noordzee.

Berekeningen in mathematische modellen hebben uitgewezen dat waterstanden zoals die van 1953 inderdaad overtroffen kunnen worden. Het heeft dus wel degelijk zin, rekening te houden met nog nooit gemeten stormvloedstanden. Behalve de waterstanden stelt echter ook de golfbeweging eisen aan de stormvloedkering. De totale belasting wordt veroorzaakt door golven en door het verval over de kering, dat wil zeggen het verschil tussen de buiten- en de binnenwaterstand.

We moeten dus ook weten welke golfhoogten mogelijkerwijs optreden bij een bepaalde stormvloedstand.

Er is dienaangaande vrij veel waarnemingsmateriaal. Vanaf 1966 zijn bij de golfmeetpalen OS IV en OS IX de significante golfhoogten gemeten die in het tracé van de stormvloedkering optreden onder stormomstandigheden. 'Signifi-

1.

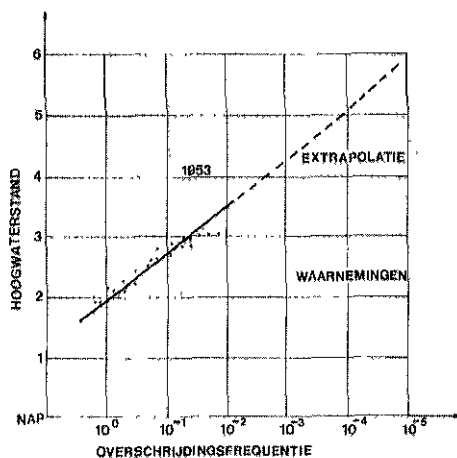
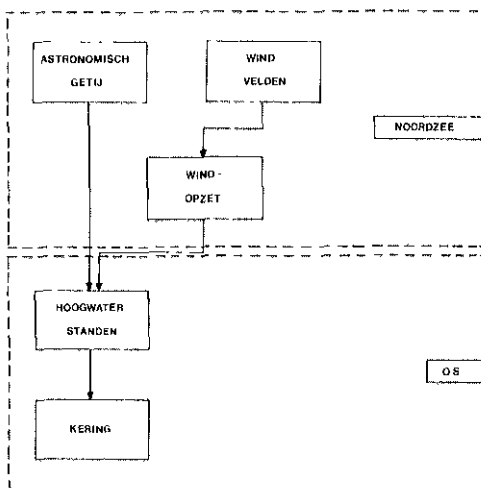


Fig. 1. De hoogwateroverschrijdingslijn

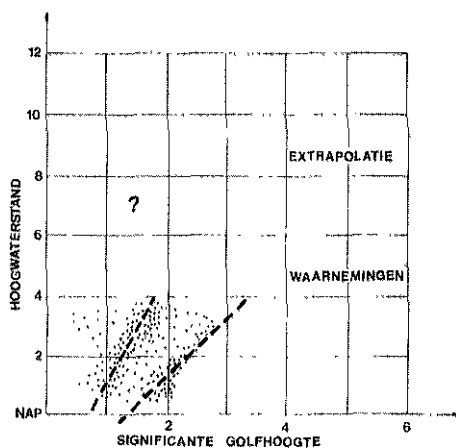
Fig. 2. Hoofdschema van de samenhang der natuurrandvoorwaarden

Fig. 3. De extrapolatie van de significante golfhoogten bij bepaalde waterstanden; het waarnemingsmateriaal biedt als uitgangspunt een diffuse puntenwolk

2.



3.



cant' noemt men het gemiddelde van het hoogste derde deel van de golven die gedurende een registratieperiode worden waargenomen. De golfhoogten, uitgezet tegen de waterstanden waarbij ze optreden, vertonen opnieuw een wetmatigheid, in die zin dat de maximale golfhoogte toeneemt met de waterstand. In de grafiek (fig. 3) verschijnt een puntenwolk, waarvan het dichtste gedeelte ligt midden tussen de twee assen. De moeilijkheid is echter dat de waarnemingen niet verder reiken dan hoogwaterstanden van N.A.P. + 3 m.

Toch wordt een uitspraak gevraagd over de verdeling van de significante golfhoogte bij stormvloedstanden van N.A.P. + 5 m en hoger. De extrapolatie is nu geen eenvoudige zaak, want er is geen sprake van een lijn, maar van een heel veld dat geëxtrapoleerd moet worden. Bovendien zijn er aanwijzingen dat de puntenwolk bij waterstanden boven N.A.P. + 3 m van vorm verandert.

Om in dit probleem een opening te vinden, bestudeert men, op welke wijze de golven in de monding van de Oosterschelde ontstaan. Wij weten dat deze golven deels door lokale windvelden worden opgewekt in het tamelijk ondiepe gebied nabij de kust, de zogenaamde onderwaterdelta. Een ander deel is afkomstig uit de Noordzee. Daar worden golven opgewekt op diep water. Na verloop van tijd bereiken zij het bankengebied voor de Oosterscheldemond, dat er een dempende en vervormende werking op uitoefent. De deïningsenergie die dit filter weet te passeren, vormt samen met de op de voordelta ontstane golven het golfbeeld in de Oosterschelde. Beide componenten van het golfbeeld zijn opgenomen in het model dat voor de bestudering van deze verschijnselen is ontworpen.

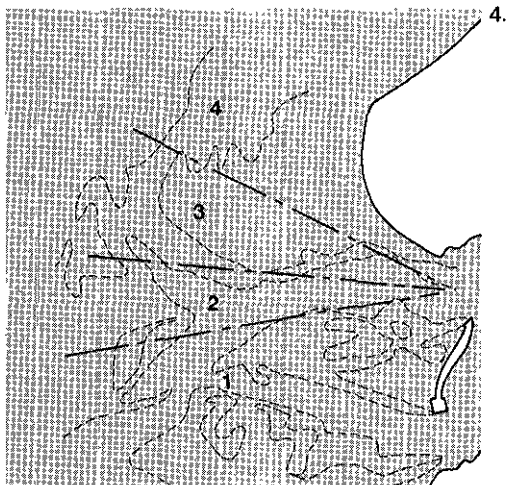


Fig. 4 Schematisering van het voorland tot een model met vier richtingssectoren

Fig. 5. Analyse van de randvoorwaarden in hun onderlinge betrekking

Het interessantste deel van het model, en ook het lastigste, vormt de voordelta voor de Oosterscheldemonding, dat als een filter werkt op de deiningsenergie vanuit de Noordzee.

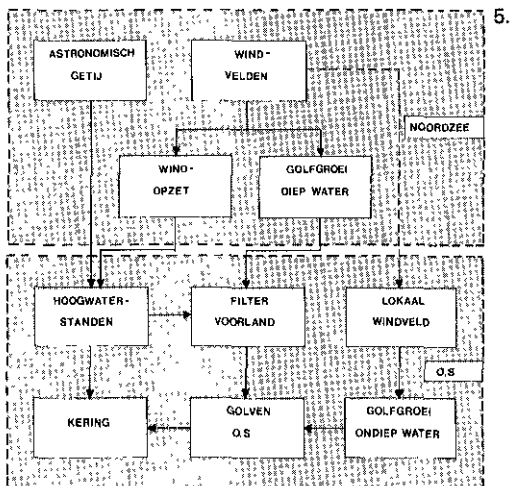
In het model is de voordelta geschematiseerd in vier richtingssectoren. In elke sector speelt een groot aantal verschijnselen een rol: energie-vermindering door breking en bodemwijziging, en energie-verdeling door diffractie en stroomrefractie. Het model kwantificeert de energie-vermindering volgens gangbare formules, en de energie-verdeling middels bepaalde coëfficiënten. De resultaten van deze werkwijze zijn beemoedigend.

Nu is het zo, dat het energieverlies tengevolge van bodemwrijving en breking sterk samenhangt met de waterdiepte. Met andere woorden, de hoeveelheid energie die vanuit zee via de banken in de Oosterschelde doordringt, varieert met de waterstand boven de platen. De waterstand op zijn beurt hangt af van het astronomisch getij en van de windopzet.

De andere component van het golfbeeld, de lokaal opgewekte golf, varieert met de windsnelheid nabij de Oosterscheldemonding en wordt begrensd door de maximaal beschikbare striklengte boven de banken.

Het model, waarin het astronomisch getij en de windvelden boven de Noordzee en bij de Oosterscheldemond worden ingevoerd, stelt de onderzoekers er toe in staat het gezamenlijk optreden van hoogwaterstanden en daarbij voorkomende significante golfhoogten te voorspellen.

Uitgaande van windvelden boven de Noordzee, waarvan de waarschijnlijkheid is vastgelegd in windstatistieken, zijn zowel de windopzet als de golfgroei op het diepe water te berekenen. De windopzet geeft samen met het astronomisch



getij de stormvloedstand. De kans van optreden daarvan kan worden getoetst aan de hoogwateroverschrijdingslijn. De diepwatervolgen passeren een filter waarvan de eigenschappen afhangen van de stormvloedstand. De na het filter resterende deiningsenergie vormt vervolgens samen met de lokaal opgewekte golfenergie het golfbeeld dat ter plekke behoort bij de stormvloedstand.

Een en ander vitaal gegeven is de kansverdeling met betrekking tot de binnenwaterstanden. Het basismateriaal wordt in dezen gevormd door de laagwaterstanden die voorafgaan aan zulke hoge stormvloedstand dat de stormvloedkering moet worden gesloten. Uit de waarnemingen dien-aangaande is materiaal geselecteerd, dat na correctie voor de effecten van het kunstwerk zelf, tot een statistische verdeling werd getransformeerd.

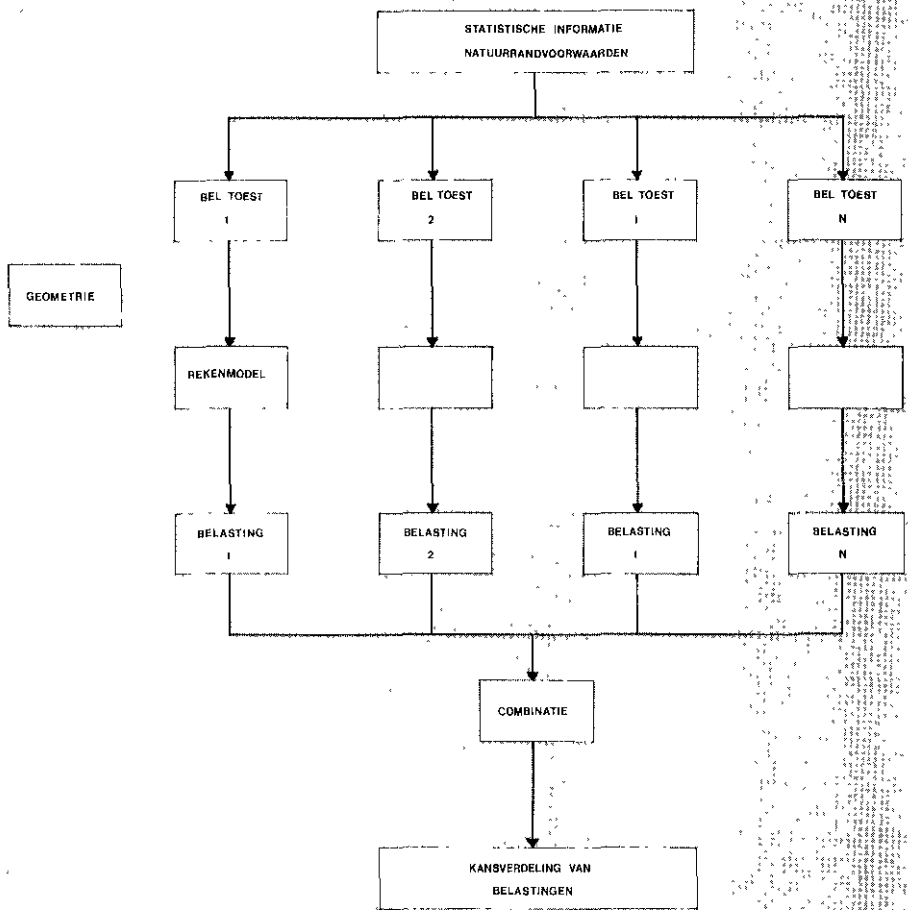
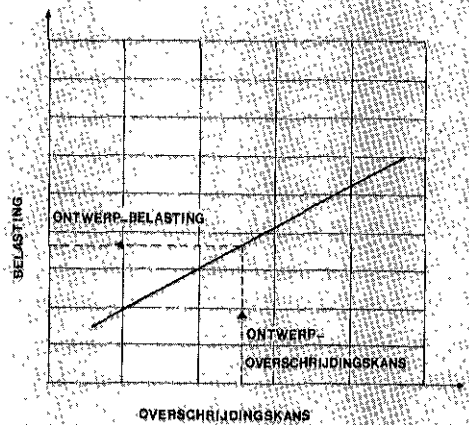


Fig. 6. Van natuurrandvoorwaarden naar belastingen, via een rekenmodel

7.

Fig. 7. De ontwerpbelasting met de daarbij behorende overschrijdingskans



Zo werd de beschikking verkregen over statistische kansverdelingen met betrekking tot stormvloedstanden op zee, golven op zee, en waterstanden op de Oosterschelde.

Kent men de randvoorwaarden, dan is er nog een rekenmodel nodig om daaruit de belastingen af te leiden. In dit model zullen ook de karakteristieke vormeigenschappen van de stormvloedkering moeten worden opgenomen.

Wat de probabilistische benadering nu, in onderscheiding van vroegere methodieken, probeert, is een wiskundig fundament te geven aan wat iedereen intuïtief al aanvoelt, namelijk dat de kans op gelijktijdig optreden van zeer hoge waterstanden op zee, zeer lage binnenwaterstanden op de Oosterschelde en maximale golfgang, zeer klein is. Om dit te bewijzen wordt langs mathematische weg de statistische correlatie tussen de randvoorwaarden en hun kansverdelingen in beschouwing genomen. Men trekt in de berekening alle mogelijke combinaties van natuurrandvoorwaarden en hun respectieve kansen van voorkomen. Voor iedere combinatie worden de golf- en de vervalbelasting berekend.

De golfbelasting wordt bepaald uit de waterstand aan de zeezijde en het op zee aanwezige golfveld. Het golfveld wordt door middel van een zogenaamde Fourier-analyse gesplitst in een groot aantal regelmatige sinus-golven; voor elke sinus wordt de belasting berekend. *Sommatie van de deelbelastingen geeft vervolgens de totale belasting weer die optreedt als gevolg van het op zee aanwezige golfveld. De*

vervalbelasting volgt uit het verschil tussen de buiten- en de binnenwaterstand.

De kans op de berekende golf- en vervalbelasting is gelijk aan de kans van optreden van een combinatie van die natuurrandvoorwaarden die deze belastingen veroorzaken.

Voert men dit soort berekeningen uit voor een groot aantal combinaties van natuurrandvoorwaarden, dan komt men uiteindelijk tot een algehele kansverdeling van de belastingen. Van de verkregen kennis kan op verschillende manieren gebruik gemaakt worden, afhankelijk van de methode die men toepast om de veiligheid van de constructie te beoordelen. De meest gehanteerde methode is op het ogenblik de zogenaamde semi-probabilistische methode, die gebruik maakt van karakteristieke waarden voor de sterkte en de belastingen, in samenhang met partiële veiligheidsfactoren.

De ontwerpwaarde van de belasting kan worden vastgesteld aan de hand van de kansverdeling. De ontwerpbelasting is dan die belasting die een van te voren vastgestelde overschrijdingskans bezit. In het rapport van de Deltacommissie wordt die kans voor de stormvloedkering in de Oosterschelde vastgelegd op gemiddeld één in de vierduizend jaar.

Een nog beter gebruik van de kansverdeling kan echter worden gemaakt bij methoden waarbij in principe van alle parameters – zowel die met betrekking tot de sterkte als die met betrekking tot de belasting – de statistische verdeling wordt berekend. Dit komt aan de orde in een volgend artikel.

Aanstaande veranderingen in de getijbeweging op het Oosterschelde-bekken

De getijbeweging op het Oosterscheldebekken gaat ten gevolge van twee belangrijke ingrepen veranderen. Niet alleen wordt het oppervlak van het bekken door de bouw van de Philipsdam en de Oesterdam verkleind, maar ook zal het doorstroomprofiel in de mond van de Oosterschelde afnemen door de bouw van de stormvloedkering. In dit artikel gaan we eerst na welke veranderingen er zullen optreden onder normale getijomstandigheden. Daarna zal aandacht worden geschonken aan de veranderingen die zich onder stormomstandigheden in de waterbeweging zullen voordoen. Bij dit laatste komt het beheer van de stormvloedkering aan de orde.

De wijzigingen die zich in de toekomst in de getijbeweging zullen voordoen, kunnen al vooraf worden bestudeerd met behulp van modellen. Voor de Oosterschelde beschikken we over één hydraulisch model en twee wiskundige modellen.

Het hydraulische getijmodel M 1000 bevindt zich in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst. De bedoelde wiskundige getijmodellen zijn het ééndimensionale model IMPLIC en het tweedimensionale model RD II. Deze modellen zijn met behulp van metingen uit de natuur gekalibreerd voor de huidige situatie. Na de ijking kan met deze modellen worden voorspeld welke veranderingen er in de nieuwe situatie te verwachten zijn. De wijzigingen die in het navolgende worden beschreven, zijn gebaseerd op uitkomsten van het ééndimensionale getijmodel IMPLIC, waarin het geulenstelsel van de Oosterschelde is geschematiseerd tot een vertakt ééndimensionaal netwerk.

De IMPLIC-resultaten stemmen in het algemeen trouwens goed overeen met die van de twee andere modellen.

De regering heeft in september 1977 beslist dat

de stormvloedkering een effectief doorstroomprofiel dient te verkrijgen van 14 000 m², zodat het gemiddeld verticaal getijverschil te Yerseke 2,70 m zal bedragen. Om dit gemiddelde getijverschil onder vrijwel alle omstandigheden te kunnen garanderen is de netto doorstroomopening vergroot met een aantal noodzakelijke reserves. Ten eerste is er enige reserve nodig in verband met het onderhoud van de stormvloedkering. Er moeten namelijk gedurende langere tijd enkele schuiven gesloten kunnen blijven wegens onderhoudswerkzaamheden. Daarnaast moet de kering overcapaciteit hebben om de stroomverdeling over de sluitgaten te kunnen corrigeren ten behoeve van de morfologische ontwikkeling. Om dit te bereiken moeten bepaalde secties – tijdelijk – kunnen worden gesloten, zonder dat dit gaat ten koste van het netto doorstroomprofiel. Tenslotte moet er reserve aanwezig zijn in verband met onzekerheden in de afvoercoëfficiënt van de stormvloedkering en mogelijke onnauwkeurigheden in de gebruikte getijmodellen.

De resultaten die in dit artikel worden gepresenteerd gelden voor een effectief doorstroomprofiel van 14 000 m².

Veranderingen onder normale getijomstandigheden

Nabij de stormvloedkering – die het doorstroomprofiel in de mond van de Oosterschelde terugbrengt van 80 000 tot 14 000 m² – zijn op grond van de IMPLIC-berekeningen duidelijke veranderingen in de getijbeweging waar te nemen.

Figuur 3 laat deze veranderingen zien. Allereerst wordt het verloop van de waterstand aan de zeezijde en de Oosterschelde-zijde van de

stormvloedkering gegeven voor gemiddeld getij. Het getijverloop aan de zeezijde komt ongeveer overeen met het gemiddelde getij in de huidige situatie, maar in het getijverloop aan de Oosterschelde-zijde van de kering treedt een faseverschuiving op, dat wil zeggen dat de tijdstippen van hoog- en laag water enige tijd later vallen dan op zee. Bovendien is het getijverschil – het verschil tussen hoog water en laag water – aan de Oosterschelde-zijde kleiner dan aan de zeezijde van de stormvloedkering. Dit wordt veroorzaakt door de vernauwing van het doorstroomprofiel. Het gevolg is dat er gedurende het getijverloop een voortdurend wisselend waterstandsverschil over de stormvloedkering staat. De hoogste waterstand treedt beurtelings op aan de zeezijde en aan de Oosterschelde-zijde. De amplitude van het verval ligt voor gemiddelde getijomstandigheden in de orde van 75

cm. Dit verval zorgt voor hoge stroomsnelheden door de openingen in de stormvloedkering. Gelijktijdig met het grootste verval treden ook de grootste snelheden op; de snelheden zijn dus in fase met het verval. Figuur 5, waar de nu optredende stroomsnelheden zijn ingetekend naast die van toekomstige situatie, laat zien dat er sprake is van een aanzienlijke toename van de snelheden. Die hoge snelheden treden echter alleen op vlak bij de stormvloedkering. Kijken we namelijk naar de veranderingen in de snelheden in een punt 2 km meer naar het oosten (figuur 6), dan valt allereerst op dat de verwachte snelheden daar veel lager zijn dan die bij stormvloedkering. Verder blijken ze ook lager te zijn dan in de tegenwoordige toestand. De stroomsituatie zal in een strook van 1 km aan weerszijden van de stormvloedkering, ook onder normale getijomstandigheden, als gevaarlijk

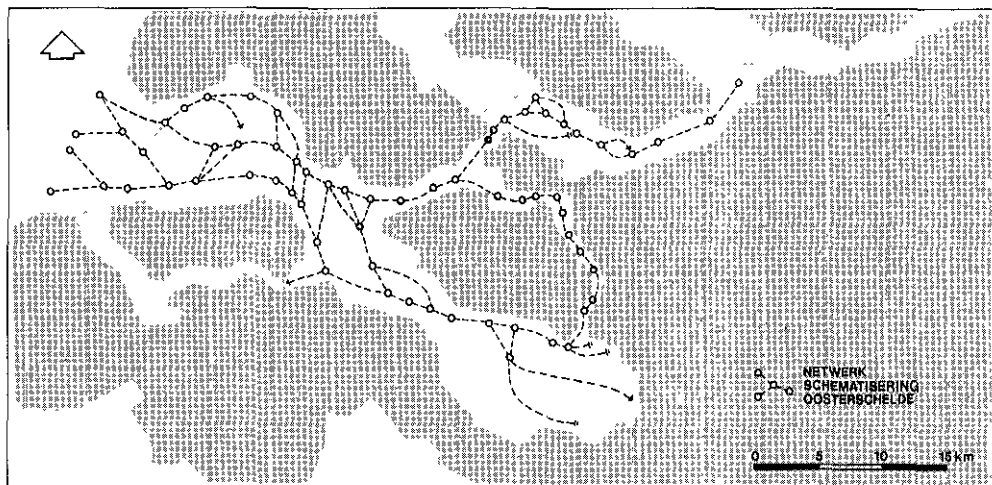


Fig. 1. Schema van het één-dimensionale IMPLIC-model voor de Oosterschelde

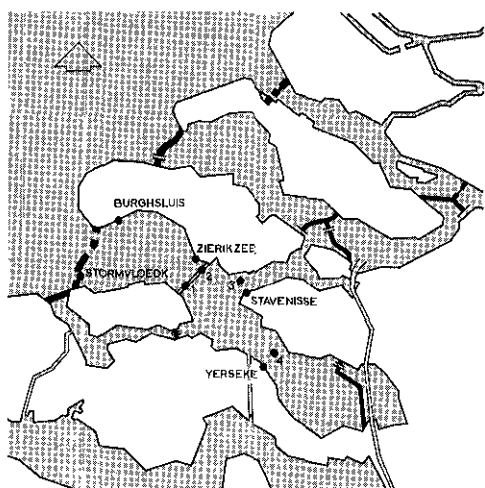
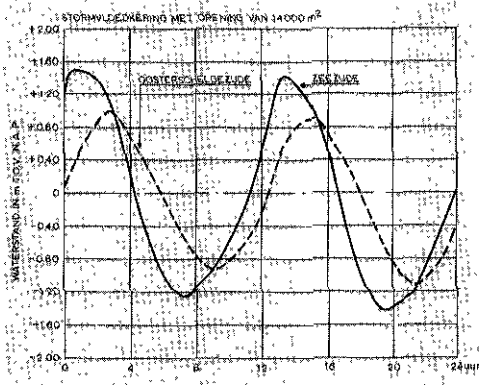
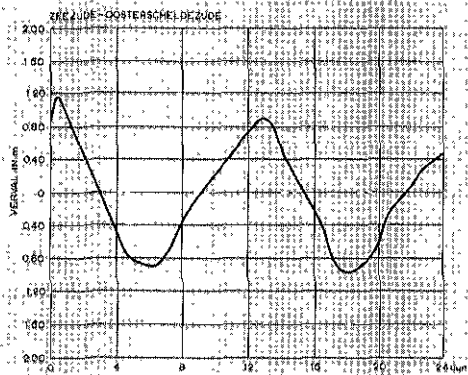


Fig. 2. Punten in het Oosterscheldebekken waarvoor de nieuwe situatie met stormvloedkering is verkend

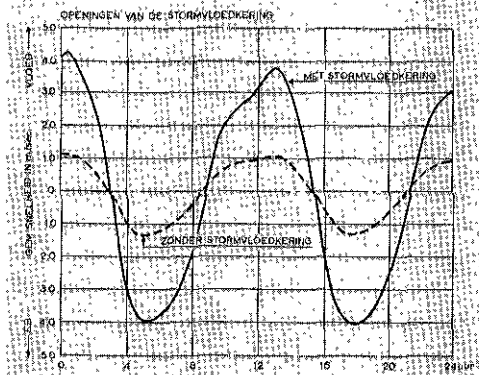
3.



4.



5.



6.

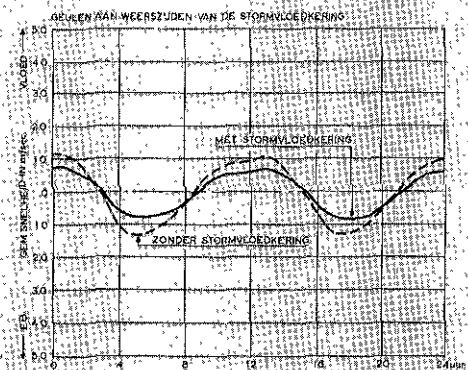


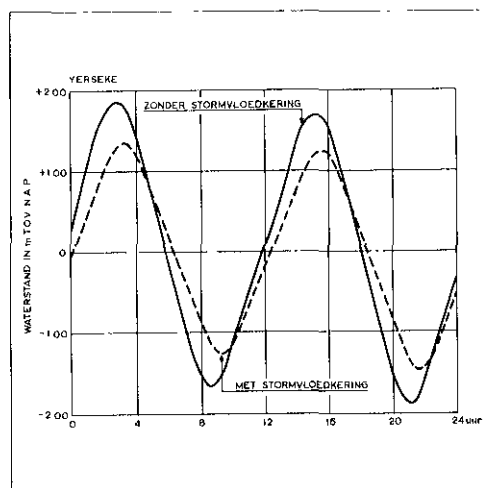
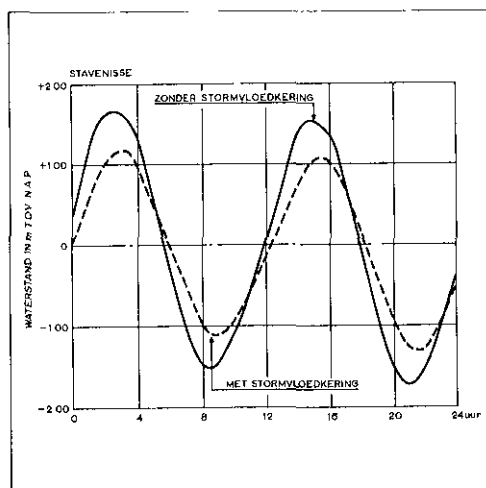
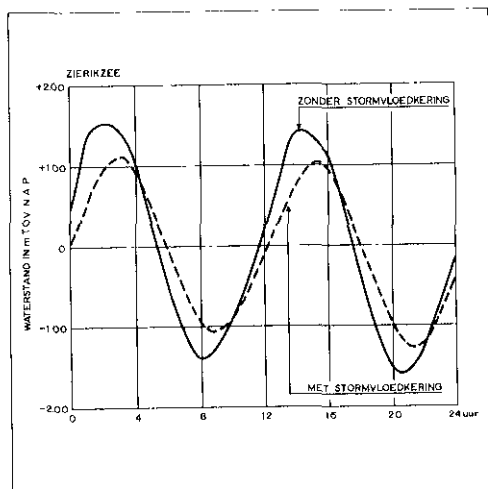
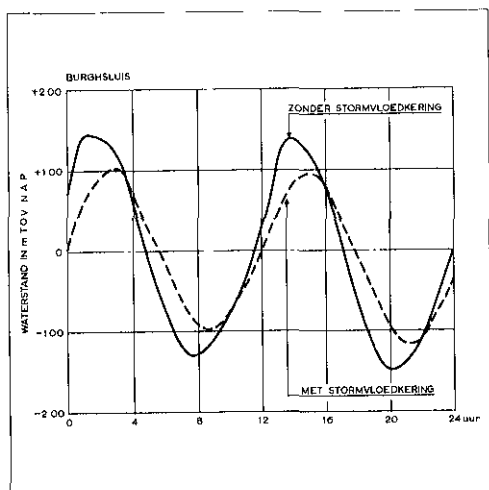
Fig. 3, 4, 5, 6. Vergelijking van het verticale getij aan de buiten- en de binnenzijde van de stormvloedkering. Verloop van het verval dientengevolge. Gemiddelde snelheden in de doorstroomopeningen van de stormvloedkering en in de geulen aan weerszijden ervan.

moeten worden beschouwd voor de recreatievaart, met name voor zelschepen en schepen met gering motorvermogen, die door de stroom naar de stormvloedkering kunnen worden gevoerd. De stroomsnelheden zijn hier hoog; bovendien ligt de onderzijde van de betonnen balken op N.A.P. + 1 m, zodat het onmogelijk is, door de kering heen te varen. Evenals bij de uitwateringssluizen in het Haringvliet zal dan ook in de omgeving van de kering een vaar- en zwemverbod moeten worden ingesteld. Verder kan worden gedacht aan het aanbrengen van voorzieningen, vangkabels bijvoorbeeld, om in moeilijkheden geraakte schepen, die naar de stormvloedkering drijven, te kunnen opvangen. Bij de Haringvlietssluisen is daar reeds enige ervaring mee opgedaan. Ook verder van de stormvloedkering in het Oosterscheldebekken verandert de getijbeweging.

Figuur 7 laat het gemiddelde verticale getij zien in de plaatsen Burghsluis, Zierikzee, Stavenisse en Yerseke, voor de huidige en de toekomstige situatie. Ook hier treedt in de nieuwe situatie een faseverschuiving op en wordt het getijverschil kleiner, evenals juist achter de stormvloedkering. De reductie in het getijverschil blijft bij gemiddeld getij vrijwel overal in het Oosterscheldebekken gelijk.

Niet alleen de verticale getijbeweging ondergaat wijzigingen, ook de stroomsnelheden zullen veranderen. Figuur 8 geeft voor de huidige en de toekomstige situatie stroomsnelheden in vier punten van de Oosterschelde. De beide eerste punten liggen in de noordelijke en zuidelijke hoofdgeul nabij de Oosterscheldebrug, het derde punt in de raai Stavenisse-Ouwerkerk en het vierde punt in de raai Yerseke-Gorishoek. In de beide eerste punten nemen we weer een fase-

Fig. 7. Veranderingen in het verticale getij op een aantal plaatsen, ten gevolge van de aanleg van de stormvloedkering



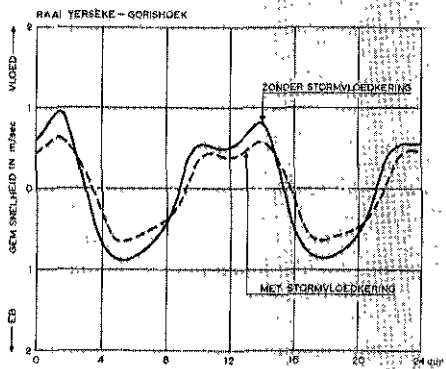
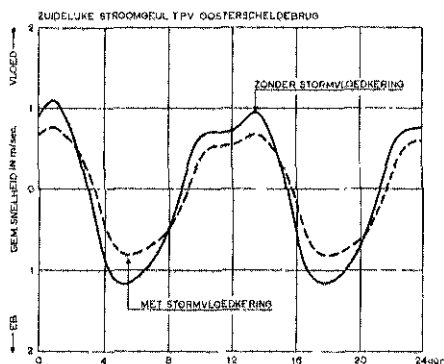
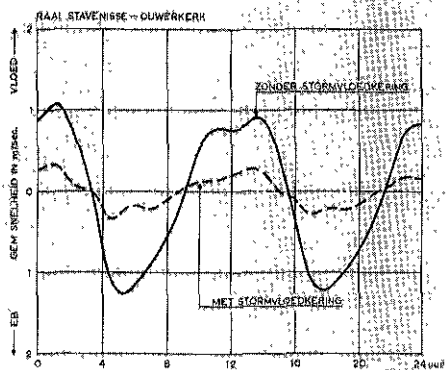
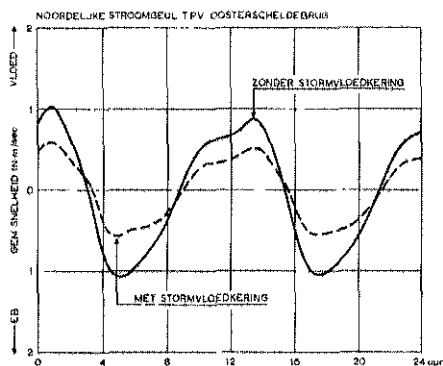


Fig. 8. Verandering van de stroomsnelheden op vier punten in het Oosterscheldebekken

verschuiving waar. De reductie van de gemiddelde snelheden is in de noordelijke stroomgeul sterker dan in de zuidelijke stroomgeul. Dat is ook wel te verklaren. De noordelijke stroomgeul vormt in hoofdzaak de verbinding met de noordelijke tak Keeten, Mastgat, Zijpe. Door de aanleg van de Philipsdam wordt het bergende oppervlak of anders gezegd het kombergingsgebied van de noordelijke tak sterk verkleind. Er hoeft dus minder water toegevoerd te worden om een bepaalde hoogwaterstand te bereiken. De stroomsnelheden nemen daardoor af. Ook voor de zuidelijke tak, die een verbinding vormt met de kom van de Oosterschelde wordt het kombergingsgebied kleiner: het gedeelte achter de Oesterdam wordt namelijk getijvrij. Het verlies in komberging is hier in verhouding echter aanzienlijk kleiner. Dit verklaart waarom de stroomsnelheden in de noordelijke hoofdgeul bij de Ooster-



scheldebrug sterker afnemen dan die in de zuidelijke hoofdgeul. In versterkte mate vindt men dit effect terug in de raai Stavenisse-Ouwerkerk. De stroomsnelheden aan de ingang van de tak Keeten, Mastgat, Zijpe, nemen sterk af, maar in de raai Yerseke-Gorishoek, de ingang tot de kom van de Oosterschelde, is dit in veel mindere mate het geval.

Veranderingen onder stormomstandigheden

Bij storm uit westelijke richtingen zal er als gevolg van het windveld boven de Noordzee over het algemeen een verhoging van de waterstand optreden in de mond van de Oosterschelde. Dat noemt men de stormopzet. In de huidige situatie dringt deze stormopzet samen met het getij ongehinderd het Oosterscheldebekken binnen. Nadat de stormvloedkering zal zijn voltooid,

komt daar verandering in. Daarvoor zijn twee oorzaken aan te wijzen. Ten eerste zullen de stormvloedstanden die in de mond van de Oosterschelde optreden door de plaatselijke profielvernauwing van de open stormvloedkering in hoogte worden gereduceerd. In de tweede plaats zal het beheer van de stormvloedkering erop gericht zijn hoge waterstanden op het Oosterscheldebekken te vermijden, dus als men hoge stormvloedstanden verwacht zal de stormvloedkering worden gesloten.

In de huidige situatie gelden overschrijdingsfrequentielijnen voor verschillende plaatsen langs de Oosterschelde. Als voorbeeld is in figuur 9 de overschrijdingsfrequentielijn voor Burghsluis gegeven. Deze figuur laat de relatie zien tussen de waterstand en de kans op het aantal malen per jaar dat hij wordt overschreden. De open stormvloedkering in de mond van de Oos-

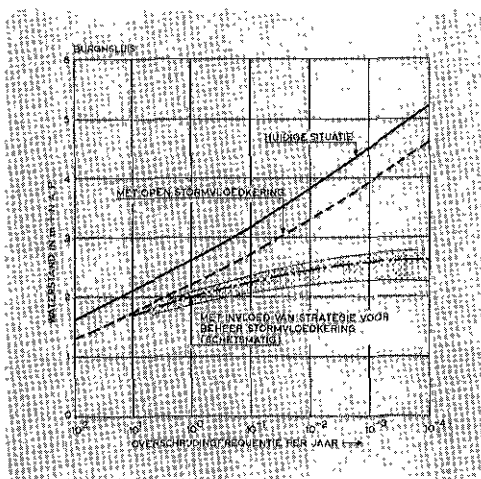


Fig. 9. Overschrijdingsfrequentielijn te Burghsluis bij verschillende situaties

terschelde vernauwt het doorstroomprofiel zoals gezegd van 80 000 tot 14 000 m². Dit werkt reducerend op de waterstanden op het Oosterscheldebekken. In figuur 9 is de overschrijdingsfrequentielijn voor Burghsluis ingetekend zoals die zou worden indien de stormvloedkering altijd open zou staan. Het blijkt dat de reducerende werking van de stormvloedkering minder wordt bij toenemende waterstand. Dit kan als volgt worden verklaard. Een stormvloed, bestaande uit stormopzet en getij, kan ontleed worden in golfcomponenten met verschillende perioden.

In de stormopzet zitten overwegend golfcomponenten met tamelijk grote perioden, en die worden slechts in geringe mate door de stormvloedkering gedempt. In het getij zitten golfcomponenten met minder grote perioden, die sterker door de stormvloedkering worden gedempt. Naarmate de stormvloedstand hoger wordt, neemt het aandeel van de golfcomponenten met grotere perioden toe. Vandaar dat de reducerende werking van de stormvloedkering bij hogere waterstanden minder wordt. De overschrijdingsfrequentielijn voor de open stormvloedkering in figuur 9 is dan ook een theoretische lijn. Immers, om hoge waterstanden op het Oosterscheldebekken te vermijden zal de

stormvloedkering juist bij verwachte hoge stormvloedstanden worden gesloten. Met andere woorden, het verloop van de overschrijdingsfrequentielijn zal worden beïnvloed door het beheer van de stormvloedkering. Ter illustratie is ook dit in figuur 9 ingeschetst. Aan deze ingeschetste lijn mag geen kwantitatieve waarde worden toegekend; hoe hij in werkelijkheid verloopt, hangt samen met de richtlijnen voor het beheer van de stormvloedkering en met de nauwkeurigheid van de voorspelling van stormvloedstanden. Vast staat wel dat de bovengrens van de toelaatbare waterstanden zo zal worden gekozen, dat de Deltaveiligheid voor het achterliggende gebied gewaarborgd blijft.

De richtlijnen voor het beheer van de stormvloedkering zijn nog in studie in het BARCON-project (Bericht 81, augustus 1977). Die studie heeft het karakter van een beleidsanalyse, waarin de effecten van verschillende mogelijke beheersvormen op de veiligheid, het milieu, de waterhuishouding en andere gebieden worden onderzocht. De resultaten van deze studie zullen dienen om te zijner tijd een verantwoorde keuze mogelijk te maken uit de verschillende denkbare richtlijnen voor het beheer van de stormvloedkering.

Stormvloedkering in de Oosterschelde

1. Aanzanding bij de drempel-opbouw

Bij de aanleg van de stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde zal over de hele lengte van het tracé een sleuf worden gebaggerd. In die sleuf, ook wel cunet genoemd, wordt een funderingsbed aangebracht. Dat funderingsbed moet men zich voorstellen als een laagsgewijs uit zand, grind en vervolgens steen opgebouwd filter. Daarbovenop worden dan de pijlers geplaatst. Daarna wordt, om de pijlervoeten heen, de drempel van de stormvloedkering verder opgebouwd. Dit hele werk neemt meer dan één seizoen in beslag. Ook tussen de verschillende uitvoeringsfasen kan lange tijd verlopen. Zelfs tussen het aanbrengen van twee opeenvolgende filterlagen van het funderingsbed zal altijd wel een aantal dagen voorbijgaan. In die tussentijd staat de sedimentbeweging in de Oosterscheldemond natuurlijk niet stil. Er zal ongetwijfeld aanzanding optreden, in de vorm van een laag losgepakt materiaal, dat door stromingen boven de bodem bovendien kan worden vervormd tot het patroon van ribbels, met eventueel kale stukken ertussen. Ook de bodem van de sleuf en de eerste filterlagen kunnen op die manier worden vervormd.

De aanzandingen kunnen verschillende handelingen bij de opbouw van de stormvloedkering ongunstig beïnvloeden. Ook kunnen ze veroorzaken dat gedeelten van de constructie niet aan de eisen voldoen en steeds gebrekkelijker gaan functioneren. Zo bemoeilijkt aanzanding de aanvulling van de pijlervoet met een zand-betongemengsel, een ingreep die nodig is om de pijlers goed te laten dragen op het funderingsbed. Ook zal een aanzanding met losse pakking de schuifweerstand van de pijlervoet nadelig beïnvloeden. Aanzanding tijdens de opbouw van de drempel kan de vorming bevorderen van zoge-

De volgende vijf artikelen behandelen aspecten van het onderzoek naar de stormvloedkering in de Oosterschelde

naamde zandlenzen tussen de verschillende lagen. Als gevolg van discontinue laagopbouw of later, als gevolg van uitspoeling van dit zand onder extreme verhangen, zou de stabiliteit van de drempel nadelig kunnen worden beïnvloed.

Het is uit dit alles duidelijk geworden, dat de aanzanding zal moeten worden bestreden. In het algemeen kan worden gesteld dat het werk telkens voordat er aan een nieuwe fase van de opbouw wordt begonnen, zal moeten worden opgeschoond, bij voorbeeld steeds vlak voor er een nieuwe funderingslaag wordt aangebracht, of voor de pijlers worden geplaatst.

Om de aanzandingen te bestrijden is het allereerst nodig te weten welke omvang en welke gedaante ze hebben, zowel één tot twee getijden na de vorige opschoonbeurt, alsook na een langere periode, een aantal weken of maanden. Dit laatste is van belang om te bepalen hoe groot de capaciteit van het opschoonmateriaal moet zijn.

De hoeveelheid aanzanding per bouwphase is afhankelijk van de duur van die fase, van de sedimentaanvoer in relatie tot de sedimentkarakteristieken en de hydraulische omstandigheden zoals golf- en stroombeweging, en van de vorm en de afmetingen van het cunet.

Om de aanzandingssnelheid als functie van de genoemde parameters te kunnen bepalen, wordt een nieuwe berekeningsmethode ontwikkeld, die getoetst wordt aan de hand van de metingen in modellen en in de natuur.

Eerder was reeds een rekenprogramma ontwikkeld om de aanzanding in een gebaggerde sleuf te bepalen aan de hand van het verschil in stroomsnelheid bovenstrooms van de sleuf en ter plaatse van de sleuf zelf: daarbij wordt uitge-

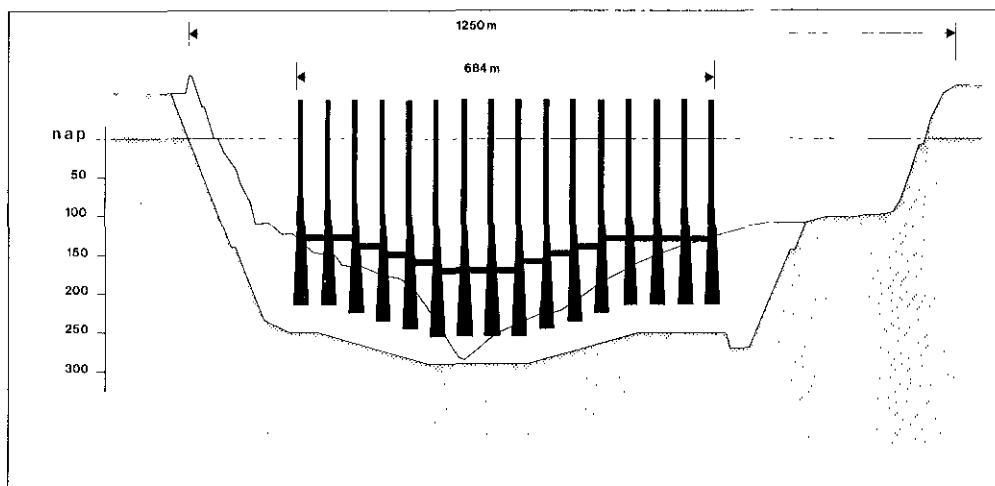


Fig. 1. Profiel van het cunet voor de stormvloedkering in de Hammen

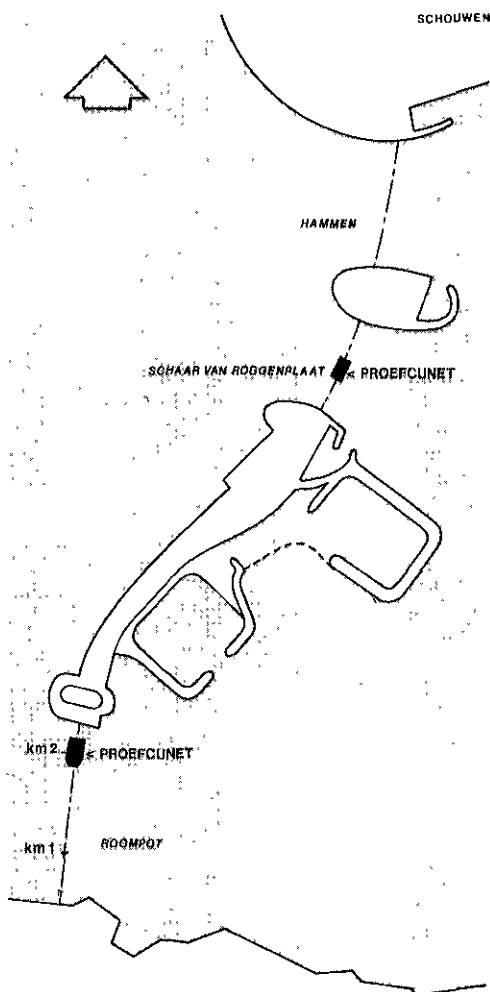


Fig. 2. Situatie van de proefsleuven

gaan van een vaste relatie tussen de stroomsnelheid en de sedimentbeweging. Dit rekenprogramma gaat uit van stroming loodrecht op de as van de sleuf, een zogenaamd tweedimensionaal stroombeeld. De invloed van stromingen evenwijdig aan de sleuf, spiraalvormige stromen en neren, van een driedimensionaal stroombeeld met andere woorden, en de invloed van de golven, kunnen in dit programma nog niet worden uitgedrukt.

Voor het toetsen van de diverse berekeningsmethoden dient een proefsleuf of proefcunet te worden gebaggerd in de Oosterscheldmond. Allereerst zouden tweedimensionale stroombeelden worden onderzocht. Vervolgens zou kunnen worden nagegaan in hoeverre ook voor driedimensionale stroombeelden betrouwbare uitspraken gedaan kunnen worden.

Om allerlei redenen kon het proefcunet niet ge-

heel representatief zijn voor de situatie die men wilde onderzoeken. De bodemsamenstelling in de definitieve sleuf zal ten gevolge van verdichtingsmaatregelen in de ondergrond zeker anders zijn dan nu, en het bodemoppervlak kan met behulp van nieuw baggermateriaal vlakker afgewerkt worden. Het was echter van primair belang op korte termijn een indruk te krijgen over de hoeveelheid losgepakt materiaal die zich bij benadering in zo'n sleuf zal afzetten, en van de vorm die dit bodemmateriaal onder invloed van stromingen zal gaan aannemen. Aangenomen mag worden dat het aanzandingsproces in een cunet met zandige bodem ongeveer net zo zal verlopen als in een sleuf met een fijnkorrelig funderingsbed. Ook de pakkingdichtheid van het afgezette materiaal kan in een proefcunet met zandige bodem goed worden onderzocht. Uiteindelijk bleek dat niet kon wor-

den volstaan met één proefsleuf, maar dat er vanwege onherleidbare verschillen in stromings-toestand, op twee verschillende plaatsen een *proefcunet* moest worden gebaggerd. Van de drie stroomgeulen in de mond van de Oosterschelde vertonen er twee – de Hammen en vooral de Schaar van Roggenplaat – een redelijke tweedimensionaal stromingsbeeld, zo is gebleken uit metingen in de natuur en in het hydraulisch model M 1000. De Roompot heeft een sterke driedimensionaal stromingsbeeld, het water stroomt daar met name in het noordelijk deel waarschijnlijk ten gevolge van afstroming van de platen Noordland en Neeltje Jans, als het ware scheef door de geul.

Op grond van tussen 1973 en 1976 uitgevoerde sedimentconcentratie metingen in de omgeving van het tracé kan geconcludeerd worden dat in de noordelijke geulen een ongeveer gelijke relatie bestaat tussen stroomsnelheid en transport; in de Roompot is deze relatie echter geheel anders. In de twee noordelijke geulen is de bodem aan weerszijden van het tracé van een bescherming voorzien, terwijl dat in de Roompot slechts het geval is in het zuidelijk gedeelte. Bij de uiteindelijke uitbaggeringen van de cunetten zal de bodem aan weerszijden waarschijnlijk ook bezonken zijn. Een proefcunet in de noordelijke geulen geeft dus een beter beeld van de toekomstige situatie. Daar de twee noordelijke geulen onderling goed vergelijkbaar zijn wat betreft stromingsbeeld, sedimenttransport en bodembescherming, kunnen de resultaten van metingen in een proefcunet in één van deze geulen vertaald worden naar de omstandigheden in de andere. Uit praktische overwegingen is gekozen voor een proefcunet in de Schaar. Daar de invloed van driedimensionale effecten waarschijnlijk niet in

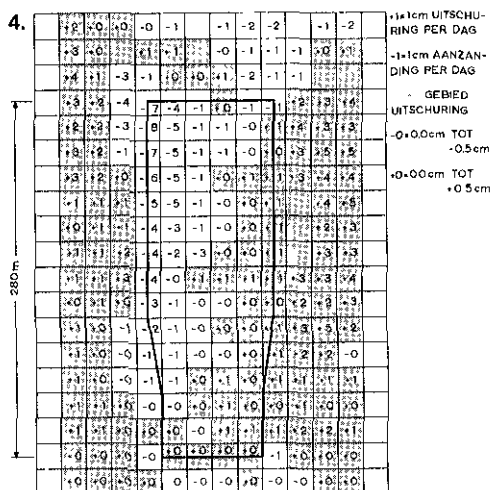
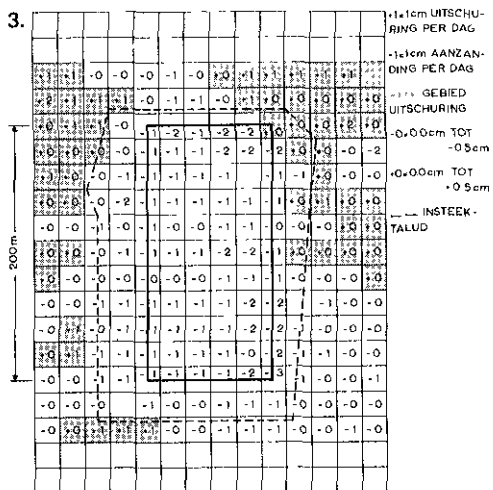
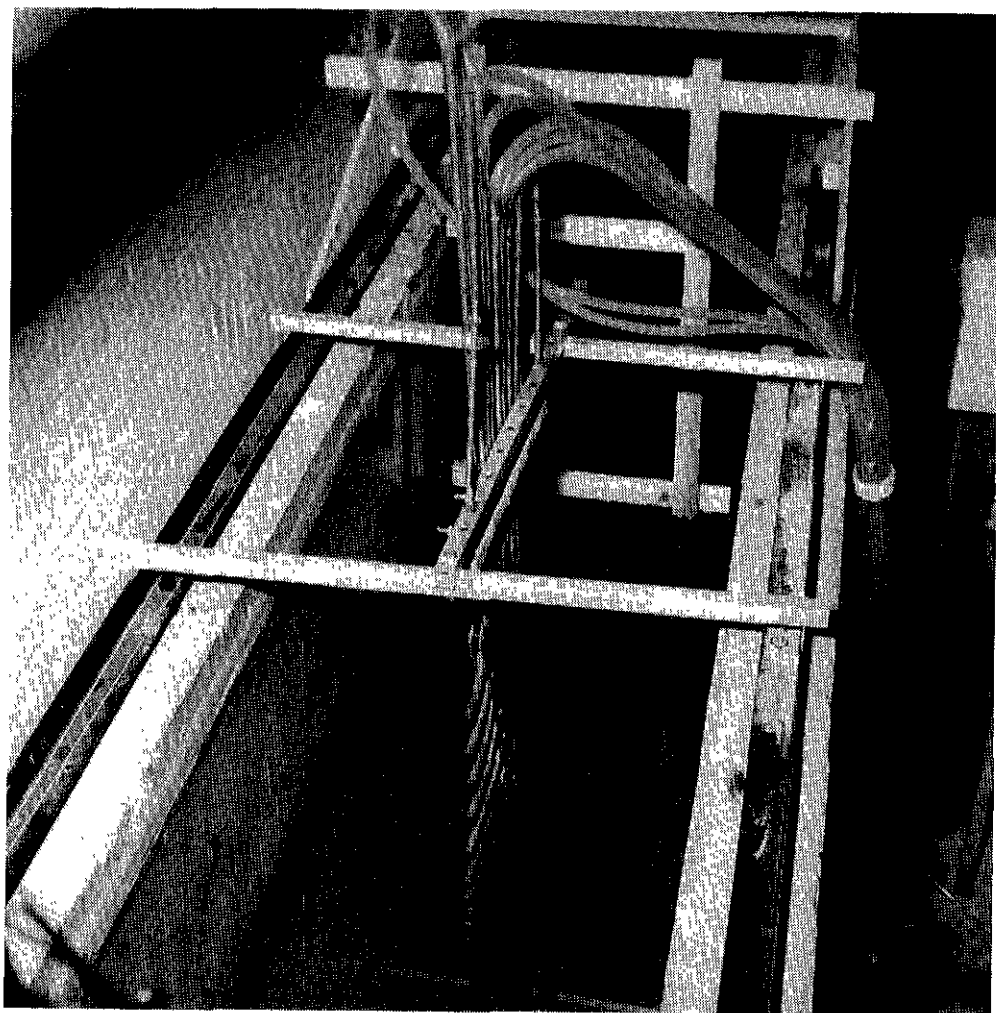
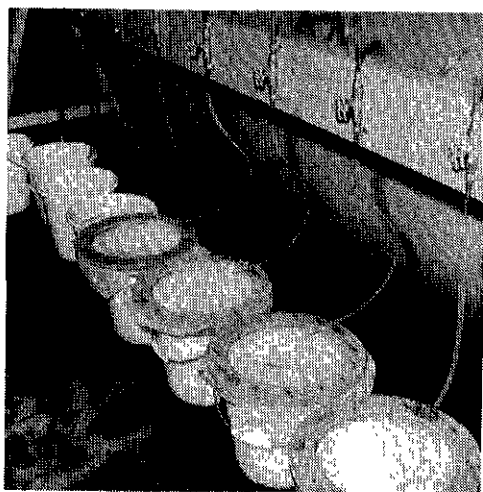


Fig. 3 en 4. Gemiddelde aanzanding en uitschuring in het proefcunet Schaar, gedurende een periode van 99 dagen; idem in het proefcunet Roompot, gedurende een periode van 134 dagen



Bovenaanzicht van het 'afzuig-orgel' voor het meten van de sedimentverdeling over de verticaal in het fysisch model



Rechts. Opstelling voor het scheiden van water en sediment uit de afzonderlijke pijpen van het 'afzuig-orgel'

een proefcunet in de Schaar bepaald zou kunnen worden, is besloten ook een sleuf te baggeren in de Roompot, waar het stromingsbeeld veel complexer is, zelfs zo complex dat schematisering tot omstandigheden die thans berekenbaar zijn, niet goed mogelijk lijkt.

Metingen

Zoals reeds is vermeld zal de mate van aanzanding in de cunetten bepaald worden door de sedimentaanvoer en de hydraulische omstandigheden. Om de randvoorwaarden in dit opzicht te leren kennen zijn boven- en benedenstrooms van het cunet metingen naar de waterbeweging en de sediment aan- en afvoer uitgevoerd, zowel in de ongestoorde situatie als na aanleg van het proefcunet. In een gebied met een overwegend tweedimensionaal stroombeeld met weinig variatie in dwarsrichting zou het in principe voldoende zijn om het stroombeeld en het sedimenttransport in één raai vast te leggen op drie punten: bovenstrooms van het cunet, ter plaats van het cunet en benedenstrooms van het cunet. Om na te gaan in hoeverre het tweedimensionale stroombeeld niet wordt verstoord door de aanwezigheid van het cunet is na het baggeren echter ook aan weerszijden van de raai gemeten.

In een gebied met een driedimensionaal stroombeeld zullen de ruimtelijke variaties in stroombeeld en sedimenttransport dienen te worden vastgelegd door metingen in meer dan één raai.

De variatie van het stroombeeld en het sedimenttransport in de tijd, volgens de springtij/doodtijcyclus, kan bepaald worden door tijdens verschillende getijomstandigheden te meten. Het is uit verscheidene onderzoeken bekend dat de maximale stroomsnelheden in een getij in de Oosterscheldemonid lineair afhankelijk zijn van het getijverschil. Hiervoor kunnen bestaande getijgegevens van Burghsluis gebruikt worden, zodat een nieuw onderzoek naar dat verband hiervoor onnodig was. Het sedimenttransport is echter niet lineair gerelateerd aan de stroomsnelheden, maar exponentieel; dat wil zeggen dat het meer dan evenredig toeneemt met de snelheid; en mogelijk varieert de exponent met de stroomsnelheden. Daarom dienden de metingen toch tijdens verschillende getijomstandigheden te worden uitgevoerd, ten einde meer inzicht te verkrijgen in de relatie sedimenttransport-stroomsnelheid.

Deze relatie is waarschijnlijk mede afhankelijk van de korrelsamenstelling van het getransporteerde materiaal in relatie tot de korrelverdeling van het bodemmateriaal. Fysisch moet men zich dat ongeveer zo voorstellen: als de snelhe-

den na de kentering toenemen zal eerst het fijne sediment in suspensie geraken. Bij verdere toeneming van de snelheid zullen steeds grovere korrels in beweging komen. In de onderste waterlagen zal relatief meer grof materiaal worden getransporteerd, terwijl het aandeel van het fijnere sediment naar boven toe toeneemt. Daar de zanding van het cunet voornamelijk zal geschieden met materiaal uit de onderste waterlagen, verdient het aanbeveling een indruk te verkrijgen van de korrelsamenstelling van het materiaal volgens een verticale doorsnede, ten einde een representatieve korreldiameter voor aanzandingsberekeningen te kunnen vaststellen. Hier toe zijn bij de sedimentconcentratie-metingen monsters verzameld en geanalyseerd op korrelgrootte.

De mate van aanzanding in het cunet kan worden bepaald aan de hand van peilingen. Vooral onmiddellijk na het baggeren van het cunet moest er zeer frequent gepeild worden, teneinde de snelheid van aanzanding en de snelheid van eventuele aanpassing van de taluds te bepalen, waaruit dan weer kan worden afgeleid hoe snel de aanzanding zal voortschrijden in de periode tussen het opschonen van het cunet en het plaatsen van de pijlers. Aan alle peilingen en metingen werden zo hoog mogelijke frequenties gegeven: idealiter iedere dag of vaker. De eerste reden daarvoor was dat door frequent meten de gemiddelde meetfout kan worden verkleind. Verder werd getracht samenhang aan te tonen met de getij-cyclus en met het optreden van stormen.

De invloed van golfwerking op de sedimentaanvoer naar het cunet kan niet uit metingen bepaald worden, omdat tijdens stormen geen sedimenttransportmetingen kunnen worden uitgevoerd. Het effect van de waarschijnlijk verhoogde aanvoer tijdens stormen op de aanzanding in het cunet kon echter wel worden nagegaan met behulp van peilingen. Daartoe moesten na afloop van een storm zo snel mogelijk peilingen worden uitgevoerd. Daar ook de uitgangssituatie vóór de stormen bekend moest zijn, diende tevens zo kort mogelijk vóór de storm gepeild te worden. Dit was alleen te bereiken door zo frequent mogelijk te peilen. De golfkarakteristieken konden bepaald worden uit golfmetingen op de OS IX en OS IV.

Daar verwacht mocht worden dat alleen door deining of door hoge golven tijdens stormen extra sediment in beweging zou komen, zijn de golfmetingen alleen uitgevoerd bij deiningsoverwachting en tijdens windkracht 7 of hoger. De vorming van ribbels en de invloed van de beweging van bodemribbels op de aanzanding in het cunet kon eveneens uit peilingen bepaald worden. Voor het vastleggen van de ribbelkarakte-

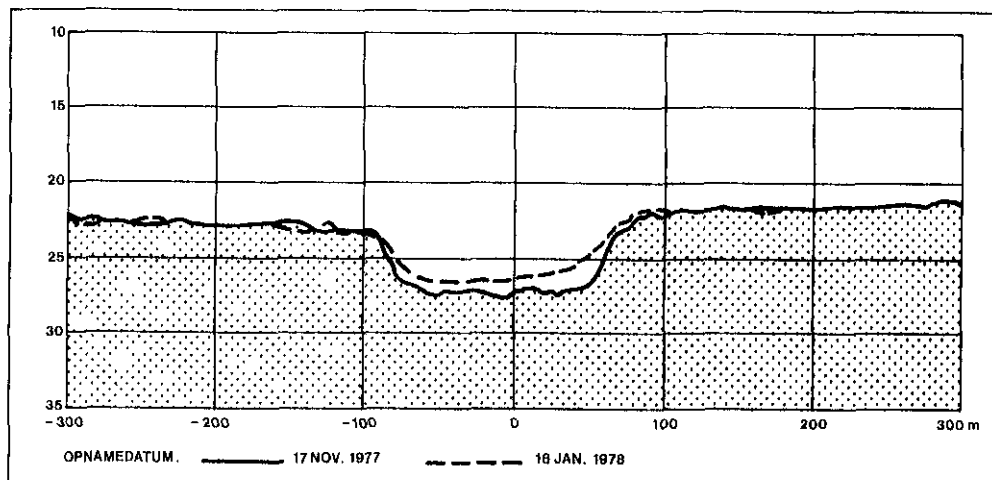
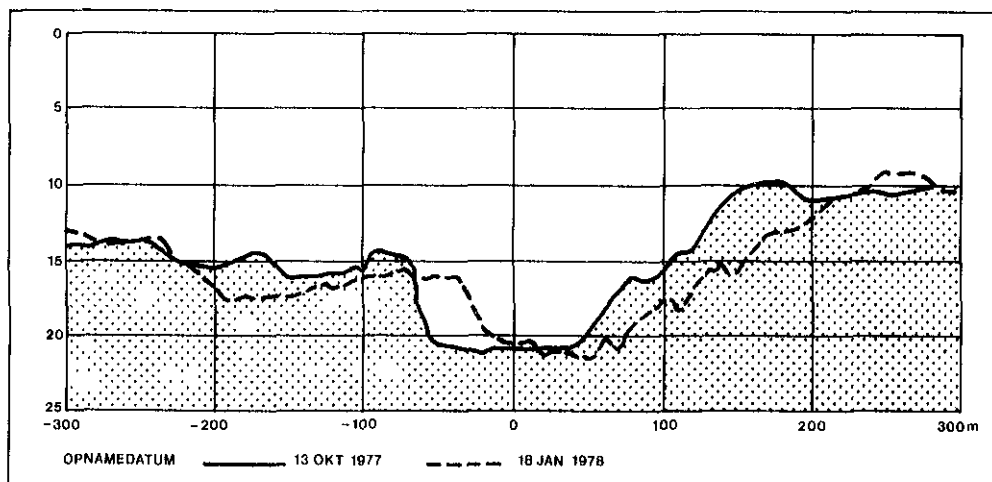


Fig. 5. Veranderingen in het profiel van de proefcunetten: boven Roombot, beneden Schaar.

ristieken dienen de peilraaien op korte afstand van elkaar te liggen. Daarom werd voor dit werk gebruik gemaakt van het peilvaartuig 'Wijker Rib'.

Onderzoekresultaten

Uit modelonderzoek naar het stroombeeld in en rond de cunetten blijkt, dat daar driedimensionale stromingen kunnen optreden, met name in de omgeving van de oevers en voor de laatstgeplaatste pijler, waar gekromde stroombanen voorkomen. Als gevolg van scheve aanstroming zal de stroming ter plaatse van het cunet van de oever afbuigen; de kromming van de stroombanen doet echter nabij de bodem van het cunet een dwarsstroom ontstaan in de richting van het kromte-middelpunt, dus in de richting van de oevers.

De hoek tussen hoofdstroom en dwarsstroom neemt bij steilere hellingen steeds verder toe. Al bij een relatief flauwe taludhelling van 1:10 kan hij groter worden dan 90°. Als gevolg van deze driedimensionale effecten zal het aanzandingspatroon vermoedelijk nabij de oevers vooral onder invloed staan van het bodemtransport, terwijl meer naar het midden van de geulen de invloed van het suspensietransport zal toenemen. Nabij de oevers zal de aanzanding sterk geconcentreerd worden op het bovenstroomse talud, met een lichte uitschuring van de cunetbodem vanwege het ontbreken van met de stroom meegevoerd sediment. Deze lichte uitschuring kan mogelijk deels gecompenseerd worden door het uitzakken van sediment uit suspensie. Op het benedenstroomse talud zal ten gevolge van versnelling van de stroom sterke uitschuring optreden. In het midden van de geulen zal de aanzanding gelijkmatiger over het cunet, de bodem en het bovenstroomse talud verdeeld zijn, met een lichte uitschuring van het benedenstroomse talud. Het bovengeschetste beeld van de aanzanding is inderdaad in de proefcunetten waargenomen. In de proefsleuf in de Roompot wordt alleen een significante aanzanding gevonden op het steile, onder een helling van 1:4 staande westelijke talud; van zuid naar noord neemt deze aanzanding toe. Ten gevolge van de verschillen in aanzanding draait dit talud langzaam met de klok mee. De verplaatsing bedraagt gemiddeld bij hm 18,80 2 cm per dag en bij hm 21,00 35 cm per dag.

Op het oostelijke talud vindt erosie plaats, zoals ook valt af te leiden uit figuur 5. Uit deze figuur blijkt dat de hellingen van het westelijk talud stabiel zijn – afgezien van verschuiving –, en dat de oostelijke hellingen verflauwen. Tevens zijn op het oostelijk talud grote zandgolven, zogenaamde megaribbels gevormd.

Het waargenomen aanzandings- en erosiepatroon en de megaribbelvorming duiden erop, dat de aanzanding hier sterk wordt bepaald door het bodemtransport en dat het vloedtransport overheerst. De in noordelijke richting toenemende aanzandingen op het westelijk talud worden vermoedelijk grotendeels veroorzaakt door de hiervoor genoemde dwarsstromen, die door de sterk gekromde stroombanen rond de kop van Noordland worden opgewekt.

In de Schaar treedt in het gehele cunet significante aanzanding op (zie fig. 4). De aanzandingssnelheid bedraagt, gemiddeld over een periode van 2 maanden en gemiddeld over vakken van 20 × 20 m 1 à 2 cm per dag. Op de bodem van het cunet hebben zich ribbels gevormd met hoogten tot 50 cm. De taluds worden over het algemeen flauwer naarmate de tijd voortschrijdt. Het aanzandingspatroon in dit proefcunet wijst op een duidelijke invloed van suspensietransport. Dat mocht bij dit tweedimensionale aanstromingspatroon en gezien de ligging in het midden van de geul ook verwacht worden.

De hierboven gegeven cijfers voor de aanzandingssnelheden zijn redelijk betrouwbaar als gemiddelde over langere tijd. Korte fluctuaties als gevolg van stormen en als gevolg van de variatie in de getijcondities kunnen echter nog niet onweerlegbaar worden aangewezen. Wel lijkt de conclusie gerechtvaardigd, dat tijdens springtij hogere aanzandingssnelheden optreden dan tijdens doottij.

De deformatie van de zandige cunetbodem is eveneens met behulp van lodingen onderzocht. De lodingen met de 'Wijker Rib' geven aan dat zich op de cunetbodem in de Roompot ribbels bevinden met een hoogteverschil tussen top en dal van een halve tot een hele meter, en een lengte van 10 meter.

Om na te gaan in hoeverre het hier ribbels betreft die door de over de cunetbodem trekkende stroom zijn ontstaan en geen restanten van de cutteractiviteiten, zijn de lodingen die tijdens de baggerperiode werden uitgevoerd nader uitgewerkt om na te gaan welke vlakheid bij het cutterproces bereikt werd. Hieruit blijkt dat meteen na het baggeren een relatief vlakke bodem kan worden opgeleverd met oneffenheden van niet meer dan 20 cm.

In een getij-periode daaropvolgend treedt ribbelvorming op. Onder springtij-omstandigheden kunnen in één getijperiode ribbels tot een hoogte van 1 meter worden opgebouwd. De verplaatsings- en deformatiesnelheid van de ribbels wordt thans nader onderzocht aan de hand van lodingen in de beide proefcunetten, die om het half uur worden uitgeperd gedurende een geheel getij.

2. Het doorstroomprofiel

In september 1977 sprak de regering zich uit voor een effectief doorstroomprofiel in de stormvloedkering van 14 000 m². Of liever, ze sprak zich uit voor een gemiddeld tijverskil bij Yerseke van 2,70 m. Het doorstroomprofiel van 14 000 m² is daar alleen het instrument toe. Er bestaat een, door middel van modelstudies bepaalde, relatie tussen het gemiddeld getijverschil op een bepaalde plaats in de Oosterschelde en het effectieve doorstroomprofiel in de mond, rekening houdend met een bepaalde compartimentering en dus verkleining van het bekken. Het gesommeerde profiel van de hoofdgeulen in de Oosterscheldemond, te weten Roompot, Schaar en Hammen, bedraagt nu 80 000 m². Dit profiel wordt door de pijlers en de drempel van de stormvloedkering vernauwd en voorts door betonnen schotbalken verder verkleind. De beoogde vernauwing kan in beginsel op twee extreme manieren worden bereikt: een in hoofdzaak horizontale vernauwing, waarbij het doorstroomprofiel in het diepste deel van het sluitgat wordt geconcentreerd – dit staat bekend als de 'spleetoplossing' – en een voornamelijk verticale vernauwing, waarbij het doorstroomprofiel heel breed van vorm is en alleen in het bovenste deel van het sluitgat is gesitueerd; dat is de zogenaamde 'brievenbusoplossing': ook vormen tussen deze extremen in zijn natuurlijk mogelijk. In Bericht 74 (februari 1976) wordt op beide oplossingen ingegaan, maar dan voor een caissondam.

In het ontwerp van de stormvloedkering is om hydraulische, morfologische en uitvoeringstechnische redenen gekozen voor een 'brievenbus'-oplossing; alleen in het sluitgat Hammen is sprake van een tussenvorm, met een horizontale vernauwing van 200 m aan de noordzijde. De reden waarom in dit ene geval gekozen

is zowel voor een verticale vernauwing alsook voor een niet onaanzienlijke horizontale vernauwing, is voornamelijk daarin gelegen dat de omvang van de hoofdzakelijke grondverbetering er belangrijk door werd beperkt. Alvorens verder in te gaan op de vorm van het doorstroomprofiel en de overwegingen die deze vorm bepalen, lijkt het zinvol het begrip effectief of netto doorstroomprofiel nader te verklaren.

De stormvloedkering vormt een weerstand voor de voortplanting van de getijgolf in de mond van de Oosterschelde. Deze weerstand veroorzaakt demping en fase-verschuiving van het getij in de Oosterschelde. Ze is groter naarmate het effectieve doorstroomprofiel kleiner is.

Het effectieve doorstroomprofiel nu is het produkt van het bruto doorstroomprofiel, het 'gat' in de stormvloedkering, en de afvoercoëfficiënt. De afvoercoëfficiënt wordt in belangrijke mate bepaald door de wijze waarop de vernauwing van het stroomprofiel plaatsvindt: plotseling dan wel geleidelijk.

Het doorstroomprofiel van de stormvloedkering wordt voornamelijk in verticale zin verkleind. Zoals in figuur 2 aangegeven zal de stroom in de aanstroming van de stormvloedkering een versnelling ondergaan en in de afstroming weer vertragen. Dit laatste gaat gepaard met energieverlies, waarvan de grootte evenredig is met het produkt van het debiet door en het verval over de kering. De vrijgekomen energie wordt voornamelijk omgezet in turbulentie.

Nu is een waterstroom slecht in staat plotseling optredende richtingsverandering te volgen. De stroom zal de neiging hebben in de aanstroming van de dorpelbalk door te schieten, waardoor de contractie, het samenknijpen van de stroomlijnen, boven de dorpelbalk wordt vergroot. En hoe groter de contractie, hoe kleiner

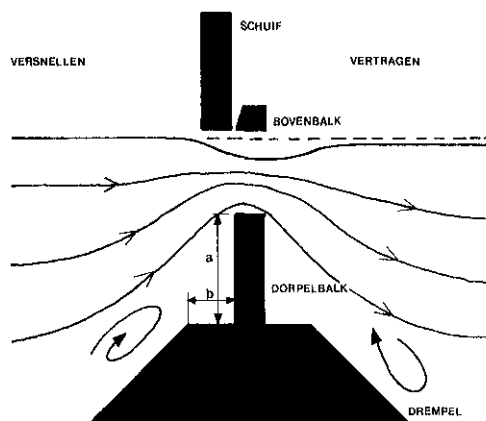
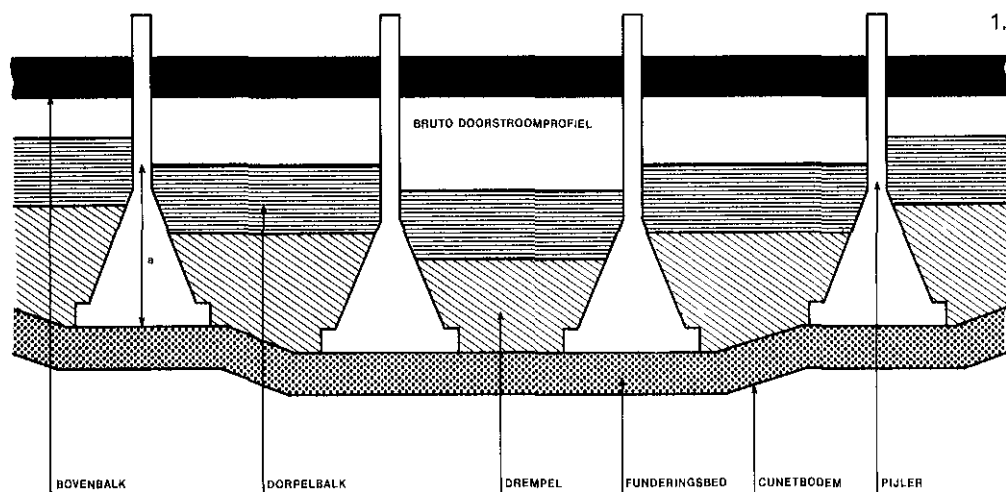


Fig. 1 Gedeelte van de 'trapjeslijn'

Fig. 2. De stroomconcentratie is sterker naarmate de profielvernauwing meer abrupt verloopt (links); de geleidelijke vernauwing (rechts) is te prefereren.

de afvoercoëfficiënt. Is de richtingverandering van de stroom minder plotseling, dan zal de afvoercoëfficiënt ook groter zijn. De afvoercoëfficiënt zal in het algemeen verbeteren, naarmate de verhouding tussen de in figuur 2 aangegeven maten a en b kleiner is. Verbreding van de dorpelbalk heeft eveneens een gunstige invloed.

De afvoercoëfficiënt van elke afzonderlijke sectie in het doorstroomprofiel wordt dus in belangrijke mate bepaald door vorm en plaats van de drempel en de dorpelbalk. In horizontale zin is de pijlervorm van invloed op de afvoercoëfficiënt. Het doorstroomprofiel van de sluisgaten Roompot, Schaar en Hammen bestaat uit een groot aantal secties, waarvan de bruto doorsnedes verschillen. De bovenbalken liggen gelijk en de verschillen komen dus tot uitdrukking in onderling verschillende ligging van de dorpelbalken.

De afvoercoëfficiënt van het totale doorstroomprofiel per sluitgat wordt middels waterlooppkundig modelonderzoek bepaald.

Vermenigvuldiging van de aldus bepaalde afvoercoëfficiënt met het bruto doorstroomprofiel levert het netto doorstroomprofiel op.

Sommatie van de netto doorstroomprofielen van de drie sluitgaten geeft het netto doorstroomprofiel van de stormvloedkering. Voldoet dit niet aan de gestelde norm, levert het niet het gevraagde gemiddelde getijverschil te Yerseke, dan vindt aanpassing van het bruto doorstroomprofiel plaats en wordt het onderzoek eventueel herhaald.

We zeiden al, dat de stroom aan de – wisselende – benedenstroomse zijde van de stormvloedkering zal vertragen, hetgeen gepaard gaat met energieomzetting, voornamelijk in turbulentie. Deze turbulente stroom kan nog veel meer zand opnemen dan hij al bevat, zodat hij na het passeren van de bodembescherming zand loswoelt en ontgrondingen veroorzaakt. Om stabiliteitsverlies van het bovenstroomse talud van deze ontgrondingskuilen te voorkomen, worden er beperkingen gesteld aan hun diepte en maximaal toelaatbare aanzethelling. Deze eisen kunnen worden gerealiseerd door een uitgekiende ligging van het niveau van de bovenkant van de dorpelbalken, de zogenaamde 'trapjeslijn', waarvan figuur 1 schematisch een deel laat zien, en door een bodembescherming over een bepaalde lengte achter de kering. In een andere

bijdrage in dit Bericht wordt ingegaan op de bepaling van de lengte van de bodembescherming, en aangegeven welke beperkingen worden opgelegd door ontwerpers van andere elementen van de stormvloedkering.

Nadat de bovenkant van de dorpelbalken is vastgesteld, kan het funderingsniveau van de pijlers worden bepaald. De afstand tussen de bovenkant van de dorpelbalk en het funderingsniveau is om constructieve redenen, bepaald door pijler en schuif, aan een zeker minimum gebonden. Ook voor de constructiehoogte van de dorpelbalk en de drempel gelden zekere minimale maten. In het geval van de drempel berust dit minimum op de som van de minimaal aan te brengen diktes van de onderscheiden filterlagen in de drempel, en op de dikte die nodig is voor de stabiliteit van het drempellichaam. Op een aantal plaatsen, met name in de diepste delen van de Roompot, wordt de drempeldikte bepaald door de steun die de drempel aan de pijler moet verlenen.

Uit de funderingsniveaus volgt, na bepaling van de gewenste dikte van de funderingslaag, de ligging van de cunetbodem.

In het ontwerp van de stormvloedkering zijn de ligging van de dorpelbalken en de funderingsniveaus inmiddels vastgesteld. Beide vormen belangrijke uitgangspunten voor de verdere detaillering van het ontwerp van de pijlers, de schuiven, de drempel en het cunet.

3. Filteronderzoek ten behoeve van het drempelontwerp

De drempel van de stormvloedkering heeft een aantal grondmechanische en hydraulische functies te vervullen (zie ook Bericht 82, februari 1978). Wat het grondmechanische deel betreft: in horizontale en verticale zin moet hij steun geven aan de pijlers. Horizontaal door passieve gronddruk en wrijving, verticaal door ballast en ondersteuning te bieden. Die hydraulische functies kunnen worden gesplitst in twee gedeelten. Enerzijds moet de drempel de grondslag beschermen tegen stroom- en golfaanval; anderzijds dient hij als waterkering tussen pijler en ondergrond. Het debiet door de drempel heeft maar weinig effect op de waterstand in het Oosterscheldebekken; daarom worden er uit hydraulisch oogpunt geen specifieke waterkerende eisen gesteld aan de drempelconstructie. Het is echter niet onwaarschijnlijk dat vanuit grondmechanisch oogpunt wel eisen worden gesteld aan de doorlatendheid, met name aan de onderste laag, het funderingsbed, waarop de pijlers worden geplaatst.

Bij het ontwerp is onderzoek naar het bezwijkgedrag van de drempelconstructie onmisbaar. Afhankelijk van de ernst van de gevolgen kan dan een zekere mate van veiligheid in het ontwerp worden ingebouwd tegen het bezwijken van de constructie.

Er zijn twee manieren waarop het bezwijken van de drempel kan worden ingeluid: door instabiliteit van de top laag of door instabiliteit van het grensvlak tussen twee opeenvolgende filterlagen. Dan is het zogenaamde kritieke verhang overschreden. Er moet dus voor gezorgd worden dat de grensvlakken tussen de lagen onder de optredende verhangen steeds stabiel blijven, zowel tijdens de aanleg als in de definitieve toestand. Daartoe moet de diameter van elke volgende filterlaag zo gekozen worden dat indrin-

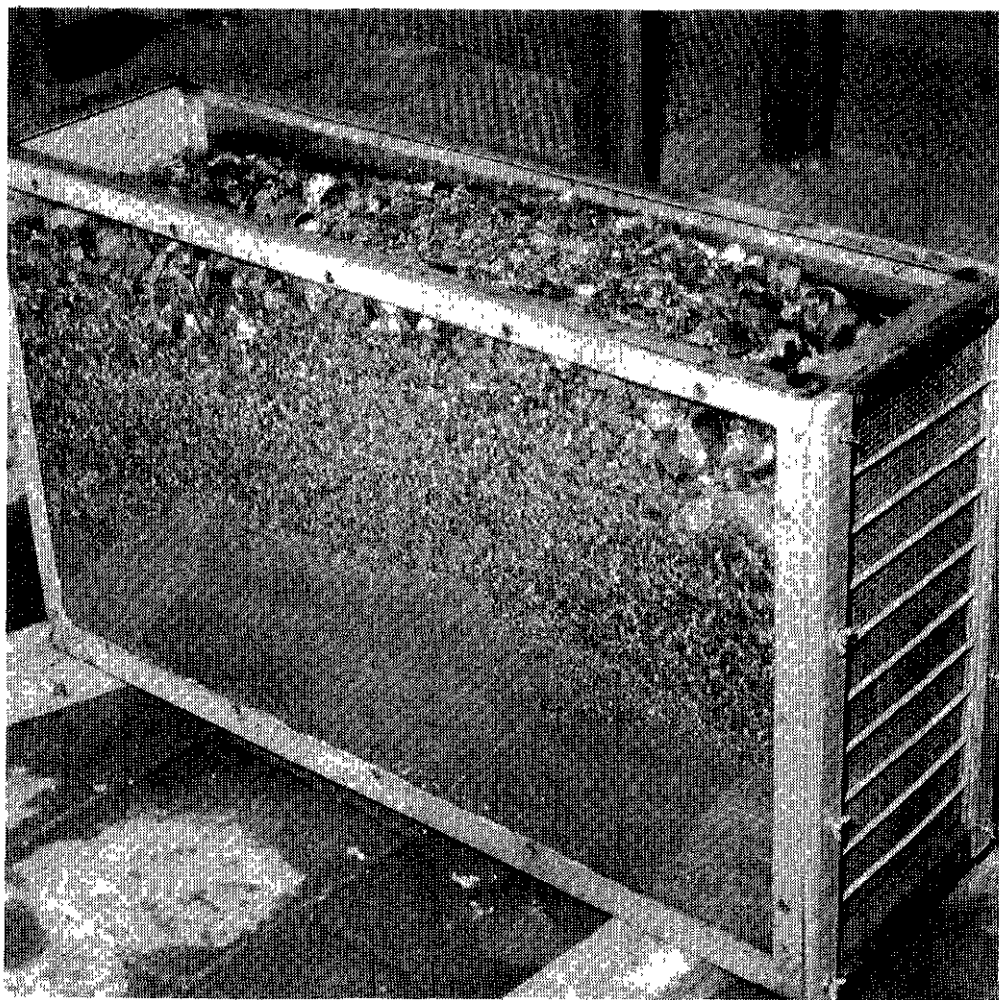
ging van materiaal uit de laag eronder fysisch uitgesloten is.

In dit artikel wordt het onderzoek naar de filtereigenschappen beschreven van verschillende materialen onder uiteenlopende belastingsomstandigheden.

Het filteronderzoek was in hoofdzaak gericht op de stabiliteit van het grensvlak tussen het Oosterschelde zand en het funderingswerk. Berekeningen toonden namelijk aan, dat met name op dit grensvlak zeer hoge periodiek wisselende verhangen optreden. Ze worden veroorzaakt door de bewegingen die de pijler maakt onder invloed van de golfbelasting. De stabiliteit van dit grensvlak is bovendien van zeer groot belang voor de beperking van de deformatie van de pijler, zowel in horizontale als in verticale richting.

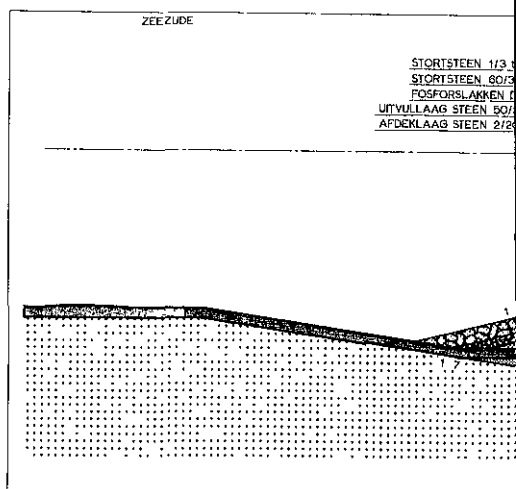
Behalve periodieke verhangen als gevolg van de bewegingen van de pijler, treden er in de drempel ook stationaire verhangen op onder invloed van het verval over de kering, en cyclische verhangen ten gevolge van golfdoordringing. Berekeningen van het Laboratorium voor Grondmechanica toonden aan, dat de stationaire verhangen op het grensvlak van bodemzand en funderingsbedmateriaal ongeveer tien keer zo klein zijn als de cyclische verhangen ten gevolge van de golfbelasting op de pijler en de drempel. Omdat de bestaande filterregels slechts gelden voor stationaire omstandigheden, was het noodzakelijk fundamenteel onderzoek naar het gedrag van filters onder cyclische omstandigheden uit te voeren, ten einde zelf regels af te leiden voor die situatie.

Hiertoe werden drie proefopstellingen ontwikkeld: allereerst een cilinder waarin zowel stationaire als cyclische stroming loodrecht op het



Filterpakket, dat onderzocht werd in de golftunnel van het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst

Drempeldoorsnede met 'tweelagen-oplossing' voor het funderingsbed



grensvlak kan worden ingesteld. Voorts een tunnel waarin zowel stationaire als cyclische stroming evenwijdig aan het grensvlak kan worden ingesteld. Ten slotte een opstelling van grondlagen in een cilinder waarin cyclische stroming loodrecht op het grensvlak gecombineerd kan worden met stationaire stroming evenwijdig aan het grensvlak.

Het onderzoek in de eerste twee opstellingen is verricht in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst; de proeven in de cilinder, een zogenaamd triaxiaalapparaat, werden uitgevoerd in het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft. De reeds eerder gememoreerde extreme cyclische belasting van het grensvlak tussen zand en funderingsbed stelt zeer zware eisen aan de filtereigenschappen van het funderingsbed. Gewoonlijk bestaat de onderste laag van een filter uit een materiaal dat slechts enkele malen grover is dan het basismateriaal. In de Oosterschelddemonstratie, waar de gemiddelde diameter van het zand 0,15 mm bedraagt, zou de diameter van de eerste filterlaag dan bijvoorbeeld een halve mm moeten zijn. De stroomcondities in de Oosterschelde zijn echter zo, dat materiaal van 0,5 mm gemakkelijk door stroom en golven wordt verplaatst. Om een goed filter te krijgen dat toch voldoende stabiel blijft, moet een gegradeerd mengsel worden samengesteld, waarbij naast tamelijk fijn ook grover materiaal voorkomt.

Terwijl de fijnste korrels van het mengsel het zand van het bodemmateriaal tegenhouden, zorgen de grofste voor de nodige stroombestendigheid; de maten daartussen zorgen ervoor dat de korrels elkaar vasthouden.

De ondergrens van het mengsel, 0,3 mm, wordt bepaald door de filtereisen; de bovengrens, 32 mm, wordt gedicteerd door de benodigde

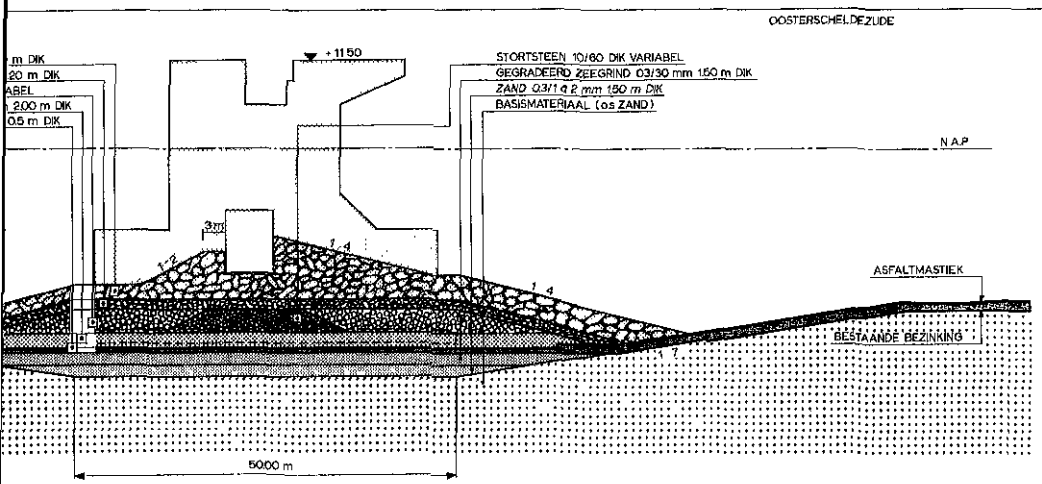
stroombestendigheid in een situatie met tweedimensionale stroming, vóór de pijlers zijn geplaatst, en door de benodigde filtereigenschappen op het grensvlak van het funderingsbed en de uitvullaag er boven.

De gradering van het mengsel tussen de onder- en bovengrens is zo gekozen dat er zo weinig mogelijk poriën open blijven. Dit beïnvloedt zowel de filterwerking als de interne stabiliteit gunstig.

Bij stationaire stroming loodrecht op het grensvlak bleek het mengsel zowel intern stabiel als zanddicht te zijn voor verhangen groter dan 500 %. Met andere woorden: bij een drukverschil van 5 meter waterkolom over een pakkethoogte van 1 meter worden alle korrels van het filtermateriaal vastgehouden door de overige en treedt zandindringing niet op. Bij cyclische stroming loodrecht op het grensvlak was het onverdichte mengsel zanddicht tot verhangen van 100-175 %, waarbij de richting van het verhang iedere 10 seconden eenmaal wisselde.

We zien dus een aanzienlijk verschil tussen stationaire en cyclische omstandigheden. Dit kan verklaard worden uit het feit dat door het relatief geringe verschil in afmeting tussen de zandkorrels en de fijnste korrels van het filtermateriaal een verschijnsel ontstaat, dat we 'boogwerking' noemen. Bij het instellen van een stationair verhang worden alle vrijwel even grote zandkorrels ongeveer gelijkmatig belast door een stromingskracht. Ze komen daardoor gelijktijdig in beweging door overschrijding van een bepaalde kritieke waarde van het verhang. Bij loodrecht omhoog gerichte stroming treedt dit op als de stroomkracht het eigen gewicht van de korrel overschrijdt.

De korrels kunnen echter niet tegelijk de relatief nauwe poriën van het filtermateriaal binnen-



dringen. Vergelijk het probleem dat ontstaat als een groot aantal mensen op hetzelfde moment in de tram wil stappen of wat er gebeurt met een zeef die niet wordt geschud.

Bij cyclische stroming komt er geen boogwerking, als gevolg van het pulserende karakter van de stroomkrachten op de korrels. Vergelijk dat met het schudden van de zeef, waardoor de verstopping ten gevolge van de boogwerking opgeheven wordt en alle korrels met een diameter kleiner dan de zeefopening erdoor vallen; of met de uitwerking van een beetje beleefdheid op het gedrag van de trampassagiers.

Ook evenwijdig aan het grensvlak tussen bodem en filter zullen de verhangen bij cyclische stroming de verhangen bij stationaire stroming overtreffen. Daarvoor werd bij de proef voornamelijk onder cyclische omstandigheden onderzoek gedaan naar situaties met een stroming evenwijdig aan het grensvlak. In de golf-tunnel van het Waterloorkundig Laboratorium, waar de proef werd gedaan, kunnen bovendien perioden tot 20 seconden worden ingesteld; daarmee benadert men een stationaire stromingstoestand.

Het bezwijkgedrag bij stroming evenwijdig aan een grensvlak tussen twee lagen wijkt enigszins af van dat bij stroming loodrecht op het grensvlak. In het laatste geval treedt indringing in het filtermateriaal op, maar in het eerste geval worden bij overschrijding van de kritieke waarde zandkorrels ter plaatse van het grensvlak getransporteerd via de kanaaltjes tussen de onderste korrels van het filtermateriaal, terwijl ze toch blijven deel uitmaken van het basismateriaal.

Uit proeven bleek, dat de wisselende stroming door het pakket in eerste instantie het filtermateriaal verdichtte. Daarna was het kritieke verhang vrijwel onafhankelijk van de ingestelde periode. In dit geval is er dus geen significant verschil tussen stationaire en cyclische stromingen.

Blijkbaar wordt de invloed van toenemende versnellingskrachten bij afnemende periode op de korrels van het basismateriaal gecompenseerd door de kortere tijd waarin zij werkzaam zijn.

Wel werden ten gevolge van het grote verschil in doorlatendheid tussen beide materialen zeer grote verhangen loodrecht op het grensvlak opgewekt, met als gevolg zandindringing loodrecht op het grensvlak.

Slechts bij een beperkt aantal proeven in het triaxiaalapparaat werd een cyclische stroming loodrecht op het grensvlak gecombineerd met een stationaire stroming evenwijdig aan dat vlak.

Voor geringe waarden van het stationaire verhang bleken de kritieke verhangen niet af te wijken van de resultaten die gevonden zijn bij de proeven met louter cyclische stroming loodrecht op het grensvlak.

Op grond van de resultaten van het filteronderzoek werd besloten het ontwerp van het funderingsbed aan te passen. Hiertoe werd een aantal oplossingen op de eerder beschreven wijze onderzocht.

De 'twee-lagen-oplossing', waarbij tussen het bodemzand en het funderingsmateriaal een laag grof zand wordt aangebracht, bleek het meest te voldoen, en wel om twee redenen. Allereerst is het verschil in korrelafmeting tussen het Oosterschelde-zand en het grove zand zo gering, dat indringing in het grove zand niet mogelijk is: de poriën van het grove zand zijn kleiner dan de korrels van het Oosterschelde-zand. Maar ook bleek uit berekeningen dat de verhangen op het grensvlak van grofzand en funderingsbed aanzienlijk kleiner zijn dan op het eerder onderzochte grensvlak van Oosterschelde-zand en funderingsbed. Proeven hebben aangetoond, dat ook het grensvlak grofzand-funderingsbedmateriaal in voldoende mate stabiel is.

Aldus is een betrouwbare oplossing verkregen voor de opbouw van het funderingsbed.

4. Hydraulisch onderzoek naar de lengte van de bodembescherming

Water dat de stormvloedkering in de Oosterschelde passeert, zal in de kering een versnelling ondergaan, en na passage door de kering een vertraging. Bij het vertragen ontstaan wervels, waardoor het zandtransporterend vermogen van de waterstroom groter wordt dan het bovenstrooms van de kering was. De turbulente stroom neemt bodemmateriaal op en veroorzaakt ontgrondingen achter de bodembescherming. In deze zone wordt het zandtransporterend vermogen van de turbulente stroom volledig 'aangesproken'; er wordt net zo lang zand door de stroom opgenomen totdat er evenwicht ontstaat tussen het maximaal mogelijke en het feitelijk optredende zandtransport. Dit houdt in dat de stroom meer bodemmateriaal wegneemt dan aanvoert, en dus ontgroning veroorzaakt.

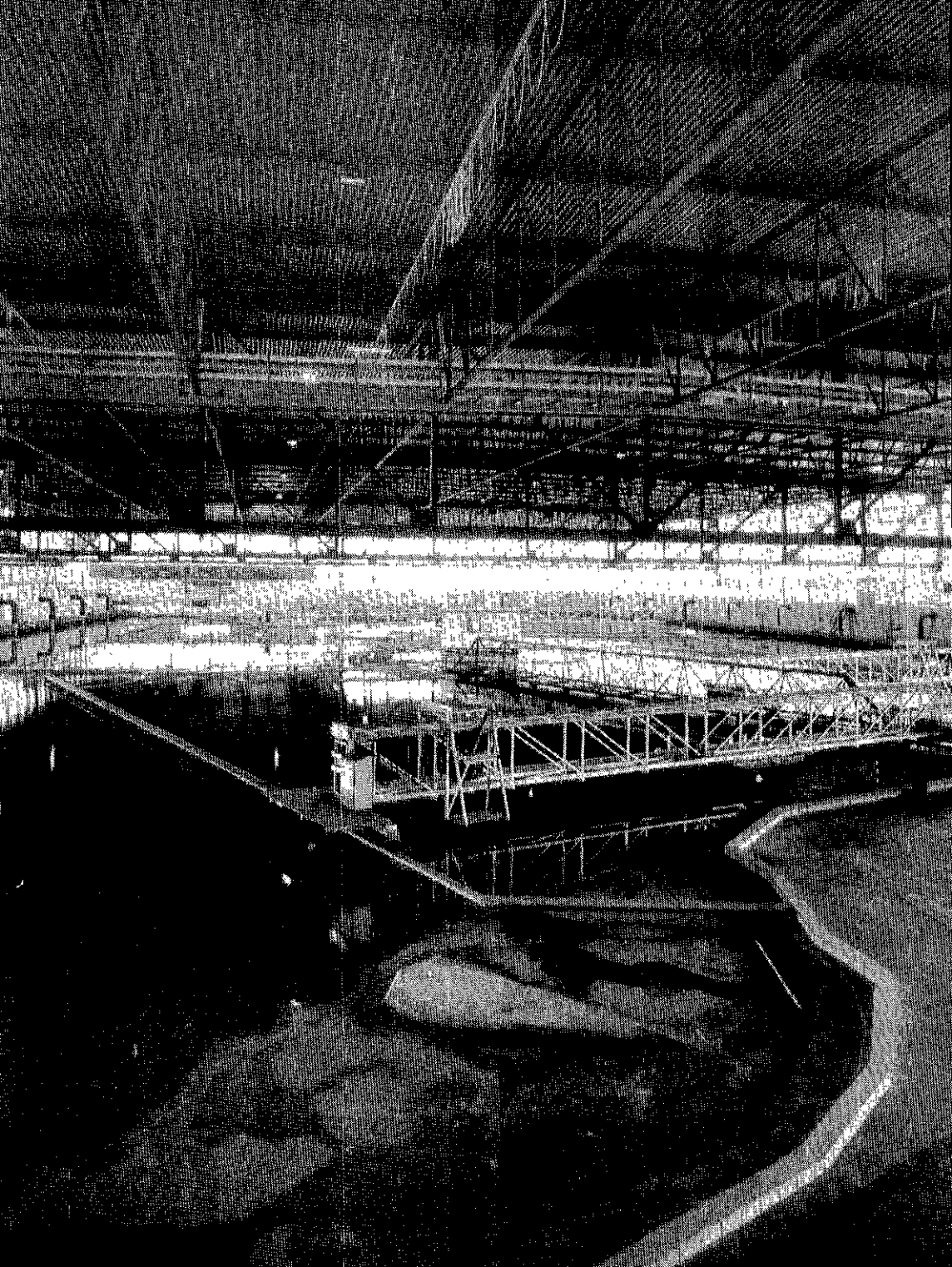
De hellingen van de ontgrondingskuil mogen niet te steil worden, omdat anders het gevaar ontstaat van een lokale afschuiving van de helling, die in losgepakt zand een zettingsvloeiing kan veroorzaken, waarbij het bodemzand zich min of meer als een vloeistof gaat gedragen. De omstandigheden waarbij zettingsvloeiing optreedt zijn ons op dit moment nog onvoldoende bekend; hetzelfde geldt voor de mogelijke afmetingen ervan. Veiligheidshalve wordt daarom bij het ontwerp van de bodembescherming een situatie nagestreefd, waarbij geen zettingsvloeiing kan optreden.

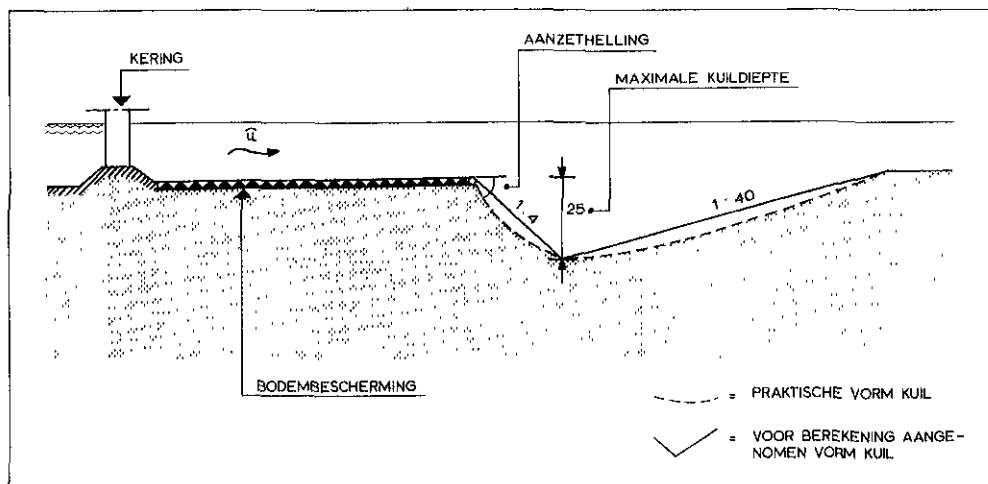
Door de bodem nabij de rand van de ontgrondingskuil te verdichten kan de kans op een zettingsvloeiing aanzienlijk worden verkleind. Bij het huidige ontwerp van het verdichtingsschip is de maximale verdichtingsdiepte 15 m beneden het niveau van de Oosterscheldebodem. Voor de ontgrondingen wordt een kuildiepte

van 25 m toelaatbaar geacht. Bij de bepaling van deze waarde is ervan uitgegaan dat bij het bereiken van een kuildiepte van 15 m aanvullende maatregelen getroffen kunnen worden om een zettingsvloeiing te voorkomen of de schade te beperken, zoals het verdichten van de dieper gelegen ondergrond – nu vanuit de ontgrondingskuil bereikbaar – of het bestorten van de helling van de ontgrondingskuil.

Bij het ontgrondingsonderzoek houdt men een maximale kuildiepte van 25 m aan voor het ontwerp van de lengte van de bodembescherming. De lengte van de bodembescherming wordt langs gecombineerd experimenteel-analytische weg bepaald. Het ontgrondingsonderzoek wordt verricht in het model M1001 in het Waterloopkundig Laboratorium te De Voorst, waarin de mond van de Oosterschelde is nagebouwd op een schaal van 1:80. In dit model is in het gedeelte buiten de bodembescherming een beweeglijke bodem ingebouwd, die bestaat uit loskorrelig materiaal, met behulp waarvan het ontgrondingsproces bestudeerd kan worden. De randvoorwaarden die de waterbeweging in dit model bepalen, worden geleverd door het overzichtsgetijmodel M1000, waarin het gehele gebied van de Oosterschelde en de voordelta is weergegeven. De schaal van dit model is kleiner en de bodem is er vast, omdat alleen de waterbeweging bestudeerd wordt.

Voorafgaand aan het onderzoek in M1000 en M1001 wordt een zogenaamd schematiseringsonderzoek verricht, waarin bepaald wordt welke vorm de stormvloedkering in het model moet krijgen om de kering in het model dezelfde weerstand in het dagelijks heen en weer trekken te geven als de 'echte' stormvloedkering. Hierbij worden zowel de diverse bouwfasen als de eindfase beschouwd, omdat ook





Te verwachten ontgrondingskuil aan de benedenstroomse zijde van de stormvloedkering

Overzicht van het Oosterschel-
demodel in het Waterloopkun-
dig laboratorium De Voorst

voor de bouwphase ontgrondingsonderzoek wordt verricht.

Bij het schematiseringsonderzoek wordt eerst de afvoercoëfficiënt – zie voor dit begrip de bijdrage in dit Bericht over de doorstroombepaling – bepaald van een aantal karakteristieke secties van de stormvloedkering, zowel voor diverse opbouwfasen als de eindfase. De schaal 1:40, waarmee dit onderzoek verricht wordt, is nog wel zo groot dat het model van pijler, drempel en dorpelbalk gelijkvormig is aan het werkelijke ontwerp. Bij deze schaal zijn geen invloeden van de verkleining op de afvoercoëfficiënt te verwachten. Bij de schalen in M1000 en M1001 zijn wel schaalinvloeden te verwachten; bovendien is de horizontale en verticale schaal in M1000 niet dezelfde.

Daarom is de tweede fase van het schematiseringsonderzoek erop gericht om de modelsecties op de schaal van M1000 en M1001 zo'n vorm te geven dat de afvoercoëfficiënt gelijk is

aan de coëfficiënt die in de eerste fase van het onderzoek is bepaald.

In het detailmodel M1001 is over een bepaalde lengte bodembescherming aangebracht. Door het niveau van de bovenkant van de dorpel te variëren en te kijken wat er dan gebeurt, wordt getracht een zo gelijkmatig mogelijke snelheidsverdeling te creëren aan de rand van de bodembescherming; in die situatie is in eerste instantie ook de minste bodembescherming vereist.

Bij de bepaling van dit niveau moet rekening worden gehouden met eisen die volgen uit het schuifontwerp en die betrekking hebben op de constructiehoogte van de schuiven, de uniformiteit van de schuiven, op de bewegingswerktuigen en dergelijke meer.

Door het turbulente karakter van het ontgrondingsproces betekent echter een gelijkmatige snelheidsverdeling aan de rand van de bodembescherming niet altijd dat ook de ontgroningen gelijkmatig verdeeld zijn. Er ontstaat in het algemeen een niet zo regelmatig ontgrondingsbeeld met plaatselijk diepere ontgrondingskuilen. Toch wordt eerst gezocht naar de gelijkmatige snelheidsverdeling, omdat dit in het model relatief snel kan gebeuren; er hoeft immers niet 'ontgrond' te worden. Het ontgrondingsbeeld wordt ook nog beïnvloed door het feit, dat de ligging van de bovenkant van de dorpels een compromis is, omdat een situatie die bij *ob* optimaal is, dat niet per se ook hoeft te zijn bij *vloed*. Wanneer de vorm van de stormvloedkering eenmaal op de gewenste schaal bepaald is en ook de waterbeweging aan de randen van model M1001, kan het feitelijke ontgrondingsonderzoek beginnen.

Door op verschillende plaatsen en tijdstippen de bodemligging op te nemen kan men voor diver-

se raalen in de richting van de stroom bepalen hoe de ontgronding zich met het verstrijken van de tijd ontwikkelt. Door herhaling van de proeven bij verschillende lengte van de bodembescherming is het mogelijk de lengte van de bodembescherming te relateren aan de mate waarin de ontgronding afneemt.

Met de computer wordt na invoer van de nodige gegevens berekend hoe lang de bodembescherming moet worden om voor bijvoorbeeld tien jaar de ontgrondingskuil nog binnen het aanvaardbare te houden. De reductie van de ontgrondingen die optreedt omdat in werkelijkheid wel, maar in het model niet, al sediment aanwezig is in het passerende water, kan in de berekening worden verdisconteerd.

Op deze wijze wordt de benodigde lengte van de bodembescherming bepaald voor de eindtoestand. Voor de ontgrondingen in de bouwfasen zijn aannamen gedaan. Ze worden getoetst door ook voor een aantal bouwfasen ontgrondingsonderzoek te verrichten.

Het ligt in de bedoeling, het ontgrondingsonderzoek af te ronden voor het definitieve ontwerp, met definitieve pijlvorm, dorpelliging, drempelliging, alignement van de oevers en zo meer, en met die lengte van de bodembescherming,

die op grond van het reeds verrichte onderzoek bepaald is.

Bij het ontgrondingsonderzoek in het model wordt uitgegaan van uniform, niet samenhangend materiaal. Grondonderzoek in de Oosterschelde heeft echter aangetoond, dat op veel plaatsen sprake is van kleiig zand of van kleilagen, zogenaamde spekkoeklagen. Het effect daarvan op het ontgrondingsproces wordt nog nader onderzocht. Hiertoe kan de ontgrondingsproef op grote schaal die men voornemens is te doen in de sluis in de Brouwersdam, een wezenlijke bijdrage leveren. De grondgesteldheid achter deze sluis vertoont gelijkenis met die in de mond van de Oosterschelde. Als deze proef wordt uitgevoerd met zand dat gelijkmatig verdeeld en onder door de onderzoekers gekozen omstandigheden aangebracht wordt, wordt het mogelijk de schaalwetten te toetsen die nodig zijn voor de vertaling van het model naar de werkelijkheid. De schaalwetten zijn tot op heden gebaseerd op jarenlang systematisch ontgrondingsonderzoek dat slechts met modelproeven bij een aantal kleine schalen is uitgevoerd, en verder voor zover mogelijk in de reeds uitgevoerde afsluitingen waarbij ook bodembescherming toegepast was, getoetst.

De hoofdlijnen van het ontwerp van de stormvloedkering in de Oosterschelde zijn in het eerste halfjaar van 1978 niet gewijzigd. Wel hebben nadere detailleringen van het ontwerp plaatsgevonden, waarvan er al verscheidene in dit en in het vorige Bericht in afzonderlijke artikelen aan de orde zijn gesteld. In dit overzichtsartikel worden daarop nog enkele aanvullingen gegeven. Sommige van de hier te noemen onderdelen zullen in latere afleveringen nog meer in den brede worden behandeld.

De ontwerp- en onderzoeksactiviteiten die in het eerste halfjaar van 1978 hebben plaatsgevonden, betroffen voornamelijk de randvoorwaarden en de belastingen op de constructie, het doorstroombroefiel en de kerende hoogte van de stormvloedkering, de drempelconstructie, de vormgeving van de pijlervoet in verband met de wijze waarop de pijlers zullen worden geplaatst, de voorzieningen aan de pijlers ten behoeve van de bovenbouw en de diepte van de schuifspinning.

Naarmate men een minder gedetailleerd inzicht heeft in de bij de bouw van een kunstwerk betrokken verschijnselen, wordt veiligheidshalve uitgegaan van een hoger belastingsniveau. Nader onderzoek kan leiden tot een betere kennis van de belastingen, en daardoor tot lagere aannamen betreffende die belastingen. Een voorbeeld daarvan is de golfbelasting op de stormvloedkering.

De verdeling van de energie van de golven over de verschillende golfperiodes bepaalt tezamen met de zogenaamde overdrachtsfunctie – van golfenergie naar golfbelasting – de golfbelasting op de pijler. Tot eind 1977 werd aangenomen dat tijdens een superstorm de golfenergie zich voornamelijk concentreerde rond de periodes van 10 à 12 seconden. Bij die periodeband heeft ook de overdrachtsfunctie een hoge waarde. Uit nadere studies blijkt nu dat de golfenergie niet voornamelijk geconcentreerd is in één, maar verdeeld is over voornamelijk twee periodebanden. Bij deze tweede periodeband heeft de overdrachtsfunctie een lagere waarde, waardoor de waarde van de belastingen loodrecht op de kering ten opzichte van de vorige rapportage enigszins lager zijn geworden. Het onderzoek naar de totale belasting loodrecht op de kering is hiermee afgerond. Ten aanzien van som-

5. Rapportage van studies en voorbereidingen, eerste halfjaar 1978

mige onderdelen van de kering, zoals schuiven en dorpelbakken, moet deze belasting nog nader worden gepreciseerd; ook de dwarsbelastingen op de pijler zijn nog niet genoegzaam onderzocht.

Toch kan het pijlerontwerp op grond van de tegenwoordige stand van het onderzoek in hoofdzaak worden voltooid.

Op basis van tot dusver verrichte onderzoekingen moet de afvoercoëfficiënt van de doorstroomopening in de stormvloedkering gesteld op 0,90. Het werkelijke benodigde doorstroomprofiel wordt geen 14 000 m², maar 14 000 m² : 0,9 = 15 000 m².

Daarbij moet wegens onzekerheden in de aannamen en het ontwerp nog 1 500 m² worden opgeteld. Vermeerderd met een reserve van 1000 m² voor onderhoudswerkzaamheden, komt het totaal bruto doorstroomprofiel dus op 18 000 m².

Als kerende hoogte van de stormvloedkering werd voorheen een hoogte aangehouden die overeenkwam met een waterstand van N.A.P. + 5,5 m. Deze waterstand heeft een overschrijdingskans van $2,5 \times 10^{-4}$ per jaar. Het verdient echter aanbeveling aan de stormvloedkering reeds bij de aanleg een zekere overhoogte te geven. In verband met zettingen en met de relatieve zeespiegelrijzing kan de werkelijke kerende hoogte in de toekomst afnemen, en aanpassing van de kerende hoogte, dus verhoging van de bovenkant van de bovenbalk, zal extreem kostbaar zijn wanneer de stormvloedkering eenmaal is aangelegd. Thans kan die overhoogte nog tegen aanvaardbare kosten worden aangebracht.

Daarom is het ontwerp in die zin aangepast, dat de kerende hoogte werd gesteld op N.A.P. +

5,8 m. Het effect van de grotere kerende hoogte is in de belastingen doorberekend.

Tot voor kort werd bij het ontwerp van de pijler en van de wijze waarop die geplaatst zou worden, uitgegaan van een funderingsbed met een oneffenheid van ten hoogste ongeveer 25 cm, in combinatie met een blijvende aanzanding van 20 cm. De pijler zou juist boven het funderingsbed in positie worden gebracht, en daar enige tijd in zwevende toestand worden gehouden. In die tijd zou een deel van de ruimte onder de pijlervoet worden ondervuld met een cementmengsel. Daarna werd de pijler zelfdragend, en kon het plaatsingsmateriaal worden verwijderd. Vervolgens zou men de rest van de pijler ondervullen. De vormgeving van de onderzijde van de pijler was hierop afgestemd.

Deze werkwijze is inmiddels echter nader geanalyseerd, en er werd een alternatief ontwikkeld, waarbij de pijler direct wordt geplaatst op een vlak funderingsbed met oneffenheden van hoogstens 10 cm. Aan deze werkwijze geeft men thans de voorkeur. Met name vanwege de maattoleranties heeft deze beslissing consequenties voor de uitvoering van het funderingsbed en voor de vormgeving van de onderzijde van de pijler.

Tevens werd besloten de aanzanding op het funderingsbed vlak voor het plaatsen van de pijlers te verwijderen.

Van alle onderdelen van de stormvloedkering zijn de schuiven het gevoeligst voor afwijkingen van de theoretisch juiste stand en plaats van de pijlers. De nauwkeurigheid van de plaatsing van de pijlers en de deformaties die optreden in de fundering, hebben onmiddellijk invloed op de breedte die nodig is voor de geleiding van de schuiven en op de sponningdiepte. Omdat nu is gekozen voor directe plaatsing van de pijlers op het funderingsbed, zonder nadere correctie van de stand van de pijlers, moeten de sponningdiepte en de geleidingsbreedte worden vergroot. De pijler moet daardoor worden verbreed van 5 m tot 5,5 m.

Ontwikkelingen in het ontwerp van de kering, nader grondonderzoek en een verbeterd inzicht in de plaatsingstechniek van de pijlers, hebben het mogelijk gemaakt het volume van de te verdichten ondergrond onder de drempel aanmerkelijk te verkleinen.

Een aantal uitgangspunten voor het ontwerp van het verdichtingsschip moet daaraan worden

aangepast. De strookbreedte van de verdichting kan terug van 36 naar 26 m, en in verband daarmee het aantal trilnaalden van 6 naar 4.

Het dieptebereik van de naalden wordt vermindert van N.A.P. - 45 m tot N.A.P. - 35 m, al blijft het incidenteel mogelijk 5 tot 10 m dieper te verdichten. Het bestek van het verdichtingsschip is gereed.

Aanbesteding zal op korte termijn plaatsvinden. In financieel opzicht zijn er, behoudens interne verschuivingen tussen de onderdelen, geen wezenlijke veranderingen in de begroting van de stormvloedkering opgetreden.

Mogelijkheden om het project verder te optimaliseren en te vereenvoudigen, worden nog nader onderzocht.

Voor het tweede halfjaar van 1978 staan op het programma van uitvoering: opruiming van de bodembescherming in de Hammen en baggeren in de grondverbetering; het aanbrengen van bodembescherming in diezelfde geul; het droge grondwerk in de bouwput voor de pijlers; de bouw van kranen voor de fabricage van de pijlers; de aanmaak van bekistingen voor de pijlers. De aanleg van stortebedden; de bouw van een hulpbrug, van een betoncentrale en van een verdichtingsschip.

Ten aanzien van de compartimentering van de Oosterschelde kan nog het volgende worden vermeld: Er is nadere studie verricht naar de samenhang tussen het gereedkomen van de stormvloedkering en het sluiten van de compartimenteringsdammen. In verband daarmee werd ook onderzoek gedaan naar de sluitingsmethode van de compartimenteringsdammen. Het komende halfjaar zullen beide studies worden voortgezet; eind 1978 of begin 1979 zal dan een beslissing kunnen vallen aangaande de fasering en de methode van sluiten.

Bij Koninklijk Besluit van 11 maart 1978 is het zuidelijke tracé van de Philipsdam met de daarop aansluitende weg vastgesteld. Op 23 mei heeft de aanbesteding plaatsgevonden van een oever- en bodembescherming in het Krammer, bedoeld om verdere verdieping van het toekomstige sluitgat te voorkomen. Medio 1978 is met de uitvoering van dit werk begonnen. De uitvoering van een gedeelte van het damvak op de Plaats van de Vliet en van het sluisencomplex kan ook nog dit jaar ter hand worden genomen. Het werkeiland, met de daarin opgenomen bouwput voor de sluisen, is gereed. Spoedig wordt de bouwput drooggemalen.

Op 4 november 1976 werd de tweede schuif van de stormvloedkering in de Hollandse IJssel ingehangen (Bericht 79, februari 1977). Sindsdien is er gewerkt aan de afbouw van dit oudste Deltawerk, waaraan al op 15 januari 1954 was begonnen. Sinds 1958 is één schuif operationeel; dit najaar zal ook de tweede schuif operationeel worden.

Proeven met de tweede schuif van de stormvloedkering in de Hollandse IJssel

De afbouw van de tweede schuif hield in het beweegbaar maken van de kering en het aanleggen van de elektrische installatie, die op enige punten afwijkt van die van de eerste schuif. Zoals men weet is bij de tweede schuif de mogelijkheid aangebracht om de sluiting over de laatste 2,50 m voor hij op de bodem komt, stapsgewijs en zeer langzaam te laten verlopen. Daarmee wordt voorkomen dat de sluiting een voor de scheepvaart hinderlijke stroming tengevolge van de zogenaamde translatiegolf veroorzaakt. De onderrand van de tweede schuif eindigt niet zoals de eerste in een brede houten aanslagbalk. Integendeel, hij is bijna messcherp, wat een belangrijke hydrodynamische verbetering blijkt te zijn: tijdens het zakken blijft de tweede schuif in hoge mate trillingvrij. Mede door deze constructie-veranderingen ten opzichte van de eerste schuif kan de kering nu zó nodig in stromend water gesloten worden.

Om ervaring op te doen en ook om de gevolgen van het in stromend water sluiten en het met een waterstandsverschil openen van de kering te kunnen onderzoeken vóór de tweede schuif operationeel werd, is een programma van proeven uitgevoerd, voornamelijk gericht op de trillingen in de schuif, de ontgrondingen nabij de kering en de translatiegolven op de Hollandse IJssel.

De proeven werden uitgevoerd tussen 12 oktober en 1 november 1977.

De schuif is onder een reeks verschillende omstandigheden beproefd. De sluitingstijdstippen waren zó gekozen dat de stroomsnelheden waarbij de kering werd gesloten gedurende het proevenprogramma steeds toenamen. De ongunstigste omstandigheden traden dus op tijdens de laatste proeven. Vóór elke proef werden enige essentiële meetresultaten van de daaraan

voorafgaande proef beoordeeld om te kijken of men veilig verder kon gaan.

In totaal werden acht proeven uitgevoerd. Daarna is op 15 november volgens plan nog een proef gedaan onder stroomomstandigheden. Tijdens de proeven werden de waterstanden gemeten op zes plaatsen, verdeeld langs de Hollandse IJssel, benevens op tweemaal drie plaatsen aan weerszijden van de stormvloedkering en op de stormvloedkering zelf (figuur 1). Verder werden met behulp van zes boten stroomsnelheden gemeten. Vijf van deze vaartuigen maten de stroomsnelheden, elk op twee vaste dieptes, terwijl vanaf één boot de stroomsnelheden gemeten werden in een verticaal juist achter de schuif. Voor en na elke proef werden ladingen uitgevoerd tot ongeveer één kilometer aan weerszijden van de kering. Tijdens de uitvoering van de proeven werden er door het Waterloopkundig Laboratorium trillingsmetingen verricht aan de schuifconstructie. Gedurende het verloop van de proeven bleek, zoals was verwacht, dat de resultaten van geen enkele proef aanleiding gaven om het programma voortijdig te beëindigen; alle geplande proeven, ook die bij de meest ongunstige omstandigheden, zijn uitgevoerd.

In het navolgende geven we een korte beschrijving van de eerste resultaten van de proeven. Met de gedetailleerde uitwerking is men thans nog bezig.

De proeven ten aanzien van de trillingen in de schuif waren zo opgezet dat steeds een stromingssituatie zowel in noordelijke als in zuidelijke richting ontstond. Het waterstandsverschil waarbij de kering werd geheven nam bij de opeenvolgende proeven toe van 0,25 m tot 1,30 m. Het bleek tijdens de proevenserie dat de maximale vervallen tijdens het heffen van de schuif



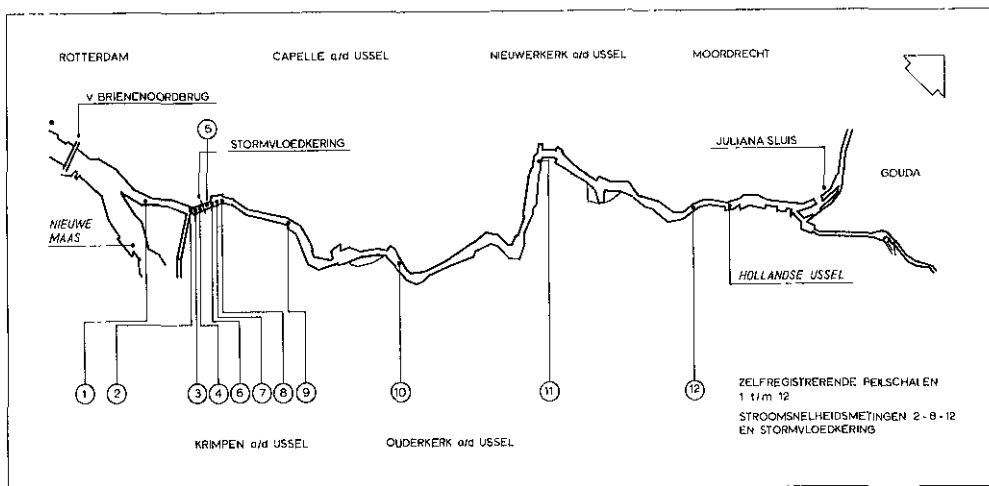


Fig. 1. Situatie van de meetpunten langs de Hollandse IJssel

zeer snel verminderden en dat de vervalopbouw bij het zakken van de kering in stromend water beperkt bleef.

De trillingen in de schuif zijn gemeten met een trillingsanalysator, die was geplaatst in het midden van de bovenste hoofdligger. De voornaamste trillingen zijn gevonden bij schuifopeningen van 0,75 m tot 2,0 m. Hier werden bij uitstroming van de Hollandse IJssel horizontale trillingen gemeten in en loodrecht op de stroomrichting met een frequentie van 3 tot 5 hertz. Bij instroming in de Hollandse IJssel werden horizontale trillingen in de stroomrichting gemeten met een frequentie van 1 tot 2 hertz. Bij gesloten schuif tenslotte werd een in verband met vermoeiing van het staal niet verwaarloosbare trilling aan de onderrand gemeten met een frequentie van 90 hertz. Zo'n trilling kan optreden doordat er bij gesloten schuif een spleet van ongeveer 5 cm overblijft tussen de onderrand en de drempel.

Slechts aan de beide uiteinden staat de schuif dan op zijn opleggingen.

Samenvattend kan gesteld worden dat bij het sluiten van de schuif in stromend water of het heffen bij een waterstandsverval tijdens de acht proeven geen trillingen zijn opgetreden die de schuif in gevaar hadden kunnen brengen.

De eerste vier proeven ten aanzien van de ontgrondingen werden gedaan bij stroom in beide richtingen. Bij de laatste vier proeven stroomde het water per proef in één richting; de sluis werd bij deze proeven of alleen geopend of alleen gesloten. De opening respectievelijk sluiting daaraan voorafgaande vond dan plaats bij gelijke waterstand. Bezien we de resultaten van de lodingen die voor en na elke proef werden uitgevoerd, dan is er nauwelijks samenhang te vinden tussen de bodemverandering en de

stroomsnelheden tijdens de proef. De verschillen konden net zo goed toegeschreven worden aan onnauwkeurigheden van loding en plaatsbepaling. De konklusie die hieruit getrokken kan worden is dat de door de proeven veroorzaakte hoge stroomsnelheden onder de schuif van weinig invloed zijn op de bodemligging. Dit is te verklaren uit de vorm van de drempel. Die is namelijk zo ontworpen dat de waterstraal die onder de schuif doortrekt, afgebogen wordt naar het wateroppervlak. Dit was ook duidelijk waar te nemen tijdens de proeven, zowel visueel (foto) als uit stroommetingen over de verticaal, juist achter de schuif.

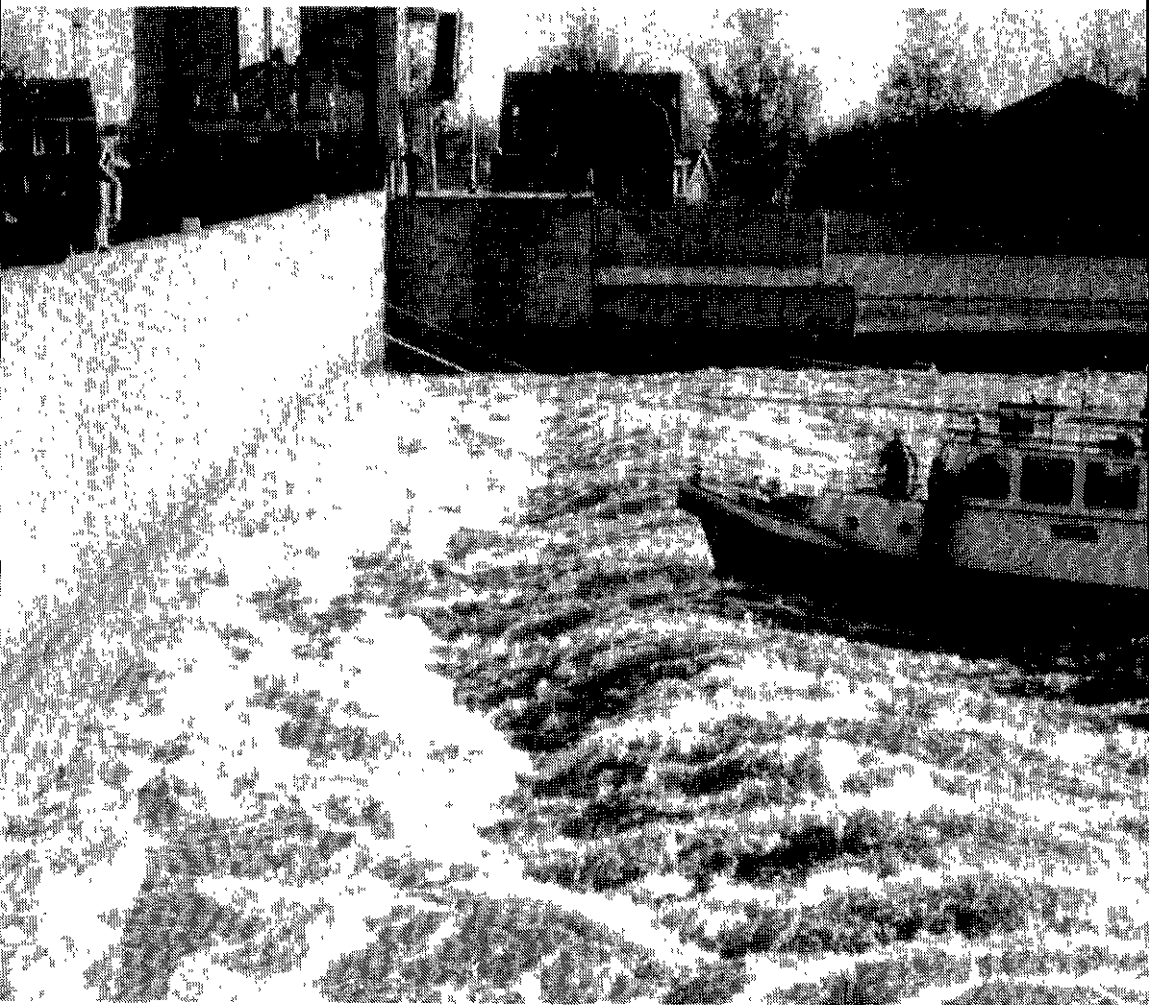
Zowel langs fotografische weg als door lodingen zijn de taluds van de waterkeringen nabij de stormvloedkering tijdens de proeven voortdurend bewaakt. Ze hebben geen enkele schade opgelopen ten gevolge van de stromingen.

Resumerend kan gesteld worden dat de ontgrondingen een aanzandingen op geen enkele wijze belemmerd werkten voor de voortzetting van het proevenprogramma. Verwacht mag worden dat ook bij toekomstig operationeel gebruik bij sluiten op stroom geen nadelige gevolgen zullen optreden.

Natuurlijk wordt de bodemligging van de Hollandse IJssel in de omgeving van de stormvloedkering desondanks door geregeld uitgevoerde lodingen bewaakt.

Tenslotte is onderzoek gedaan naar het optreden van translatiegolven. Als gevolg van het sluiten van de kering in stromend water dan wel het trekken van de schuif bij een waterstandsverschil ontstaat een translatiegolf, die vanaf de kering zowel loopt in de richting Gouda als in de richting Nieuwe Maas. De translatiegolf lopend in de richting Nieuwe Maas zal op deze laatste

De waterstraal die onder de schuif doortrekt, wordt afgebo-gen naar het wateroppervlak



rivier uitwaaiëren en snel uitdempen, zodat de golf slechts éénmaal langs komt. De translatiegolf richting Gouda kaatst terug aan het gesloten uiteinde van de Hollandse IJssel ter plaatse van de Julianasluis en de Waaiersluis en loopt dan weer terug in de richting van de stormvloedkering.

De looptijd van de golf van de stormvloedkering naar Gouda bedraagt 50 minuten. De grootste amplitude van de translatiegolf werd steeds gemeten ter plaatse van de Julianasluis. De grootste gemeten dubbele amplitude van de eerste translatiegolf daar bedroeg 66 cm en deed zich, voor tijdens proef 6.

De dubbele amplitude van de tweede en derde translatiegolf bedroeg respectievelijk 60 en 30 % van de eerste. Dit geldt ook voor de andere proeven. Behalve ter plaatse van de Julianasluis en bij Moordrecht (meetpunt 12) zijn de amplituden van de translatiegolven overal aanzienlijk kleiner dan juist achter de stormvloedkering. Opvallend is het waterstandsverloop bij Nieuwerkerk (meetpunt 11). De translatiegolf is hier nauwelijks waar te nemen, mogelijk in verband met de vorm van het rivierbed op dat punt. Het trekken van de kering bij een waterstandsverschil heeft slechts een snelle peilstijging dan wel -daling ten gevolge op de Hollandse IJssel, afhankelijk van de richting van het verval. Waarneembare translatiegolven in de richting van Gouda komen dan niet voor.

Hoe hinderlijk zijn nu de translatiegolven die optreden bij het sluiten van de kering? Enerzijds kan gesteld worden dat de snelheid van de peilrijzingen en -dalingen als gevolg van de eerste translatiegolf nauwelijks afwijkt van waarden die ook onder normale getij-omstandigheden

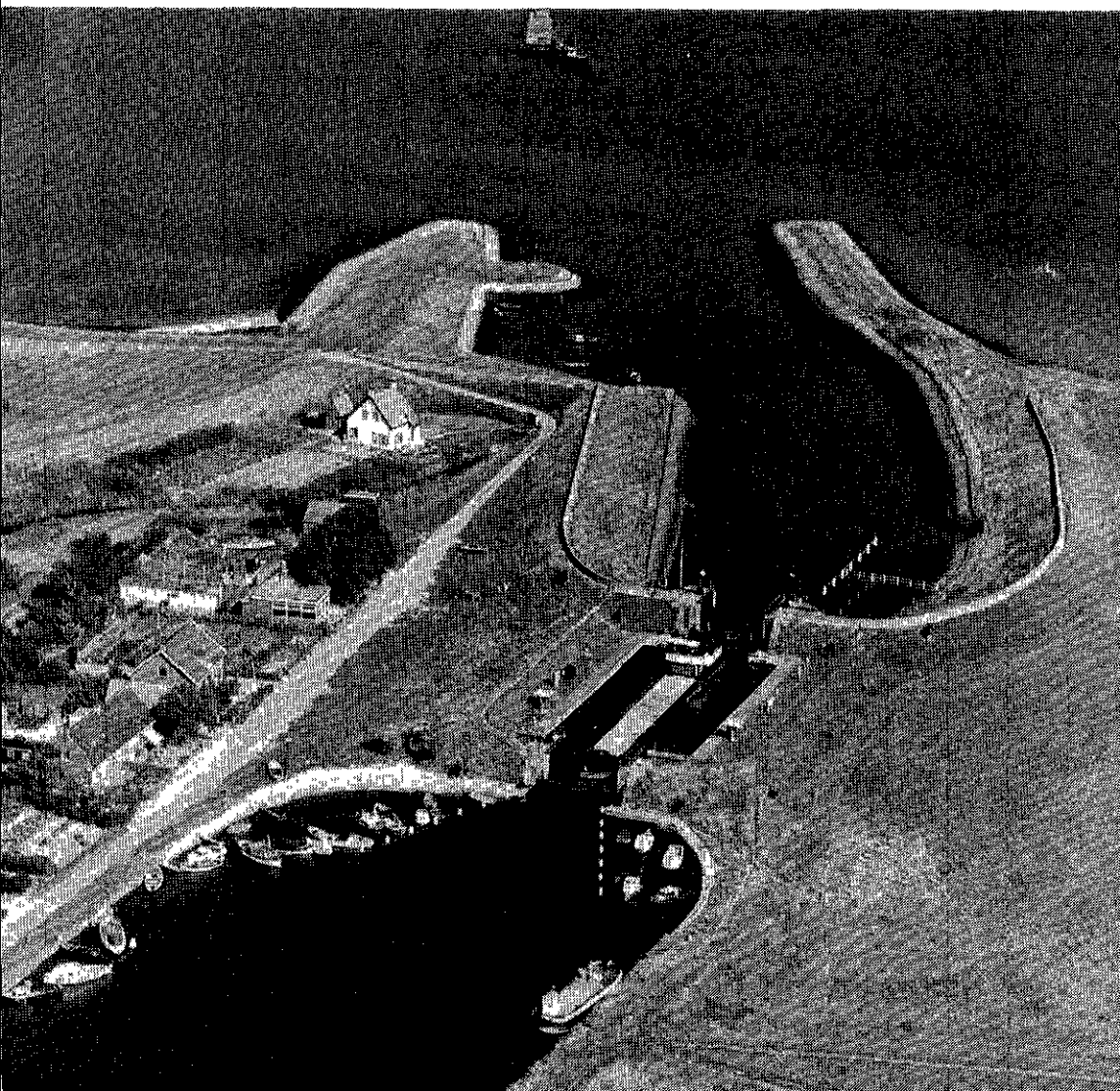
veelal voorkomen. Anderzijds is er het feit dat deze waterstandsveranderingen onverwacht optreden, dat wil zeggen sterk afwijkend van het getijregiem op de Hollandse IJssel.

Ditzelfde geldt voor de stroomsnelheden op deze rivier. Als gevolg van de translatiegolf verandert de stroomrichting op een bepaald punt langs deze riviervak om de 50 minuten van richting. Maar de waarden van de stroomsnelheden die gemeten zijn bij Moordrecht, daar waar zich een vernauwing van het natte profiel van de Hollandse IJssel bevindt en dus de meeste kans bestaat op stroomversnelling, zijn zo klein dat ze slechts tijdens de proeven met de hogere translatiegolven en dan nog alleen gedurende de passage van de eerste translatiegolf konden worden gemeten.

Door het uitvoeren van de beschreven proevenreeks is een aanzienlijke ervaring opgedaan met het in stromend water sluiten van de stormvloedkering in de Hollandse IJssel.

Deze ervaring zal worden gebruikt voor het opstellen van het bedieningsvoorschrift. In geval van storm zal de kering in stromend water gesloten kunnen worden. Hierdoor kan men de aanvang van een sluiting langer uitstellen dan nu het geval is. Thans wordt de kering bij verwachting van storm gesloten op het laagwater voorafgaand aan het verwachte hoge hoogwater. In de praktijk is gebleken dat slechts 1 op de 6 sluitingen achteraf bezien nodig was. Nu een latere aanvang van de sluiting mogelijk wordt en de ontwikkeling van het weer langer afgevoerd kan worden, zal het aantal sluitingen afnemen. Dit zal voornamelijk ten goede komen aan de scheepvaart – minder schuttingen – en aan het wegverkeer – minder brugopeningen.

Schutsluis van de haven te
Goës, een nog aan te passen
object



De waterstaatkundige toestand van onverschillig welk gebied in Nederland bevat een uitgebalanceerd systeem van waterstaatswerken dat in staat wordt geacht om aan uiteenlopende eisen van watervoorziening, waterafvoer en peilbeheersing te voldoen. Als de eisen veranderen, moet het systeem worden gewijzigd. In de meeste gevallen betekent dit dat er werken worden verbouwd of toegevoegd.

Bij het begrip waterstaatwerken denken wij aan dijken, rivieren, beken, kanalen en watergangen, maar ook aan havens en aan gemalen, spui- en inlaatsluizen. Ze zijn in beheer of onderhoud bij de Rijkswaterstaat, de Provinciale Waterstaat, een gemeente of bij een Waterschap of Hoogheemraadschap. In het zuidwesten des lands zijn op grond van de Deltawet heel wat wijzigingen in de waterstaatkundige toestand tot stand gekomen of voorzien.

In de Deltawet is in artikel 3 gesteld, dat de beheerders van waterstaatswerken verplicht zijn de nodige voorzieningen te treffen of voor vervangende werken te zorgen. De waterstaatswerken waaraan voorzieningen moeten worden getroffen of die door nieuwe werken moeten worden vervangen, worden aanpassingswerken genoemd.

De kosten komen voor rekening van het rijk. Over de behandelingsprocedure en de planning kan het volgende worden medegedeeld. De omvang van het pakket nog te behandelen aanpassingsobjecten en de samenhang met andere werken, onder meer dijkversterkingen, maakt een systematische en gefaseerde aanpak nodig. Daarom is er een planning opgezet waaruit kan worden afgelezen wanneer de behandeling van een bepaald object moet starten om te bereiken dat het werk gereed is voordat de gewijzigde toestand optreedt.

In Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland bestaan commissies die de aanpassingszaken behandelen, waarna de minister van Verkeer en Waterstaat beslist over de goedkeuring van het plan en de financiering.

Op de kaart op p. 318 is met een sterretje aangegeven op welke plaatsen in het zuidwesten aanpassingswerken zijn gemaakt of worden overwogen. De werken 1 t/m 13, gelegen aan het

Aanpassingswerken in het Zuidelijk Deltagebied

Veerse Meer en het Grevelingenmeer zijn tot stand gekomen in de jaren 1961-1971. De overige, gelegen rond de Oosterschelde, zullen voor het merendeel in de komende jaren, doch vóór 1986 geregeld worden. De behandeling daarvan is uiteraard onderbroken geweest in de periode dat het Oosterschelde-overleg heeft geduurd (1973-1976).

Nu bekend is dat de Oosterschelde een zout getijdebekken blijft, resteert de opgave na te gaan hoe de bestaande werken moeten worden aangepast, om onder de nieuwe omstandigheden te kunnen functioneren. Achter de compartimenteringsdammen zal in 1985 een zoet Zoommeer tot stand komen, wat de nodige consequenties heeft voor de waterstaatswerken in dit gebied. Daarnaast kan de noodzaak blijken, dat reeds tot stand gekomen aanpassingen aan het Veerse Meer en het Grevelingenmeer nogmaals moeten worden aangepast aan het gewijzigde toekomstbeeld.

Hoe gaat nu een Commissie Aanpassingszaken te werk? Men gaat per bekken na hoe de toekomstige waterstaatkundige toestand zal verschillen van de bestaande.

Enkele voorbeelden kunnen dit illustreren. Ofschoon op de Oosterschelde de getijbeweging voor 75 % behouden blijft, verandert er toch zoveel aan de waterstaatkundige toestand, dat in een aantal gevallen de bestaande werken moeten worden aangepast. Langa de Oosterschelde is de schutsluis van de haven van Goes het omvangrijkste object. Ter vervanging zal mogelijk een geheel nieuwe schutsluis worden gebouwd omdat de gebruiksmogelijkheden van de huidige schutsluis sterk afnemen door de getijreductie. Dat deze sluis tevens groter wordt dan de bestaande, valt buiten de aanpassingsregeling.

Voor de werken die aan het toekomstige Zoommeer zijn gelegen, verandert er door de aanleg van de compartimenteringsdammen in 1985 zoveel aan de waterstaatkundige toestand, dat de noodzaak tot aanpassing onverminderd blijft bestaan.

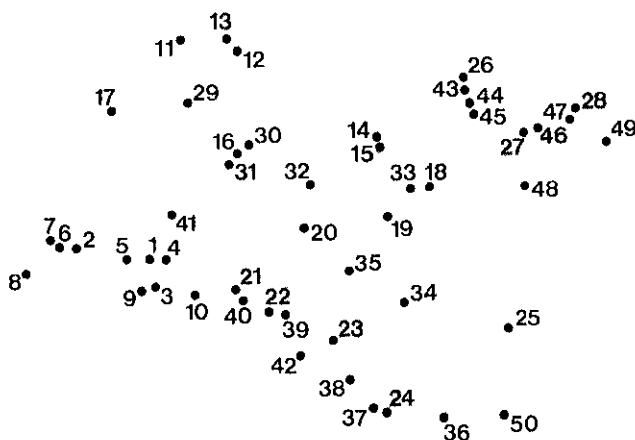
De belangrijkste aanpassingen betreffen daar de rivieren Mark en Dintel en de Roosendaalsche en Steenbergse Vliet.

Bij het aanpassingsplan gaat men er van uit dat de rivieren – onder normale omstandigheden – in open verbinding zullen staan met het Zoommeer, waar een nagenoeg vast peil zal heersen. De rivieren worden daarop aangepast.

Een aanpassingsplan wordt pas opgesteld als de aanpassingsnoodzaak is gebleken en vastgesteld.

Bij havens volgt de noodzaak tot aanpassing meestal uit de vermindering van de vaardiepte

door de lagere hoogwaterstanden of, zoals bij het Zoommeer, uit het geheel wegvallen van het getij. Bij de vrij afwaterende polders ligt het anders. Die zouden als gevolg van de verhoogde laagwaterstanden op de Oosterschelde of door het wegvallen van het getij op het Zoommeer na 1985, niet goed of helemaal niet meer kunnen lozen. Voor de Oosterschelde komt daar nog bij dat bij sluiting van de stormvloedkering op stagnante perioden moet worden gerekend. De bestaande uitwateringssluizen van de polders zullen moeten vervallen. Voor een aantal daarvan komt een gemaal in de plaats; van enkele kleinere polders zal de afwatering gecombineerd worden met die van aangrenzende gebieden. Van de bestaande gemalen wordt ook onderzocht of daar problemen kunnen ontstaan. Met name de mogelijkheid van gefixeerde hoge waterstanden op de Oosterschelde tijdens stag-



Aanpassingswerken in het Zuidelijk Deltagebied

I. Tot stand gekomen aanpassingswerken aan het Veerse Meer

object	beheerder	gereed
1. haven van Kortgene	gemeente Kortgene	1961
2. haven van Kamperland	gemeente Wissenkerke	1961
3. haven van Wolphaartsdijk	gemeente Goes	1961
4. gemaal Adriaan	Waterschap Noord-Beveland	1962
5. gemaal Willem	Waterschap Noord-Beveland	1962
6. gemaal Jacoba	Waterschap Noord-Beveland	1961
7. gemaal Onrust	Waterschap Noord-Beveland	1961
8. gemaal Oostwatering	Waterschap Walcheren	1973
9. gemaal Oosterland	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	1962
10. gemaal Wilhelmina	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	1962
idem aan het Grevelingenmeer		
11. haven van Scharendijke	gemeente Middenschouwen	1971
12. haven van Brouwershaven	gemeente Brouwershaven	1971
13. loswal Brouwershaven	gemeente Brouwershaven	1971

II. Nog te behandelen aanpassingswerken

14. gemeentehaven van Bruinisse	gemeente Bruinisse	
15. reparatiehaven van Bruinisse	gemeente Bruinisse	
16. haven van Zierikzee	gemeente Zierikzee	
17. haven van Burghsluis	gemeente Westerschouwen	
18. haven van St.-Philipsland	gemeente St. Philipsland	
19. haven van St.-Annaland	gemeente Tholen	
20. haven van Stavenisse	gemeente Tholen	
21. haven van Goes	gemeente Goes	
22. haven van Kattendijke	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	
23. haven van Yerseke	gemeente Reimerswaal	
24. haven van Krabbendijke	gemeente Reimerswaal	
25. haven van Bergen op Zoom	gemeente Bergen op Zoom	
26. haven van Oude Tonge	gemeente Oost-Flakkee	
27. haven van Galathee	gemeente Oost-Flakkee	
28. haven van Ooltgensplaat	gemeente Oost-Flakkee	
29. gemaal Prommelsluis	Waterschap Schouwen-Duiveland	
30. gemaal 't Sas	Waterschap Schouwen-Duiveland	
31. gemaal Zuidhoek	Waterschap Schouwen-Duiveland	
32. gemaal Duiveland	Waterschap Schouwen-Duiveland	
33. afwatering St.-Philipsland	Waterschap Tholen	
34. gemaal Poortvliet	Waterschap Tholen	
35. gemaal de Noord	Waterschap Tholen	
36. afwatering 2e Bathpolder	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	
37. afwatering Karelpolder	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	
38. afwatering St.-Pieterpolder	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	
39. afwatering Kapelle-Wemeldinge	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	
40. afwatering Wilhelminapolder Oost	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	
41. gemaal de Valle	Waterschap Noord-Beveland	
42. gemaal de Moer	Waterschap de Brede Watering van Zuid-Beveland	

43. afwatering Oudeland van Oude Tonge	Waterschap Flakkee
44. afwatering Krammerse Polders	Waterschap Flakkee
45. afwatering Aymon Louisepolders	Waterschap Flakkee
46. afwatering Sluise of Galathese Haven	Waterschap Flakkee
47. afwatering Oudeland (Ooltgensplaat)	Waterschap Flakkee
48. afwatering Roosendaalsche en Steenbergse Vliet	Hoogheemraadschap van de Roosendaalsche en Steenbergse Vliet
49. afwatering Mark en Dintel	Heemraadschap van de Mark en Dintel
50. afwatering Hoogerwaardpolder	Waterschap de Hoogerwaardpolder

nantie vormen een aspect waarmee rekening moet worden gehouden.

Met behulp van een voorlopige, vereenvoudigde probleembenadering is getracht enig inzicht te verkrijgen in de capaciteitsverandering bij deze gemalen. In onderstaande tabel is aangegeven hoe volgens deze methode de gemalen bij een bepaalde buitenwaterstand worden ingedeeld in de categorieën voldoende, grensgeval en onvoldoende. De waterstand in de eerste kolom (N.A.P. + 0,50 m) is de maximum waterstand waarmee in het vroegere Deltaplan werd gerekend.

In totaal zijn 6 gemalen in de beoordeling betrokken.

Zonder nog veel waarde toe te kennen aan de absolute juistheid van de genoemde beoordeling, kan toch een bepaalde tendens worden gesignaleerd.

Bij een vaste buitenwaterstand van N.A.P. + 2,00 m voldoet in deze opzet geen enkel gemaal meer aan de normcapaciteit. Duidelijkheidshalve wordt hierbij nadrukkelijk gesteld dat hieruit nog geen aanpassingsnoodzaak blijkt. Daarvoor moet namelijk op z'n minst ook de frequentie en duur van voorkomen van de buitenwaterstanden in de beschouwing worden getrokken.

Uit het voorgaande blijkt wel, dat de Deltawerken – naast een goede regeling van veiligheid en milieu – nog een aantal effecten teweegbrengen die speciale zorg behoeven. Met de aanpassing van waterstaatswerken wordt thans goede voortgang gemaakt, en de verwachting bestaat dat gelijk met het gereedkomen van de grote Deltawerken ook de waterstaatkundige toestand op adequate wijze zal zijn geregeld.

categorie	waterstand t.o.v. N.A.P.					
	0,50 +	1,00 +	1,50 +	2,00 +	2,50 +	3,00 +
voldoende	4	2	2	–	–	–
grensgeval	1	3	1	2	2	–
onvoldoende	1	1	3	4	4	6

Samenvattingen

De probabilistische benadering van het ontwerp van de stormvloedkering. III: Natuurrandvoorwaarden en belastingen

De belastingen op de stormvloedkering zijn een gevolg van de stormvloedstand op zee, de binnenwaterstand en de significante golfhoogte. Van deze drie natuurrandvoorwaarden tracht men bij de probabilistische methode de kansverdeling statistisch te bepalen. De mogelijke stormvloedstanden worden bepaald door extrapolatie van de lijn van waargenomen hoogwaterstanden. Er blijkt bovendien een verband aanwezig tussen de waterstanden en de significante hoogte van de golven die van de Noordzee kunnen doordringen in de Oosterschelde; een ander deel van de golven wordt ter plaatse van de Oosterscheldemonding opgewekt. Ook voor de voorspelling van de binnenwaterstanden is waarnemingsmateriaal voorhanden, dat statistisch bewerkt kan worden. Een rekenmodel vertaalt de natuurrandvoorwaarden en hun kans van optreden in de kans op bepaalde belastingen. Door vele combinaties van natuurrandvoorwaarden met hun kans van voorkomen te berekenen, wordt uiteindelijk de kansverdeling van de belastingen bepaald.

Aanstaande veranderingen in de getijbeweging op het Oosterscheldebekken

De aanleg van de stormvloedkering en van de compartimenteringsdammen blijft niet zonder gevolg voor de getijbeweging op de Oosterschelde. Aan de binnenzijde van de kering zal een faseverschil optreden met het getij buiten. Het tijverschil wordt aan de binnenzijde kleiner. Het verval over de kering zal bovendien veroorzaken dat het water bij het passeren van het

kunstwerk een hoge snelheid krijgt. Meer landinwaarts vinden we nog steeds een faseverschil met het getij buiten en ook een verminderd getijverschil. De snelheden zijn echter lager dan in de mond, ja zelfs lager dan thans, vooral in de noordelijke stroomgeul.

Onder stormomstandigheden is het opmerkelijk dat de dempende uitwerking die de openstaande stormvloedkering heeft op het getij, afneemt naarmate de waterstanden stijgen. Dit is vooral theoretisch interessant: in de praktijk zal de stormvloedkering bij stormvloed gesloten zijn.

Stormvloedkering in de Oosterschelde

Aanzanding tijdens de drempelopbouw

Tijdens de aanleg van het funderingsgebied voor de stormvloedkering en gedurende de periode dat de pijlers geplaatst worden, kan hinderlijke aanzanding optreden in de sleuf die terwille van deze werken in het tracé van de afsluiting wordt gebaggerd. Met behulp van rekenmodellen werd in eerste instantie benaderd hoe de aanzandingen zullen verlopen. Ook werden er ter vergelijking met het rekenresultaat twee proefsleuven gegraven, waarvan de ontwikkeling door metingen en peilingen werd gevolgd. In de Roompot blijkt de aanzanding vooral een gevolg van het bodemtransport. Het stromingsbeeld is daar sterk driemensionaal. In de Schaar van Roggenplaat is het beeld rustiger. De aanzanding bedraagt gemiddeld een tot enkele centimeters per dag. Het aangezande materiaal vormt veelal ribbels tot 1 m hoog.

Het doorstroomprofiel van de stormvloedkering

In dit artikel wordt een uiteenzetting gegeven over de samenhang tussen een gemiddeld getijverschil op het Oosterscheldebekken en de grootte van de doorstroomopening in de mond. De afvoercoëfficiënt van die opening, een belangrijke factor in deze materie, wordt beter naarmate de stroomlijnen meer geleidelijk worden samengedrukt. De ontgrondingen achter de waterkering kunnen worden gereduceerd door een per sectie goed berekende ligging van de bovenste dorpelbalk. Deze niveaus en de funderingsniveaus van de pijlers zijn inmiddels vastgesteld.

Hydraulisch onderzoek naar de lengte van de bodembescherming

De ontgrondingskuilen aan de benedenstroomse zijde van de stormvloedkering mogen niet meer dan 25 m diep worden er er mag geen

kans optreden op het ontstaan van zettingsvloeiingen. Welke maatregelen daarvoor genomen moeten worden, wordt bepaald door onderzoek in modellen.

De hydraulische eigenschappen van de stormvloedkering worden in modellen met kleinere schalen ingevoerd via een zogenaamd schematiseringsonderzoek, waarbij nauwkeurig wordt nagegaan, welke vorm de stormvloedkering in het model moet hebben om dezelfde afvoercoëfficiënt te hebben als het ontwerp. Modelonderzoek en computerberekening samen kunnen uitmaken hoe lang de bodembescherming moet zijn om nog over 10 jaar binnen de toelaatbare ontgroning te blijven.

Filteronderzoek ten behoeve van het drempelontwerp

Een punt van zorg bij het drempelontwerp voor de stormvloedkering vormde de stabiliteit van het grensvlak tussen het bodemmateriaal en de onderste laag van het funderingsbed. Onder invloed van de golfwerking worden hier onder andere zeer grote cyclische verhangen op uitgeoefend. Over het gedrag van filters onder cyclische belasting is nog weinig bekend; het werd dan ook nodig geacht in drie proefopstellingen elementair onderzoek te doen naar deze belastingen, in combinatie met eventueel in andere richting verlopende stationaire verhangen. De beste oplossing voor het onderhavige probleem bleek de 'twee-lagen-oplossing': tussen de bodem en de eerste laag van het funderingsbed wordt een extra laag van grof grind ingevoegd, bestaande uit een gegradeerd mengsel, met korrelgrootten tussen 0,3 en 32 mm. Dit verzekert zowel de stabiliteit als de filterwerking.

Reportage van studies en voorbereidingen in verband met de stormvloedkering, eerste halfjaar 1978

Voorzover ze niet in afzonderlijke artikelen zijn besproken, worden sommige veranderingen in de details van het ontwerp van de stormvloed-

kering, aangebracht in het eerste halfjaar van 1978, in deze bijdrage genoemd. De aangenomen totale golfbelasting loodrecht op de kering kon met 20% worden gereduceerd. De bruto doorstroombopening werd, gezien de afvoercoëfficiënt en de nodige reserves, gesteld op 18 000 m². De kerende hoogte werd opgetrokken tot N.A.P. + 5,8 m. De pijlers zullen direct en zonder nacorrectie worden geplaatst op het vlakke funderingsbed. Het volume van de grondverdichting kan daardoor worden verkleind. Het ontwerp van het binnenkort te bouwen verdichtingsschip wordt daaraan aangepast.

Proeven met de tweede schuif van de stormvloedkering in de Hollandse IJssel

Het oudste Deltawerk, de beweegbare stormvloedkering in de Hollandse IJssel, waaraan al in 1954 begonnen werd, is pas in 1976 voorzien van een tweede schuif. Binnenkort wordt deze tweede schuif operationeel. Daaraan voorafgaand is een proevenserie gedaan naar de eigenschappen van de nieuwe schuif en het sluiten en openen van de kering op stroom en bij verval:

Deze manoeuvres blijken mogelijk zonder nadelige gevolgen voor het kunstwerk of de omgeving.

Aanpassingswerken in het Zuidelijk Deltagebied

Onder invloed van de Deltawerken moet het systeem van waterbeheersing in Zuid-West-Nederland worden herzien: overal veranderen de waterpeilen. Nu de plannen met betrekking van de Oosterschelde zijn veranderd, moet voor het omringende gebied ook de aanpassing worden heroverwogen. Met name wanneer de stormvloedkering gesloten is, zullen er tijdelijk zulke hoge waterstanden op de Oosterschelde kunnen optreden, dat geen van de zes gemaal eromheen in zijn tegenwoordige toestand voldoende zal kunnen lozen. Aanpassing kan echter tijdig gereed zijn.

Summaries

The probabilistic concept of the design of the storm-surge barrier. III: Natural boundary conditions and loads

The loads exerted on the storm-surge barrier are due to the stormflood level at sea, the inner water-level and the significant wave height. By means of the probabilistic method one seeks to determine statistically the probability-distribution of these three natural boundary conditions. The possibly occurring stormflood levels are determined by extrapolation of the curve of observed high water-levels. There also appears to exist an interrelationship between the water-levels and the significant height of the waves which penetrate from the North Sea into the Oosterschelde; another part of the waves are generated at the mouth of the Oosterschelde. Observed data are available for the inner water-levels, which data can be worked out statistically. A computation model translates the natural boundary conditions and their chance of occurrence into the probability of specific loads. By calculating many combinations of the natural boundary conditions and their chance of occurrence the probability-distribution of the loads will finally be determined.

Future changes in the tidal motion on the Oosterschelde-basin

The construction of the storm-surge barrier and of the compartment-dams will effect the tidal motion on the Oosterschelde. At the inner side of the barrier a phase difference will occur as compared to the tidal motion at the seaward side. The tidal amplitude will become less at the inner side of the barrier.

Owing to the difference in the water-level across the barrier, the water running through the cross-section will significantly gain in speed. Further landinward we not only observe a phase-difference still with the tidal action at the sea-side of the barrier, but also a reduced amplitude in the tide. The velocities of the water are lower, however, than at the mouth of the Oosterschelde, in fact they will even be lower than to-day, especially in the northern flow channel.

It is remarkable that under stormy conditions the absorbing effect of the open storm-surge barrier on the tidal motion diminishes according as the water-level rises. This is only of theoretical interest however, as in practice the storm-surge barrier will be closed during stormy weather.

Storm-surge barrier in the Oosterschelde

Settlement of sand during the construction of the sill

During construction of the foundation bed of the storm-surge barrier and during the time the piers are being positioned, troublesome settlement of sand may occur in the channel that has been dredged in the alignment of the closure gap. Computation models were used to provisionally determine how sedimentation will proceed. In order to compare the result of the calculations, two test-channels were dug in which the development was observed by means of measurements and soundings. In the Roompot the settlement of sand proves to be caused by bed-load transport. The flow-pattern there is three-dimensional. In the Schaar van Roggenplaat the pattern is much quieter.

The sand deposits amount to an average of several centimeters a day. The sediments form mostly ridges up to 1 meter.

The wet cross-section of the storm-surge barrier

In this paper an explanation is given about the interrelationship of an average tidal range in the Oosterschelde-basin and the size of the wet cross-section of the barrier across the mouth of the Oosterschelde. The discharge-coefficient of the cross-section – an important factor in this matter – improves according as the streamlines are gradually compressed. The scourings behind the barrier can be reduced by a properly calculated position of the upper sill-beam per section.

These levels and the foundation levels of the piers have been established in the meantime.

Hydraulic research into the length of the protective bottom-revetment

The hollows caused by scouring at the downstream side of the storm-surge barrier should not exceed a depth of 25 m, and the occurrence of spontaneous liquefaction should be avoided. The measures to be taken will be determined by model research.

The hydraulic properties of the storm-surge barrier will be fed into models with a smaller scale, via a so called schemetical research, whereby accurate tests are made to find out which form the storm-surge barrier must have in the model to come to the same discharge-coefficient as in the design.

Model research and computer calculations combined can determine the requisite length of the protective bottom-revetment in order to remain within the acceptable limits of scouring, even after 10 years.

Research into the filter-system for the design of the base

At the design of the base for the storm-surge barrier there was great concern about the stability of the interface between the bottom material and the lowest layer of the foundationbed. Due to the wave action heavy cyclical surface energy gradients were exerted at these places. Little is known about the behaviour of filters under cyclical loads; it was deemed necessary therefore to undertake elementary research into these loads in three test cases, in combination, if so required, with surface energy gradients running in other directions.

The best solution of the problem at hand proved to be 'the two layer solution': between the bottom and the first layer of the foundationbed an extra layer of coarse rubble is added consisting of a graded mixture of loose stones with a diameter of between 0.3 and 32 mm. This will ensure both the stability and the filter action.

Report of studies and preparations related to the storm-surge barrier, first semester of 1978

In so far as they have not been discussed in

separate reports, some changes in the details of the design of the storm-surge barrier which have been introduced in the first semester of 1978, are mentioned in this publication.

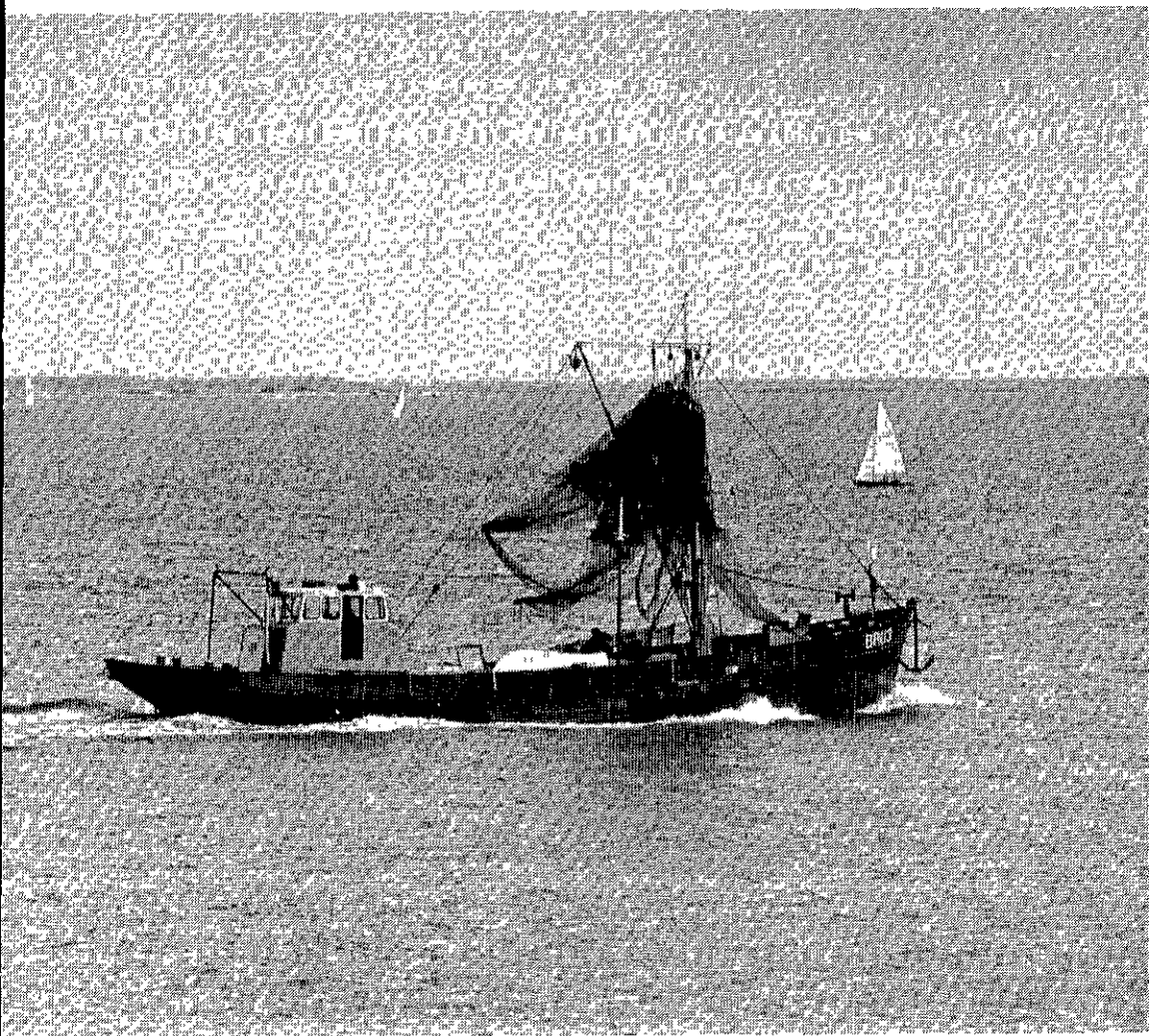
It appeared possible to reduce the assumed total perpendicular wave-load by 20%. In view of the discharge-coefficient and the necessary reserves the gross wet cross-section has been fixed at 18.000 m². The retaining height was increased up to N.A.P. 5.8 m. The piers will be positioned, directly and without correction afterwards, on the flat foundationbed. It is thus possible to decrease the magnitude of the soil-compaction. The design of the compaction vessel shortly to be built can be adjusted accordingly.

Tests with the second gate of the storm-surge barrier in the Hollandse IJssel

The oldest Delta-construction, the movable storm-surge barrier in the Hollandse IJssel, the building of which started in 1954 already, was not equipped with a second gate until 1976. This second gate will become operational in the near future. Preceding this event a number of tests have been made to determine the properties of the new gate and to observe at the same time the behaviour of the barrier during opening and closing procedures at the time of tidal flow and at a difference in water-level across the barrier. These manoeuvres prove to be possible without adverse effects for the hydraulic structure or its surroundings.

Re-adjustment works in the southern Delta area

As a result of the hydraulic constructions in the Delta area the system of water-control in the western part of the Netherlands will have to be re-adjusted: everywhere water-levels are changing. As the original plans related to the Oosterschelde have been changed, the surrounding territories must also be re-adjusted. Especially when the storm-surge barrier is closed, such high water-levels may occur on the Oosterschelde, that none of the six surrounding pumping stations is capable, with their present capacity, of handling the discharges adequately. Re-adjustment, however, can be completed in time.



Vorderingen

1 april–1 juli 1978.

A. De werken van het Deltaplan

Doorlaatsluis, vissluis en voetgangerstunnel in de Brouwersdam

Er werd verder gewerkt aan de elektrische installatie voor de doorlaatsluis; ook werd een begin gemaakt met het aanbrengen van een elektrische installatie voor de vissluis. De grondwerken voor en in verband met de sluis zijn op 1 juni 1978 definitief opgeleverd.

Philipsdam

De wegen op het werkeiland werden afgewerkt met een zand/cementstabilisatie. Daarmee was het werkeiland voltooid. Het werd op 1 juni opgeleverd en goedgekeurd. Inmiddels is men begonnen met de aanvoer van klei, afkomstig uit de verbetering van de Dordtse Kil; deze klei wordt voorlopig in depot opgeslagen, om later te worden verwerkt bij de uitvoering van de Philipsdam. Alle liggers voor de bovenbouw van de hulpbrug tussen het werkeiland en Bruinisse zijn aangebracht. Nu wordt de brug gesteld en afgewerkt. Vóór de bouwvakvakantie zal de brug nog worden voorzien van een asfaltlaag.

Stormvloedkering

In de afgelopen periode werd 300 000 m² blokkenmat gelegd, voornamelijk in de stroomgeul Schaar van Roggenplaat. Dit werk is daar nu gereed. Er wordt nu verder gewerkt aan het leggen van blokkenmatten in de stroomgeul Hammen.

In de Roompot daarentegen werd bodembescherming opgeruimd. Een rotsbaggermolen ruimde bezinkingen en bestortingen op, die wel pasten in het plan van volledige afsluiting van de Oosterschelde, maar die nu in het tracé liggen van een sleuf die gegraven gaat worden voor de fundering van de pijlers van de stormvloedkering. De Roompot is nu 'schoon'; in de Hammen en de Schaar wordt nog verder gegaan met het opruimingswerk. Met een speciaal daarvoor ontworpen knipapparaat, beschreven in Bericht 81 (augustus 1977), werden in de Hammen de steenasfaltmatten op de grens van het op te ruimen gedeelte doorgeknipt. De bouwput voor de pijlers werd geheel op diepte gebracht. Op 9 mei werd de ringdijk om de bouwput gesloten. Het werkteiland voor de betoncentrale is klaar, evenals de nabijgelegen werkhaven.

Alle 320 bronnen voor de bronbemaling van de bouwput zijn nu aangebracht, evenals de ringleiding en de afvoeren. Ook de pompen werden opgesteld. Er is een energiecentrale in aanbouw voor de bronbemaling, de betonfabriek en de werkzaamheden in de bouwput. Het gedeelte dat nodig is voor de bronbemaling is klaar, en heeft al onder volledige belasting proefgedraaid. Over de opbouw van de hulpbrug tussen het bouwdoek en het eiland Schouwen kan het volgende worden medegedeeld: De funderingspalen werden in de afgelopen maanden geboord en daarna op diepte geheid. Men is thans bezig met het monteren en aflassen van de paalframes waar de opleggingen van de hulpbrug op komen. Tegelijkertijd worden de brugoverspanningen gefabriceerd en voorge-monteerd.

Aan de Schouwense kant is de

brugaanzet nagenoeg gereed. De aanleg van de buitenhaven Neeltje Jans heeft vertraging ondervonden van het slechte weer. Toch wordt verwacht dat de aansluiting van de brug op de buitenhaven nog op tijd gereed zal zijn.

De grondonderzoekponton heeft in de verslagperiode verschillende boringen, sonderingen en dichtheidsmetingen uitgevoerd in de Schaar, de Hammen en de Roompot.

Bodembescherming

De 'Jan Heymans' heeft op de oevers van Nieuw-Noord-Beveland en de Scherpenissepolder ongeveer 74.000 m² oeverbescherming van steenasfalt-maat aangebracht.

Fotoverantwoording

Cees van der Maulen 278

Waterloopkundig laborato-
rium 294-302-306

Aerophoto Schiphol BV 289-312

Hans Klopper 314

Wim Riemens 316

Peter van der Velde 325

