

Driemaandelijks Bericht
nummer 72, mei 1975

deltawerken

Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadelaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1,
's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 17,- per jaar
of f 4,50 per nummer

**dit nummer is geheel gewijd
aan de stormvloedkering
in de Oosterschelde**

Inhoud

Inleiding tot de problematiek 59

Het waterloopkundig onderzoek 69

Hydrografisch onderzoek naar de invloed van
de stormvloedkering op de omgeving 84

Grondmechanische problemen 93

Onderzoek naar de mogelijkheid van
bodemverdichting in de sluitgaten van de
Oosterschelde 99

Vorderingen 104



In het vorige Bericht werd melding gemaakt van de regeringsbeslissing om de Oosterschelde af te sluiten met een beweegbare stormvloedkering. In dit nummer en in enkele daarna volgende nummers zullen uitvoerige mededelingen worden gedaan over het onderzoek dat nodig is voor het ontwerp van deze constructie.

Inleiding tot de problematiek

De stormvloedkering zal bestaan uit drie grote sluiscomplexen, te bouwen in de thans nog open geulen Roompot, Schaar van Roggenplaat en Hammen. Dit stel keringen dient tweeërlei doel.

Evenals het gehele Deltaplan worden de sluiscomplexen in de Oosterschelde in de eerste plaats gebouwd om de veiligheid tegen stormvloed van het achterliggende land te vergroten. De kering dient derhalve gesloten te kunnen worden zodra stormvloed op treden of verwacht worden, die een voor de dijken langs de Oosterschelde gevaarlijk peil dreigen te bereiken. Voor wat deze eerste doelstelling betreft, is er duidelijk overeenkomst met de functie van de uitwateringsluizen in het Haringvliet. Ook dit kunstwerk is er immers allereerst op gericht het binnendringen van hoge stormvloed in het benedenrivierengebied te voorkomen. We zullen verderop evenwel zien waarom de kering in de Oosterschelde ter bereiking van hetzelfde doel zo geheel anders moet worden geconstrueerd en gemanipuleerd dan de Haringvlietsluizen, waarom, met andere woorden het hydraulisch probleem dat de Oosterscheldeafsluiting stelt, geen herhaling is van de problemen in het noordelijk bekken, maar integendeel een geheel nieuw vraagstuk. Uit overwegingen van milieubehoud – ditmaal een expliciet gesteld doel van de te bouwen

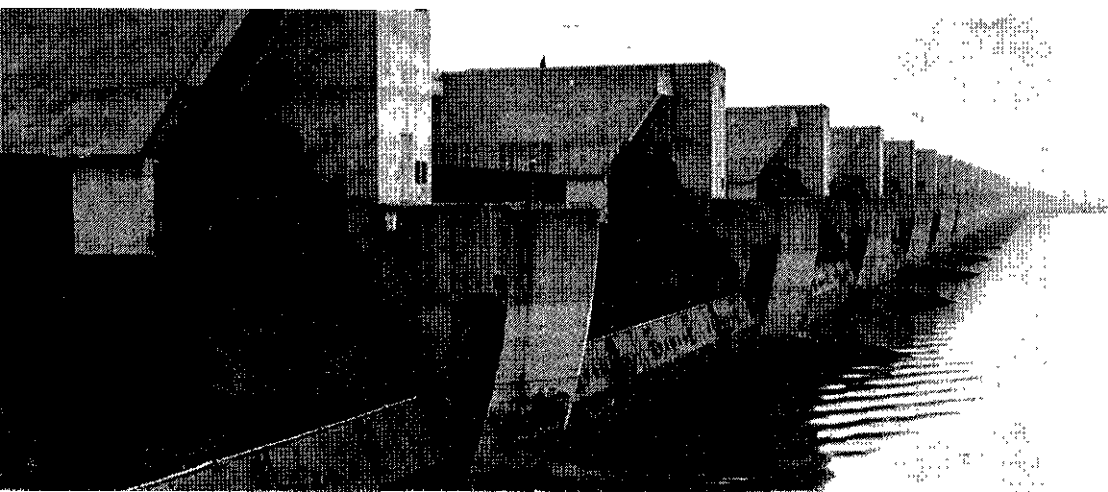
hoogwaterkering – moet de stormvloedkering in de Oosterschelde onder normale omstandigheden een getijbeweging op het bekken toelaten. Uit deze eis volgt dat de kering onder normale omstandigheden open zal moeten staan. Wederom is er een zekere overeenkomst met de Haringvlietsluizen, waarmee immers de waterstanden in het noordelijk Deltabekken worden gereguleerd. De sluisen in het Haringvliet dienen daarbij vooral als uitlaatklep voor zeer grote rivierafvoeren. De overeenkomst in doelstelling is voor dit aspect minder treffend.

Om van doelstelling te komen tot ontwerp, moeten de beide doelstellingen van de stormvloedkering in de Oosterschelde worden vertaald in een aantal zo scherp mogelijk gedefinieerde technische eisen. Wat de veiligheid betreft is het in de eerste plaats van belang te weten bij welke waterstand de kering moet worden gesloten. Men zou zich daartoe bijvoorbeeld kunnen aansluiten bij de regeling die is opgesteld voor de sluiting van de beweegbare stormvloedkering in de Hollandse IJssel. Die moet volgens afspraak worden gesloten wanneer bij Hoek van Holland een waterstand wordt verwacht die minstens even hoog is als het grenspeil. Het grenspeil wordt gedefinieerd als de hoogwaterstand die gemiddeld één keer in de twee jaar wordt bereikt of overschreden. Zou het evenwel verstandig zijn, voor de Oosterschelde het regiem van de kering in de Hollandse IJssel aan te houden? De volgende overwegingen doen eraan twijfelen. Op de Oosterschelde heeft men te maken met een aanzienlijke golfaanval en daarmee verband houdende golfoploop; van zoiets is op de smalle en ondiepe

Stroombeeld in het hydraulisch model M 1000 onder invloed van de aanleg van bouwputten voor de Oosterscheldecaissons

Hollandse IJssel nauwelijks sprake. Voor de Oosterschelde moet dus niet alleen worden gelet op de te verwachten waterhoogte, maar evenzeer op de onder verschillende omstandigheden op onderscheidene plaatsen te verwachten golfoploop. Zodra hierdoor ook maar voor één dijkvak in het achterliggende gebied gevaar zou kunnen ontstaan, dient de stormvloedkering te worden gesloten. Welke eisen daaruit voortvloeien, wordt thans nader bestudeerd en uitgewerkt. Het resultaat van deze studies kan een belangrijk deel leveren van de randvoorwaarden waaraan de beweegbare stormvloedkering in de Oosterschelde zal moeten voldoen. Om de gedachten reeds enigszins te bepalen, kan over die eisen wel al een voorlopige beschouwing worden gegeven, waaruit dan meteen blijkt hoe vertakt en ingewikkeld de onderhavige problematiek is.

waarvan we hier alleen willen aanstippen dat ze het nodig maken dat de afsluitmiddelen zeer langzaam – men moet hierbij denken aan een sluitingsperiode die uren duurt – worden bewogen, zulks om hinderlijke effecten op het Oosterscheldebekken te vermijden. Er zal verder voldoende mogelijkheid moeten worden geschapen om ongestoord reparatiewerkzaamheden te kunnen uitvoeren aan het kunstwerk zelve of de aansluitende bodembeschermingen. Daartoe moet het mogelijk zijn, delen van de stormvloedkering gedurende enkele weken of maanden dicht te zetten. Aangezien de zorg voor het milieu vereist dat onafgebroken een getij van dezelfde orde van grootte wordt doorgelaten, terwijl ook de stroomverdeling over de drie hoofdgeulen globaal gelijk moet blijven, zal elk doorlaatwerk zoveel overbreedte moeten krijgen, dat er permanent



De stormvloedkering, dat wil zeggen de damvakken, de betonconstructie met de afsluitmiddelen, de fundering daaronder, die rust op een al of niet kunstmatig verbeterde ondergrond en de erop aansluitende bodembeschermingen, vormt één hydraulisch functionerend en reagerend geheel. Dit geheel moet kunnen voldoen aan de bedrijfseisen en weerstand kunnen bieden aan de optredende belastingen zonder dat er ontoelaatbare vormveranderingen optreden; tevens moet het zo kunnen worden gebouwd dat de risico's bij de uitvoering binnen redelijke grenzen blijven. Het is uit het voorafgaande reeds duidelijk dat ook bij stroom en zware golfslag met de afsluitmiddelen moet kunnen worden gemanoeuvreerd. Nog niet ter sprake kwam evenwel het probleem van de translatiegolven, dat verderop in dit Bericht besproken wordt, en

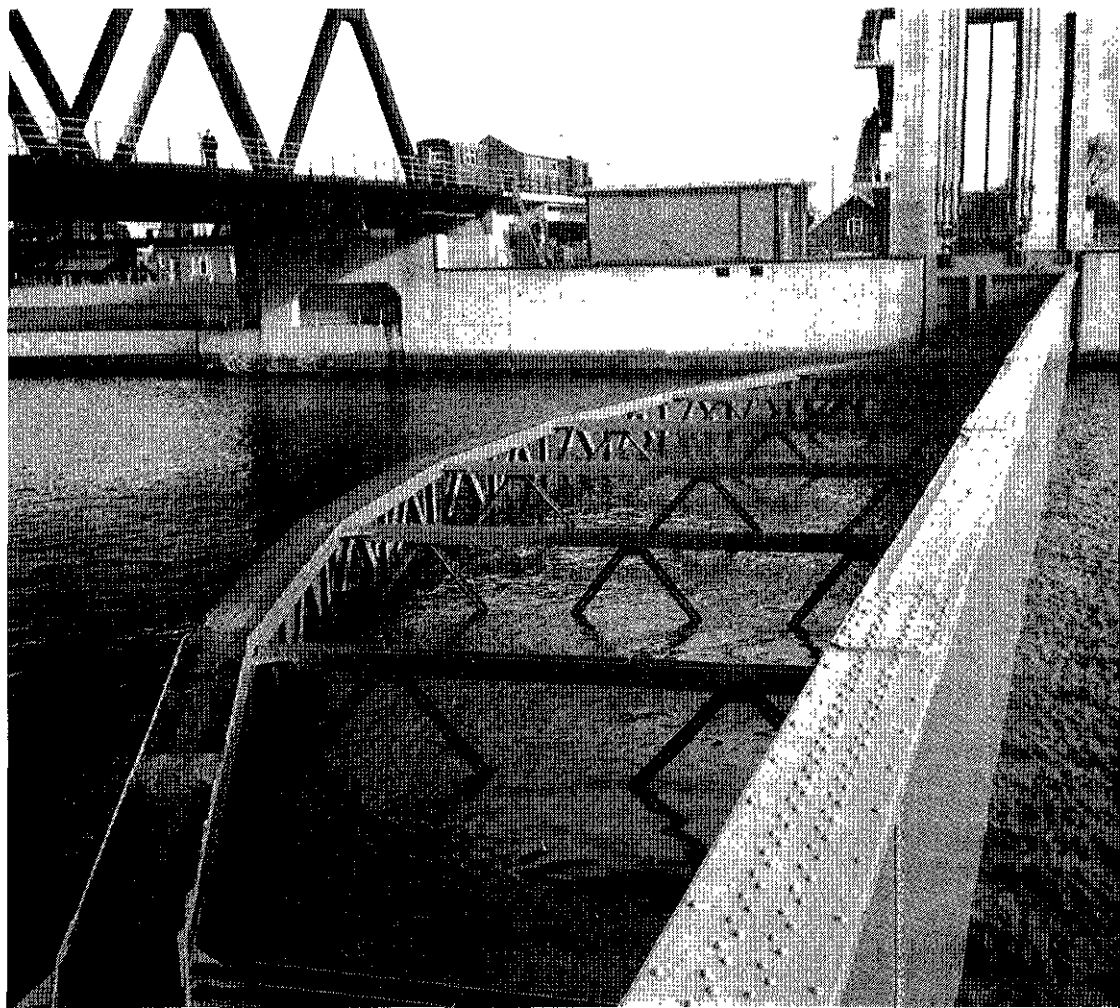
De uitwateringssluizen in het Haringvliet

Stormvloedkering in de Hollandse IJssel (1958), het eerste Deltawerk

een sectie kan worden uitgeschakeld ten behoeve van onderhoud en reparaties. Overeenkomstig het in de Deltawet verankerde veiligheidscriterium moet de stormvloedkering in de Oosterschelde een buitenwaterstand kunnen keren die een overschrijdingsfrequentie heeft van $1 : 10^4$ per jaar, ofwel éénmaal in de tienduizend jaar. Deze waterstand legt men dus altijd ten grondslag aan de berekeningen en veronderstellingen.

Stel dus dat zo'n super-stormvloedstand wordt verwacht, en dat men de beweegbare stormvloedkering heeft gesloten tijdens het laagwater dat aan het bereiken van de kritieke buitenwaterstand voorafging; stel voorts dat de binnenwaterstand, op zichzelf toch al een verlengde laagwaterstand, nog verder verlaagd wordt door afwaaiing – en dit zal bij het

optreden van een superstorm naar alle waarschijnlijkheid gebeuren – dan bedraagt het waterstandsverschil aan weerszijden van de stormvloedkering ongeveer 7 m. Zolang niet aangetoond kan worden dat er onder alle omstandigheden kan worden afgesloten bij een hogere binnenwaterstand, moet bovenstaande extreem ongunstige veronderstelling worden aangehouden. Dit betekent dat de kering in al zijn onderdelen bestand moet zijn tegen de hydrostatische belasting die met dit maximale waterstandsverschil gepaard gaat. Bijzondere aandacht dient onder zulke omstandigheden te worden gegeven aan de mogelijke onderloopsheid van de constructie. Wanneer de druk die door de betonnen bovenbouw wordt weerstaan de kans zou krijgen zich via de funderingslagen een doortocht te banen, zou de kering niet alleen zijn doel missen, maar

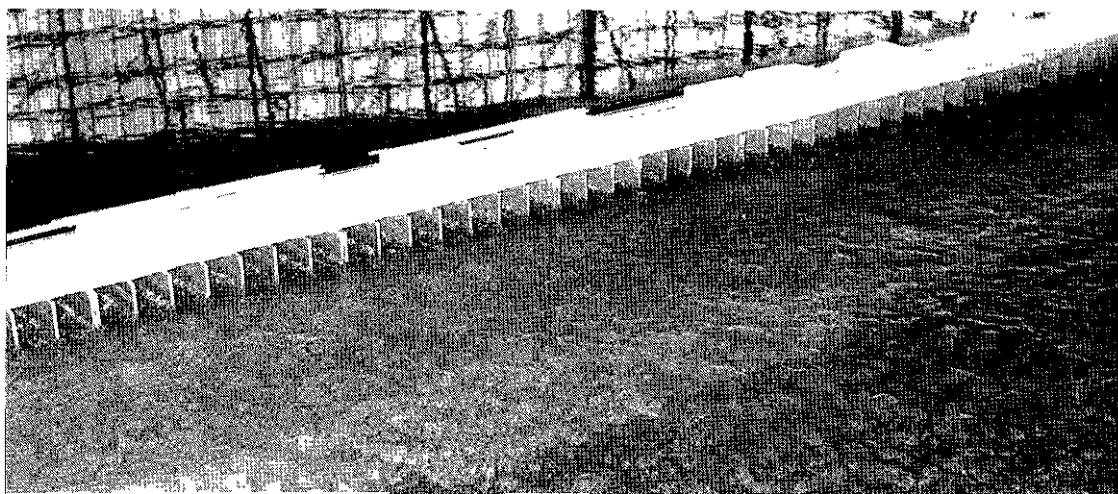


ook ernstig gevaar lopen, te worden ondermijnd.

Als maatgevende waterstand hoeft om de maximale golfaanval te berekenen, niet voor alle onderdelen van de kering de hoogste waterstand te worden genomen. Hoewel bij de hoogste waterstand mogelijk wel de grootste golven tot het kunstwerk zullen kunnen doordringen is het ook denkbaar dat verschillende delen van de constructie juist maximaal belast worden door golven, die optreden bij een lagere waterstand. Dit hangt af van de aard van de gekozen constructie

Voor de bepaling van de maximale stroomaanval op de drempels en stortebedden zal de hoogste waterstand wel maatgevend kunnen zijn. Dit is gemakkelijk in te zien wanneer men beseft dat er bij dergelijke kunstwerken altijd

van de grondmechanische wetenschap vooralsnog moeilijk exact te becijferen, zijn de effecten die de hydrostatische belasting ten gevolge van waterstandsverschillen en golfaanval uitoefent op de ondergrond en de fundering. De stormvloedkering moet niet alleen stabiel en voldoende sterk zijn, afhankelijk van de te kiezen afsluitmiddelen en de overige constructie zullen er ook strenge eisen moeten worden geformuleerd met betrekking tot de maximaal toelaatbare zettingsverschillen en de bewegingen die men kan toestaan ten gevolge van golfbelastingen. De formulering van de eisen waaraan de beweegbare stormvloedkering in de Oosterschelde moet voldoen uit een oogpunt van bescherming van milieu en ecosysteem, is zo mogelijk een nog neteliger karwei. Hier kan men, anders dan voor de veiligheid, niets bepalen op grond van



rekening moet worden gehouden met plotseling onklaar raken van de bewegende delen. De meest ongunstige veronderstelling, namelijk dat bij sluiting van de kering één sectie het laat afweten, geldt weer als uitgangspunt. Er zullen dan plaatselijk zeer hoge stroomsnelheden kunnen optreden, die mogelijk *belangrijke schade aan de bodembescherming* zullen veroorzaken. En dit is juist in het geval van de Oosterscheldekeringen een zeer ongewenste situatie

Het vraagstuk van de bodembescherming en de toelaatbare ontgrondingen speelt hier *immers een nog veel belangrijker rol* dan bij de uitwateringssluizen in het Haringvliet, die niet continu stroom te verwerken hebben, en bovendien bij vloed steeds gesloten zijn. Uitermate belangrijk, maar gezien de stand

Ebstroom door de openstaande stormvloedkering in het driedimensionaal ontgrondingsmodel

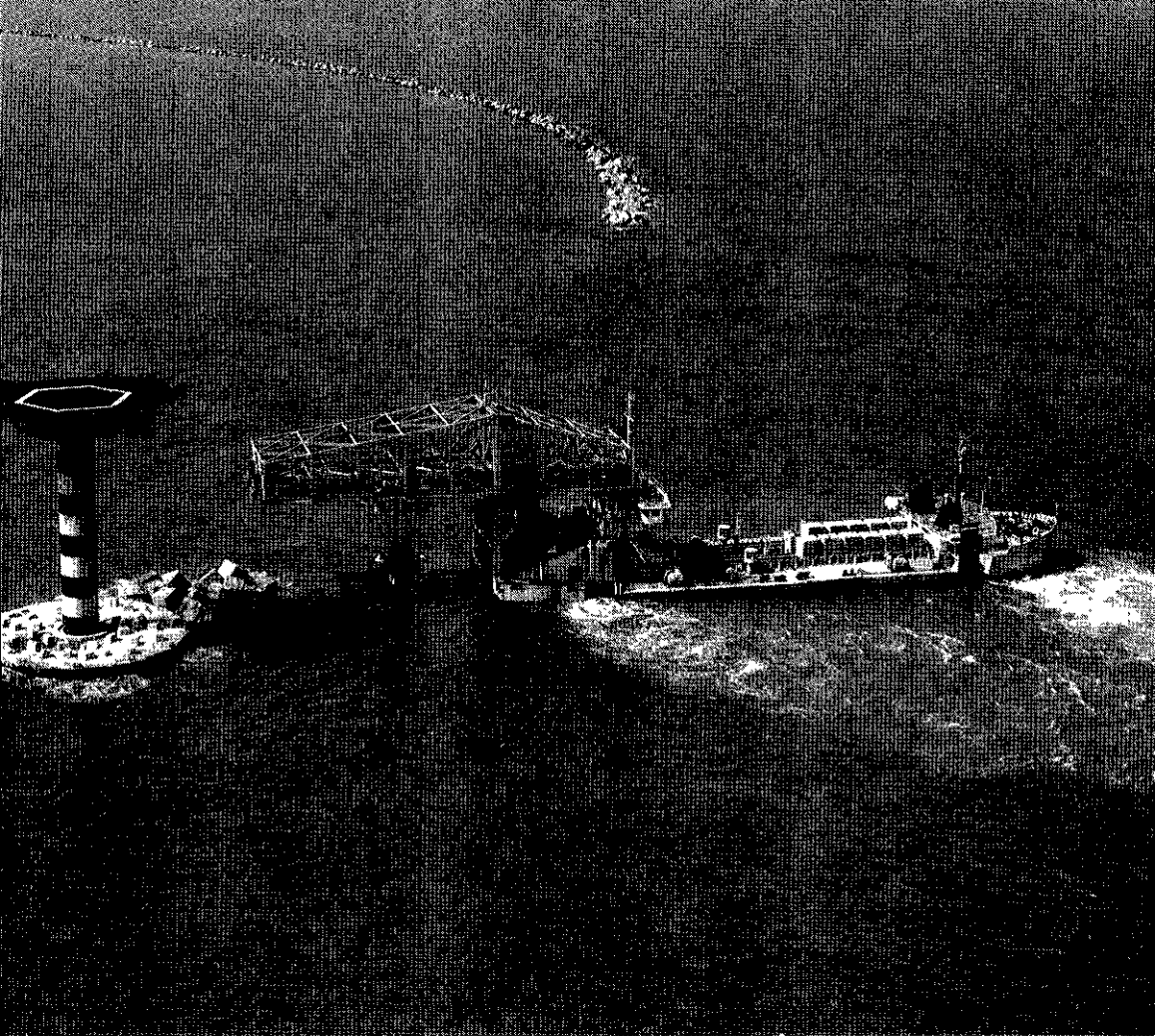
Stroming door een geschematiseerd caisson met roosters in het tweedimensionaal ontgrondingsmodel

aan de ervaring ontleende statistische gegevens.

Voor het geval dat er voor de inrichting van het Oosterscheldebekken een compartimenteringsmodel gekozen wordt met een zogenaamde Oesterdam, ten behoeve van de schelpdierencultures bij Yerseke, zou, gebaseerd op de tegenwoordige manier van oesterkweken aldaar, een minimaal tijverschuif van Wemeldinge van minstens 2,30 m gewenst zijn. Deze maat vloeit hoofdzakelijk voort uit bedrijfstechnische eisen. In het geval men uiteindelijk kiest voor de zogenaamde Wemeldingedam, waarbij de oestercultures bij Yerseke niet kunnen worden voortgezet, bestaat wellicht meer vrijheid in de keuze van het te handhaven minimale tijverschuif. Voor het gehele ecosysteem van de Oosterschelde blijken naast het verticale getij ook

de stroomsnelheden in de verschillende geulen – met andere woorden het horizontale getij – van groot belang. Deze stromen hebben niet alleen invloed op het biotische, het levende deel van het systeem, maar ook op het abiotische, de zand- en slibverplaatsingen, die, met de waterkwaliteit, de biotische mogelijkheden van het ecosysteem bepalen. Diepte en afmetingen van de geulen, en daarmee de morfologie en hydrografie van het gebied, kunnen onder invloed van veranderende stromingspatronen wijzigingen ondergaan. Waarschijnlijk zal men pas later in de praktijk ontdekken welke getij-omstandigheden in algemeen ecologisch opzicht het gunstigst zijn. Bij zoveel onzekerheden bij het bepalen van de optimale vorm en omvang van het doorstroombestel in de Oosterscheldemond lijkt het van belang in elk geval de eisen zo





te stellen dat het doorstroomprofiel in een later stadium nog binnen bepaalde grenzen kan worden bijgesteld. Tenslotte zal bij de vormgeving van de gehele stormvloedkering moeten worden gedacht over een paar secundaire eisen en wensen, zoals voorzieningen ten behoeve van het onderhoud aan de buitenzijde van het kunstwerk, en een doorlopende wegverbinding over het kunstwerk heen, zoals bij de Haringvlietsluizen.

De uitvoering in de Oosterscheldemond van een permanente beweegbare stormvloedkering in drie delen, met een totale lengte van 3 tot 4 km, moet worden gezien als een volstrekt nieuwe uitdaging op het gebied van de kustwaterbouw. Om het ontwerp voor dit werk te volbrengen zal overal waar dat mogelijk is

Havendam bij Hoek van Holland in uitvoering. Voorbeeld van geavanceerde kustwaterbouw

gebruik worden gemaakt van ervaringen die elders werden opgedaan. Niettemin zal er een mate van onzekerheid blijven bestaan met betrekking tot de uitvoerbaarheid van de gekozen constructies. De kans op ernstige tegenslagen is groter dan bij vorige in Nederland uitgevoerde waterbouwkundige werken, hetzij binnen of buiten het Deltaplan. Alle konden ze worden ontworpen op een bredere basis van ervaringen dan dit werk.

Er moet daarom in het ontwerp en bij de uitvoering van deze stormvloedkering meer reserve worden ingebouwd dan bij de vorige Deltawerken. Zorgvuldig zal moeten worden nagegaan waaruit die reserves kunnen bestaan. Voorts zal onmiddellijk na de bouw moeten worden onderzocht of de constructie in alle opzichten en op lange termijn betrouwbaar geacht kan worden, in hoeverre de werkelijkheid voldoet aan de eisen en verwachtingen waarvan in het ontwerp is uitgegaan.

Belangrijkste onderdelen van het onderzoek

Sedert november 1974 worden de problemen die gepaard gaan met de opgave tot het ontwerp van een permanente beweegbare stormvloedkering in de Oosterscheldemond met grote intensiteit bestudeerd. Enkele lijnen van de problematiek werden hiervoor al geschetst. Een bijkomend probleem, dat alle andere veel moeilijker oplosbaar maakt, is de toegestane tijdsspanne voor het verrichten van voorbereidende studies. Die bedraagt slechts anderhalf jaar, gerekend vanaf november 1974 tot op het moment waarop definitief over de uitvoerbaarheid van de stormvloedkering moet worden beslist.

Om die tijd optimaal te besteden moet aan zoveel mogelijk aspecten en onderdelen van de opgave tegelijkertijd aandacht worden besteed. Daarbij moet echter tegelijk bedacht worden, dat het resultaat van onderzoek op één deelgebied, de randvoorwaarden in een ander onderdeel der studies aanzienlijk kan beïnvloeden. De studies en onderzoeken, waaronder vele metingen, die moeten worden uitgevoerd voordat een begin kan worden gemaakt met het ontwerp van de gehele constructie, omvatten een groot aantal soms tamelijk ver uit elkaar liggende gebieden en aspecten.

We geven nu een opsomming van de belangrijkste delen en aspecten van de totale opgave, die in eerste instantie moeten worden behandeld:

– de eisen die aan de constructie gesteld

moeten worden op waterloopkundige, milieu-technische, beheerstechnische en economische gronden

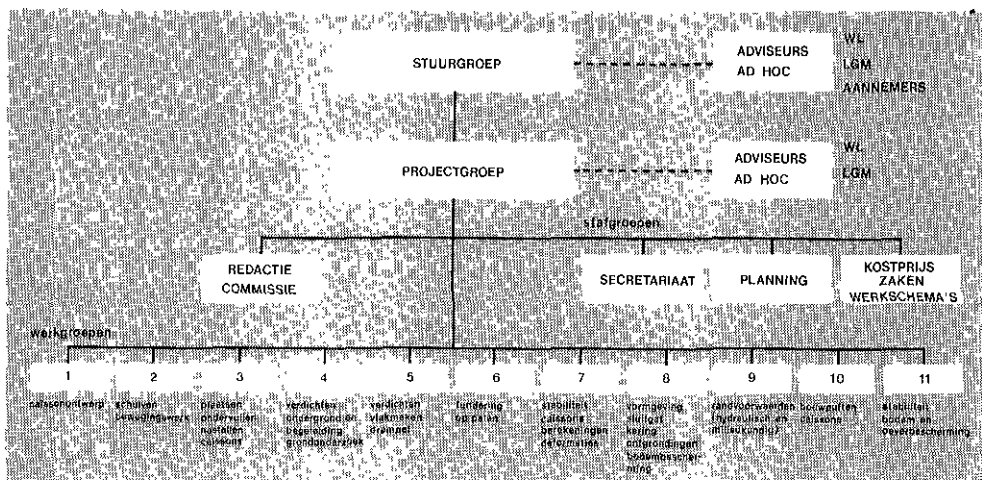
- de dimensionering van de afsluitmiddelen en bewegingsinrichtingen
- de dimensionering van de sluitgaten, en de bodembescherming, alsmede de te verwachten bodemuitschuring
- de stabiliteit van de ondergrond, de rand van de bodembescherming en de oevers tegen zettingsvloeiingen
- de wijze van fundering van de permanente doorstroomcaissons, op staal of op palen
- de verdichting van de ondergrond
- de verdichting van de drempel
- het vlakmaken van de drempel
- de algehele vormgeving van de caissons
- het transport van de caissons, de afzinkmanoeuvres en het nastellen der caissons na plaatsing.

Deze opsomming, die geen volledigheid pretendeert, maar slechts een indruk wil geven van de omvang en verscheidenheid der problematiek, kan, om redenen die hiervoor werden aangegeven, niet gelezen worden als een werklijstje waarbij men eerst het eerste probleem afwerkt, en dan aan het tweede begint. Er moet worden gezorgd voor een doorlopend verband tussen de studies, omdat ze alle van elkaars resultaten afhankelijk zijn, en bovendien moeten kunnen worden samengevoegd tot een overzicht, waaruit telkens de stand van het totale onderzoek kan worden afgelezen. Gegevens van de verschillende met deelonderzoeken belaste groepen moeten dus geregeld onderling worden uitgewisseld en in samenhang met elkaar worden geëvalueerd.

Het samenspel dat we hier op het oog hebben, vereist een hechte en overzichtelijke organisatie die ook zoveel mogelijk aan de deelnemende groepen en individuen duidelijk is.

Voor het verrichten van de genoemde studies is een projectgroep ongericht, gesuperviseerd door een stuurgroep, die de werkzaamheden van de projectgroep begeleidt, en waar nodig leidt.

Projectstudies van vrij grote omvang en waarin ingewikkelde multidisciplinaire samenwerkingsvormen moeten worden gerealiseerd, zijn de Rijkswaterstaat niet vreemd. Het is zeker ook niet de eerste keer dat de Deltadienst en de andere bij deze studie betrokken diensten en instituten zich geplaatst zien voor een dergelijke opgaaf. Men denke aan de vorige grote afsluitingen, en met name aan de



Organisatiestructuur van het onderzoek

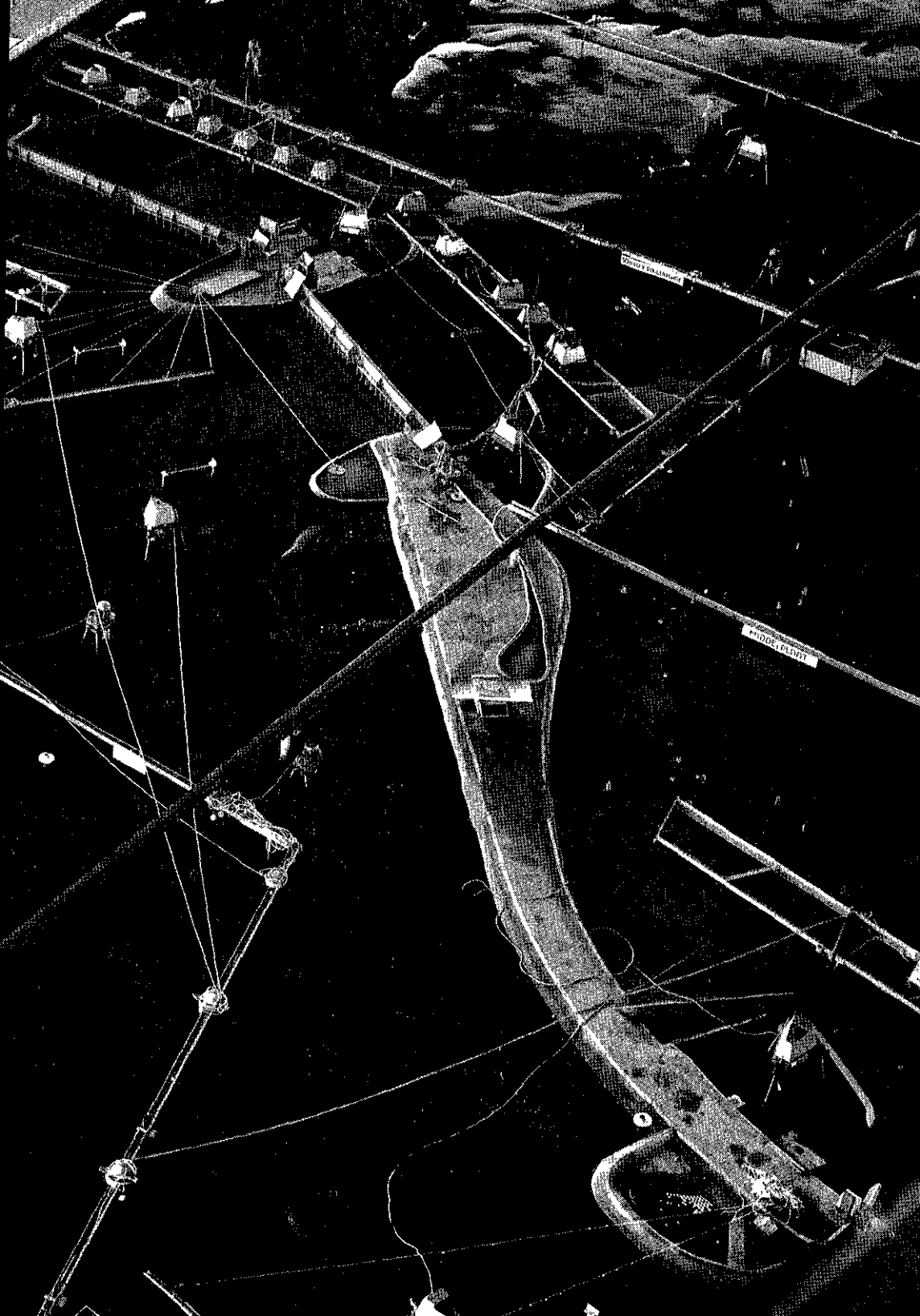
omvangrijke studies die voorafgingen aan het ontwerp van de uitwateringssluizen in het Haringvliet. Omvang en complexiteit van de nu uit te voeren studie-opdracht overtreffen echter al het bekende, terwijl de korte termijn waarop de resultaten bekend moeten zijn, ook een nieuwe factor is.

In de eerste fasen van het onderzoek is de aandacht vooral gericht op de nadere formulering van de doelstellingen, uitlopend op de vaststelling van de randvoorwaarden waarbinnen de stormvloedkering als beweeglijke waterkering moet functioneren, en op een omlijning van het krachten spel waaraan de constructie zal worden blootgesteld, en waaraan ze weerstand zal hebben te bieden. Waterloopkundige en hydrografische studies spelen in deze fase een rol van het allereerste belang; tegelijk wordt deze materie diepgaand

beïnvloed door de grondmechanische bevindingen. Uit deze twee gebieden van onderzoek komen de belangrijkste basisgegevens waarop het verdere onderzoek, dat studies omvat naar de eigenschappen en dimensionering van het kunstwerk zelf, moet verder bouwen. Dit wil echter niet zeggen dat bijvoorbeeld met het onderzoek naar de vormgeving van de caissons waaruit de stormvloedkering zal worden samengesteld, nog wel even kan worden gewacht. Wel betekent de beschreven procedure, dat het onderzoek inzake de constructie der caissons voorlopig nog een betrekkelijk globaal karakter zal moeten hebben. Vandaar dat de mededelingen in dit Bericht in hoofdzaak liggen op het terrein van de hydraulica, hydrografie en de grondmechanica. De andere studies lopen ook reeds, maar mededelingen daarover zouden op dit moment enigszins prematuur zijn.

Ebstream door de openstaande caissons in het Brouwershavensche Gat





Het waterloopkundig onderzoek heeft tot belangrijkste taak, gegevens te verzamelen die voor het ontwerp van de beweegbare stormvloedkering in de Oosterschelde noodzakelijk zijn. In dit artikel zal dan ook een aantal facetten worden belicht van het ontwerpen van de caissons waaruit de stormvloedkering zal bestaan, en van de invloed die hiervan uitgaat op een aantal andere bij het probleem betrokken factoren. Al te zeer in details kunnen we nog niet treden; wel is het mogelijk een paar randvoorwaarden te formuleren waaruit voor de constructie moet worden gekozen. We concentreren ons daarbij op het probleem van de doorstroombeniging.

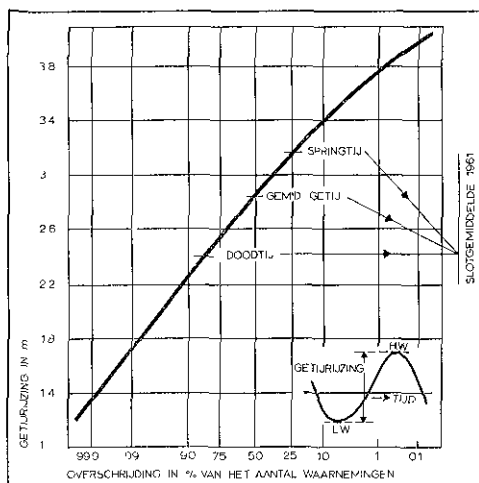
Het waterloopkundig onderzoek

De eerste eis die aan de doorstroombeniging van de stormvloedkering kan worden gesteld is dat hij onder de dagelijks weerkerende omstandigheden een bepaald gemiddeld getij mogelijk moet maken achterin het Oosterscheldebekken. Daarbij zullen caissons en sluitgat zo moeten worden uitgevoerd dat het in stand houden van die getijbeweging te realiseren is zonder dat aan weerszijden van de doorlaatconstructie belangrijke ontgrondingen ontstaan. Een volgende eis zegt dat de caissons en de afsluitmiddelen zo gevormd moeten zijn dat de golfbelasting erop minimaal is, als de caissons tijdens stormvloed gesloten zijn. Uit deze eerste opsomming blijkt al enigszins dat de doorstroombeniging niet onafhankelijk kan worden vastgesteld. Indien er een doorstroombeniging wordt gekozen, moet bekend zijn welke gevolgen die

opening heeft voor de getijbeweging op het achterliggende bekken. Deze getijbeweging wordt echter ook bepaald door de getijbeweging die buiten heerst, aan de zeezijde van de kering. Hoe de getijbeweging aan de buitenzijde verloopt, is dan ook in eerste instantie statistisch onderzocht. Van het getijmeetstation Vlietepolder op Noord-Beveland, dat na de realisering van het project buitengaats komt te liggen, zijn waarnemingen beschikbaar over een lange reeks jaren. Uit dit waarnemingsmateriaal is voor de periode 1960-1969 een overzicht gemaakt van het aantal keren dat een hoogwater, gelegen tussen bepaalde waarden, werd voorafgegaan dan wel gevolgd door een bepaald laagwater. Op grond van zo'n overzicht kan bijvoorbeeld worden nagegaan welke getijrijzingen en -dalingen er zoal zijn opgetreden, en bij welke

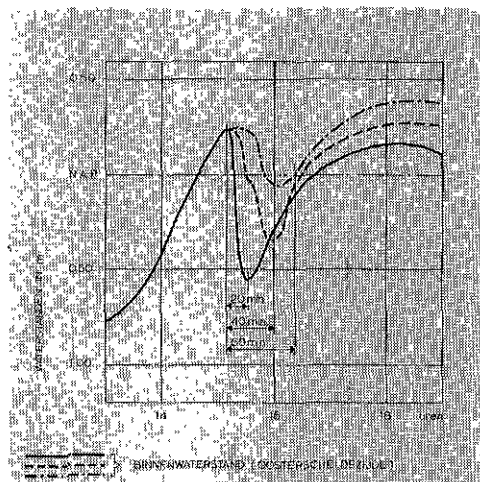
Modelopstelling in de geulen Hammen (boven) en Schaar van Roggenplaat. Alle caissons op één na zijn geplaatst

Fig. 1. Frequentieverdeling van de te Vlietepolder waargenomen getijrijzingen in de periode 1960-1969



halfijstanden dat gebeurde. Neemt men nu aan dat het verleden van het meetstation Vlietepolder op een bepaalde manier representatief gesteld kan worden voor de toekomst van het buitengaats gelegen deel van de Oosterscheldemonnd, dan heeft men een aanwijzing omtrent het toekomstige gedrag van het getij in het mondingsgebied, uitgedrukt in statistische termen. Uit de grafiek van figuur 1 blijkt overigens dat bij de gemiddelde getijrijzing van 2,84 m die te Vlietepolder in de periode 1960-1969 werd waargenomen, in 10 % van alle getijden een getijrijzing optrad van meer dan 3,40 m, en dat de getijrijzing in een andere 10 % der gevallen beperkt bleef tot 2,25 m of minder. De getijrijzingen tijdens springtij bedroegen te Vlietepolder gemiddeld 3,16 m, die bij doodtij gemiddeld 2,38 m. Ten behoeve van het hydraulisch onderzoek voor de Oosterscheldekering zal een representatieve steekproef uit dit materiaal worden genomen, waarna door middel van getijberekeningen zal worden uitgemaakt welke relaties er kunnen optreden tussen de getijbeweging buiten en die op het bekken, gegeven een aantal verschillende doorstroomprofielen van de stormvloedkering en een aantal verschillende compartimenteringen van de Oosterschelde. Er komen dan een aantal varianten naar voren, ieder met een bijbehorende schatting van de invloed die de doorstroomopening, statistisch gesproken, zal hebben op het gedrag van het getij in het bekken. Op deze wijze helpt het hydraulisch onderzoek in eerste aanleg om een keuze uit de varianten mogelijk te maken.

Op grond van dezelfde gegevens en berekeningen zal het ook mogelijk zijn de invloed te bepalen van de verschillende varianten op de debieten door het kunstwerk en de vervallen er over. De debieten zijn in de eerste plaats van belang voor de prognoses met betrekking tot de te verwachten bodemerosie aan beide zijden van het kunstwerk en verder met betrekking tot het morfologisch en biologisch gedrag van het bekken en het mondingsgebied. De vervallen die men berekent bepalen nader de dimensionering van de drempel en van onderdelen van het kunstwerk. De vervallen over het kunstwerk zijn van zeer groot, zo niet allesoverheersend belang voor het kunstwerk als geheel; en dan niet zozeer de vervallen onder normale getij-omstandigheden als wel die tijdens stormvloed, als het kunstwerk gesloten is. Voor de stabiliteit van de caissons wordt gerekend met het maximale verval, dat optreedt wanneer de buitenwaterstand op stormvloedpeil is, nadat de schuiven bij laagwater gesloten zijn. Volgens de huidige



gegevens komt dit neer op een waterstandsverschil van ongeveer 7 m. De caissons zullen bij dit verval standzeker moeten zijn. Dimensioneert men op een kleiner verval, dan zal het bovendien vrijwel onmogelijk zijn om de caissons, indien over enige tijd blijkt dat de uitgangspunten herzien moeten worden, aan de dan wellicht zwaardere eisen aan te passen.

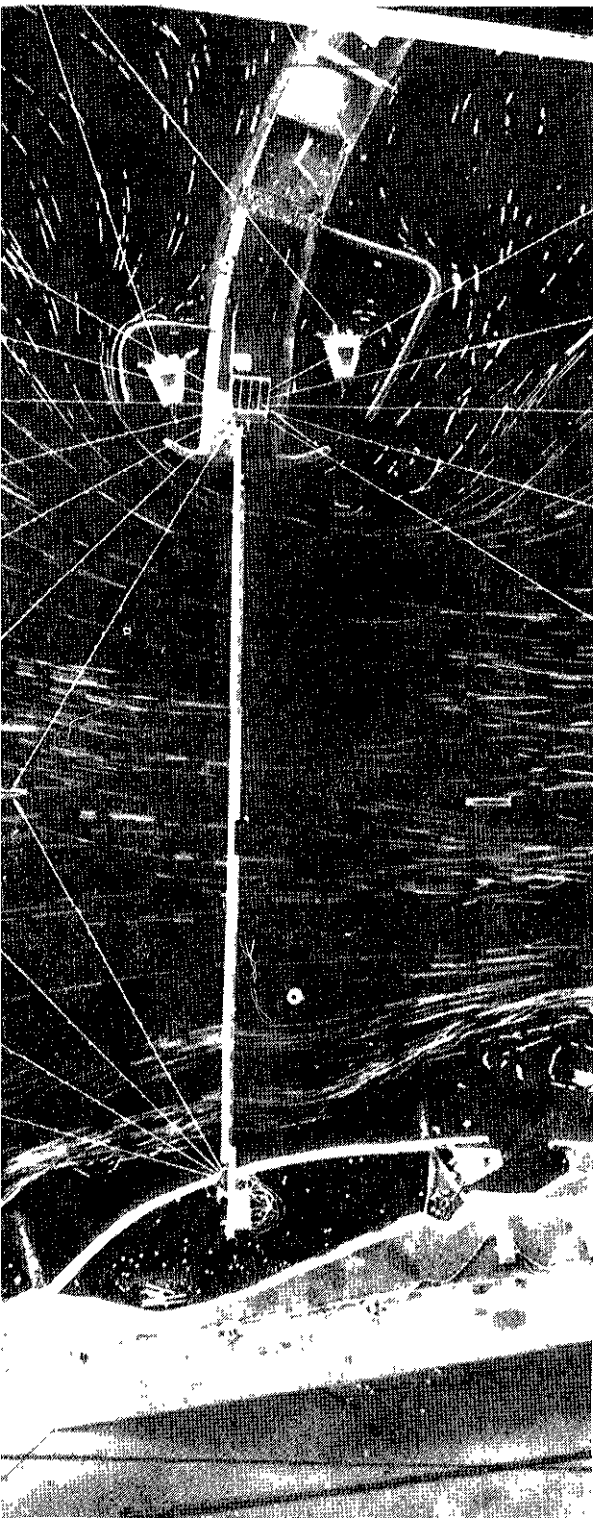
Merkwaardigerwijs geldt dit uitgangspunt niet voor de bewegingswerken van de schuiven. Worden de schuiven op de laagwaterkentering gesloten, of tijdens de eb, dan werken er maar geringe krachten op, zodat de bewegingswerken betrekkelijk licht zouden kunnen worden uitgevoerd. Maar voor deze onderdelen levert een ander moment van sluiten de ongunstigste voorwaarden. Indien een stormvloed onverhoopt niet tijdig wordt onderkend, zodat de beheerder er door zou worden verrast, moeten de schuiven worden gesloten in de opgaande tak van de stormvloed. Om te bepalen welke consequenties dit sluiten op stroom voor de bewegingswerken heeft, is het wederom noodzakelijk de vervallen te kennen die tijdens zo'n sluitingsmanoeuvre over de caissons kunnen staan. Afhankelijk van het tijdstip waarop men begint te sluiten en de snelheid waarmee men sluit, zullen de vervallen tijdens de manoeuvre nogal in grootte kunnen verschillen. Een belangrijke rol speelt hierbij het verschijnsel van de translatiegolven. Dit zijn golfverschijnselen die in een stroomgeul met een vrije waterpiegel kunnen ontstaan, wanneer de afvoer plotseling wordt afgesneden. In een buisleiding waar geen vrije waterspiegel aanwezig is, komt een soortgelijk verschijnsel voor, onder de naam waterslag. Iedereen kent die

Fig. 2. Translatiegolf op het Oosterscheldebekken bij verschillende sluitsnelheden van de stormvloedkering

Het stroombeeld door een stormvloedkering van beperkte lengte in de Roompot bevat wervelstraten en neren

kranen wel, die wanneer ze snel worden dichtgedraaid een rammelend geluid maken. Dit is een gevolg van het feit dat de bewegingsenergie van het water door het plotselinge sluiten van de afvoerweg wordt omgezet in een drukstoot, een vorm van potentiële energie in de buisleiding. In een geul met een vrije waterspiegel manifesteert zo'n drukstoot zich als een vrij plotselinge verhoging of verlaging van de waterspiegel, die zich met grote snelheid door de waterloop voortplant. Afhankelijk van de steilheid van zo'n translatiegolf kan er gevaar uit ontstaan voor oevers, verdedigingswerken en afgemeerde schepen. Wanneer het nu zo gevalt dat niet de afvoer maar de toevoer van het water wordt afgesneden, dan ontstaat er een negatieve translatiegolf, dat wil zeggen, er ontstaat een plotselinge waterspiegelverlaging op het bekken,





Het stroombeeld door een stormvloedkering over de gehele breedte van de Roompot wordt aanzienlijk rustiger

waaraan ook een aantal onaangename gevolgen verbonden zijn. Men kan de translatiegolf afvlakken door de sluitingsduur te vergroten. Figuur 2 laat zien welk effect de vertraging van de sluitingsmanoeuvre kan hebben op het karakter van de translatiegolf. Mede onder invloed van de grootte van de translatiegolf zullen ook de vervallen over de schuiven variëren. Naarmate het verval tijdens de sluitingsmanoeuvre groter wordt, zal de belasting op de schuiven toenemen, en zullen de bewegingswerken zwaarder moeten worden gedimensioneerd. Om alle alternatieven tegen elkaar te kunnen afwegen zullen dan ook een aantal vragen aangaande de sluitingsmanoeuvre als variabelen in het onderzoek moeten worden betrokken.

Allereerst dient bekeken te worden hoe de voor het ontwerp maatgevende stormvloed in de tijd verloopt. Dan dient te worden onderzocht bij welke waterstand de sluitingsmanoeuvre moet beginnen en hoe lang ze mag duren; daarbij dient ook betrokken te worden, hoe groot de normale doorstroomopening is.

Ook de dimensionering van de bewegingswerken is dus geen op zichzelf staand probleem. Gezien de relatie met de normale doorstroomopening blijken de gevolgen van het sluiten bij stormvloed merkwaardigerwijs een duidelijke relatie te hebben met de getijbeweging die men onder de dagelijks weerkerende omstandigheden op het bekken wil toelaten.

Inmiddels is uit deze bespreking wel gebleken dat het geheel van caisson en schuiven innerlijk verdeeld is met betrekking tot de ontwerp-eisen. De caisson als geheel ondervindt een maximale belasting wanneer men de kering op

de laagwaterkentering heeft gesloten. De bewegingswerken van de schuiven evenwel worden maximaal belast bij sluiting op maximale stroom. Toch wordt het nodig geacht de stormvloedkering op deze strijdige eisen te ontwerpen, teneinde tot in lengte van jaren de beschikking te blijven behouden over een kunstwerk dat in zijn bedieningsmogelijkheden een maximale flexibiliteit vertoont.

Golfbelastingen

Over één soort van belastingen op de caissons hebben we tot nu toe niet gesproken, terwijl de problemen die eruit voortvloeien toch tot de meest dringende en lastige behoren waarmee men bij het ontwerp te maken krijgt. De bij stormvloed gesloten kering wordt namelijk niet alleen belast door het waterstandsverschil tussen buiten en binnen, maar ook door de golven die tijdens een stormvloed met grote snelheid en kracht tegen het kunstwerk zullen aanlopen. Op het ogenblik wordt op basis van meetgegevens uit stations op de Noordzee en in het mondingsgebied van de Oosterschelde en andere zeegaten onderzocht met welke waarden van de verschillende, het golfbeeld karakteriserende parameters rekening moet worden gehouden bij het onderzoek naar de golfbelasting op de caissons als geheel en op hun verschillende onderdelen, zoals de schuiven en bewegingsmechanieken. De gegevens leveren niet rechtstreeks een inzicht in de maximaal te verwachten golfaanval, omdat de meetgegevens geen betrekking hebben op een superstorm als die waarop het kunstwerk moet worden gedimensioneerd. Men moet dus extrapoleren van de ervaringscijfers naar het onbekende gebied van de extreme omstandigheden. Bij die extrapolatie speelt mee, welke ontwikkelingen men verwacht in de morfologie van de Oosterscheldemond buiten de stormvloedkering. Die ontwikkelingen zijn namelijk beslissend voor de vraag welke golven zullen kunnen doordringen tot aan het kunstwerk. Naarmate de tegenwoordige toestand voor wat de debieten in de geulen betreft langer gehandhaafd blijft, of minder verandert, zal er ook minder en langzamer verandering komen in de ligging van platen en geulen buitengaats. Hoe meer zulks het geval is, des te meer wordt de huidige situatie een betrouwbaar uitgangspunt voor de te verwachten golfaanval. Een probleem als dit heeft bij de caissonontwerpen tot nu toe altijd buiten beschouwing kunnen blijven. Caissons hoefden immers altijd maar maximaal een jaar dienst te doen; morfologische ontwikkelingen op lange termijn in de

omgeving vormden bij het ontwerp geen punt van overweging. Bij het ontwerp van de stormvloedkering in de Oosterschelde evenwel blijkt er, vanwege de invloed van de debieten en de getijgeulen op de morfologie van het mondingsgebied, een directe relatie te bestaan tussen de dagelijks weerkerende getijvariatie op het Oosterscheldebekken en de golfaanval op de caissons onder extreme omstandigheden. Uit de beschouwingen hierboven komt telkens opnieuw naar voren hoe alle facetten van de omstandigheden en het ontwerp samenhangen, dikwijls op een directe, maar vaak op een lang niet meteen in het oog springende wijze. Uit de complexiteit van het probleem blijkt eens te meer de waarde van een consequente analyse ervan in samenhangende, maar afzonderlijk te onderzoeken deelproblemen. Een paar opmerkingen moeten nu nog gemaakt worden over het concrete onderzoek.

Aspecten van het onderzoek

Hoewel de werken in de Oosterschelde veel groter zijn dan die waarmee men zich bij voorgaande afsluitingen geconfronteerd zag, is de sprong toch ook weer niet zo groot dat de wijze waarop de hydraulische problemen voorheen werden bestudeerd, in dit geval niet meer zou opgaan. De schalen bijvoorbeeld waarop de ontgrondingsproeven in het tracé van de afsluiting worden verricht, komen overeen met de schalen van het ontgrondingsonderzoek voor de afsluiting van het Brouwershavense Gat. Zo wordt ook de golfaanval op de caissons en de schuiven onderzocht in proefopstellingen die sterk lijken op de modellen die men destijds gebruikte bij de voorstudies voor de Haringvlietssluisen. Er kan derhalve een vruchtbaar gebruik worden gemaakt van de kennis en ervaring die met dat voorgaande modelonderzoek is opgebouwd. Ook ervaringen buiten het Deltagebied blijken een zijdelings rendement op te leveren in het belang van de Oosterschelde-studies. Men denke met name aan de voortgang die het golfonderzoek heeft gemaakt ter gelegenheid van de bouw van de havendammen te IJmuiden en bij de Europoort. De techniek heeft sedert het ontwerp voor de Haringvlietssluisen tot stand kwam, op dit gebied opmerkelijke vorderingen gemaakt. Ook het ontgrondingsonderzoek, dat het veranderend gedrag van de geulbodem bij vernauwing der sluitgaten moet voorspellen, is stukken vooruitgegaan in de laatste twintig jaar. Men heeft met name betere inzichten gekregen in de schaalwetten van het modelonderzoek, waar-

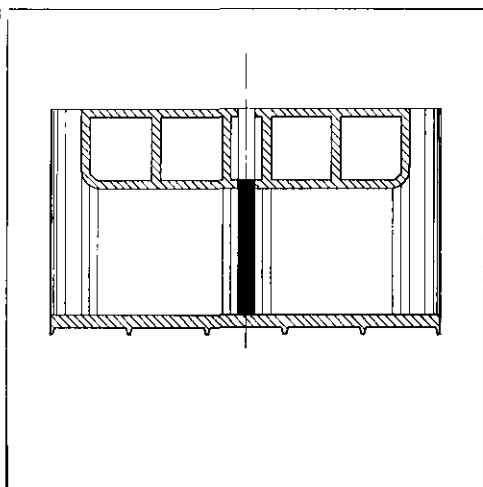


Fig. 3. Schematische dwarsdoorsnede van een denkbare caissonconstructie

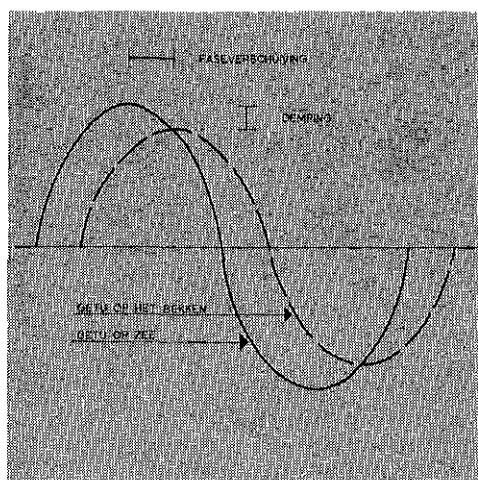
Fig. 4. Faseverschuiving en demping van het getij op het Oosterscheldebekken ten gevolge van de vernauwing in de mond

door de mate en de snelheid van ontgronding die men in het model meet, op betrouwbaarder wijze kunnen worden vertaald naar de werkelijkheid. In algemene zin kan men de ontwikkeling voor wat betreft het hydraulisch modelonderzoek nalezen in Bericht 60 (mei 1972). Enig inzicht in de wijze waarop met mathematische modellen wordt gewerkt, kan men krijgen uit Bericht 71 (februari 1975). Het belangrijkste verschil met het vroegere onderzoek is gelegen in de anderssoortigheid van de constructie die men thans moet berekenen. Caisson- en drempelconstructies zijn wel eerder ontworpen, maar dan met de eis dat ze functioneerden gedurende één zomerseizoen. De Oosterscheldekering moet wellicht tenminste een eeuw en mogelijk langer functioneren in een zeer beweeglijke hydraulische situatie. De dagelijks heen en weer trekkende getijstroom zullen op termijn van een eeuw geen ontgrondingseffecten mogen oproepen die de stand en de functie van de constructie in gevaar brengen. Dat is in vergelijking met de vroegere gevallen een zeer zware eis, waarbij allerlei onnauwkeurigheden in de benadering der erosieprocessen die er vroeger nauwelijks toe deden, thans absoluut niet meer toelaatbaar zijn. Een vergelijking met de uitwateringssluizen in het Haringvliet, waarvan men zou kunnen opmerken dat ze toch ook voor de eeuwigheid gebouwd waren, gaat niet op. Deze sluizen zijn gedurende lange perioden geheel gesloten, en behoeven slechts zeer zelden op maximale capaciteit te werken. De maximale stroombelastingen treden daar op met een frequentie van 1 op 10 000, namelijk alleen dan, wanneer de Bovenrijn een afvoer levert van 20 000 m³/sec. of meer. De beweegbare stormvloedkeringen in de Ooster-

schelde worden daarentegen zeer frequent aan hoge stroombelasting onderworpen. Belangrijk is ook dat de Haringvlietssluizen gedurende de vloed altijd gesloten zijn, terwijl de kunstwerken in de Oosterschelde gedurende het gehele getij moeten openstaan. De hoofdonderdelen van het onderzoek naar de stand- en bedrijfszekerheid van de stormvloedkering bestaan uit bepaling van het doorstroomprofiel, onderzoek naar de caisson-drempel en de bodembeschermingen, en tenslotte onderzoek naar de hydraulische belasting op de caissons. Op deze aspecten zal nu worden ingegaan.

Het doorstroomprofiel

Er werd reeds op gewezen dat de stormvloedkeringen dag in dag uit betrekkelijk zware getijstroom moeten doorlaten zonder dat hun standzekerheid daar op den duur door in gevaar wordt gebracht. Men zal daarom streven naar een vormgeving waarbij de ontgrondingen die als gevolg van de onvermijdelijke doorstroomvernauwing aan weerszijden van het kunstwerk zullen ontstaan, tot een minimum worden beperkt. Tegelijkertijd zal men nagaan hoever de bodembescherming moet worden uitgebreid om de weerstand tegen erosie te vergroten. Daarbij zoekt men tegelijkertijd naar een veiligheidsoptimum en een kostenminimum. Voor de bepaling van de noodzakelijke omvang der bodembeschermingen is het van beslissend belang hoe de stroom door het kunstwerk wordt geleid. Wordt de stroom tijdens zijn doortocht door de stormvloedkering geconfronteerd met abrupte overgangen in horizontale of verticale zin, dan ontstaan er krachtige neren en wervelstraten,



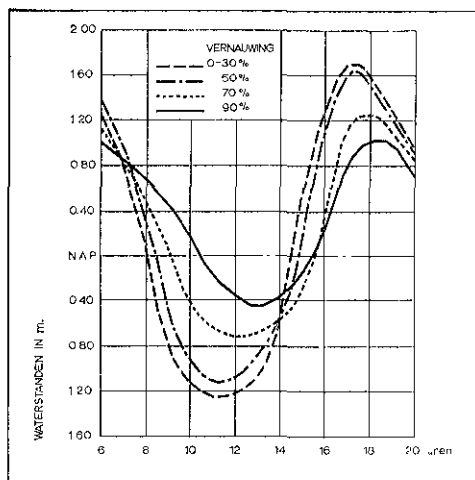
en men kan er dan zeker van zijn dat dit tot sterke ontgrondingen leidt. Hoe soepeler de doorstroming geschiedt, hoe minder wervels en neren er zullen optreden, en hoe minder ontgrondingen. Alles komt aan op geleidelijkheid. De fraaiste oplossing zou zijn – maar dat is praktisch ondenkbaar – dat de stormvloedkering in een paar reusachtige overspanningen boven de sluitgaten zou worden gehangen, en het doorstroomprofiel helemaal niet zou verkleinen. Het stroombeeld van thans, waarbij de bodem in een dynamisch evenwicht verkeert, zou dan onveranderd blijven.

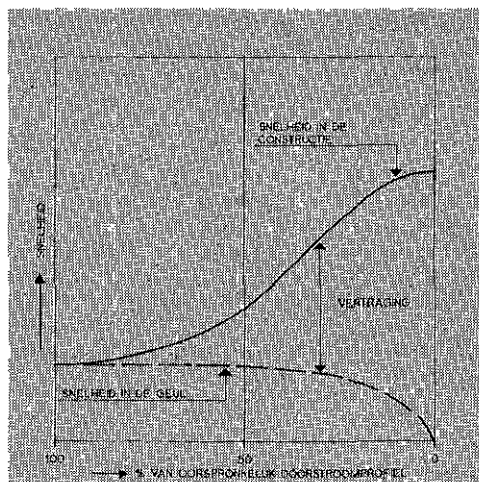
De praktijk is echter dat men met afsluitmiddelen van uitvoerbare en dus beperkte omvang moet werken, in concreto een aantal caissons op een rij, die samen de beweegbare afsluitconstructie vormen. Welk caissonstype men daarvoor moet kiezen is bij de huidige stand van het voorbereidend onderzoek nog niet te zeggen. Toch zal men in allerlei hydraulische situaties een zeker soort caisson moeten veronderstellen. Voorhands wordt dus uitgegaan van een zeer algemeen gevormd ontwerp, de kokerconstructie van fig. 3. Verder waterloopkundig en mechanisch onderzoek zal in dit voorontwerp nog heel wat wijzigingen aanbrengen, zo kan men verwachten.

Plaatst men een reeks caissons dwars in een geul, dan vormen ze gezamenlijk een plaatseelijke hydraulische weerstand, die ten opzichte van het getij buitengaats zowel een faseverschuiving in het getij op het Oosterscheldebekken veroorzaakt als een demping van het getij. Naarmate de kunstmatig veroorzaakte weerstand groter is nemen niet alleen de faseverschuiving en de demping toe, maar ook het verval over de weerstand. Deze laatste

toeneming zal zich uiten door verhoging van de stroomsnelheden in het water dat het kunstwerk passeert. Vernauwingen tot ongeveer 50 % van het geulprofiel resulteren nog vrijwel uitsluitend in faseverschuivingen; de demping is dan nog vrij gering. Verkleint men het profiel nog verder, dan neemt het eb- en vloedvolume merkbaar af en het tijverschil wordt minder zodat men kan zeggen: het getij wordt gedempt. Uit figuur 5 blijkt dat pas bij aanzienlijke vernauwing een merkbare verkleining optreedt van het tijverschil. Dat figuur 5 profielvermindering voorstelt ten gevolge van het opstorten van een blokkendam, dus in horizontale lagen, is in dit verband van geringe betekenis. Het enige belangrijke verschil is dat bij vernauwing met caissons geen verhoging optreedt van de middenstand van het water.

Fig. 5. Waterstanden op het Oosterscheldebekken bij vernauwing van het doorstroomprofiel door middel van een blokkendam





Toenemend verval, toenemende stroomsnelheid, stelden we zojuist.

De geul die vlak achter de stormvloedkering ligt, wordt echter niet vernauwd, en daar zal de snelheid ten gevolge van het afnemende debiet juist afnemen.

Bij toenemende vernauwing in de doorstroomopening van de caissons zal daar de weerstand toenemen en het debiet eerst langzaam, dan met toenemende snelheid afnemen, terwijl de stroomsnelheid steeds verder oploopt. De overgang van de hoge snelheden in de constructie naar de lage er vlak achter wordt steeds groter. De vertraging die de stroom opeens moet ondergaan bij het uitstromen, neemt dan ook toe naarmate men het sluitgat vernauwt. Vertraging gaat gepaard met energieverlies. Bewegings-energie wordt omgezet in potentiële energie en in warmte en turbulentie. Een onmiddellijk gevolg van de toenemende turbulentie is, dat de stroom hoe langer hoe meer zand gaat loswoelen en meevoeren. Pas bij zeer grote vernauwing, als het debiet aanzienlijk kleiner wordt, neemt dit verschijnsel weer af, doordat de toenemende turbulentie dan meer dan gecompenseerd wordt door de vermindering van de stroomsnelheid in de geul. Kennis van de hier aangeduide samenhangen is natuurlijk van veel belang voor een juiste prognose van de bodemerrosie vlak aan weerszijden van het kunstwerk. Het energieverlies, en daarmee min of meer ook de bodemerrosie, is evenredig met het produkt van het verval over en het debiet door de constructie. Fig. 7 brengt dit in beeld, door debiet, verval en energieverlies voor te stellen als functies van de profielvernauwing in de oorspronkelijke geul.

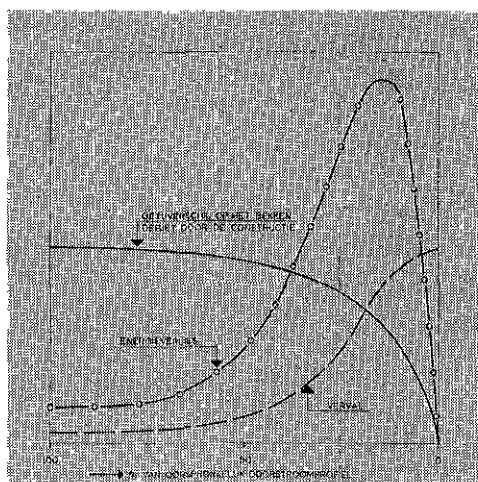


Fig. 6 Invloed van de vernauwing op het snelheidsverschil in de doorlaatconstructie en in de geul erachter

Fig. 7. Getijverschil, debiet, verval en energieverlies als functie van de profielvernauwing

Wanneer we spreken van 'het' doorstroomprofiel, dan hebben we eigenlijk twee afzonderlijke begrippen op het oog: ten eerste het doorstroomprofiel tijdens de bouw van de stormvloedkering, en met name tijdens het plaatsen van de caissons, en ten tweede het doorstroomprofiel in de definitieve toestand. Ten aanzien van het doorstroomprofiel in de definitieve toestand, we hebben het impliciet al duidelijk gemaakt, zijn de eisen die vanuit verschillende belangen worden gesteld, onderling strijdig:

- Uit milieu-technisch oogpunt zou het gewenst zijn de huidige toestand in het Oosterscheldebekken zoveel als maar mogelijk is te handhaven. Dit betekent een wens tot handhaving van een maximaal tijverschil.
- Uit constructief oogpunt is een bepaalde

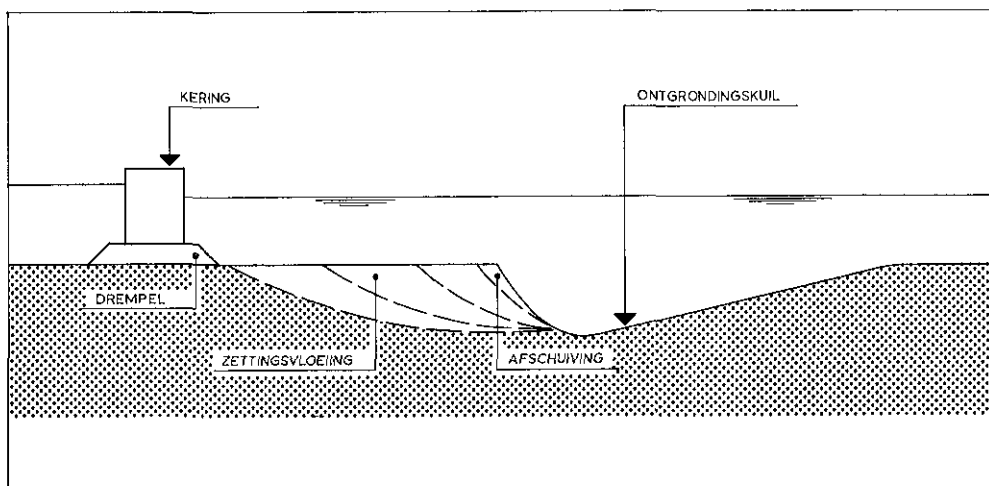
verhouding gewenst tussen de bewegende en de vaste delen van de constructie. Deze verhouding wordt grotendeels bepaald door de eisen bij stormvloedomstandigheden.

- Uit hydraulisch en grondmechanisch oogpunt is elke dimensionering goed die voorkomt dat de ontgrondingskuilen die aan weerszijden van de constructie ontstaan, te diep en te steil worden. Te diepe en te steile hellingen kunnen instorten en een zettingsvloeiing inleiden die de stabiliteit van het kunstwerk in gevaar kan brengen.
- Uit financieel en technisch oogpunt kan het aantrekkelijk zijn om het kunstwerk klein te houden. Het doorstroombroefiel zal dan ook vrij klein zijn.

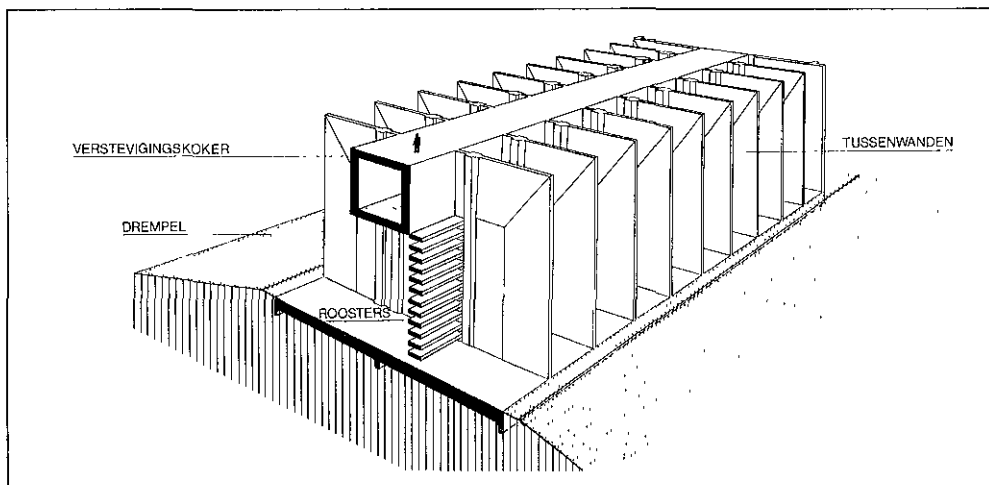
Verskillende van deze uitgangspunten zijn voelbaar strijdig met elkaar. Terwille van het

Fig. 8. Schematische voorstelling van een ontgronding die een zettingsvloeiing inleidt

Fig. 9. Schema van caisson-constructie volgens het ontwerp van de D.O.S.



8



9

milieu valt te pleiten voor een groot doorstroomprofiel, de financiële en constructieve overwegingen leiden tot voorkeur voor een klein doorstroomprofiel. Met een compromis zou men de hydraulici en grondmechanici echter geenszins blij maken: hun voorkeur gaat uit naar òf een heel groot òf een heel klein profiel.

Vervolgens iets over het doorstroomprofiel in de fase van de uitvoering. Zoals men weet gaan de gedachten voor wat betreft de bouw van een beweegbare stormvloedkering nog steeds uit naar een aantal drijvende caissons die de een na de ander in een rechte rij worden afgezonken. Naarmate de geplaatste caissons meer profiel wegnemen zullen de vervallen en de snelheden bij de plaatsing van de laatste elementen groter zijn; voor het plaatsen van die laatste elementen zal dan meer vermogen, in de vorm van sleepkracht, nodig zijn. Het is ook denkbaar dat de weerstanden bij het plaatsen van de laatste caissons zo groot zijn dat er bijna niet meer tegenop te werken valt. Als dat zo is zullen de caissons tijdens hun plaatsing een groter doorstroomprofiel moeten hebben dan naderhand, in de definitieve situatie. Dit probleem is ook onderkend in de studie die de Combinatie Dijkbouw Oosterschelde destijds uitvoerde nadat het eindrapport van de Commissie Oosterschelde verschenen was, en die zich in eerste instantie richtte op de vraag hoe een poreuze dam zou kunnen worden gerealiseerd. In de loop van haar studies kwam de D.O.S. reeds tot het voorstel de half-open dam uit te voeren als een stormstuw-caissondam, en zo zag ze ook het probleem van het doorlaatprofiel tijdens de uitvoering

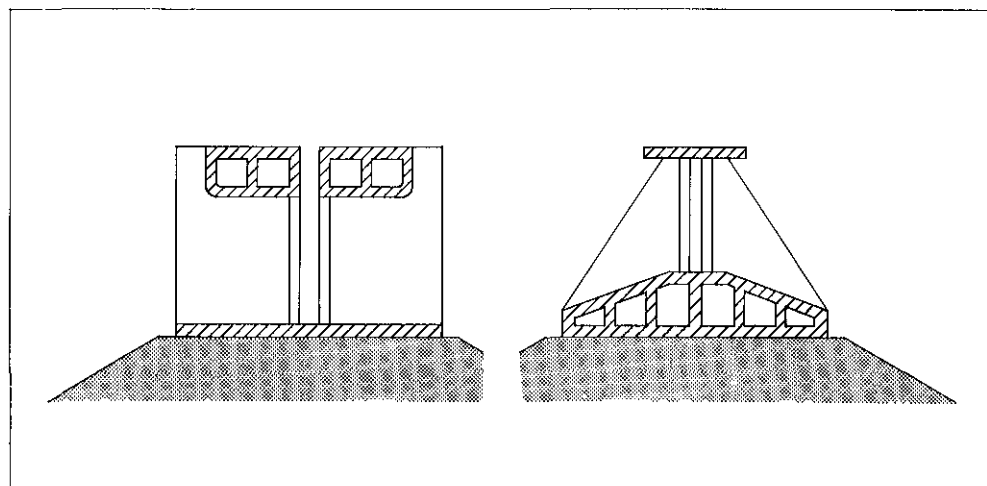
van het werk onder ogen. De D.O.S. heeft voorgesteld de extra weerstand aan te brengen met behulp van zogenaamde balkroosters (fig. 9).

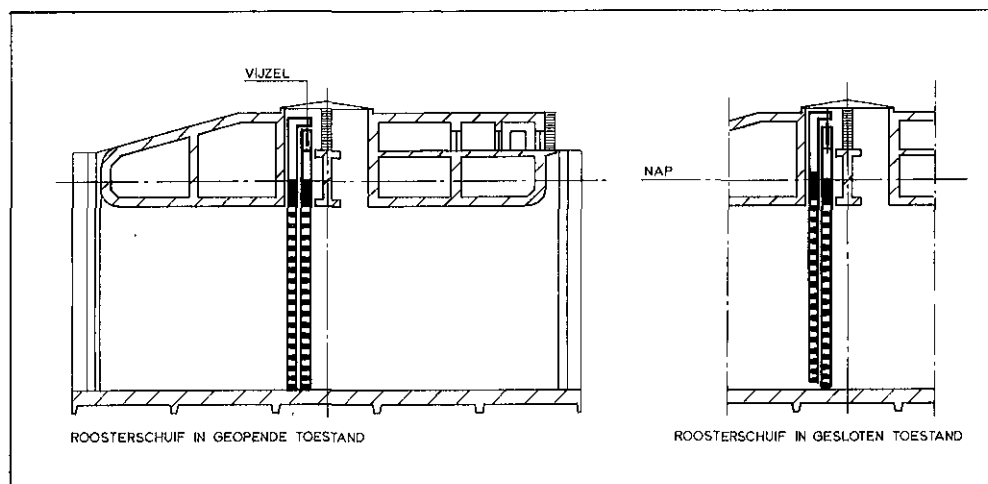
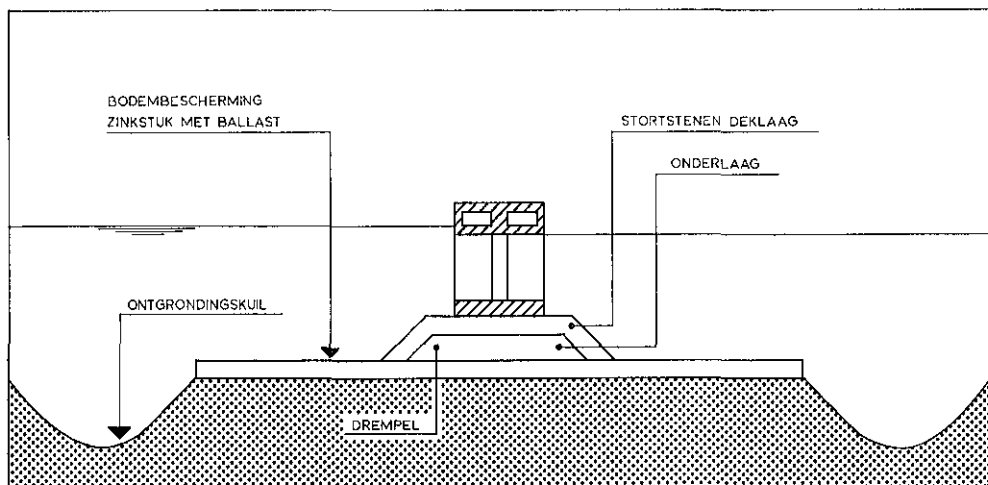
Vorm en plaats van het doorstroomprofiel

Uit het waterloopkundig onderzoek tot nu toe is gebleken dat de geringste ontgronding wordt verkregen bij gelijkmatige verdeling van de weerstand over het gehele profiel van de afsluiting. Gespreid energieverlies levert kennelijk een rustiger stroombeeld op dan een geconcentreerd energieverlies. Er zijn nog enkele andere overwegingen geformuleerd die van invloed zijn op de keuze van vorm en profiel van de afsluiting.

Om uitvoeringstechnische redenen is het aantrekkelijk om uitsluitend gebruik te maken van

Fig. 10. Principeschets van caisson types met wringstijve delen boven- en onderin





de diepe delen van de geulen. De ondiepe delen zouden eerst ingebaggerd moeten worden voor er voldoende constructiehoogte ontstond om het kunstwerk te kunnen funderen en opbouwen. Gedeelten van de bodembescherming die al is neergelegd in het tracé van de afsluiting zouden dan bovendien weer verwijderd moeten worden. Het gebruik van alleen maar de diepe delen van de geulen heeft dus economische voordelen: men wint er doorstroomprofiel tegen verhoudingsgewijs lage kosten per m^2 .

Aan de andere kant: benut men slechts een deel van de geulprofielen, dan wordt het energieverlies over een kleine breedte uitgespreid; we zagen hierboven dat dit de ontgrondingen ongunstig beïnvloedt. Op de grens van de hoofdstroom en het water aan weerszijden ontstaan dan bovendien nog eens extra

Fig. 11. Schematische dwarsdoorsnede van stormvloedkering, drempel, bodembescherming en ontgrondingen

Fig. 12. Roosterschulven

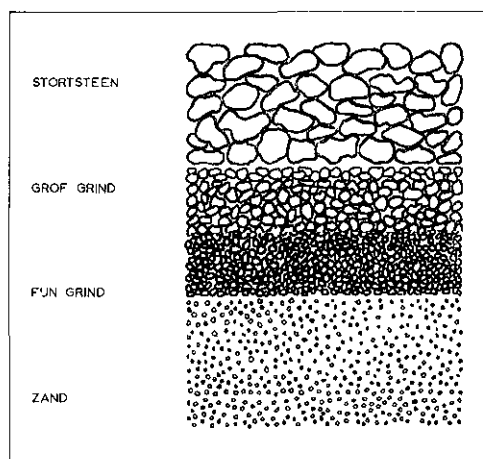


Fig. 13. Filterconstructie tegen het uitspoelen van bodem-materiaal

wervelstraten, wat resulteert in nog meer erosie.

Wanneer alleen de diepe delen worden gebruikt, neemt derhalve ook de kans op het optreden van zettingsvloeiingen toe. Echter, de ondergrond der ondiepe delen is kwalitatief van minder gehalte dan die in de diepe delen. Er zal onder invloed van de golfbelasting dan ook eerder verweking optreden in de bodem. Dit verschijnsel wordt van groter belang wanneer men bedenkt dat de golven tijdens een storm eerder zullen breken in de ondiepe geuldelen dan in de diepe. De kans dat de constructie golfklappen te verwerken krijgt, is in de ondiepe delen dan ook groter. Hoeveel last de constructie van deze verschijnselen zal ondervinden, kan enigszins worden beïnvloed door de keuze van de caissonconstructie. Het wringstijve gedeelte van die constructie kan men namelijk naar verkiezing helemaal onderin of helemaal bovenin de caisson situeren. Legt men het bovenin, dan neemt de golfbelasting op de gehele caisson toe, legt men het onderin dan neemt de totale belasting op de caisson af, maar men tilt daarmee als het ware de kruin van de drempel op, en het gevolg is dat de ontgrondingen toenemen. Door middel van ontgrondings- en golfbelastingonderzoek zoekt men thans naar betrouwbare kwantificatie van de verschijnselen die een gevolg zullen zijn van de ene maatregel of de andere. In een golfgoot wordt met een totaalkrachtsmeter de uitwerking op een caissonmodel gemeten van kunstmatig opgewekte golfklappen. Bij het ontgrondingsonderzoek tracht men de beste plaats en de optimale afmeting van de kokerconstructie te vinden. Uit dit onderzoek zal

moeten blijken wat nu eigenlijk de beste oplossing is.

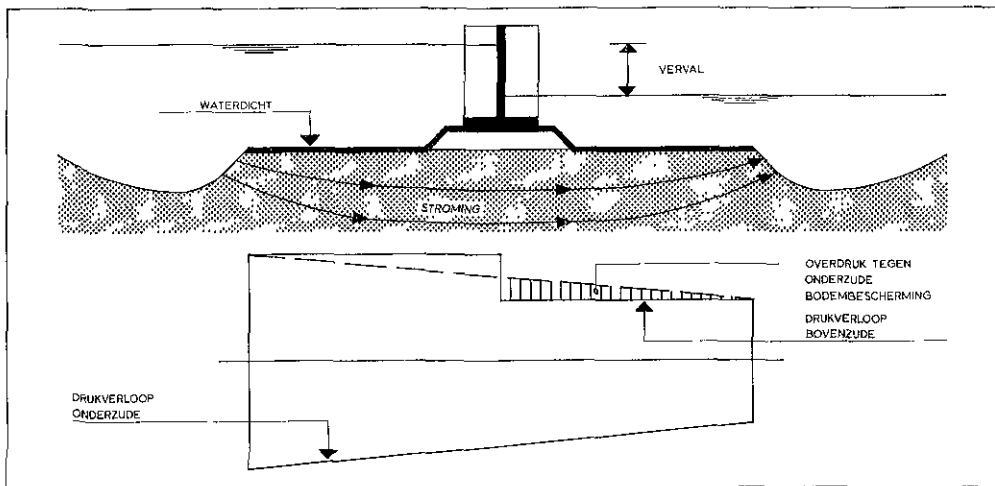
Drempel- en bodembescherming

De drempel- en bodembescherming moeten zo geconstrueerd zijn dat de stabiliteit van de kering niet in gevaar komt. Bij het ontwerp moet er dan ook rekening mee worden gehouden dat er wat dit betreft extreem zware eisen aan deze onderdelen kunnen worden gesteld. We nemen maar eens het geval dat de kering bij een opkomende stormvloed gesloten moet worden wanneer het juist laagwater is, en dat tijdens de sluitingsmanoeuvre één bewegingswerktuig defect raakt, of een schuif ontzet blijkt te zijn, zodat hij niet dicht wil. Voor het achterliggende bekken levert deze situatie niet direct gevaar op, omdat de hoeveelheid water die erdoor naar binnen stroomt gering is in vergelijking met het waterbergend vermogen van het Oosterscheldebekken. Geheel anders ligt de zaak waar het de stabiliteit van het doorlaatwerk betreft. Over de kering komt met het stijgen van het waterpeil buiten een steeds groter verval te staan, waardoor de snelheid in het opengebleven gat kan gaan oplopen tot zeer hoge waarden. Deze stroom moet, eenmaal door de stormvloedkering heen, geheel vertragen, hetgeen gepaard gaat met een zeer groot energieverlies, dat zich moet realiseren op een klein oppervlak. De drempel en de bodembescherming worden dan plaatselijk zwaar aangevallen, onvergelykelijk veel zwaarder dan wanneer de constructie geheel openstaat. Welke maatregelen heeft men nu om zo'n situatie te voorkomen of tenminste te beteugelen? Men zal om te beginnen zijn best

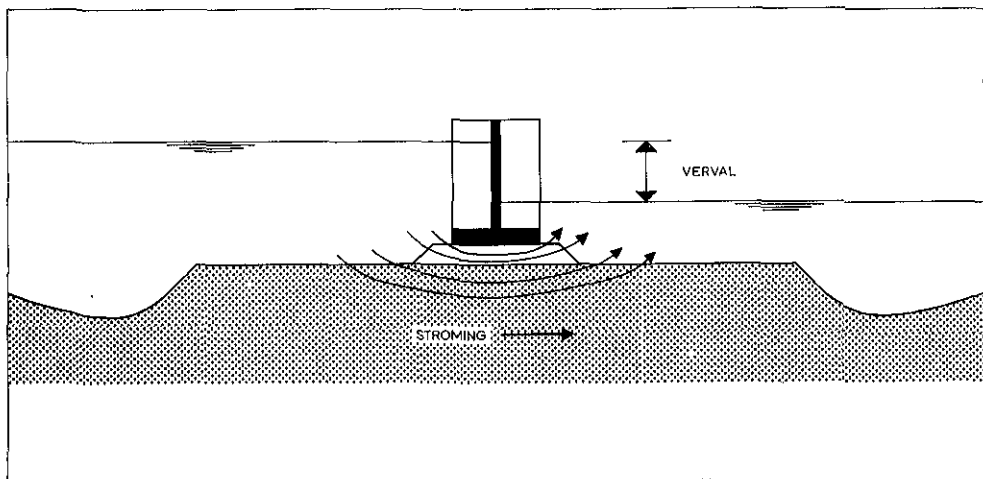
doen om te vermijden dat er gesloten moet worden bij laagwater voorafgaand aan de storm. Hydraulisch is het aantrekkelijker te sluiten in de opgaande tak van de stormvloed, zodat het uiteindelijke verval beperkt blijft tot beneden het absolute maximum van 7 m. Verder kan men een technische oplossing zoeken in de constructie van de schuiven. Deze kunnen dubbel worden uitgevoerd, zodat men slechts te maken heeft met de kans dat eerste en tweede schuif tegelijkertijd weigeren; die kans is natuurlijk veel kleiner. Toepassing van schuiven van het roostertype, afgebeeld in fig. 12, waarborgt dat er altijd een vaste weerstand in het gat aanwezig is, zodat de snelheden ter plaatse van de steenbestorting aanzienlijk lager kunnen zijn. Men kan tenslotte zijn heil zoeken in verbetering en verzwaring van de drempel- en

Fig. 14. Verloop van de stromingsdruk ten gevolge van waterstandsverschillen aan weerszijden van de gesloten stormvloedkering met waterdichte bodembescherming

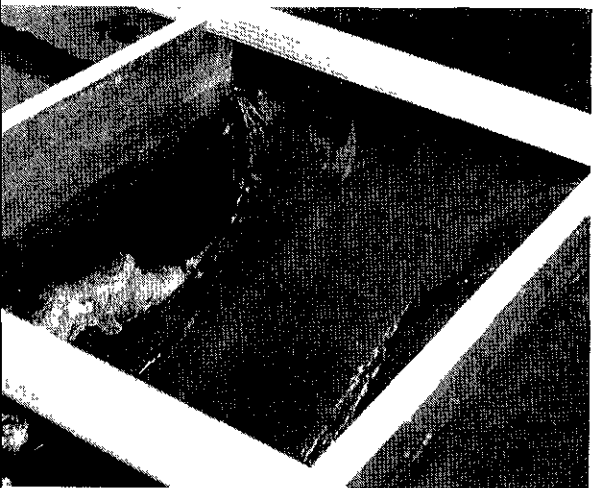
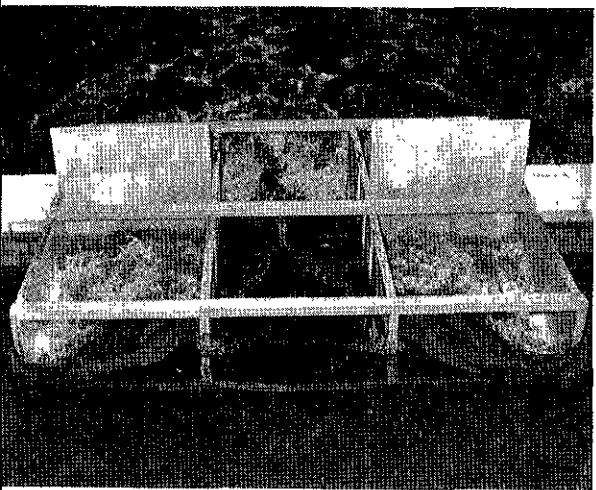
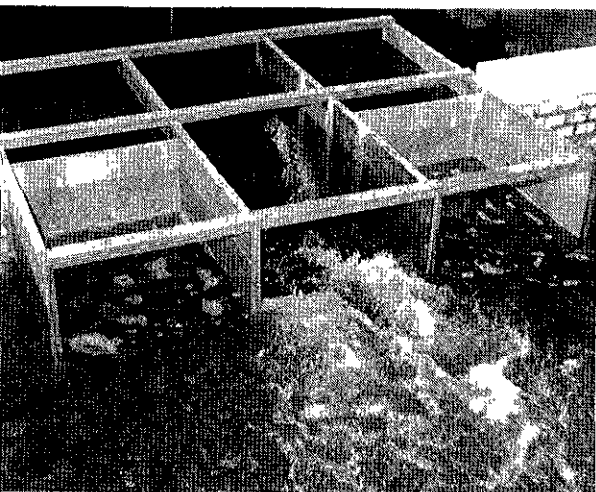
Fig. 15. Onderloopsheid door de drempel onder de caisson-constructie



14

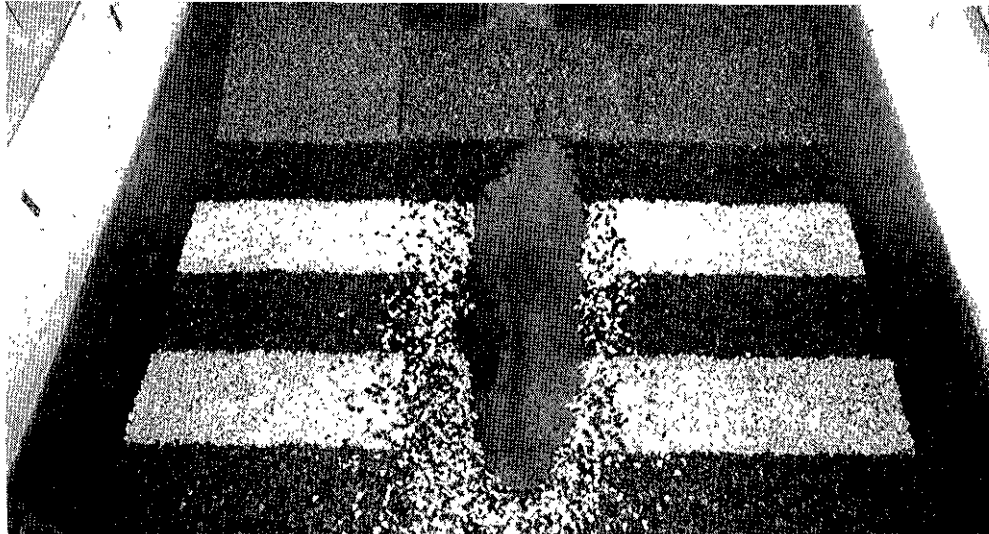


15



bodembeschermingsconstructie zelf. Asfaltmastiek bijvoorbeeld heeft het voordeel van niet erodeerbaar te zijn; hetgeen in iets mindere mate ook geldt voor met asfalt gepene-treerde stortsteenlagen. Deze oplossing introduceert echter wel een ander probleem. Asfaltmastiek en andere waterdichte materialen laten geen wateroverdruk door; bij grote vervallen over het kunstwerk zullen verdedigingen van deze materialen zeer zwaar moeten worden uitgevoerd – men denke aan diktes van enkele meters – om de waterdrukken te weerstaan. Lukt dit niet, dan drukt het water een gesloten verdediging van de grond, en dan blijft de zandbodem alsnog onbeschermd achter. Een alternatieve oplossing zou kunnen bestaan in het verzwaren van de bestorting op een bodembescherming van zinkstukken. De situatie waarbij tijdens storm één gat in de stormvloedkering geopend blijft, is zonder twijfel de gevaarlijkste voor de stabiliteit van de drempelsteen en van de bodembescherming en de bestorting daarop. Een andere, minder gevaarlijke situatie waarmee te allen tijde rekening dient te worden gehouden is die van een sluiting bij opkomende stormvloed. Wordt er op stroom gesloten, dan zullen de snelheden in de constructie tijdens het sluiten van de schuiven tot hoge waarden kunnen stijgen, zodat wederom vertraging en energieverlies optreden, met de daarbij behorende ontgrondingsverschijnselen.

Verval van 7 m over de caissons bij weigering van één schuif. Modelopstelling in het waterloopkundig laboratorium te De Voorst



Het verval over de stormvloedkering veroorzaakt onder meer een waterstroom door de drempel en het eronder liggende zandpakket. Die stroming wil het zand van onder de constructie vandaan meevoeren. Om dat te voorkomen bouwt men er een filterconstructie op van naar boven toe steeds grovere steenmaten, zodanig dat het zand vastgehouden en het water doorgelaten wordt. Twee criteria zijn dus van het allereerste belang: is het filter voldoende gegradeerd, en is de toplaag voldoende vlak afgewerkt. Bij de actuele constructie van zo'n filter is de mate van zekerheid waarmee het ontwerp kan worden gerealiseerd van belang. Maakt bijvoorbeeld een kunststofweefsel deel uit van het filter, dan mogen er geen gaten in het doek voorkomen; men moet dus goed oppassen voor mechanische beschadigingen of voor het openlaten van naden tussen verschillende banen van het doek.

Het caissonontwerp

De belastingen die tijdens stormvloed op de beweeglijke stormvloedkering worden uitgeoefend, moeten door de constructie kunnen worden opgenomen en overgebracht worden op de ondergrond. Om voldoende vormvast te zijn ondanks de mogelijk ongelijkmatige oplegging van de caissons op de ruwe bovenlaag van het drempelfilter, moeten ze voldoende buig- en wringstijf worden gemaakt. Daartoe is een stijf constructie-element nodig, bijvoorbeeld in de vorm van een koker. Voor de ontgrondingen en de golfkrachten heeft het gevolgen, zoals we eerder zagen, of men die kokers onderin dan wel bovenin de constructie plaatst. Onder normale omstandig-

Aantasting van een bodembescherming van stortsteen ten gevolge van de maximale stroomaanval

heden staan de caissons open. In deze situatie mogen ze slechts geringe ontgrondingen veroorzaken.

De caissons moeten waarschijnlijk drijvend worden versleept van het bouwdoek naar hun plaats in het sluitgat. Daaruit volgen bepaalde eisen ten aanzien van de diepgang en de drijfstabiliteit. Wil men daarenboven voorkomen dat de trekkrachten, nodig om de laatste caisson op zijn plaats te brengen, te hoog oplopen, dan moeten de reeds geplaatste caissons minstens tijdelijk een zo groot mogelijk doorstrooprofiel hebben. De caisson moet, om alles nog eens kort samen te vatten, zowel een bedrijfszekere waterkering vormen als een zo open mogelijke constructie, en een goed manoeuvreerbaar schip zijn. Het is te verwachten dat deze combinatie van elken niet op eenvoudige wijze zal leiden tot een voor alle betrokkenen aanvaardbaar ontwerp.

Hydrografisch onderzoek naar de invloed van de storm- vloedkering op de omgeving

Bij de beschouwingen over het waterloopkundig onderzoek ten dienste van het ontwerp voor een stormvloedkering in de Oosterschelde zijn in het vorige artikel in hoofdzaak alleen die krachten en reacties ter sprake gekomen die zich doen gelden in de onmiddellijke omgeving van het kunstwerk, en er rechtstreeks invloed op uitoefenen en van ondergaan.

In dit artikel zal het krachten spel in een wijder en verder van de stormvloedkering verwijderd gebied worden besproken, en zullen de gevolgen van die verkenning voor het studieontwerp worden samengevat. Het grotere hydrografische gebied dat we daarbij op het oog hebben beslaat zeewaarts de voor de Oosterschelde-afsluiting gelegen onderwatersdelta, en landwaarts het gehele Oosterscheldebekken voorzover het niet door compartimenteringsdammen wordt afgesloten. Voor het verrichten van onderzoek naar de repercussies die de bouw van de stormvloedkering in dit wijdere gebied zal oproepen, zouden we, evenals bij het onderzoek in het sluitgat, graag willen beschikken over hydraulische modellen die de ontwikkelingen welke te verwachten zijn, enigermate zichtbaar zouden kunnen maken. De gebieden waar het om gaat zijn echter zo groot dat de zandverplaatsingen die met de veranderingen gepaard gaan, niet meer op betrouwbare wijze in een hydraulisch model kunnen worden nabootst. Ten aanzien van stromen en waterstanden, ook wel het horizontale en verticale getij genoemd, kunnen nog wel betrouwbare simulaties worden verkregen op zo'n kleine schaal. Maar voor het zandtransport zullen andere benaderingen moeten worden gevonden. Uitgaande van de in het model gevonden

wijzigingen in de stromen zullen de daarbij behorende zandtransporten met behulp van algemene formules moeten worden afgeleid. Dit resulteert in slechts zeer grove benaderingen, die weinig betrouwbaar zijn. Het probleem wordt bovendien gecompliceerd door de omstandigheid dat als gevolg van de hydrografische veranderingen vervolgens ook de stromen weer veranderen, zodat het aanvankelijke stroommodel dan niet meer klopt. Met zulk onderzoek komt men dus niet veel verder dan enkele globale indicaties. Dit probleem ontmoette men destijds ook bij de bestudering van de veranderingen die de afsluiting van het Haringvliet met name in het noordelijk Deltabekken teweeg zou brengen. Het gebied waar de studies toen betrekking op hadden, was vergelijkenderwijs van een sterk gekanaliseerde structuur, waarbij aan de getijstromen weinig bewegingsvrijheid was overgelaten. Dientengevolge viel het eenvoudiger te voorspellen welke uitwerking de afsluiting op de hydrografie zou hebben. De voorspellingen bleken achteraf dan ook vrij goed uit te komen. In de Oosterschelde is alles minder overzichtelijk en daardoor onzekerder.

De grote onzekerheden die dus met betrekking tot de hydrografische gevolgen van de stormvloedkering in de Oosterscheldemond blijven bestaan, met name wat hun omvang en ontwikkelingstempo betreft, ontslaan ons niet van de plicht het onderzoek ernaar met alle mogelijke middelen toch zo nauwgezet mogelijk uit te voeren, in elk geval voor wat betreft de wijzigingen in het stromingspatroon. Voor het Oosterscheldebekken beschikken we voor het verrichten van zulk onderzoek over drie modellen.

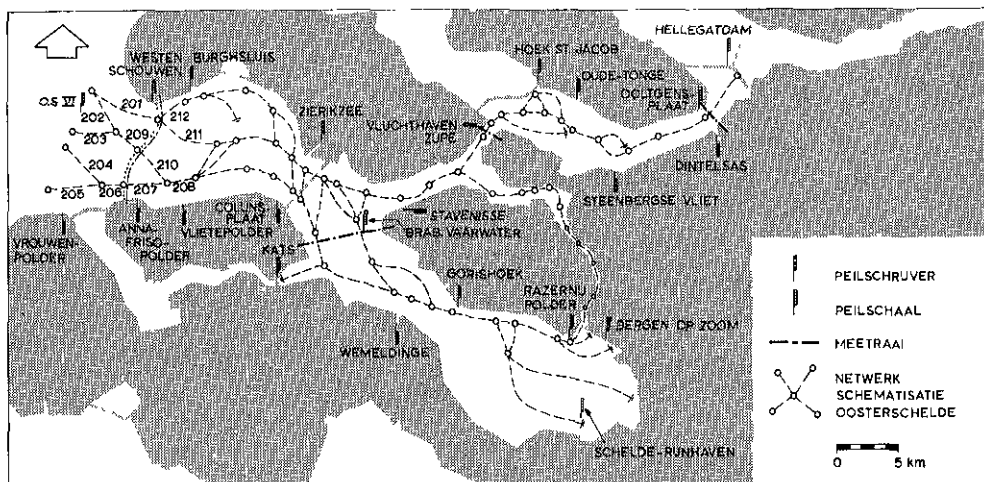
Allereerst een groot hydraulisch overzichtsmodel – gecodeerd M 1000 – in het Waterloopkundig Laboratorium te De Voorst, beschreven in Bericht 62 (november 1972).

Vervolgens hebben we het elektrisch analogon Deltar – voor DELTA-Tij – Analoge – Rekenmachine – waarover iets te lezen is in Bericht 18 (november 1961), Tenslotte zijn er wiskundige overzichtsmoedellen, die kunnen worden onderverdeeld in één- twee- en driedimensionale modellen. Zie over deze materie het vorige Bericht.

In dit artikel wordt nader ingegaan op de mogelijkheden van de laatstgenoemde methode, en met name van het eendimensionale overzichtsmoedell van het Oosterscheldegebied. Een eerste voorwaarde die men aan modellen stellen kan is dat ze in staat zijn in voldoende mate het in de natuur gemeten getij na te

bootzen. Daartoe moet elk model uitvoerig worden geijkt.

In fig. 1. is het Oosterscheldegebied afgebeeld vanaf de Volkerakdam tot en met het mondingsgebied, zoals het geschematiseerd is in het eendimensionale mathematische model. Men ziet op die figuur ook de raaien aangegeven waarin stroommetingen zijn uitgevoerd en de plaatsen waar peilschrijvers staan opgesteld, dan wel tijdelijke opstellingen voor de visuele waarneming van waterstanden. De schematisering bestaat daarin dat het stromingspatroon wordt voorgesteld door 87 onvertakte stukken getijgeul met onderling 74 knooppunten. In een uur produceert de computer die met het schema is geprogrammeerd een stroom van gegevens over twee achtereenvolgende getijden, namelijk 74 informatie's betreffende de water-



standen en 150 informatie's aangaande de stromen, voor alle berekende waarden van de tijd. Eigenlijk benadert dit eendimensionale mathematische model door zijn vele takken en knooppunten een tweedimensionaal model, zij het dat de afwijking die de vervallen ondergaan tengevolge van de aardrotatie, er in wordt verwaarloosd. In de verticale getijrandvoorwaarden in de Oosterscheldemond is de invloed van de aardrotatie wel opgenomen, aangezien het ingevoerde verticale getij uit de natuur afkomstig is. Bij hydraulische modellen wordt de invloed van de aardrotatie gesimuleerd door de plaatsing van een aantal rechtsom draaiende Coriolistollen. Kijkt men met de stroomrichting mee, dan wordt door het effect de waterstand aan de rechterzijde iets verhoogd, en links iets verlaagd. Het hydraulisch overzichtsmoedell M 1000 en

Fig. 1. Eéndimensionaal mathematisch model van het Oosterscheldebekken

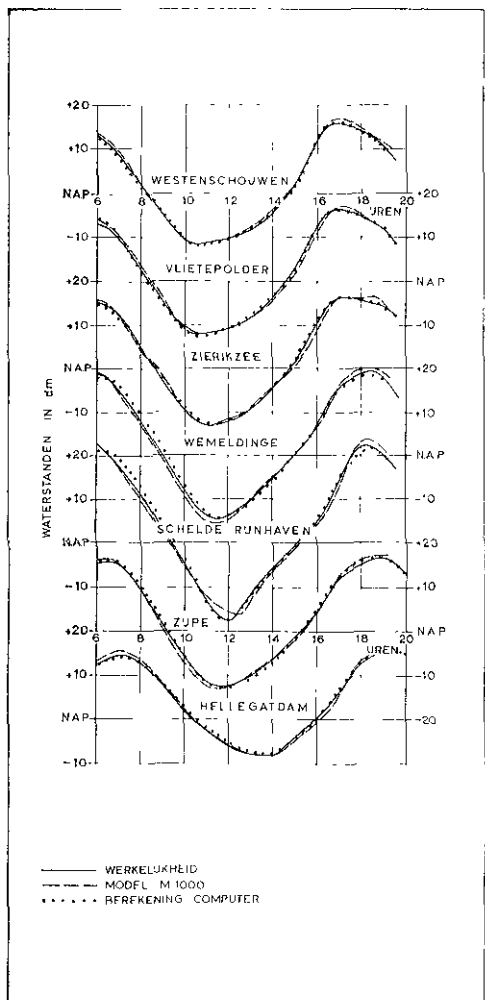
het mathematische eendimensionaal model zijn beide gelijk op een werkelijk in de natuur voorgekomen toestand. Daar er bij het begin van de ijking van het model M 1000 nog geen natuurmetingen beschikbaar waren waarbij het Volkerak was afgesloten, werden beide modellen gelijk aan een aantal getijden met open Volkerak.

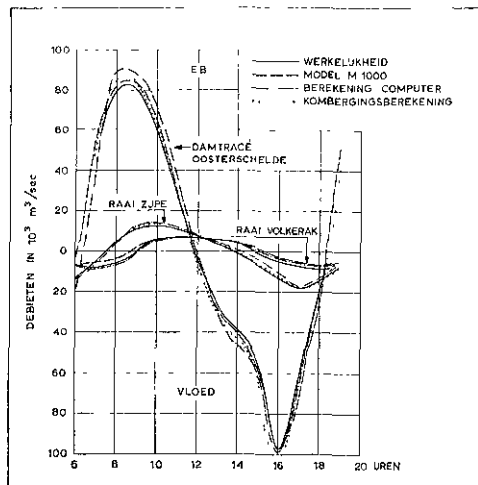
Hiervoor werden de in de natuur uitgevoerde stroommetingen en visuele waterstandsmetingen gebruikt die in het modelgebied werden uitgevoerd op 10 en 11 september 1968. Er is toen stroom gemeten in het tracé van de Oosterschelddedam, en in de raaien Kats-Stavenisse, Zijpe en Volkerak (zie fig. 1). Visuele metingen van het verticale getij vonden plaats, verspreid over het gehele Oosterscheldegebied en het gebied van het Volkerak. Om mogelijke storingen in de registratie-apparatuur en onnauwkeurigheden uit te sluiten, werden er ook visuele waarnemingen verricht op de plaatsen van de peil-schrijvers. De resultaten van de metingen in de natuur en van de simulaties met het hydraulisch en met het mathematisch model, stemden goed met elkaar overeen (zie fig. 2); vooral westelijk van de Zeelandbrug, dus te Westenschouwen, Vlietepolder en Zierikzee is het resultaat van de simulaties een nauwkeurige replica van het natuurgetij. Oostelijk van de Zeelandbrug, in de stations te Wemeldinge en bij de Schelde-Rijnhaven heeft het mathematisch model de neiging de verschijnselen gedurende de ebperiode iets te laat te laten optreden. Op het Zijpe komt de middenstand van het berekende verticale getij bij de vluchthaven iets te laag uit. Ook ter plaatse van de Volkerakafsluiting, die toen nog niet was voltrokken, wijkt de ingevoerde randvoorwaarde zowel voor het hydraulisch als voor het mathematisch model enigszins af van het in de natuur gemeten verticale getij. Dit wordt veroorzaakt door lokale omstandigheden.

Het bleek bovendien mogelijk uit de hydro-metrische waarnemingen van 11 september 1968 een kombergingsberekening af te leiden, uitgaande van het verloop van het debiet op het Volkerak die dag. De bijbehorende debietkrommen zijn in figuur 3 weergegeven. Het is daarbij opmerkelijk dat de grootste onderlinge afwijkingen tussen de debietkrommen die volgens de verschillende methoden werden berekend, werden gevonden gedurende de ebperiode.

De opzet van de verdere proeven en berekeningen is geweest, na te gaan in hoeverre de hydraulische modeltechniek en de mathe-

Fig. 2. Vergelijking van de resultaten van het mathematisch en het hydraulisch model met de natuurmetingen van 10 en 11 september 1968





matische simulatie de werkelijkheid juist weergeven, en vooral de vraag te beantwoorden of ze de veranderingen die gaan optreden ten gevolge van waterstaatkundige ingrepen, op gelijke wijze zouden weergeven. De verandering die men heeft ingevoerd, bestond in sluiting van het Volkerak – in het model, wel te verstaan. De dam over de Hellegatplaten en door het Hellegat en het sluisencomplex in het Volkerak kunnen natuurlijk niet nalaten waterloopkundige veranderingen op te roepen in het verticale en het horizontale getij van het beschouwde gebied. Noemt men de situatie zoals die bestond vóór de afsluiting van het Volkerak To en de toestand die optrad ten gevolge van die sluiting T1, dan is het zuivere hydraulische verschil tussen die twee toestanden zichtbaar wanneer men hetzelfde getij in de beide situaties in de modellen invoert, en de resultaten optekent. Gekozen is hiervoor het in de natuur gemeten getij van 11 september 1968, dat dus bij gesloten Volkerak in werkelijkheid nooit is opgetreden. In fig. 4 zijn de resultaten van deze proeven betreffende het verticale getij in beeld gebracht, en wel voor het meetstation bij de Hellegatdam. Alle waterstanden zijn in die figuur zoals ze uit het hydraulisch en uit het mathematisch model volgen, voor de beide situaties ingetekend. De vraag waar het nu om gaat is: lijken de krommen die in beide modellen gevonden worden bij de toestanden To en T1, veel of weinig op elkaar? Uit de figuur blijkt dat de veranderingen in het verticaal getij door beide rekentechnieken op nagenoeg gelijke wijze worden weergegeven. Wel stelt het mathematisch model de in het Volkerak opgetreden veranderingen in vergelijking met het hydraulisch model ietwat

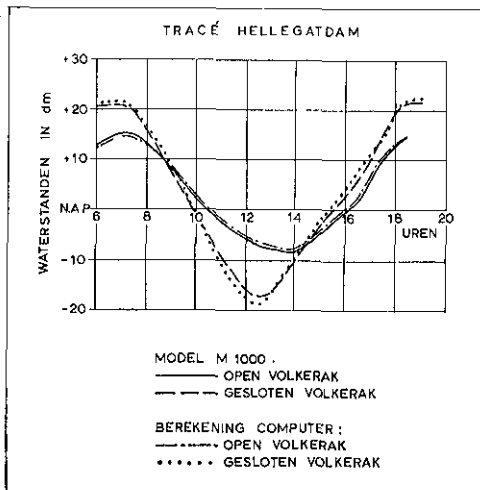


Fig. 3. Debiëten in verscheidene raaien op 11 september 1968, volgens de werkelijkheid, het hydraulisch en het mathematisch model

Fig. 4. Effect van de afsluiting van het Volkerak op de waterstanden bij de Hellegatdam, volgens het hydraulisch en het mathematisch model

overdreven voor. Er kan echter nog steeds van een goede overeenkomst worden gesproken. Figuur 5 geeft de veranderingen in de debieten weer die zijn opgetreden als gevolg van de Volkerakafsluiting. De modelproeven werden uitgevoerd voor twee van de in fig. 1 weergegeven meetraaien. Wederom geven beide methoden een overeenkomstig beeld. Het maximale ebdebiet ter plaatse van het tracé van de Oosterschelddedam neemt zowel volgens het hydraulisch model M 1000 als volgens het mathematisch model toe met 8 %, terwijl de verandering in het maximale debiet bij vloed verwaarloosbaar klein is. De stroomkromme in het Zijpe krijgt in beide modellen een andere vorm. Volgens het hydraulisch model neemt het maximumdebiet bij eb toe met 19 %, en neemt het maximale vloeddebiet af met 11 %. Volgens het mathematisch model

zijn deze waarden respectievelijk 22 % en 14 %. Ook hier is dus sprake van een goede overeenkomst.

De twee vergelijkende beproevingen geven aan dat de resultaten van het hydraulische en het eendimensionale mathematische model van het Oosterscheldegebied gelijk oplopen, en dat het mathematische voor die opgaven waarvoor het is gebouwd, een volwaardige vervanger kan zijn van het hydraulische model.

Inmiddels staat er sinds ongeveer een jaar naast het eendimensionale model ook een tweedimensionaal model van de Oosterschelde ter beschikking. In dit model kan men tal van andere facetten van het watergedrag bestuderen; niet alleen de getijbeweging, ook de beweging van opgeloste stoffen, zoals zout, en de ontwikkeling van bepaalde bio-

logische en biochemische grootheden. Men noemt dit model dan ook wel eens, en niet zonder overdrijving, een 'waterkwaliteits-model'. Maar het is waar dat er althans enkele parameters van de waterkwaliteit in kunnen worden onderzocht.

De ontwikkeling van dit soort modellen is veelal een internationale zaak. Voor het tweedimensionale model en zijn problemen onderhoudt de Rijkswaterstaat nauw contact met de Rand Corporation in Santa Monica, California, U.S.A. Een nadere beschrijving van de modellen die thans voor het onderzoek van de Oosterschelde in ontwikkeling zijn, vindt de lezer helemaal aan het eind van dit artikel, waar het onderzoek naar de veranderingen in het kustgebied nabij de Oosterscheldemond wordt beschreven.

Verleden en toekomst van het bekken

Naast het onderzoek in de modellen naar de mogelijke veranderingen die op het Oosterscheldebekken ten gevolge van de stormvloedkering zullen optreden, kunnen ter ondersteuning en ter aanvulling van de proeven de veranderingen worden bestudeerd die in de werkelijkheid optreden. In de eerste plaats zal het nuttig zijn, enig inzicht te hebben in de processen zoals die vroeger zijn verlopen.

In de Oosterschelde hebben wij wetenschappelijk verantwoorde metingen en peilingen over een periode van meer dan honderd jaar tot onze beschikking. We kunnen dus nogal ver in de geschiedenis terugkijken, en wellicht sommige karakteristieke gedragingen van juist dit bekken, in onderscheiding van alle andere, achterhalen.

Uit de verrichte waarnemingen is gebleken dat de morfologie van de Oosterschelde voortdurend in beweging was. Deze morfologische veranderingen hangen mede samen met veranderingen van het getijvolume. In de hoofdgetijgeulen van de zeegaten in het Deltagebied blijkt namelijk een verband te bestaan tussen het getijvolume en de oppervlakte van het doorstroomprofiel gedurende het getij (zie figuur 6. Een artikel over deze materie in Bericht 40, mei 1967). Te verwachten is dus dat de geulen zich bij afneming van de getijbeweging in de Oosterschelde zullen aanpassen om het verstoorde evenwicht te herstellen.

Om enig inzicht te verkrijgen in de te verwachten morfologische ontwikkeling van de Oosterschelde zal allereerst nader ingegaan worden op de wijzigingen die hebben plaatsgevonden gedurende de laatste eeuw zowel

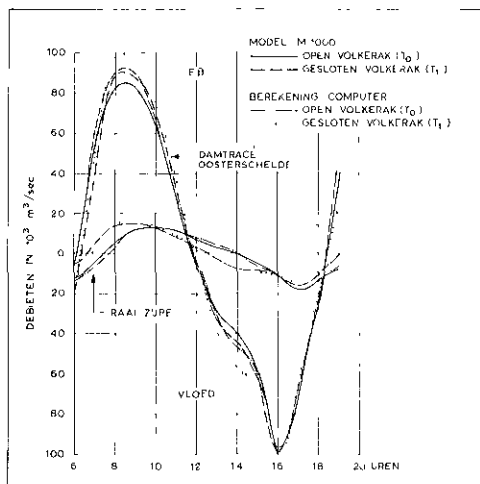


Fig. 5. Veranderingen van het debiet in een aantal meettraaien ten gevolge van de Volkeraksluiting, volgens hydraulisch en mathematisch model

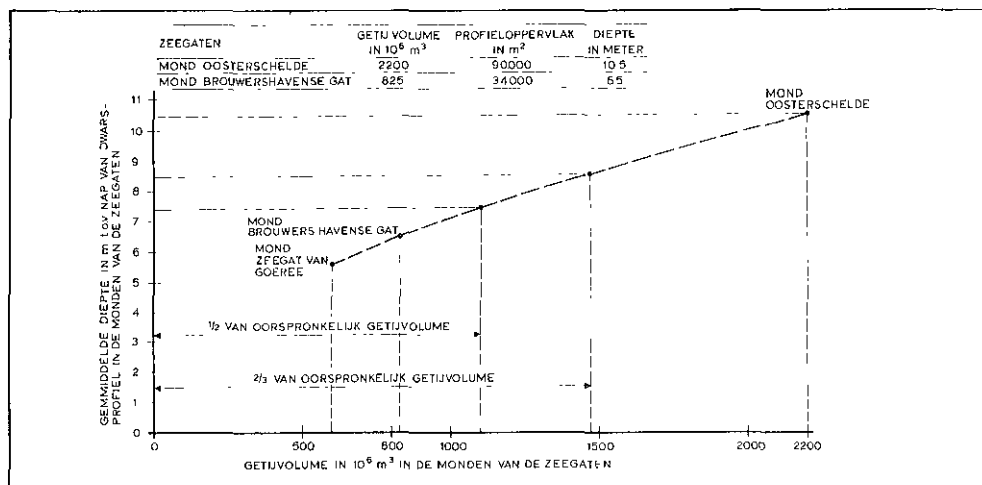
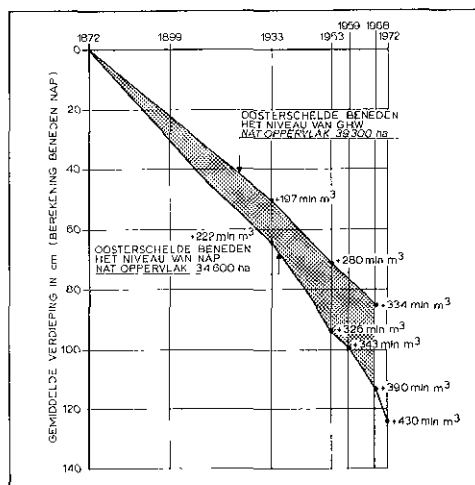


Fig. 6. Algemene betrekking tussen getijvolume en gemiddelde diepte in de mondingen der Nederlandse getijgeulen

Fig. 7. Inhoudsverandering van de Oosterschelde 1872-1972



in de Oosterschelde als in de andere zee-geulen. Daarna zal getracht worden een globale prognose te geven van de morfologische ontwikkeling die men te verwachten heeft bij invoering van een gedempt getij ten gevolge van de bouw van een stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde.

We beschikken pas sinds ongeveer 1870 over voldoende gegevens om de morfologische veranderingen van de Oosterschelde enigszins nauwkeurig te kunnen volgen. Door alle schommelingen en tijdelijke evenwichtsverstoringen hier is er één trek, één tendentie die zich steeds weer als de dominante bewegingsrichting doet gevoelen: de geulen in de Oosterschelde hebben zich verdiept en de banken zijn omhooggekomen. In figuur 7 zijn de gemiddelde diepteveranderingen van de gehele Oosterschelde in beeld gebracht

over de periode 1872-1972. Uit deze figuur kan worden afgeleid dat de Oosterschelde in wezen een erosiebekken is; opzanding heeft plaats gevonden tussen het niveau van N.A.P. en dat van de gemiddelde hoogwaterlijn in dezelfde perioden. Daardoor worden de morfologische verschillen tussen de situatie van voor honderd jaar en die van heden nog sprekender.

Het profieloppervlak in de mond is sinds 1870 toegenomen met ongeveer 15 %. Ook in het mondingsgebied, tot ongeveer 4 km zeewaarts van het huidige damtracé, zijn sterke verdiepingen van de getijgeulen opgetreden. In dit gebied is de gemiddelde profieltoename van de geulen zelfs nog aanzienlijk groter geweest dan in het binnengebied van de Oosterschelde. Buitengaats kwam het tot profieltoeneming van gemiddeld 30 %. Wan-

neer het getijvolume van de zeearm nu verkleind wordt, zal opzanding van de geulen plaatsvinden en zullen ook de banken zich gaan aanpassen. Deze algemene prognose kan gegeven worden op grond van wat is waargenomen in de mond van het Veerse Gat en de Brielse Maas (zie Bericht 30, november 1964 en 20, mei 1962).

Behalve sterke opzanding van de restanten van vroegere getijgeulen is in deze gevallen ook geulverplaatsing opgetreden. Hierbij dient echter wel opgemerkt te worden dat de opzanding van de geulen in de mond van het Veerse Gat en de Brielse Maas niet alleen door de verkleining van het getijvolume werd veroorzaakt. Verkleining van het getijvolume veroorzaakt namelijk ook een verandering van het stroombeeld. Dergelijke veranderingen en de daarmee samenhangende geulverplaatsingen zullen echter in elke concrete situatie weer anders zijn. Voorspellingen voor gebieden met niet geheel dezelfde omstandigheden blijven dus erg moeilijk.

Gegeven de karakteristiek van het Oosterscheldegebied als erosiebekken, kan daaruit iets worden afgeleid aangaande de waarschijnlijke hydrografische ontwikkeling onder invloed van de te bouwen beweegbare stormvloedkering? We zullen deze vraag trachten te beantwoorden allereerst voor de fase waarin de stormvloedkering wordt gebouwd, daarna voor de veel langere, definitieve periode na de bouw.

Tengevolge van de werken in verband met de bouw van de stormvloedkering zal het getijvolume in de Oosterschelde in de komende jaren gaan afnemen. Deze afneming van het getijvolume is echter niet zonder meer het omgekeerde van de toeneming ervan in de periode 1872-1968.

De afneming is, hydraulisch gesproken, van een heel andere aard, en ze zal dus ook veranderingen meebrengen die niet neerkomen op herstel van een vroegere toestand. In plaats van verruiming van het gehele getijdebekken vindt nu in eerste instantie alleen een vernauwing van de mond plaats. De veranderingen in de mond van de Oosterschelde zijn mede daarom niet onmiddellijk voorspelbaar aan de hand van gegevens uit het verleden.

Over een strook van 2 km aan weerszijden van het damtracé zal de bodem sterk beïnvloed worden door de afsluitingsconstructie. In de Oosterschelde, oostwaarts van de genoemde strook, zal de tendens bestaan het verstoorde evenwicht te herstellen door opzanding en aanslibbing van de geulen. Een evenwichtssituatie zal niet bereikt worden

aangezien de uitvoeringsfase hiervoor te kort zal duren.

De mate van opzanding en aanslibbing is bovendien in sterke mate afhankelijk van de toevoer van zand naar de Oosterschelde. Bij aanhoudende stormen uit westelijke richtingen is de aanvoer van bodemmateriaal vanuit het kustgebied vermoedelijk het grootst.

Ten westen van het damtracé, op ongeveer 2 km uit de as van het tracé, is eveneens een opzanding van de geulen te verwachten gepaard gaande met een geringe vermindering van de onderwaterdelta.

Na plaatsing van de caissons van de stormvloedkering, die omstreeks 1985 zal plaatsvinden, gaat de opzanding en aanslibbing der geulen zich versneld voortzetten. De snelheid waarmee dit proces zich voltrekt is onder meer afhankelijk van het getijvermogen en de kracht van de overgebleven getijstromen.

Door deze aanzanding zullen de getijstromen in het geulenstelsel van de Oosterschelde overigens geleidelijk weer toenemen.

Hoelang het zal duren totdat in het zeegat en in het Oosterscheldebekken een evenwichtstoestand is bereikt, valt moeilijk te voorspellen. Er moet waarschijnlijk gedacht worden aan een periode van enkele decennia. Het is overigens nog de vraag, hoe de opzanding en aanslibbing zich zullen voltrekken. Het is in elk geval niet te verwachten dat het gehele bekken zich gelijkmatig en volgens op alle plaatsen gelijkvormige en even krachtige veranderingsprocessen zal aanpassen. Zeer waarschijnlijk begint de sedimentatie van zand in het westelijk deel van de Oosterschelde op enige afstand vanaf het damtracé. In het oostelijke deel van het bekken is aanvankelijk meer slibsedimentatie te verwachten. Met het ondieper worden van het westelijk gedeelte zullen de stroomsnelheden geleidelijk weer toenemen en dan zal ook verder oostwaarts zand tot bezinking komen.

De ontwikkelingen van het kustgebied

Wanneer men de gevolgen bestudeert van de aanleg van een stormvloedkering in de mond van de Oosterschelde kan men zich niet beperken tot de ontwikkeling van het bekken landwaarts van de stormvloedkering, of zich zelfs maar bepalen tot een beschouwing van wat er gebeuren kan met de onderwaterdelta onmiddellijk zeewaarts van de mond. In feite is er een veel groter gebied waarin de repercussies van de bouw van de stormvloedkering zich zullen doen gevoelen. Het nabijgelegen kustgebied bijvoorbeeld, is bij dit probleem ten nauwste betrokken.

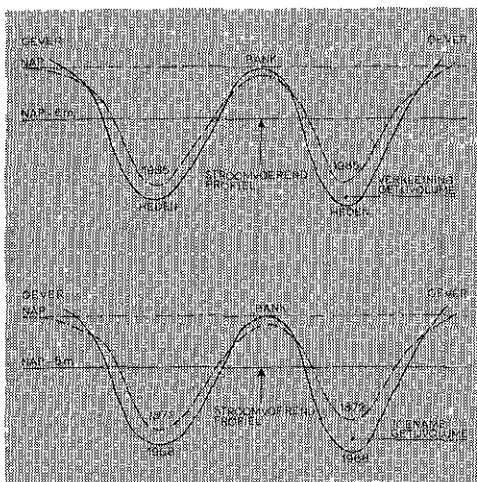


Fig. 8. De ontwikkeling van het Oosterscheldeprofiel in verticale zin. Met de horizontale verplaatsing der goelen is geen rekening gehouden.

de waterbeweging voor onze kust af, wat er met dit slib gaat gebeuren. De eerste resultaten van het hier bedoelde onderzoek doen vermoeden dat er zich omstandigheden kunnen voordoen waaronder slib uit de Westerscheldemonde om de kop van Walcheren heen wordt getransporteerd naar de Oosterscheldemonde en vandaar door het te bouwen kunstwerk heen het halfgetijdebekken op van de Oosterschelde.

Een beter inzicht inzake dit probleem zal naar men verwacht kunnen worden verkregen door bestudering van de waterbeweging in het onderhavige gebied met behulp van het eerder in dit artikel al even genoemde tweedimensionale mathematische model. In dit model is het gehele gebied bedekt met een netwerk van vierkanten. Van ieder vak is de gemiddelde diepte bekend; de waterstanden en de stroomsnelheden in twee richtingen, alsmede de concentraties van opgeloste stoffen, worden door de computer voor elk vak berekend. Integratie van de waarden per vak levert dan de waarden op voor het totale gebied.

Met het bestaande model, dat zich uitstrekt van de Oosterscheldemonde tot aan de Volkerakdam, zijn reeds enige berekeningen uitgevoerd. De opzet ervan bleek echter nog te beperkt, omdat noch de interactie met het zeegebied, noch die tussen Ooster- en Westerschelde in het model tot uitdrukking kon komen. Rechtstreekse koppeling met het Rand-Delta-model van het zeegebied – zie daarvoor Bericht 54, november 1970 – stuitte op praktische bezwaren; bovendien was deze doorkoppeling in de tijd toen nog aan een volledige afsluiting van de Oosterschelde werd gewerkt, ook niet direct noodzakelijk. Nu echter juist als gevolg van het plan tot gedeeltelijke afsluiting met stormvloedkerende caissons, de interactie van de Oosterschelde met het zeegebied van veel belang is geworden, is men in samenwerking met de Amerikaanse Rand Corporation begonnen met de ontwikkeling van twee geheel nieuwe tweedimensionale modellen. Deze modellen omvatten zowel de Ooster- als de Westerschelde als het zeegebied tot ongeveer 30 km uit de kust.

Het eerste model, RD-II genoemd, is een overzichtsmodel met een maaswijdte van 800 m (zie figuur 9). De functie ervan bestaat voornamelijk in het leveren van randvoorwaarden voor het tweede model, dat – men moet er even aan wennen – bekend staat als het Scheldes-model. Dit model omvat een veel kleiner gedeelte van het zeegebied, maar het heeft een maaswijdte van slechts 400 m. De

Omdat het thans werkende proces van geleidelijke erosie van het Oosterscheldebekken wordt omgezet in een sedimentatieproces, is te verwachten dat zand en slib uit het nabijgelegen zeegebied in de Oosterschelde zullen neerslaan. Het is daarom van belang de waterbeweging te bestuderen die behoort bij een half afgesloten Oosterscheldebekken en het verband na te gaan tussen de waterbeweging en het sedimenttransport. Bovendien zal de kwaliteit van het slib in de kustzone van belang zijn, zodat het onontbeerlijk is, ook daarnaar een onderzoek in te stellen. De aandacht gaat bij dit onderzoek thans onder meer uit naar de water- en sedimentbeweging rond de kop van het eiland Walcheren. Het is namelijk bekend dat zich in de mond van de Westerschelde grote hoeveelheden slib bevinden. Het hangt van

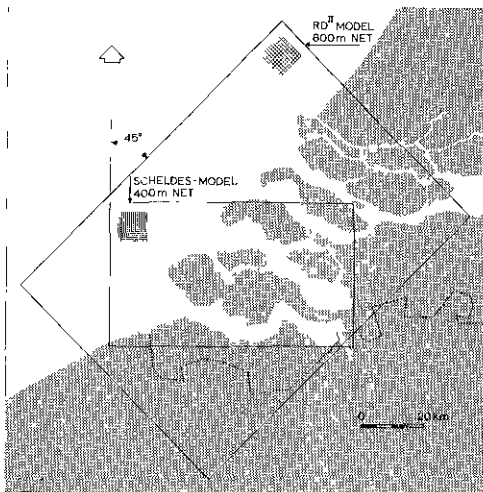


Fig. 9. Tweedimensionale mathematische overzichtsmoedellen ten behoeve van het Oosterschelde-onderzoek

koppeling van een groot overzichtsmoedell met een fijnmaziger detailmoedell is niet nieuw. Ook bij de naspeuringen naar de gevolgen voor het aangrenzende kustgebied van de Haringvlietsluiting is deze combinatie toegepast. Omdat deze moedellen destijds nog maar kort in gebruik waren, kwamen de resultaten van het mathematisch tweedimensionaal moedellonderzoek toen pas korte tijd voor de afsluiting gereed. In het geval van de Oosterschelde is het echter mogelijk reeds in het ontwerpstadium van de afsluitmoedellen te beschikken over prognoses aangaande hun uitwerking op de omgeving.

Deze studies naar de ontwikkelingen in het nabije kustgebied zijn behalve voor de Oosterschelde zelf ook van belang voor de veiligheid van de zeeweringen op Walcheren en Schouwen. De kust heeft op de koppen

van die eilanden in het verleden namelijk geprofiteerd van een vrij aanzienlijk zand-aanbod vanuit de Oosterschelde. Ondanks deze natuurlijke suppleties bleef de kust van Walcheren in geringe mate en die van Schouwen in wat sterkere mate achteruitgaan. De toestand was op deze twee eilanden zeker minder ernstig dan aan de kop van Goeree, maar er werd toch verwacht dat er voorzieningen nodig zouden zijn na de afsluiting van de Oosterschelde. Sederdien is het toekomstbeeld voor deze gebieden ingrijpend veranderd. In plaats van zandtoevoer te kennen of op zijn slechtst de afwezigheid van zandtoe- of afvoer te ondervinden zullen ze in de buurt komen te liggen van een gebied met gehalveerd getij, dat sediment aan het kustgebied onttrekt, ten einde zijn stroomgeulen aan de verminderde debieten aan te passen. Het moet dan ook niet uitgesloten worden geacht dat nadere studies zullen uitwijzen, dat de voorzieningen aan de koppen van de eilanden Walcheren en Schouwen een grotere omvang zullen moeten krijgen, dan voorheen werd vermoed. Het onderzoek richt zich er thans op, in dezen zo spoedig mogelijk tot globale ramingen te komen.

De mate van erosie van de banken en platen zeewaarts van de stormvloedkering heeft onmiddellijke consequenties voor de mate waarin golven vanuit de Noordzee kunnen doordringen tot aan de stormvloedkering. Bij het golfonderzoek ten behoeve van de stormvloedkering wordt daarom bijzondere aandacht besteed aan de golfbeweging in het mondingsgebied van de Oosterschelde en het aangrenzende gedeelte van de Noordzee. Daarbij wordt getracht om de mate van doordringing te meten voor golven uit verschillende richtingen. De richting van de golven zal worden bepaald uit luchtfoto's en radaropnamen. Uit de resultaten van dergelijke onderzoeken kan een beter inzicht ontstaan in de golfbeweging die tijdens stormen bij de stormvloedkering kan voorkomen, wanneer het voorliggende platengebied door erosie zal zijn verdiept.

Grondmechanische problemen bij de bouw van de stormvloedkering

Bij de beslissing de Oosterschelde afsluitbaar te maken met een uit doorlaatcaissons bestaande stormvloedkering is de restrictie gesteld, dat het ook inderdaad mogelijk moet blijken te zijn, deze constructie te bouwen. Op dit 'mogelijk' moet vooral in het kader van dit artikel de nadruk worden gelegd, want de verwezenlijking van deze 'uitermate geavanceerde oplossing' zal in hoge mate afhangen van de vraag of de funderingsproblemen kunnen worden opgelost.

Juist in verband met die funderingsproblemen komt telkens weer het fundamentele feit om de hoek kijken, dat de stormvloedkering in dieper water van grotere omvang moet worden gebouwd dan alle vorige Deltawerken, waaruit meteen volgt dat de caissons zelf omvangrijker en zwaarder zullen moeten zijn dan ooit vroeger. Het treft bovendien ongelukkig dat de bodemgesteldheid van de Oosterschelde in het tracé van de afsluiting veelal minder draagkrachtig is dan op de plaatsen waar tot nu toe grote afsluitingen werden gerealiseerd. Deze bezwaren zouden de ontwerpers nog niet zoveel zorgen baren als ze golden in een gebied waarin de risico's moesten worden berekend over één zomerseizoen. De stand- en bedrijfszekerheid van geplaatste caissons hoefde in het verleden nooit langer dan gedurende een paar maanden verzekerd te zijn, terwijl er ook niet die hoge eisen aan dienden te worden gesteld die men bij een permanent kunstwerk aanlegt. Nu de belangen van de veiligheid en van het natuurlijk milieu echter blijvend afhankelijk worden van de bedrijfszekerheid der doorlaatcaissons kunnen dienaangaande nauwelijks toleranties meer worden ingevoerd in het ontwerp. Om

dezelfde reden mag er zelfs geen ogenblik worden getwijfeld aan de standzekerheid van de caissons. Als uit nadere studies blijkt dat het mogelijk is een weg over de stormvloedkering aan te leggen, zal het wegverkeer ook zijn eisen stellen aan de standzekerheid der caissons.

De belastingen op de caissons hadden in het verleden, juist door de korte duur van hun functioneren, een statisch en quasi-statisch karakter. De Oosterscheldecaissons en de bijbehorende voorzieningen, waaronder de bewegingswerken van de afsluitmiddelen wel de voornaamste zijn, maar waaronder ook de bodembescherming moet worden gerekend, zullen zijn blootgesteld aan voortdurende en wisselende golfbelastingen. De caissons zullen daardoor mogelijk zozeer in trilling worden gebracht dat de ondergrond waarop zij rusten, gaat verweken en zijn draagkracht verliest. Echter, niet alleen onder invloed van de golfbelasting kan verweking van de ondergrond optreden. Wanneer een doorlaatcaisson wordt afgezonken, neemt de druk die de caisson op de bodem uitoefent, in korte tijd zeer snel toe; om de gedachte te bepalen: evenals wanneer op een bepaalde plaats binnen vijf minuten een flatgebouw zou worden neergezet van vijf verdiepingen. Om zo'n snelle toeneming van de belasting te kunnen opnemen, moet de bodem in korte tijd worden samengedrukt. Dat kan alleen door de uitpersing van grondwater. Maar als dat grondwater niet snel genoeg kan ontsnappen, ontstaan er wateroverspanningen onder de zojuist geplaatste caisson, en die kunnen de standzekerheid van de caisson in groot gevaar brengen, met name op plaatsen waar de geulbodem bestaat uit min of meer los-

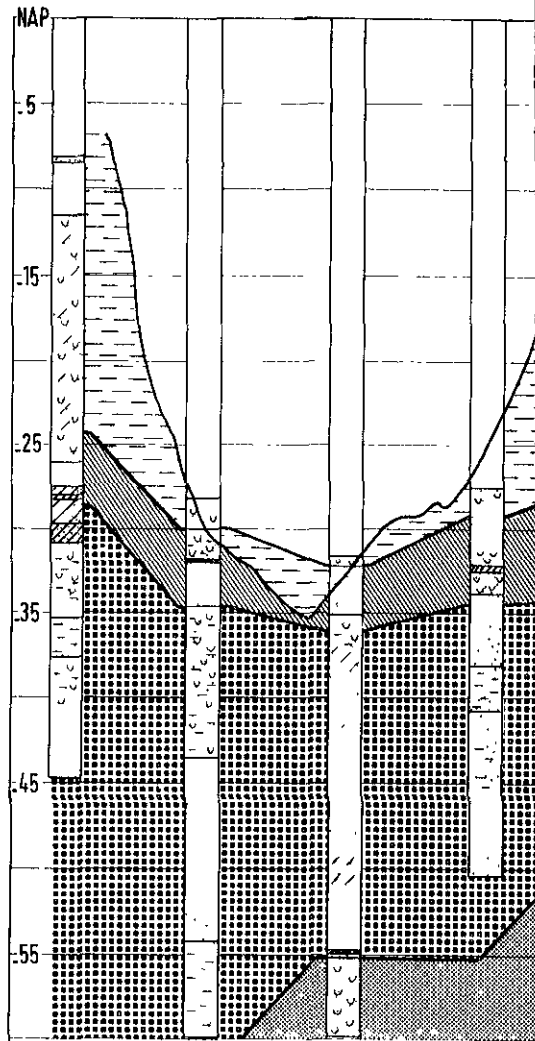
gepakt zand. Bij zeer losse pakking van het zand bestaat bovendien het gevaar dat het bodemmateriaal plaatselijk zijn structuur verliest en zo snel vervormt, dat de wrijving tussen de korrels niet meer volledig tot ontwikkeling kan komen. Zulk vloeistofachtig gedrag van het bodemmateriaal is in de Oosterschelde niet onbekend.

De waterspanningen kunnen nog worden verhoogd naarmate de caissons breder worden. Bij vorige afsluitingen hadden de caissons een breedte van 14 à 18 m, voor de algehele afsluiting van de Oosterschelde zijn destijds al caissons overwogen van 30 m breed, terwijl men nu een stormvloedkering denkt op te bouwen uit caissons met een breedte van 50 tot 60 m.

Er zijn dus drie factoren die nadelig kunnen werken op de stabiliteit der caissons: de belastingsnelheid, de losse pakking van de ondergrond en de caissonbreedte. De belastingsnelheid moet echter worden beschouwd als de belangrijkste van de drie. Met name de regelmatige cyclische golfbelastingen zijn, omdat ze een orde sneller verlopen dan de belastingen tijdens het afzinken, van bijzonder belang. Bovendien veroorzaken zij schuifspanningen in de ondergrond. De zandeeltjes willen dan in relatief korte tijd een kleiner porienvolume of een dichtere pakking aannemen; dit zal in een opgesloten waterpakket nog sneller aanleiding geven tot wateroverspanningen en stabiliteitsverlies. Ditzelfde verschijnsel doet zich voor bij aardbevingen. Gebouwen storten bij zulke gelegenheden veelal niet in omdat ze zo geweldig schudden, maar omdat de ondergrond bezwijkt onder de zeer snelle

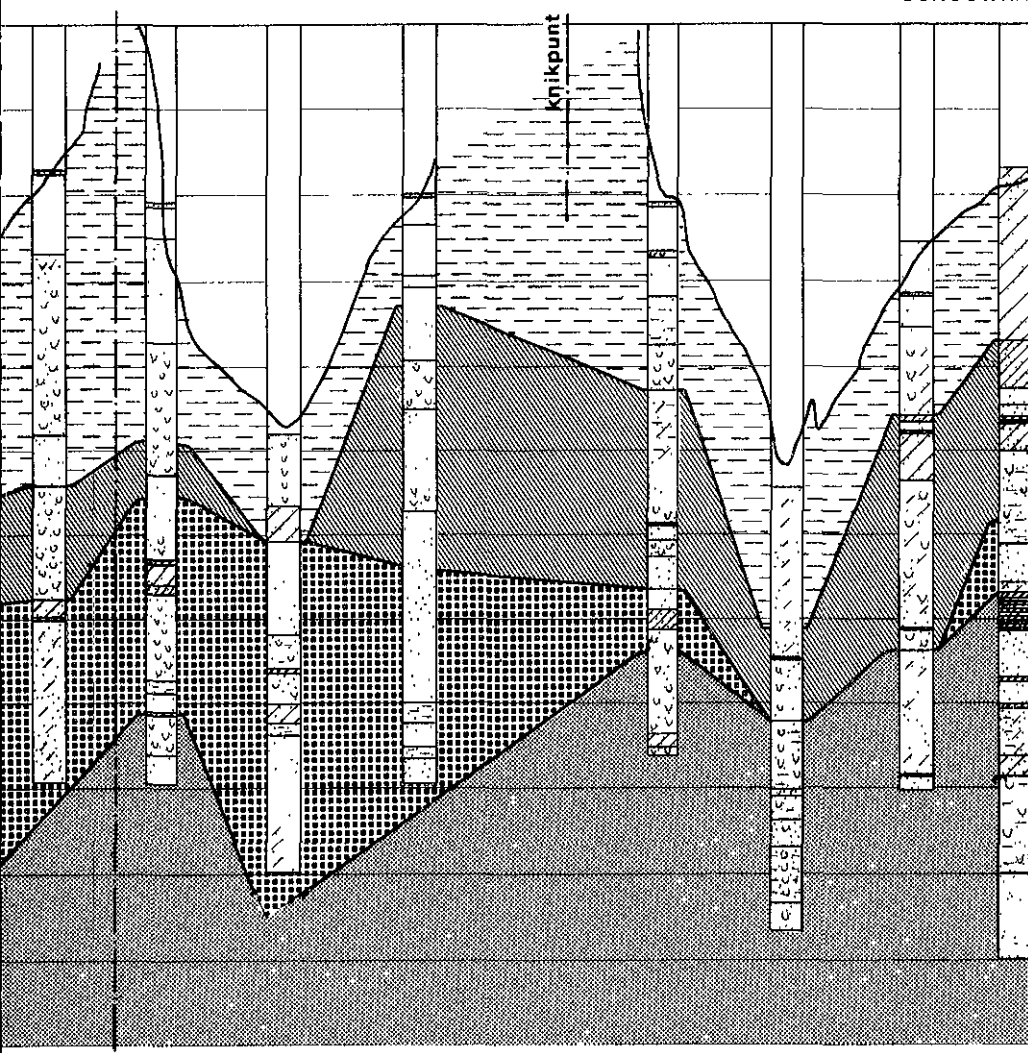
ROOMPOT

N.BEVELAND



-  zand
-  zand met kleilaagjes en kleistukjes
-  zand met veenlaagjes en veenstukjes
-  zand slijthoudend met slijtlaagjes

Geologisch profiel van de Oosterscheldemond, 100 m ten oosten van het afsluitings-tracé



 zand met < schelpen
schelpgruis

 klei

 klei, zanderig met zandlaagjes

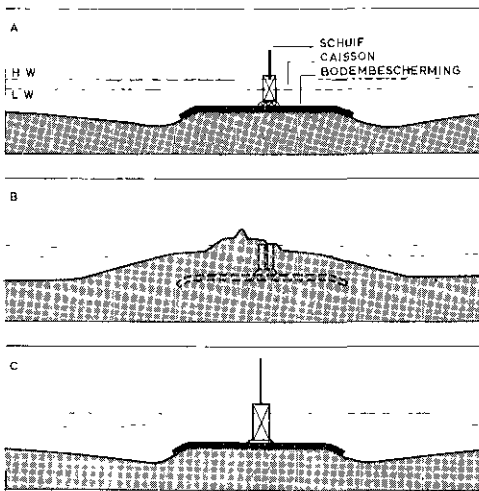
 leeg

 jong zeezand (afzetting van
Duinkerke)

 oud wadzand (afzetting van
Calais)

 formatie van Tegelen

 Icenien



cyclische wisselingen in belasting, waarbij de verschuivingen nog worden bevorderd door de versnellingskrachten. Het onderzoek-programma dat de grondmechanici in verband met de bouw van een stormvloedkering in de Oosterschelde voor zich hebben, bevat dus een groot aantal vraagstellingen, aangaande stabiliteit, vervormingen en eventuele kwaliteitsverbeteringen. Bij al die vragen dienen zij zich telkens opnieuw te realiseren dat ze bij het ontwerp van deze fundering veel minder tolerant mogen zijn dan zij het voorheen konden zijn bij een vergelijkenderwijs ongecompliceerde caissonsluiting. Bij het ontwerp kan daarom niet alleen maar worden teruggegrepen op de ervaringen die bij vroegere caissonsluitingen werden opgedaan. De kennis die wij thans bezitten omtrent het gedrag van de ondergrond onder op staal gefundeerde – dat wil zeggen niet-onderheide – caissons vooral met betrekking tot het verwekingsgevaar en de mogelijk optredende vervormingen in de ondergrond, is voor het onderhavige karwei niet toereikend; zij is zelfs gering te noemen in verhouding tot wat vereist wordt. Hetzelfde geldt trouwens voor de funderingsproblemen van een onderheide stormvloedkering.

Als deze fundering in alle rust in een drooggemalen bouwput kon worden geplaatst zoals het geval was bij de Haringvlietsluizen, was het nog tot daar aan toe. Maar dat kan niet, omdat de aanleg van bouwputten een te groot gedeelte van de stroomgeulen zou blokkeren. Dat zou een sterke reductie meebrengen van de waterbeweging op het Oosterscheldbekken, en dus in strijd zijn met de belangen van het natuurlijk milieu. Het bouwen van een onderheide stormvloedkering zonder bouwput in een

aan zware golfaanval geëxposeerd gebied met tijstroomen geeft aanleiding tot grote waterloopkundige en vooral ook uitvoeringstechnische problemen. Wanneer geen speciale maatregelen worden genomen moet erop gerekend worden dat de grond en de drempel tussen de funderingspalen gaan verzakken, hetgeen onderloopsheid van het kunstwerk en daardoor weer uitschuring van de drempel en de ondergrond tot gevolg heeft. De funderingspalen in de Oosterschelde zullen – als men voor de onderheide constructie kiest – met het oog op de eisen ten aanzien van de standzekerheid van de caissons ook veel dieper moeten reiken dan bij andere onderheide kunstwerken. Een alternatief voor dit extra diep heien zou gevonden kunnen worden door de palen in de caissons in te klemmen. Of men zou de drempel en de bodem moeten verdichten.

De in verhouding tot de complexiteit van het vraagstuk wel zeer korte studietijd van anderhalf jaar die met name voor de ingewikkelde fundamenteeringsproblematiek een probleem op zich vormt, heeft geleid tot algemene mobilisatie van de beste krachten die in de wetenschap en de techniek van de kustwaterbouw ter wereld voorhanden zijn. Deskundigen uit de ambtelijke wereld en het bedrijfsleven en van verscheidene universiteiten en laboratoria hebben zich, verenigd in verschillende organisatiestructuren, gezamenlijk op de problemen geworpen.

Het hydraulisch onderzoek ter zake vindt plaats in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft en te De Voorst. Voor het grondmechanisch onderzoek is het Laboratorium voor Grondmechanica te Delft ingeschakeld, dat voor dit project medewerking verkrijgt van de laboratoria van de universiteiten van

Manchester (Engeland) en Karlsruhe (West-Duitsland), alsmede van deskundigen van het Massachusetts Institute of Technology te Boston (U.S.A.).

De studies hebben betrekking op de stabiliteit van de caissons onder invloed van de maatgevende storm met een kans van optreden van 1 % per eeuw, de grootte van de *deformaties van de ondergrond*, de al dan niet noodzakelijke verdichting van ondergrond en drempel en de uitwerking van een en ander op de stabiliteit en het deformatiegedrag van de fundering. Het onderzoek naar de stabiliteit van de caissons omvat vragen naar de stabiliteit bij verweking van de ondergrond, bij verschuiving van de caissons over de drempel, bij afschuiving door de drempel en bij afschuiving over de bovenste lagen van de grondslag. Bij het onderzoek naar de deformaties gaat het om de zettingen, de scheefstand en de horizontale verplaatsingen van de caissons. De toelaatbaarheid van deze ongelijke bewegingen moet beoordeeld worden in verband met de spelingen tussen de caissons en er eventueel over lopende wegconstructies. Vooral ook zijn de zettingsverschillen een belangrijk punt in het onderzoek in verband met de ongelijke drukverdelingen onder de caissons en de vervormingen die optreden als gevolg van de wringende momenten. De toelaatbaarheid hiervan voor de bewegingswerktuigen en de schuiven moet worden onderzocht. De studies worden verricht door metingen en door berekeningen. *De metingen vinden in de natuur en in de laboratoria plaats.* De metingen in de natuur leveren de randvoorwaarden voor de berekeningen en metingen in de laboratoria. Zij omvatten voornamelijk het grondonderzoek in de nabijheid van de as van de stroomgeulen en langs de toekomstige randen van de bodem- en de oeverbeschermingen. Dit onderzoek bestaat uit boringen, sonderingen, *dichtheidsmetingen en metingen die betrekking hebben op de deformatie- en doorlatendheidseigenschappen van de ondergrond.*

Ten behoeve van de kabel aansluiting werd in de afgelopen jaren reeds grondonderzoek verricht in het tracé van de dam door de Oosterschelde, en wel op onderlinge afstanden van enkele honderden meters. Thans echter wordt dit net verdicht tot afstanden van enkele tientallen meters. Hiertoe moet in korte tijd een omvangrijk grondonderzoek met speciaal daartoe ingericht materieel worden uitgevoerd.

Een tweede soort natuurmetingen betreft de inventarisering van praktijkervaringen, in het bijzonder bij opgetreden calamiteiten en bij

speciaal opgezette proeven in de natuur. Begin september zullen in dit kader golfbelastingsproeven worden uitgevoerd in de haven van het werkeiland Neeltje Jans. Door middel van vizels zal men dan cyclische golfbelastingen op een caisson nabootsen. De reserve-caissons die nog over waren van de afsluitingen van de Lauwerszee en het Volkerak en die in de werkhaven Schelphoek waren opgeslagen, zullen daartoe naar de haven Neeltje Jans worden versleept. Getracht zal worden uit de diverse aldaar uit te voeren metingen het toekomstig gedrag van de ondergrond en de caissons van de stormvloedkering te voorspellen. Tot een derde reeks natuurproeven behoren de proeven in situ, waaronder bodem- en drempelverdichtingsproeven ten einde de resultaten van verschillende verdichtingsmethoden onderling te vergelijken.

De metingen in de laboratoria betreffen in de eerste plaats de classificatie van de mechanische eigenschappen van grondmonsters, dus van de wrijvingsweerstand en de deformatie- en doorlatendheidseigenschappen. Op basis van de gegevens *die deze metingen opleveren* kunnen stabiliteits- en zettingsberekeningen worden uitgevoerd. In het Laboratorium voor Grondmechanica worden modelproeven uitgevoerd die een tussenschakel vormen tussen andere laboratoriumproeven plus berekeningen en de proeven in situ. Zo ook in het laboratorium van de Universiteit van Manchester. Daar is men aan de gang met *zogenoemde centrifugeproeven*, waarbij men door verhoging van de zwaartekracht grondspanningen op ware grootte in modellen kan nabootsen. Er worden ten slotte berekeningsmethoden ontwikkeld om de extrapolatie tot stand te kunnen brengen van de laboratoriumproeven via de proeven in situ naar de werkelijke caissons, ofwel, eenvoudiger gezegd: om uit het kleine te voorspellen wat bij het *bijzonder grote* zal gebeuren.

Een afzonderlijk probleem vormt nog de stabiliteit van bodem- en oeverbescherming. Ook hierbij gaat het weer om het gevreesde verwekingsverschijnsel. Daarmee gepaard gaande vloelingen zijn in staat de randen van bodembeschermingen te ondermijnen en de naden tussen twee bodembeschermingsvelden open te leggen.

Bij de vroegere sluitingen tilde men hier niet zo zwaar aan, omdat *dergelijke schade* pas laat in de sluitingsfase verwacht kan worden en vrij snel daarna onder het zand zou verdwijnen.

Nu echter moet deze bodembescherming de sterkste stroomaanval blijven weerstaan en

mag er onder geen beding terugschrijdende erosie optreden, die uiteindelijk de caisson-dam zelf zou kunnen ondermijnen. Het bodembeschermingsprobleem lijkt daardoor nu meer dan voorheen op dat van de oeversbescher-mingen. De vloeïngen dienen òf voorkomen te worden òf door regelmatig onderhoud in de vorm van aanvullende bestortingen of bezin-kingen in het hand gehouden te worden. Regelmatig onderhoud is wegens de nood-zaak van een uitgebreid bewakingssysteem en de kwetsbaarheid van de caisson-dam bij een eventuele onvoorziene calamiteit onaantrek-kelijk.

Naar verwachting zullen de ontgrondingen groter worden dan voorheen, ook bij een aan-zienlijke verlenging der bodembescherming. Onderzoekingen van de laatste jaren hebben bovendien uitgewezen dat een eenmaal in-

geleide vloeïing bij grotere ontgrondingen tot flauwere evenwichtshellingen kan leiden en dus tot grotere schade aan de bodembescher-ming. Een meer schadebestendige bodem-bescherming is derhalve beslist te prefereren. Veel aandacht is de laatste jaren gegeven aan verbetering van de constructie van bodembeschermingen. Tegelijkertijd wordt het fundamenteel en systematisch onderzoek naar de omstandigheden waaronder vloeïngen optreden voortgezet, onder meer met de be-doeling dat men leert de meest economische maatregelen te nemen ter voorkoming van vloeïngen of afschuivingen. Dit onderzoek is evenzeer van belang voor de bescherming van de oevers. Immers, wanneer het risico van optreden van dijkvallen voldoende verkleind wordt, kunnen dijkverplaatsingen landinwaarts om deze redenen achterwege blijven.

Onderzoek naar de mogelijkheid van bodemverdichting in de sluitgaten van de Oosterschelde

Bij het funderingsonderzoek voor de stormvloedkering in de Oosterschelde worden studies verricht naar de kwaliteiten en de uitvoeringstechnische problemen van twee alternatieve funderingsmethoden: een fundering op palen en een niet onderheide fundering, 'op staal', zoals men dat noemt. Kiest men het laatst genoemde funderingstype, dan hangt de standzekerheid van de caissons af van de kwaliteit van de drempels waarop zij moeten worden geplaatst en de condities van de ondergrond ten opzichte van de belastingen die uiteindelijk naar de drempels en de ondergrond moeten worden overgebracht.

Deze belastingen zijn de steeds variërende resultaten van het eigen gewicht van de caissons en de uitwendige krachten die op de caissons werken: de hydrostatische druk, de quasi-statische en de dynamische golfbelastingen en de ijsdrukken.

Onder invloed van deze belastingen treden belangrijke spanningswisselingen in de ondergrond op, hetgeen onder bepaalde omstandigheden kan leiden tot verweking van de grond onder de drempel. Hierdoor verliest de grond zijn draagkracht zodat de caissons verzakken. Deze problemen, die reeds bij de caissonafsluitingen van het Veerse Gat, het Volkerak en het Brouwershavense Gat zijn onderkend, waren aldaar om elders uiteengezette redenen van minder grote betekenis dan bij de bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde. Daarom moet hier, belangrijk meer dan bij de vroegere afsluitingen, aandacht worden besteed aan de kwaliteit van de drempels en van de bodem en aan de wijze waarop die zouden kunnen worden verbeterd. Nu worden de grondmechanische hoedanig-

heden van de Oosterscheldebodem in verscheidenen rapporten die daarover in het recente verleden zijn uitgebracht slecht genoemd, in die zin dat in de sluitgaten grote defen van de bodem gevoelig zijn voor verweking.

Voorts is uit globale berekeningen gebleken dat de zettingen, afgezien nog van eventuele verweking van de bodem zullen liggen in de orde van 50 tot 100 cm. Deze waarden worden, in combinatie met de te verwachten zettingen in de drempel, ontoelaatbaar groot geacht. Om de hoedanigheid van de ondergrond te verbeteren is in ons land reeds eerder een methode van grondverdichting toegepast, waarbij door middel van trillen of stampen zoveel energie aan het grondpakket wordt toegevoegd, dat er een herschikking van het bodemmateriaal plaatsvindt. De bodemdichtheid neemt dan toe en er ontstaan meer aanrakingspunten tussen de grondkorrels. De samenhang tussen de bodemkorrels wordt daardoor zodanig vergroot dat het grondpakket beter in staat is aan de uitwendige krachten weerstand te bieden. In grondmechanische termen vertaald: door de verdichting neemt de hoek van inwendige wrijving tussen de korrels toe, en de samen-drukbaarheid van de grond dientengevolge af. Afhankelijk van het effect van de grondverdichting kunnen de zettingen worden beperkt tot 10 à 30 % van de oorspronkelijke waarden. Indien de dichtheid van de grond daarbij groter is dan de kritieke dichtheid wordt het gevaar van verweking aanzienlijk verkleind.

Enige methoden van verdichting, door middel van het opwekken van trillingen in de ondergrond zijn reeds eerder in deze Berichten

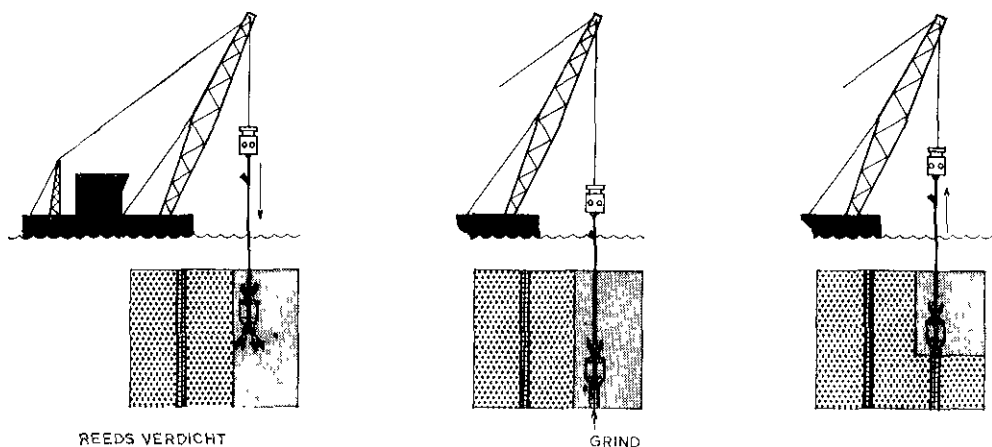
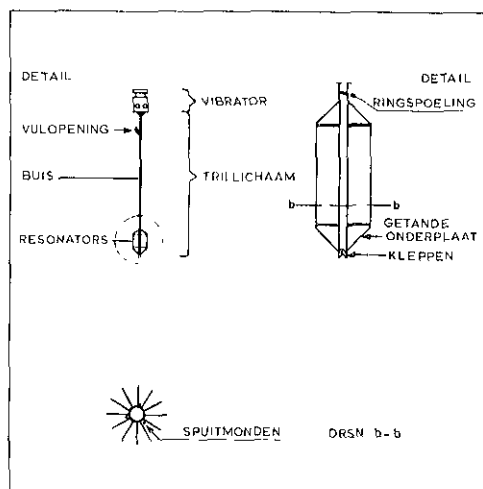


Fig. 1 Werkwijze bij de bodemverdichting

Fig. 2. Schematische voorstelling van de verdichtings-apparaat



beschreven. In de nummers 40 (mei 1967) en 50 (november 1969) wordt uitvoerig verslag gedaan van diepteverdichting door middel van een uit Duitsland herkomstig procédé, het zogeheten Rütteldruckverfahren. Dit houdt in dat de korrels van een losgepakte korrelmassa door middel van een in de grond gestoken trilapparaat in trilling worden gebracht, zodat een dichtere en stabielere structuur ontstaat. Het resultaat wordt niet alleen veroorzaakt door mechanisch trillen, maar ook door de stromingsdruk van het toegevoegde water. Samen verstoren zij de statische opbouw van het korrelskelet, waardoor de onderlinge wrijving tussen de korrels wordt opgeheven. Een resterend deel van de zwaartekracht zorgt ervoor dat de korrels nu naar een situatie zoeken waarin hun potentiële energie zo gering mogelijk is, dus de pakingsdicht-

heid zo groot mogelijk. Door vermindering van het poriënvolume wordt het water verdreven, zodat het elders opnieuw de stabiliteit verstoort.

Blijkens het verslag over deze proeven in Bericht 50 kan met deze wijze van diepteverdichting de pakingsdichtheid van dit zand aanmerkelijk worden verbeterd, mits de onderlinge afstanden van de verdichtingspunten ongeveer 1,5 à 2 m bedragen.

In Bericht 48 (mei 1969) worden proeven beschreven waarbij werd getracht om de bodem te verdichten door middel van explosieven. De bedoeling was ook hier weer, zodanige trillingen in het zandpakket op te wekken dat het erdoor zou worden verdicht. De resultaten van deze proeven worden echter teleurstellend genoemd.

Inmiddels is nieuwe trilapparatuur voor diepte-

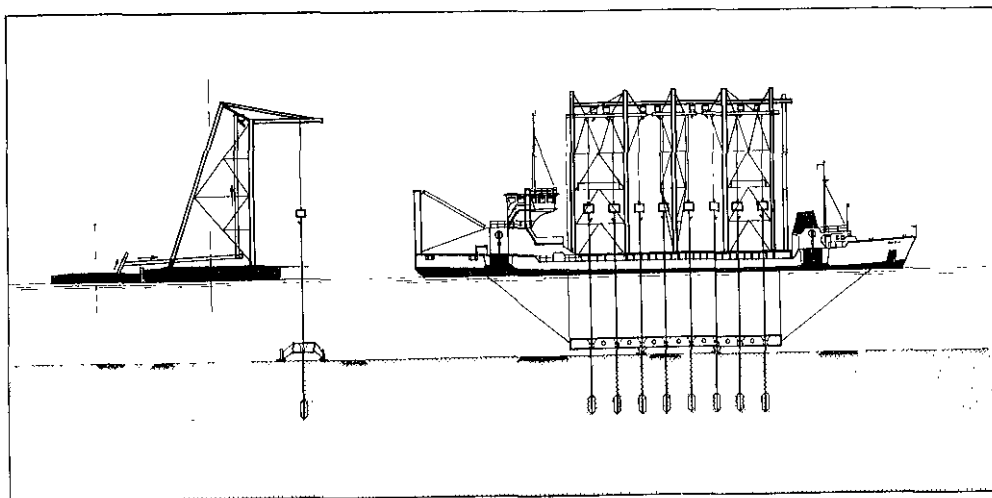
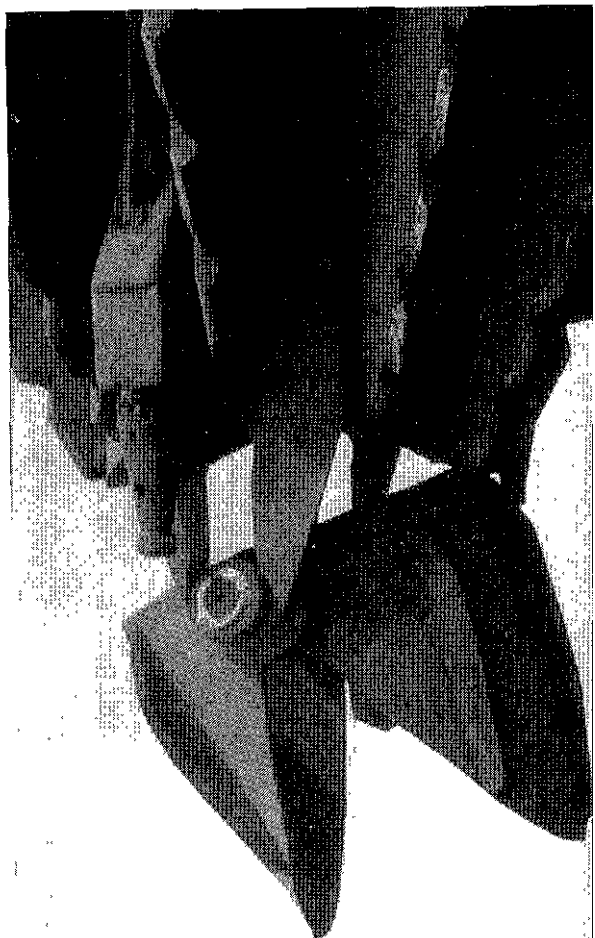
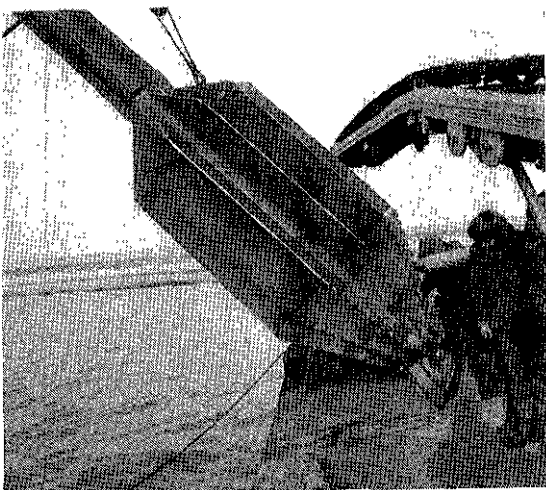


Fig. 3. Schetsontwerp van het verdichtingsschip



Het trilllichaam.
Rechterfoto: detail van de kleppen



verdichting ontwikkeld. De verdichting geschiedt in principe op dezelfde wijze als bij het Rütteldruckverfahren, namelijk door middel van een trillichaam, dat al trillend onder invloed van het eigen gewicht en door toevoeging van water op het gewenste niveau in de zandmassa wordt gebracht. In tegenstelling tot het vroegere procédé, waarbij een buisvormig lichaam in trilling werd gebracht door een ingebouwde elektromotor met excentrieken, gebruikt men thans een installatie bestaande uit een normaal trillichaam in de vorm van een stalen buis met een daarop geplaatste aparte vibrator met regelbare frequentie.

Het onderinde van de buis is over een lengte van 3 m voorzien van radiaal geplaatste stalen platen, zogenaamde resonatoren. De vorm van deze resonatoren, die een secundaire horizontale trilling veroorzaken, kan worden aangepast aan de zandsoort en de zandmassa die men onderhanden heeft. De onderzijde van de buis is voorzien van een spuitmond, terwijl in de wand van de buis tussen de platen gaten zijn aangebracht voor watertoevoer aan de zijkant.

Om de penetratie van het trillichaam in de grond te vergemakkelijken kunnen water en lucht onder hoge druk van bovenaf via de buis uit de spuitmond of uit de gaten aan de zijkant van de buis worden gespoten en geperst.

Bij het verdichten wordt het trillichaam eerst op het laagste niveau van het te verdichten zandpakket gebracht en aldaar in werking gehouden tot de grond is verdicht. Vervolgens wordt, vanaf dit niveau naar boven werkend, het trillen na elke meter stijging herhaald. De ruimte die tijdens het verdichten rondom het trillichaam ontstaat wordt steeds met zand aangevuld.

Een aanwijzing voor de mate van verdichting wordt verkregen door registratie op een recorder van het opgenomen elektrisch vermogen door de vibrator. De elektromotoren van de vibrator nemen bij toenemende weerstand, die duidt op een grotere dichtheid in de bodem, meer energie af.

Van geen der hiervoor beschreven verdichtingsmethoden is echter ervaring beschikbaar onder de werkomstandigheden die in de sluitgaten van de Oosterschelddam voorkomen. De stroom- en de golfcondities zijn uitzonderlijk zwaar, de waterdiepten groter dan waar ook eerder met het verdichtingsprocédé werd gewerkt; en dan liggen er op de plaats waar gewerkt moet worden ook nog bodembeschermingen. Daarom werden aanvullende proefnemingen van het beschreven nieuwste verdichtingssysteem noodzakelijk geacht. Men

heeft dit nieuwe systeem gekozen, onder meer omdat het na modificatie van de trillapparatuur de mogelijkheid biedt, tijdens het verdichten onder water grindpalen in de grond aan te brengen waarmee de verticale drainage van het grondpakket belangrijk verbeterd kan worden. Voor het aanbrengen van deze grindpalen is bovenaan de trilpijp een opening gemaakt waarin grind wordt gestort. Het grind wordt in de grond gebracht tijdens de opwaartse beweging van het trillichaam en wel door de geopende kleppen aan de onderzijde van de trilpijp.

Bij proeven in de natuur aan de oostzijde van het damvak Geul is zowel de mate van verdichting bij diverse penetratieafstanden als de wijze van aanbrengen van de grindpalen onderzocht. Bovendien is daar en in de Hammen nagegaan of het trillichaam bodembeschermingen van zoolstukken met bestorting en van steenasfaltmatten zou kunnen doorboren. Dit uitvoeringsprobleem, dat vooral ter plaatse van de overlappen moet worden overwonnen, zal zich ook werkelijk voordoen bij gebruik van deze verdichtingsmethode ter plaatse van het tracé van de stormvloedkeringen, waar ter voorbereiding van de afsluiting van de Oosterschelde reeds dergelijke beschermingen op de bodem waren aangebracht.

Als plaats van uitvoering van de proef is een plek bij het damvak Geul gekozen, opdat de aanvangsdichtheden en de overige condities van de ondergrond zoveel mogelijk dezelfde zouden zijn als die in de sluitgaten. Er waren daar twee zoolstukken op de bodem aangebracht, beide 10 x 35 m groot; de stukken waren vervolgens bestort met 600 kg fosfor-slakken per m². De overlap van de stukken bedroeg 3 m. De proeven werden uitgevoerd volgens een stramen van verdichtingspunten met onderlinge afstanden van 3, 4, 5 en 6 m. De verdichtingsdiepte varieerde afhankelijk van het getij tussen 7 en 10 m beneden maaltveld. De gaten die bij de verdichting ontstonden werden met fijn grind opgevuld. De resultaten van de proefnemingen mogen zeer gunstig worden genoemd. De conusweerstand en poriëngehalten blijken door het trillen gunstig te zijn beïnvloed. De onderlinge afstanden tussen de verdichtingspunten zijn onmiskenbaar van invloed op de mate van verdichting zoals trouwens op grond van ervaring ook wel werd verwacht. De meest gunstige resultaten werden verkregen bij een onderlinge afstand van de punten van 3 à 4 m. Gelukkig bleek het goed mogelijk te trillen door de overlappen van de zoolstukken en steenasfaltmatten heen. Op grond van de

bereikte resultaten is inmiddels een ontwerp gemaakt voor een verdichtingsschip. Voor dit doel zal een van de blokkenvaartuigen worden omgebouwd, die bij de bouw van de havenmond te Hoek van Holland zijn gebruikt.

Het ontwerp toont een schip aan de zijde waarvan acht trilleenheden van een bok zijn afgehangen door tussenkomst van deïningscompensatoren. De trillichamen worden met behulp van kabels op de bodem neergelaten. Zij worden daarbij, en ook tijdens de verdichting van de bodem, met behulp van een ulthouderconstructie op dekhooft geleid, en door een verplaatsbaar rek op de bodem gesteund (zie figuur 3).

De verdichting van de bodem van een sluitgat geschiedt in de tracérichting van de dam.

Het schip wordt dus, nadat een raai van acht punten is verdicht, haaks op de raairichting verhaald. Daardoor blijven de stromingsdrukken op de onderscheiden trillichamen en dus ook de ankerkrachten beperkt.

Het grind voor de grindpalen wordt met beun-schepen aangevoerd en gelost in een beun-schip dat permanent aan het verdichtingsschip is verbonden aan de zijde tegenover die waar de trillichamen zijn opgehangen. Het verdichtingsschip verkrijgt daardoor meteen een grotere stabiliteit. Aangezien voornamelijk de dichtheid van het jonge zeezand te gering

wordt geacht zal de bodem van de sluitgaten tot de onderkant van deze geologische formatie worden verdicht. In de praktijk betekende dit dat de verdichting maximaal moest worden doorgezet tot N.A.P.-35 m. Op grond van de voorlopige resultaten van de verdichtingsproef zijn de onderlinge afstanden van de verdichtingspunten voorlopig bepaald op 4 m. Indien in de praktijk zou blijken dat bij het trillen met meerdere trillichamen tegelijkertijd grotere respectievelijk kleinere verdichtingsresultaten worden behaald, zullen deze afstanden alsnog worden vergroot of verkleind. De totale lengte waarover de verdichting in de drie sluitgaten zal plaatsvinden is ongeveer 3,5 km. De breedte van de verdichtingsstrook zal worden aangepast aan de nader vast te stellen caissonbreedte; ze zal vermoedelijk ongeveer 80 m bedragen.

De tolerantie in de plaatsbepaling van het schip is op enkele decimeters gesteld. Het schip verkrijgt een daarmee overeenstemmend plaatsbepalingssysteem.

Het verdichtingsschip kan behalve ter oplossing van de funderingsproblemen van de caissonstormvloedkering ook worden ingezet ter verkleining van de kansen op zettingsvloeiingen langs de randen van de bodembeschermingen.

Vorderingen

1 januari – 1 april 1975

A. De werken van het Deltaplan

Volkerak

Derde schutsluis, inlaatsluis en jachtensluis

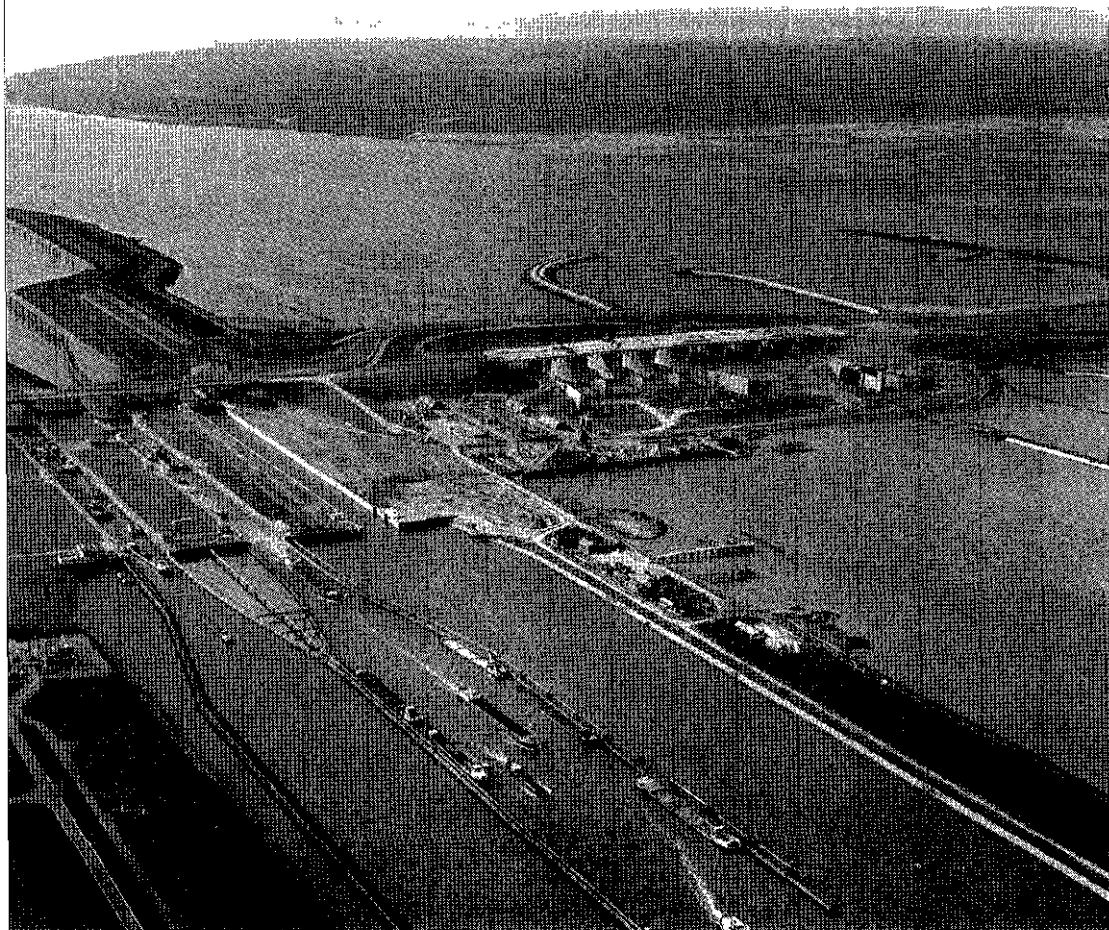
In de verslagperiode is het baggerwerk voor de uitbreiding van de noordelijke voorhaven van de derde schutsluis voltooid. Daarna is begonnen met de uitbreiding van de zuidelijke voorhaven. De vrijkomende specie werd tegen de zuidelijke geleidedam van de jachtensluis gespoten. De aan-gevulde terreinen rond de derde sluis werden afgewerkt.

Alle vleugelwanden van de inlaatsluis zijn nu gereed, terwijl de opbouw van de pijlers en de machineruimten nagenoeg is voltooid.

Voortgegaan werd met de bouw van de vleugelwanden aan de Hollands-Diepzijde en met de opbouw van het bovenhoofd van de jachtensluis.

Het betonwerk van alle overspanningen van de overbrugging van de sluizen is gereed.

Overzicht van de werken in het Volkerak, opname van 14 februari 1975





Begonnen is met het aanbrengen van de bermen. Van gebouw K is het betonskelet gereed.

Verkeerskokers op het Hellegatsplein

De noordelijke en zuidelijke verkeerstunnel zijn gereed, terwijl de uitvoering van het middelste kunstwerk wordt voortgezet.

Geleidedammen, voorhavens, toeleidingsgeulen en stortebedden voor de Inlaatsluis en de Jachtensluis

Uit de toeleidingsgeulen en voorhavens is thans in totaal 2 200 000 m³ specie gebaggerd. De bouw van de geleidedammen voor de jachtensluis zijn,

De bouwput voor de doorlaatsluis in het Brouwershavense Gat. Foto 14 februari 1975

voorzover ze buiten de ringdijken liggen, gereed. In de verslagperiode werd de aanleg van het stortebed aan de zuidzijde van de inlaatsluis ter hand genomen; het daarbij vrijkomende zand wordt in de ophoging van de wegen op het Hellegatsplein verwerkt.

Brouwershavense Gat

Bouwput voor de doorlaatsluis

Sedert de wegen ter plaatse van de bouwput naar de oostelijke ringdijk zijn omgelegd – dat gebeurde in het begin van dit jaar –, wordt de bouwput over de volle lengte ontgraven. De waterstand in de bouwput is verlaagd tot ongeveer N.A.P. – 12,50 m. Het bestek zegt dat de waterstand moet worden verlaagd tot N.A.P. – 14 m, zodat nog 1,5 m moet worden afgemalen. Voor het maken van de bouwput zijn er wat betreft de waterstand echter geen problemen omdat die niet verder behoeft te worden ontgraven

dan tot N.A.P. - 12 m. De aan-
nemer van de sluis ontgraft
straks nog tot een meter dieper
dus tot N.A.P. - 13 m en de
waterstand moet tot 1 m be-
neden laatstgenoemd peil
worden verlaagd. In totaal zijn
nu 44 bronnen in bedrijf; één
bron moet nog worden ge-
plaatst zodat de bronbemaling
in totaal uit 45 bronnen zal
bestaan. Voor zover de bodem-
bescherming van zinkstukken
en de sluitkade van beton-
blokken van het voormalige
zuidelijke sluitgat van de
Brouwersdam in de bouwput
vallen, is het zand tot op de
bodembescherming en de
betonblokken ontgraven. Daar-
buiten is het zand ontgraven tot
N.A.P. - 9 m. Tot nu toe heeft
men ongeveer 480 000 m³ uit-
komend zand afgevoerd. In
totaal moet 600 000 m³ zand
verwijderd worden. Een interes-
sant aspect bij het graven van
de bouwput is dat de bodem-
bescherming van zinkstukken
en de blokkenkade van beton-
blokken thans zichtbaar worden.
Het is een vrij unieke gelegen-
heid dat men in den natte
gemaakt werk nu in alle rust
in den droge kan nameten.
Voor de blokkenkade is een
uitgebreid meetprogramma op-
gesteld, dat beoogt enig inzicht
te krijgen in de taludhellingen
van de dam, in het breuk-
percentage van de blokken, in
het holleruimtepercentage van
de dam en in de mate van
vulling met zand en grind van
de holle ruimten tussen de
blokken. Van de bodembescher-
ming wordt nagegaan hoe de
stortsteen over de zinkstukken
verdeeld ligt, hoe de stukken
elkaar overlappen en waar de
rand van de bodembescher-
ming ligt. Vooruitlopend op het
resultaat van de metingen kan
worden opgemerkt dat de holle
ruimten tussen de blokken zo
te zien vrijwel geheel zijn
gevuld en dat de verdeling van
de steen over de zinkstukken
zeker aan de verwachtingen
voldoet.

De blokken uit de blokkendam
worden na afloop van de
metingen afgevoerd naar de
buitenhaven langs de Brouwers-
dam en gebruikt voor het
verhogen en verzwaren van een

havendam aldaar. Volgens het
bestek zouden alleen de
gebroken blokken voor dit doel
worden gebezigd en de gave
blokken worden afgevoerd naar
de Oosterschelde om daar in
een van de sluitdammen te
worden verwerkt. Tengevolge
van de gewijzigde inzichten met
betrekking tot de sluiting van
de Oosterschelde is deze
laatste bestemming vervallen;
alle blokken gaan nu naar de
buitenhaven bij het Springers-
diep. De stortsteen van de zink-
stukken wordt opgenomen en
opgeslagen in de werkhaven
Middelplaat, met de bedoeling
om ze in 1976 en 1977 te
gebruiken voor het vormen van
stortbed en ontvangbed van
de sluis. Naar het zich nu laat
aanzien kan de bouwput vol-
gens plan medio juni worden
opgeleverd. Waarschijnlijk kan
dan aansluitend met de bouw
van de sluis worden begonnen.
Op 16 mei 1975 wordt de bouw
van de sluis aanbesteed.

Oosterschelde

In de verslagperiode is de
samenstelling van wapenings-
netten voor steenasfaltmatten
op het werkterrein van de haven
Schelphoek voortgezet.

De randbezinking ten westen
van de in het sluitgat Hammen
geplaatste pylonen kwam ge-
reed. Het asfaltschip 'Jan
Heymans' brengt momenteel
randbezinking aan ten oosten
van de pylonen.

In het sluitgat Roompot is men
verder gegaan met het leggen
van betonblokkenmatten. Ook
het storten van staalslakken op
de matten werd voortgezet.

Inmiddels zijn deze werkzaam-
heden in verband met de ont-
wikkelingen rond de Ooster-
schelde-afsluiting stilgelegd.
Er werd een begin gemaakt met
het uitvoeren van een 200-tal
sonderingen in de drie sluit-
gaten die deel uitmaken van
het *grondmechanisch onder-
zoek* ten behoeve van de
stormvloedkering. Voor deze
sonderingen wordt de ponton
gebruikt die vroeger diende
voor het leggen van beton-
blokkenmatten.

Ook werd begonnen met het
maken van een 20-tal boringen

ter plaatse van de te maken
caissonbouwputten, dit met het
oog op het bemalingsonderzoek
voor deze bouwputten.

In de werkhaven Schelphoek
werd een put gebaggerd tot
N.A.P. - 9 m, die dienst gaat
doen als depot voor fosfor-
slakken. Daarna werd de haven-
ingang van de haven Schelphoek
op diepte gebaggerd. Ook
werd begonnen met baggerwerk
in de havenmond van de werk-
haven Neeltje-Jans.

In de werkhaven Neeltje-Jans
werd stortsteen 60-300 kg aan-
gevoerd en in depot gelost.

In de werkhaven Schelphoek
werd steen 10-60 kg en 60-300
kg aangevoerd, in auto's ge-
laden en vervoerd naar een
waldepot op het werkterrein
van de damaanzet op het eiland
Schouwen.

Voorts werden er fosforslakken
aangevoerd en in de ervoor
gebaggerde put gelost. Ook
werd er steenslag 20-40 mm
aangevoerd, bestemd voor de
vervaardiging van steenasfalt-
matten. De steenslag werd
deels rechtstreeks uit de aan-
voer overgeslagen in elevator-
bakken, en deels in depot
gelost.

**Opgave van door het Rijk ten
behoefte van de uitvoering van
de Deltawerken gesloten
overeenkomsten**

DED-1524 30 januari 1974

Vervaardigen en leveren van
2 stuks lieren met elk 3 trom-
mels
Aannemingssom: f 57 930,-
Aannemer: Mach. Fabriek
Padmos B.V. te Bruinisse

DED-1525 24 juni 1974

Leveren en ten dele lossen van
zink- en stortsteen
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: B. V. Handel-,
Industrie- en Transport Mij.
Arnold Maassen te Maastricht
en S. A. Oric te Luik

DED-1526 18 maart 1974

Beschikbaar stellen van een
vrachtauto met chauffeur en
extra personeel t.b.v. de glad-
heidsbestrijding en sneeuw-
ruimen op de Volkerakwerken
in de gemeente Willemstad
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: A. Hordijk trans-
portbedrijf te Willemstad

DED-1527 14 augustus 1974

Het leveren van zink- en stort-
steen t.b.v. de Volkerakwerken
te Willemstad
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: B. V. Handel-,
Industrie- en Transport Mij.
Arnold Maassen te Maastricht
en S. A. Oric te Luik

DED-1528 27 maart 1974

Het leveren en verwerken van
grof grind en palen t.b.v. de
vastlegging van de oevers van
de Veermansplaat en andere

platen in het Grevelingenbekken
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: B.V. Utroma te
Arnhem

DED-1530 21 december 1973

Leveren rijsmaterialen t.b.v.
bodembescherming langs de
Plaat van Oude Tonge
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: B.V. Gebr. van
Noordenne te Hardinxveld-
Giessendam

DED-1531 21 december 1973

Idem
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: B.V. van Wijngaarden
te Sliedrecht

DED-1533 5 augustus 1974

Het ter beschikking stellen van
bergingsvaartuigen t.b.v. het
verrichten van metingen in de
wateren van Z.-W. Nederland en
in het aangrenzende kustgebied
Aannemer: Smit-Tak Internatio-
naal Bergingsbedrijf B.V. te
Rotterdam

DED-1534 9 augustus 1974

Het aanbrengen van een bodem-
bescherming van steenasfalt-
matten in een deel van het
sluitgat Hammen in de monding
van de Oosterschelde gemeente
Westerschouwen
Aannemingssom: f 3 035 000,-
Aannemer: B.V. Maatschappij
tot ontwikkeling en toepassing
van *Butimineuze constructies*
Bitumarin te Zaltbommel

DED-1536 20 juni 1974

Onderhoudswerkzaamheden
t.b.v. de werken van de S.R.V.
in de gemeente Willemstad,
Fijnaart en Heiningen enz.
Aannemingssom: f 699 000,-
Aannemer: Aann. bedrijf M.
Koek en Zn. te Werkendam

DED-1538 4 juli 1974

Het leveren van korven en
binddraad t.b.v. het maken van
een bouwput in de Brouwers-
dam
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: Tech. Handels- en
Adviesbureau M. E. F. de Looff
te Capelle a/d IJssel

DED-1539 23 juli 1974

Het vervaardigen en leveren
van polypropreenmatten t.b.v.
het maken van een bouwput in
de Brouwersdam
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: Zakkencentrale B.V.
te Schiedam

DED-1540 12 juni 1974

Het aansluiten van de bouwput
in de Brouwersdam op het
hoogspanningsnet van
Schouwen Duiveland
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: P.Z.E.M. te Middel-
burg

DED-1544 12 september 1974

Het verrichten van onderhouds-
werkzaamheden aan het Decca
plaatsbepalingssysteem met
bijbehorende apparatuur t.b.v.
opnemingswerkzaamheden in
Z.-W. Nederland
Aannemingssom: f 64 260,-
Aannemer: Internationale
Navigatie Apparaten B.V. te
Rotterdam

DED-1545 5 augustus 1974

Leveren van gebroken steen
voor steenasfalt
Aannemingssom: eenheidsprijzen
Aannemer: S. A. Oric te Luik

DED-1549 12 augustus 1974

Uitvoeren van een studie-
opdracht met betrekking tot de
afsluiting van de Oosterschelde
Aannemer: Combinatie Dijk-
bouw Oosterschelde te Rijswijk

DED-1550 31 oktober 1974

Het wijzigen en aanpassen van een meetpaal M.A.⁵
 Aannemingssom: f 54 750,-
 Aannemer: Konstruktiebedr
 Hellevoet B.V. te Hellevoetsluis

DED-1551 8 november 1974

Het leveren van een onderstuk en het plaatsen van een bovenstuk van een meetpaal met bijkomende werken in de Noordzee
 Aannemingssom: f 34 300,-
 Aannemer: Guis Heibedrijf B.V. te Rotterdam

DED-1552 19 november 1974

Vervaardigen en leveren van twee onderstellen voor getijmeetpalen
 Aannemingssom: f 66 920,-
 Aannemer: Havehast fabrieken B.V. te Stadskanaal

DED-1553 25 juni 1974

Leveren van rijsmaterialen en riet te Willemstad
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: Fa. J. A. de Ruiter Hardinxveld-Giessendam

DED-1554 25 juni 1974

Idem
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: P. C. Klein te Willemstad

DED-1555 25 juni 1974

Leveren van riet te Willemstad
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: Aann.bedrijf De Klerk te Werkendam

DED-1556 25 juni 1974

Leveren van rijsmaterialen en riet te Willemstad
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: B.V. Gebr. Hakkers te Werkendam

DED-1557 25 juni 1974

Leveren van rijsmaterialen te Willemstad
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: M. E. Steenbakkers te Schijndel (N.B.)

DED-1558 25 juni 1974

Leveren van rijsmaterialen te Willemstad
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: Fa. T. den Otter & Zn. te Meerkerk

DED-1559 25 juni 1974

Idem
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: Fa. G. v. Weverswijk te Zijdeveld

DED-1560 25-6-1974

Idem
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: Fa. E. H. van Hoff te Woerden

DED-1561 28 juni 1974

Idem
 Aannemer: B.V. Gebr. v. Noordenne, Hardinxveld-Giessendam

DED-1562 25 juni 1974

Idem
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: W. v. Wijngaarden B.V. te Slidrecht

DED-1563 28 juni 1974

Idem
 Aannemingssom: eenheidsprizen
 Aannemer: De Erven G. J. Versluis te Lexmond

DED-1565 17 januari 1975

Verrichten van onderhoudswerkzaamheden aan het m.s. 'Springer'
 Aannemingssom: f 46 500,87
 Aannemer: Scheepswerf en Mach. fabriek Gebr. Akerboom B.V. te Leiden

DED-1571 15 januari 1975

Leveren en plaatsen van een houten instrumentmakerij met een oliegestookte centrale verwarmingsinstallatie op een door derden te maken fundering op een terrein nabij de vluchthaven te Zijpe in de gemeente Bruinisse
 Aannemingssom: f 99 130,-
 Aannemer: Van 't Verlaats Houtbouw Hardinxveld B.V. te Hardinxveld

DED-1573 28 november 1974

Verrichten van onderhoudswerkzaamheden aan de rijksbok 'Ursus'
 Aannemingssom: f 25 131,-
 Aannemer: Boeles Scheepswerken en machinefabriek B.V. te Bolnes

BR-5982 15 mei 1972

Het demonteren van elektrische installaties van de kabelbanen, de voedingen, alsmede 4 portaalkranen t.b.v. voltooiing van de afsluiting van het Brouwershavensche Gat
 Aannemingssom: f 35 588,-
 Aannemer: Van Rietschoten en Houwens Elektrotechnische Maatschappij N.V. te Rotterdam

BR-6116 9 mei 1972

Het vervaardigen en leveren Bailey-opritten en oplegstoelen c.a. t.b.v. de hulpbruggen voor de Volkeraksluizen
 Aannemingssom: f 15 707,-
 Aannemer: 'Hoja' fabrieken N.V. te Aalst (Gld.)

BR-6133 14 december 1972

Vervaardigen, leveren en bedrijfsvaardig opstellen van 2 contra afsluitbanen op de basculebrug over de schutsluis in het Haringvliet te Stellendam
 Aannemingssom: f 42 027,-
 Aannemer: Constructie werkplaats en Machinefabriek Bosman N.V. te Rotterdam

BR-6167 28 juni 1972

Vervaardigen en leveren van rubberbeschermstroken t.b.v. deurenbergplaats Volkerak
 Aannemingssom: f 18 890,-
 Aannemer: Rubberfabriek Vredestein Loosduinen te 's-Gravenhage

Verantwoording van de foto's

Hofmeester	60	61	104	105
Bodegom	64			
Aerophoto	67			
Waterloopk. lab.	62	63	68	71 72 82 83

