

Driemaandelijks Bericht
nummer 97, augustus 1981

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
2597 AT 's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1
2515 TZ 's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 24,- per jaar
of f 6,25 per nummer

Inhoud

*Onderzoek naar de funderingsmatten voor de
Oosterschelde-kering* 355

De verankering van het materieel van de
Oosterschelde-kering 363

Centrifuge- en wrijvingsproeven voor de
Oosterschelde-kering 369

Golven in de mond van de Oosterschelde 377

Bemaling van de bouwput voor de Krammer-
sluizen 383

Verbetering van het Kanaal door Zuid-Beve-
land 391

Een ontgrondingsproef bij de spuisluis in de
Brouwersdam 396

Samenvattingen/Summaries 400

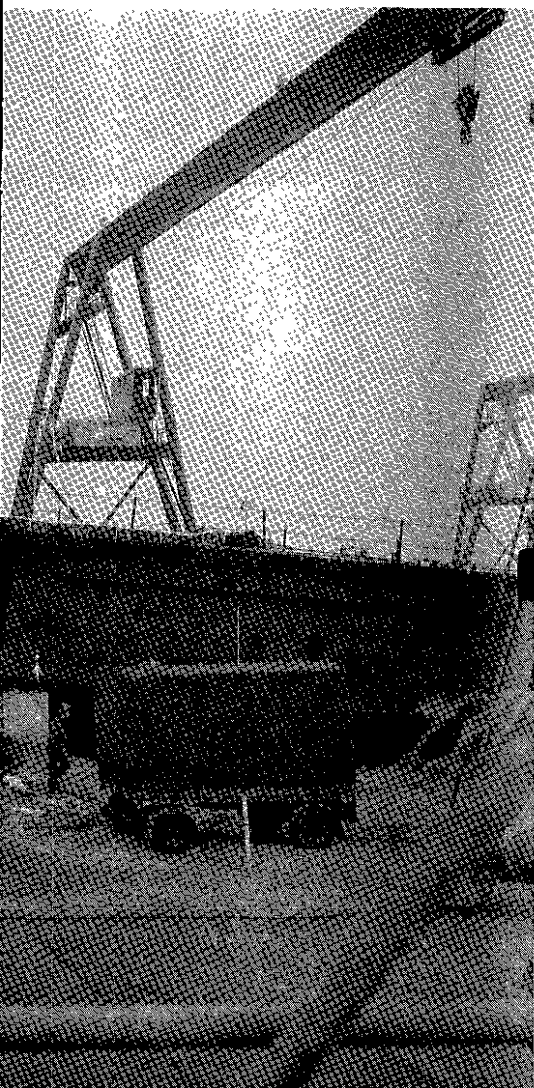
Vorderingen 404



Het funderingsbed van de stormvloedkering in de Oosterschelde zal bestaan uit een geprefabriceerde filtermat van 200×42 m met een dikte van 32 cm. Op die plaatsen waar een pijler moet worden neergezet, wordt de filtermat eerst nog bedekt met een bovenmat van 60×31 m, eveneens 32 cm dik.

Onderzoek naar de funderingsmatten voor de Oosterschelde-kering

Sterkteproeven met een grootschalig model van de funderingsmat.



Beide matten zijn gevuld met loskorrelig materiaal, dat door middel van kunststofdoeken, stalen korven en pennen bijeen wordt gehouden. De langsnaad tussen de matten wordt afgedekt met losgestort korrelig materiaal. In Bericht 93 (augustus 1980) is nader ingegaan op de constructie van de matten en van de speciale ponton 'Cadium' waarmee de matten op de bodem van de Oosterschelde worden gelegd.

Aan de keuze van het funderingsbed is uitgebreid onderzoek voorafgegaan. Ook daarna, in het ontwerpstadium, is de studie voortgezet. De onderzoeken hadden betrekking op de constructieve eisen die aan de mat moeten worden gesteld en anderzijds op het functioneren van de mat als bodembescherming en filter. Deze twee eisen waren tot op zekere hoogte strijdig met elkaar, zoals we zullen zien. De sterkte-eisen maakten namelijk de mat ook stijf en belemmerden een goede aansluiting op de ondergrond.

Wat betreft de sterkte-eisen moest eerst worden vastgesteld, welke fase van de behandeling daarvoor maatgevend zou zijn. De matten doorlopen achtereenvolgens een aantal stadia.

Het begint met de produktie in de fabriek. Zolang de mat op de vloer van de fabriek ligt worden er geen krachten op uitgeoefend. Hij wordt dan namelijk verplaatst met een zogenaamde kettingplatenvloer. Vanuit de fabriek worden de matten vervolgens rechtstreeks op een drijvende rol gewikkeld. Bij het oprollen is de kracht in de mat afhankelijk van de mate waarin hij tussen rol en loswal dóór kan hangen. Hoe minder de mat doorhangt des te hoger is het krachten-niveau. Er wordt bij het

oprollen naar gestreefd de kromtestraal van de mat tussen rol en loswal niet kleiner te laten worden dan 5 m. Nadat de mat geheel op de rol is gewikkeld wordt het uiteinde met een kopbalk aan de rol vastgezet. Hierna kan de rol naar de 'Cardium' worden gesleept.

De mattenlegponton 'Cardium' rolt de matten weer af op de bodem. De diepste locatie waarop een mat moet worden afgerold heeft een waterdiepte van 34 m.

Voordat er een bovenmat op de ondermat wordt gelegd moet eerst het intussen afgezette zand worden verwijderd. Dit doet de 'Cardium' met zijn baggerinstallatie

De ondermat wordt tenslotte verdicht. Dit is nodig om een zo vlak mogelijk funderingsbed te krijgen en eventuele spleten onder de mat af te dichten. De filtermat moet dus ook bestand zijn tegen verdichten met een trilplaat.

Ontwerpeisen

Aan de hand van een theoretisch model zijn de krachten en rekken berekend die zullen optreden in de verschillende onderdelen van de filtermat.

Aan de hand van deze waarden is de filtermat voorlopig gedimensioneerd. Hierna is een groot aantal detailproeven uitgevoerd, waarbij het gedrag van de mat met kennersoog werd bekeken. De voornaamste eisen die gesteld werden waren dat het filter na uitvoer van de proef nog volledig in tact was en dat er geen enkel constructieonderdeel bezweek.

De ontwerpeisen van de filtermat werden hierna op verschillende punten aangepast. Vervolgens besloot men tot het uitvoeren van een verkennende proef op ware grootte, de 'gidsproef'. Bij deze proef bleek vooral het bovendoek niet aan de gestelde eisen te voldoen; het bezweek op enkele plaatsen. Aan de hand van de resultaten van de gidsproef zijn daarna de definitieve ontwerpeisen opgesteld en is een keuze gemaakt uit de verschillende mogelijke materialen. Volgens het uiteindelijke ontwerp is de filtermat nu als volgt opgebouwd (fig. 1).

De mat rust op de 'drager', die wordt gevormd door een kunststofweefsel, versterkt met 80 staalkabeltjes per strekkende meter. De treksterkte van deze 'Jumbo'-mat is 80 ton/m^1 . Om te voorkomen dat er in de mat materiaaltransport optreedt wanneer hij verticaal hangt, is per laag een verticale scheiding aangebracht. Deze scheiding wordt gevormd door korven van staaldraad die aan de binnenzijde bekleed zijn met een kunststofweefsel om verlies van materiaal door de mazen heen te voorkomen.

De verschillende filterlagen worden van elkaar

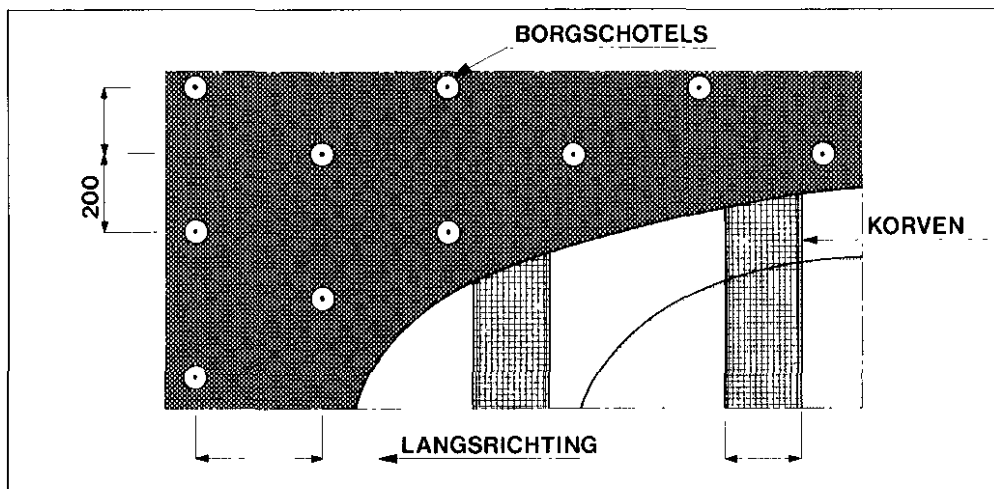
gescheiden door een kunststofweefsel en een kunststofvlies. Aangezien de 'Jumbo'-drager niet zanddicht is bevindt zich tussen de drager en het zand ook nog een zanddicht vlies.

Het bovendoek vormt de buitenste afscheiding van de filtermat. Dit doek, speciaal voor dat doel ontwikkeld, kan in langsrichting 25% rek leveren bij een kracht van 10 ton/m^1 en in dwarsrichting tegelijkertijd 15% rek bij een kracht in het doek van 8 ton/m^1 .

Pennen van staal vormen de verticale verbinding tussen de drager en het bovendoek. Ze hebben een diameter van 6 mm en zijn aan de ene zijde voorzien van een spijkerkop en aan de andere zijde van een scherpe punt. Aan de onderzijde zit een volgplaat. De verbinding aan de bovenzijde wordt gevormd door snelborgers. Deze worden op de pen gedrukt tot het gewenste niveau en klemmen zich automatisch vast wanneer getracht wordt ze weer omhoog te duwen. In totaal worden 8 pennen per m^2 aangebracht. De minimale houdkracht van de snelborger is 500 kg. Ook met het definitieve ontwerp is een proef genomen op ware grootte om in alle maatgevende stadia de optredende krachten en rekken te bepalen. Zo kon dan gecontroleerd worden of de veiligheidscoëfficiënten in de verschillende constructie-onderdelen voldoende groot waren, en of het opgestelde theoretische model voldeed. In een proefopstelling te Kats is de loswal bij de filtermattenfabriek en de daarvoor drijvende rol nagebootst. In verband met de wisselende waterstanden voor de loswal werd in de proefopstelling de meest extreme situatie ingebouwd.

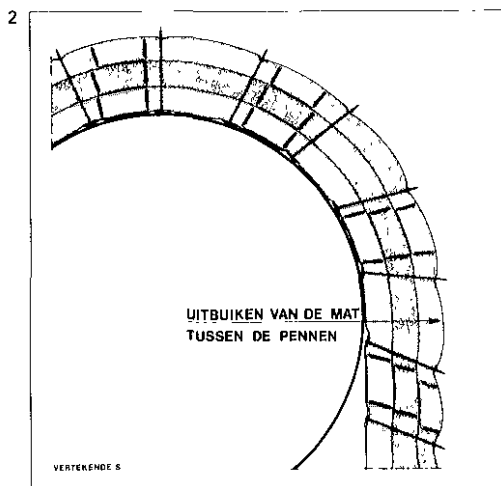
De totale lengte van de proefmat was 85 m, genoeg om alle relevante situaties te kunnen nabootsen. De breedte bedroeg 2,80 m. Dit bleek voldoende te zijn om ter plaatse van de in te bouwen meetapparatuur geen last te krijgen van versturende randinvloeden.

Figuur 3 geeft een overzicht van de maatgevende stadia die de mat tijdens het oprollen bij de fabriek en het afrollen op de bodem van de Oosterschelde doorloopt. In al deze stadia zijn de krachten en rekken in de drager, de pennen en het bovendoek eerst volgens een theoretisch model berekend. Uit deze berekeningen blijkt dat de maatgevende stadia niet voor alle verschillende constructie-onderdelen dezelfde zijn. Bij de drager zijn de grootste krachten te verwachten bij het afrollen van de mat op de diepste locatie, dus op 34 m waterdiepte. Deze grootste kracht in de drager wordt veroorzaakt door het zogenaamde schrikeffect in de mat. Dit ontstaat wanneer de mat bij het afrollen van de laatste wikkeling niet meer strak gespannen is om de rol. Bij het doorrollen van de rol ontstaat dan op een gegeven moment



1
Fig. 1. Bovenaanzicht van de opengewerkte filtermat

Fig. 2. Deformaties van de mat.



een situatie dat het gewicht van het tot op de bodem hangende stuk mat groter is dan de totale wrijving tussen mat en rol van het nog opgerolde stuk mat. De mat 'schrikt' dan, dat wil zeggen hij schiet door, tot de bevestiging van de mat aan de rol weer strak gespannen is. Berekeningen hebben aangetoond dat dit dynamisch effect de statische kracht met een factor 2,2 vergroot. In de rol zullen voorzieningen worden ingebouwd om dit 'schrikeffect' zo veel mogelijk terug te dringen.

De maatgevende belasting voor de pennen treedt op wanneer de mat verticaal hangt. De verbinding aan de bovenzijde van de mat wordt gerealiseerd met snelborgers. Via deze snelborgers wordt het eigen gewicht van de mat op de pennen overgebracht, die het weer moeten doorgeven aan de drager. Ook bij het verticaal hangen moet rekening gehouden

worden met een vergrotingsfactor ten gevolge van het 'schrikeffect'.

De maatgevende belasting voor het bovendoek treedt op wanneer de mat zich op de top van de rol bevindt. Het bovendoek van de filtermat heeft bij het oprollen de buitenbocht en moet daardoor een 5% grotere afstand afleggen dan de drager. Andere oorzaken van de rek in het bovendoek zijn de rek van de drager, het uitbuiken van materiaal tussen de pennen, een hoekverdraaiing van de pennen op de top van de rol en plaatselijke rekken doordat de borgschotels enigszins in de filtermat zijn weggeslagen.

Metingen

In de verschillende maatgevende stadia van het op- en afrolproces zijn alle relevante

krachten en rekken, in de pennen, het bovendoek en de drager van de proefmat gemeten, en ook de in de mat optredende gronddrukken.

Daartoe werden in de proefmat drie meetraaien geïnstalleerd.

Voor de meting van de krachten in de drager is een speciale krachtmeter ontwikkeld. Ook de krachten in de pennen zijn gemeten met een speciaal voor dit doel ontwikkelde meetpen, die op een zodanige manier van rekstrookjes was voorzien dat de invloed van de buiging werd geëlimineerd en de trekkracht in de pen direct gemeten kon worden.

De rekken van het bovendoek zijn op verschillende manieren gemeten. De gemiddelde rek werd gemeten met verplaatsingsopnemers. Van het grootste belang voor het gedrag van het bovendoek is evenwel ook de plaatselijk optredende extreme rek, die een stuk hoger kan zijn dan het gemiddelde. Wanneer ergens een grote grindkorrel uit de mat steekt bijvoorbeeld, dan zal er rondom die korrel een extra grote rek optreden. Ook rondom de borgschotels zullen de rekken plaatselijk groter zijn omdat deze schotels in het grind worden weggeslagen, waarbij het bovendoek dus mee moet. Deze plaatselijke extreme rekken werden zowel met behulp van stereofoto's als met moiréerasters gemeten. Met stereofoto's werden de rekken in het bovendoek in elk meetstadium fotografisch vastgelegd.

Vooraf de rekken rondom de pennen zijn bepaald met moiréerasters. Bij deze methode wordt een vast raster met een lijnenpatroon erop op het bovendoek geplakt. Dit gebeurt in spanningsloze toestand van het bovendoek. Tussen de lijnen op het raster is een vaste en bekende afstand. Wanneer het bovendoek rekt, rekt het raster mee zodat de afstand tussen de lijnen groter wordt. Door nu een los doorzichtig raster op het vaste raster te houden kan de opgetreden rek eenvoudig worden afgelezen. De grondspanningen zijn gemeten met grond-drukdozen die in de filterlagen van de mat waren geplaatst.

Verder werd tijdens de uitvoering van de proef de vorm van de kettinglijn tussen helling en rol vastgelegd. Ook werden de lierkrachten geregistreerd die nodig waren om de rol in de verschillende stadia door te draaien. Dit ook weer om te kunnen controleren of het theoretische model aan de verwachtingen voldeed. De resultaten van de metingen zijn met een minicomputer verwerkt, waardoor een direct inzicht werd verkregen in de optredende krachten en rekken. De gemeten krachten en rekken kwamen goed overeen met de berekeningen van het theoretische model. De gehanteerde veiligheidscoëfficiënten zijn dus inder-

daad aanwezig. Het gedrag van de filtermat voldeed tijdens het op- en afrollen geheel aan de verwachtingen.

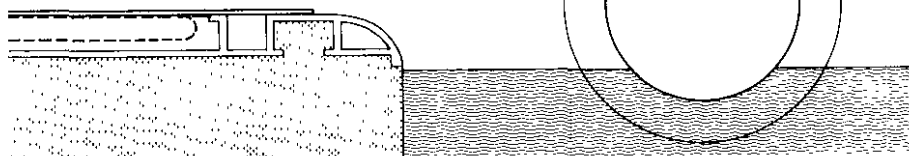
Er is tijdens de proef geen enkele beschadiging aan de mat geconstateerd. Na afloop van de proef is de filtermat geopend. Hierbij is vastgesteld dat het filter nergens ten gevolge van het op- en afrollen is verstoord of verbroken. De resultaten van de grote oprolproef wettigen dan ook het vertrouwen dat de filtermatten zonder externe beschadigingen of interne verstoringen van de filteropbouw op de bodem van de Oosterschelde kunnen worden aangebracht.

Onderloopsheid

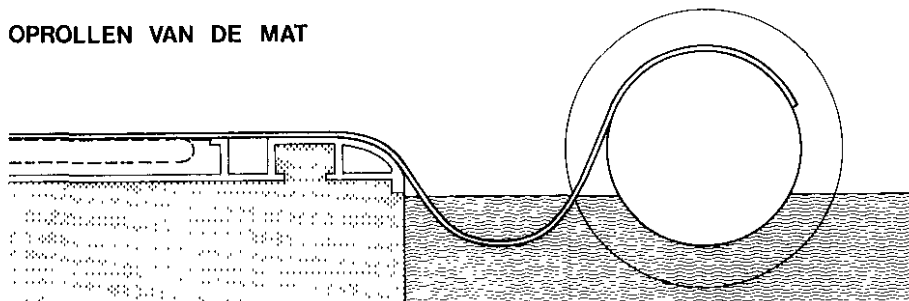
Een van de andere aspecten die nader moest worden onderzocht, is de mate waarin de mat aan zijn functie voldoet. Een groot probleem vormde de onderloopsheid van de filtermatconstructie. Het ging om de vraag, of de relatief stijve filtermat in staat zou zijn onvlakheden van de bodem goed te volgen, dat de fundering zijn primaire functie, te weten het vasthouden van het onderliggende zand, ook inderdaad afdoende vervult. De stijfheid van de mat wordt veroorzaakt door het verpakkingsmateriaal: doeken, korven, pennen enzovoort. Deze elementen geven, zoals we gezien hebben de mat de benodigde sterkte en samenhang tijdens de transport- en de legfase, maar daarna vervullen ze geen functie meer. Het zou prettig zijn als deze materialen onmiddellijk na het leggen door de corrosieve werking van het zeewater zouden oplossen. Maar dat zal niet gebeuren, zodat het onvermijdelijk is het effect van de verpakkingsmaterialen op de eigenschappen van de fundering serieus in beschouwing te nemen. Door de verpakkingsmaterialen bezit de fundering een zekere stijfheid en daardoor is hij niet in staat alle oneffenheden van de ondergrond volledig te volgen. Gevolg is, dat de filtermat lokaal de ondergrond overspant, waardoor eronder holle ruimten ontstaan.

Fig 3. De funderingsmat tijdens verscheidene stadia van de verwerking.

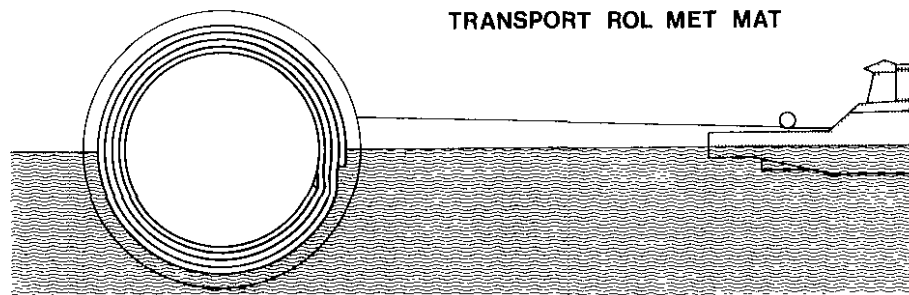
FILTERMAT IN FABRIEK



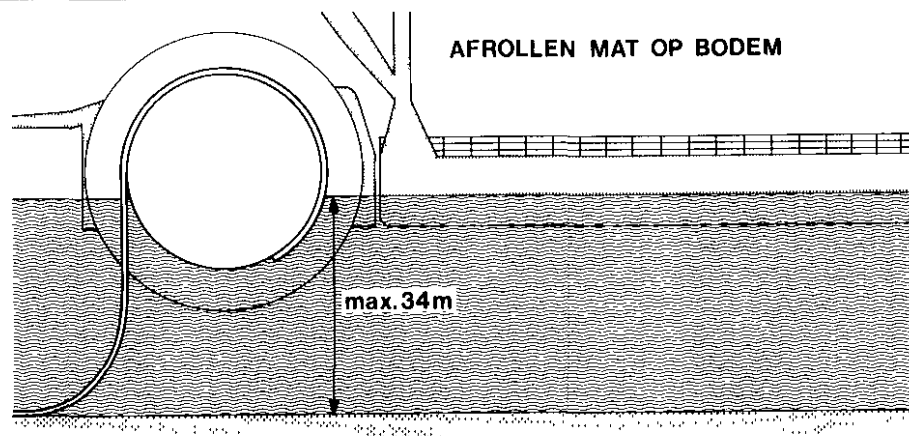
OPROLLEN VAN DE MAT

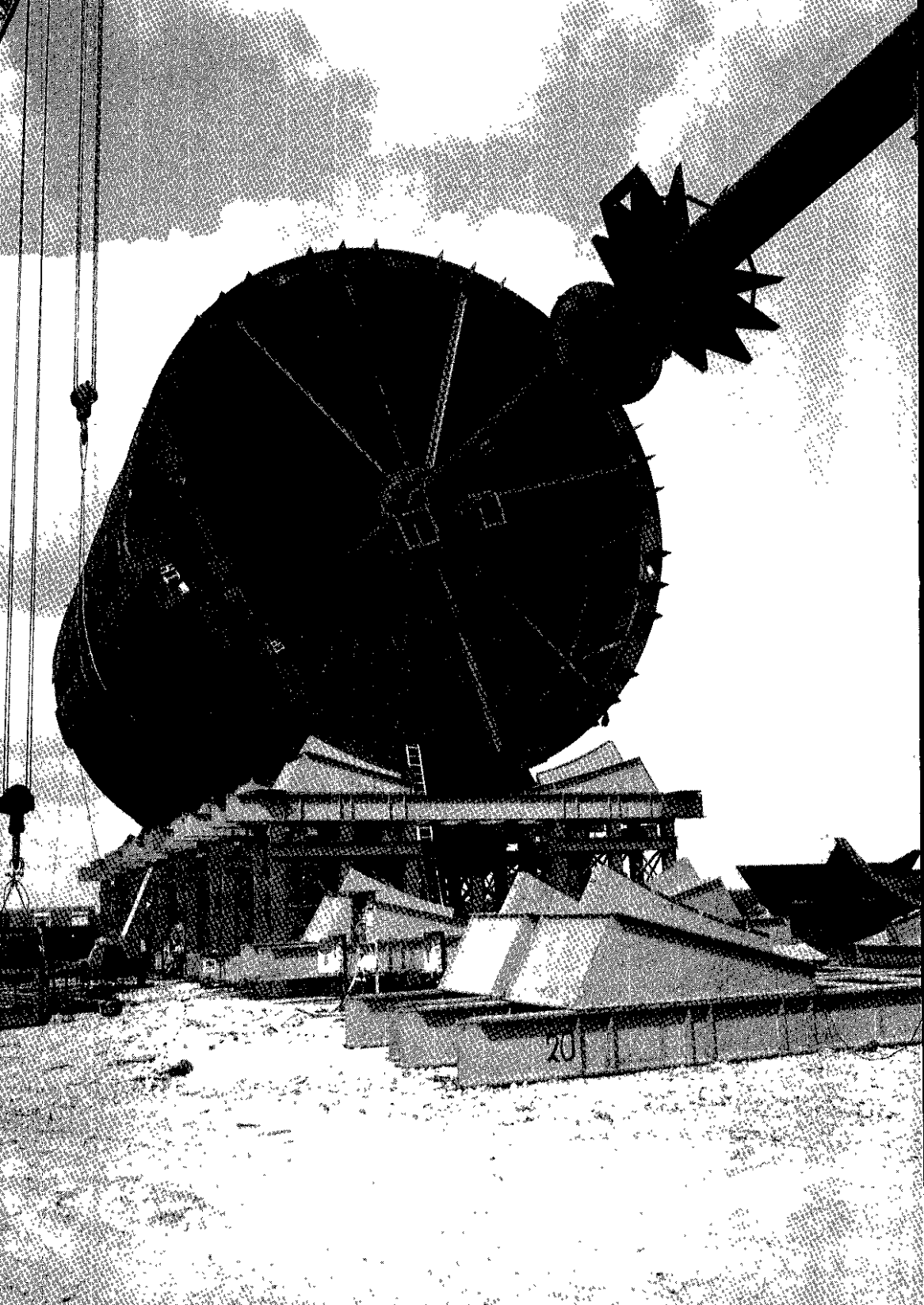


TRANSPORT ROL MET MAT



AFROLLEN MAT OP BODEM





Wanneer het volume aan holle ruimte te groot wordt, zou dat op den duur kunnen leiden tot zo'n omvangrijk transport van zand, dat de pijlers in ontoelaatbare mate scheef zouden kunnen gaan staan. Om dit zoveel mogelijk te voorkomen wordt in de pijler-zone vlak voor het leggen van de filtermat de bodem vlak gezogen en worden de filtermat en de bovenmat verdicht. Dit resulteert in een goede aansluiting met de ondergrond. Uit onderzoek is gebleken, dat na deze bewerkingen niet meer voor transport van zand direct onder de matten gevreesd hoeft te worden.

Om uitvoeringstechnische redenen wordt de overgangsconstructie tussen de pijler-zone en de stortebedden aan weerszijden van de kering niet verdicht, terwijl eveneens het vlak zuigen van de bodem vlak voor het leggen van de filtermat achterwege blijft.

Hier zal derhalve lokaal wel holle ruimte onder de filtermatten aanwezig blijven, en er ontstaat een situatie die grote gelijkenis vertoont met het onderloopsheidsverschijnsel, zoals dat optreedt bij op zand gefundeerde constructies, zoals sluizen en stuwdammen.

Ten gevolge van het drukverschil over zulke constructies wordt er zand van onder de fundering benedenstrooms afgevoerd, met als gevolg ondermijning van de constructie. Gezien de complexiteit van het probleem, de ernst van de mogelijke gevolgen en de ervaring bij voornoemde constructies is besloten het probleem fundamenteel aan te pakken. Daartoe is een onderzoekstrategie gehanteerd, die stap voor stap heeft geleid tot een zo volledig mogelijk inzicht in het verschijnsel. Essentieel daarbij was de ontwikkeling van drukmodellen, waarmee het verschijnsel beschreven kon worden. Voor de ontwikkeling van dergelijke modellen is toetsing aan de hand van fysisch onderzoek vaak onontbeerlijk.

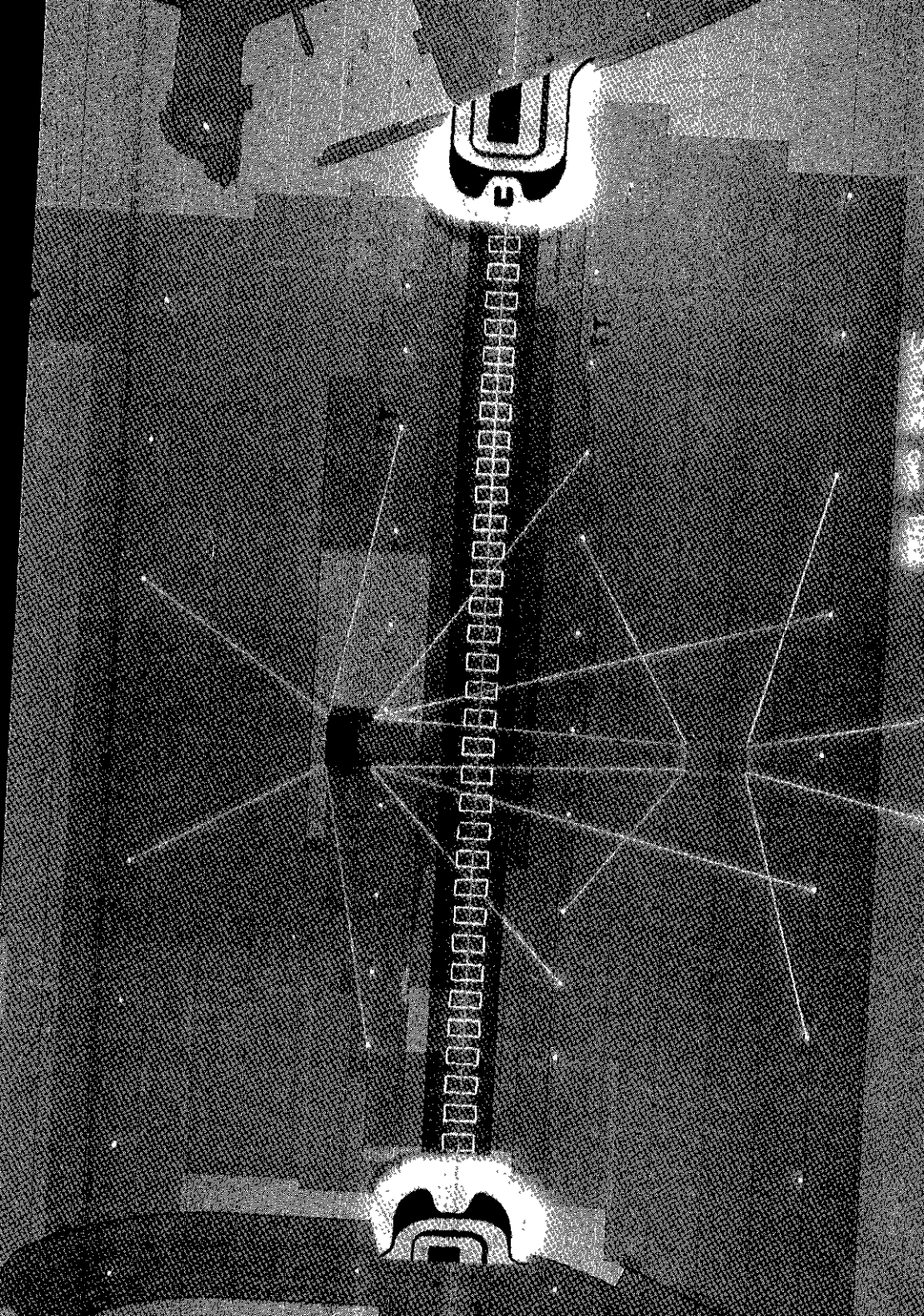
De bestaande kennis van het verschijnsel onderloopsheid is voornamelijk gebaseerd op situaties met een constant drukverschil over de constructie. Hoewel de drukverschillen in de Oosterschelde een wisselend karakter hebben, is daarom eerst onderzoek verricht naar constante drukverschillen over de mat. Het onderzoek werd voor een deel uitgevoerd met bestaande computermodellen, die getoetst zijn met behulp van de resultaten van fysisch onderzoek in een modelopstelling. Daar werd een gedeelte van de mat op schaal 1:1 inge-

bouwd, bovenop een zandpakket waarin zich een spleet bevond. Aangetoond kon worden dat reeds bij geringe drukverschillen instabiliteit van het zand begon op te treden en dat daarbij relatief grote hoeveelheden zand verplaatst konden worden.

De volgende stap van het onderzoek werd gevormd door vertaling van de resultaten van de geschematiseerde proeven naar de reële omstandigheden. Zoals gesteld zijn de drukverschillen in werkelijkheid wisselend van karakter. Teneinde te kunnen vaststellen of het optreden van instabiliteiten al dan niet afhankelijk is van de aard van het drukverschil, is het bestaande rekenmodel aangepast en zijn de resultaten getoetst met behulp van de resultaten van fysisch onderzoek in het Waterloopkundig Laboratorium. De resultaten van dit deelonderzoek geven aan, dat het optreden van instabiliteiten onafhankelijk is van het karakter van het drukverschil, maar dat het gedrag na overschrijding van een zeker kritiek drukverschil veroorzaakt dat de filtermat bijzakt en de holle ruimte afgesloten wordt.

Dit bijzakken is in de laatste fase van het onderzoek nader gekwantificeerd. In het model werd een mat met een lengte van 20 m ingebouwd in een goot met plaatselijk holle ruimten. Conform het ontwikkelde rekenmodel kon worden aangetoond, dat de mat praktisch volledig bijzakt, terwijl de hoeveelheid getransporteerd zand beperkt blijft.

Op grond van de resultaten van het totale onderzoek naar de onderloopsheid van de filtermatten kan derhalve geconcludeerd worden, dat de holle ruimten onder de matten ter plaatse van de overgangsconstructie wel aanleiding geven tot transport van zand, maar dat de hoeveelheden beperkt blijven en dat de mat tenslotte praktisch volledig bijzakt. Aanvullende maatregelen worden derhalve niet noodzakelijk geacht.



De bouw van de stormvloedkering in de Oosterschelde wordt grotendeels uitgevoerd door werkschepen die positie kiezen in de sluitgaten Roompot, Schaar van Roggenplaat en Hammen. De vereiste nauwkeurigheid van het werk wordt voor een groot deel bepaald door de plaatsvastheid van het werkvaartuig. Goede verankering is dus van het grootste belang.

De Oosterschelde-kering omvat onder meer de aanleg van een drempel, die een verkleining van het doorstroomprofiel tot gevolg heeft. Om te verhinderen dat de hierdoor optredende wervelingen en hogere stroomsnelheden schade veroorzaken aan de zeebodem, is tot ver uit de as van de kering een bodembescherming gelegd. Met conventionele ankers mag hierop natuurlijk niet verankerd worden, want dat zou de bodembescherming beschadigen. Om de werkvaartuigen toch te verzekeren van plaatsvast ankerpunten werden in het voorjaar en de zomer van 1978 in totaal 59 ankerpalen volgens een bepaald patroon in de zeebodem gelegd. Tevens werden 22 ankerpalen langs de oevers van de sluitgaten aangebracht. Naarmate de werkwijze van de grote werkvaartuigen en de drempeluitvoering in de loop van 1980 vastere vormen aannam zijn er meer gedetailleerde studies gemaakt van de ankersituaties. Bij deze studies werden een aantal vaste uitgangspunten gehanteerd:

De ankerdraden moeten vrij blijven van de bodembescherming, dit om beschadiging van de bodembescherming en van de draden te voorkomen; kruisende ankerdraden moeten zoveel mogelijk vermeden worden; de lengte van de ankerdraden bedraagt minimaal 300 meter en maximaal 600 meter.

De toepassing van deze regels leidt tot de vaststelling van een aantal minimale scheepsafstanden.

'Cardium' en 'Ostrea' bij voorbeeld, blijven 900 meter bij elkaar vandaan, terwijl de afstand tussen de 'Ostrea' en de drempelschepen 450 meter dient te bedragen; de drempelschepen onderling houden een afstand aan van 300 meter; tot de Taklift IV naderen ze niet dichterbij dan 300 meter.

De verankering van het materieel van de Oosterschelde-kering

De aldus vastgestelde minimumscheepsafstanden maakten het uit planningstechnisch oogpunt noodzakelijk 18 ankerpalen bij te slaan. Dit is begin 1981 gebeurd. Het spreekt voor zichzelf dat ankeren van het werkmaterieel op een ankerpalenpatroon goede begeleiding behoeft. Daartoe worden de ankersituaties in de plotkamer aan de Roompothaven zichtbaar gemaakt op een wandbord dat op schaal 1:1000 de sluitgaten weergeeft. Terwijl hierop dagelijks de actuele situatie weergegeven wordt, kunnen volgens de vigerende planning op een voorgeschoven plotbord ankersituaties gesimuleerd worden en onderzocht op knelpunten in de planning en/of praktische uitvoering. Door middel van een plotter worden de gesimuleerde ankersituaties vastgelegd op een formulier, en vervolgens ter nadere bestudering voorgelegd aan de planning en de uitvoering.

Ankerpalen

Om de verbinding van een ankerdraad met een ankerpaal op de zeebodem mogelijk te maken is de ankerpaal uitgerust met een eerste en tweede voorziening. De eerste voorziening bestaat uit vier onderdelen. Allereerst een draaibare ankerkop en een dissels, waarop middels een 200-tons sluiting de voorloper is bevestigd. Deze voorloperdraad is anderhalf maal zo lang als de waterdiepte, en ligt gestrekt over de zeebodem met een stalen strop verbonden aan een ballastplaat. De ballastplaat, die een gewicht heeft van 1500 kg, heeft tot doel de voorloper gestrekt op de bodem te houden. De ballastplaat is weer met een 25-tons sluiting verbonden aan de neuring. De neuring tenslotte is een staaldraad met een lengte van anderhalf maal de waterdiepte, die

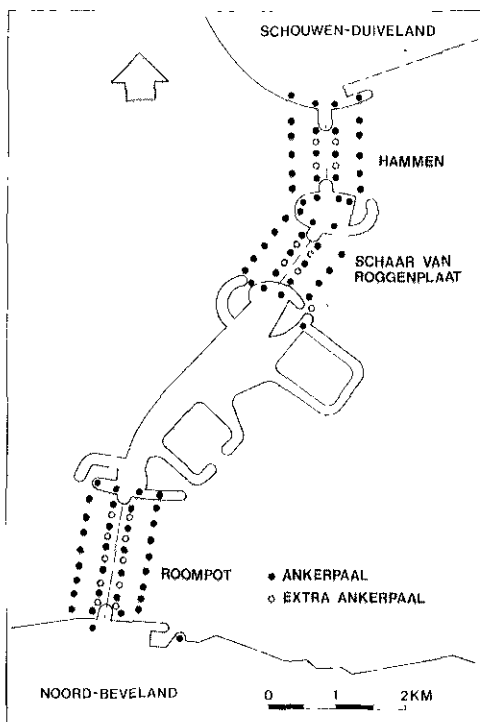


Fig. 1. Overzicht van de verankeringspunten in de Oosterschelde.

door de ankerboei steekt. Dit is een stalen cilinder van 250 cm lang met een diameter van 160 cm.

De ankerboei is verdeeld in drie waterdichte compartimenten. Door het midden steekt een stalen pijp, waardoor de neuringdraad loopt, die met een 25-tons harpsluiting bovenop de boei wordt gefixeerd.

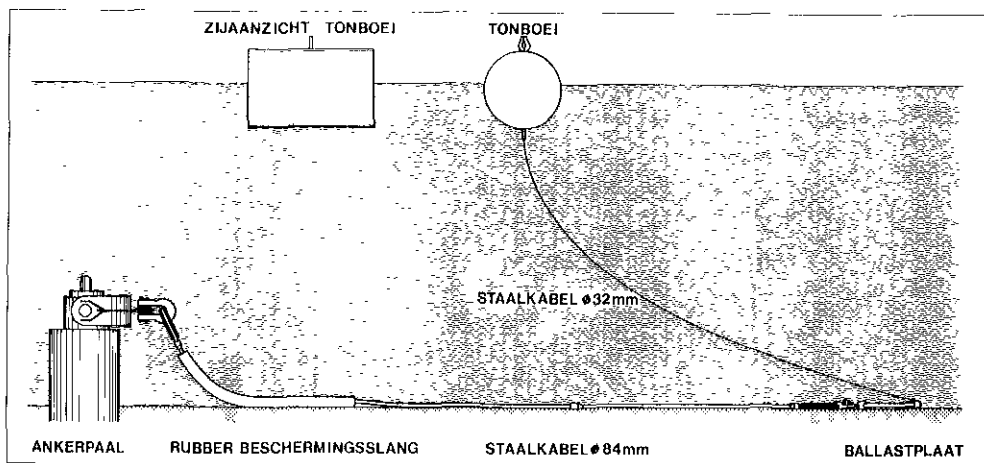
Ter beveiliging van de navigatie is de ankerboei in een heldere kleur geel geschilderd. Een code in zwart geeft het nummer van de ankerpaal aan, waarmee de boei verbonden is.

Deze eerste en permanente voorziening is ontworpen voor belastingen tot 200 ton. De tweede voorziening wordt bevestigd aan de opsluitpen van de draaiende paalkop en is ontworpen voor belastingen tot 60 ton. Om verwarring van de draden onder water te voorkomen wordt de tweede voorziening naar behoefte aangebracht en na gebruik weer weggehaald. De constructie van de tweede voorziening is gelijk aan die van de eerste, alleen lichter uitgevoerd.

Om plaatsvastheid te verzekeren zijn de werkvaartuigen uitgerust met zes tot acht ankerlieren en even zoveel ankerdraden. Hiermee kunnen zij zich veilig en betrouwbaar verankeren, hetzij met scheepsankers buiten de bodembescherming, hetzij aan de ankerpalen binnen de bodembescherming. We beschrijven de manoeuvres die bij deze laatste verankering moeten worden uitgevoerd.

Fig. 2. De onderdelen van het verankeringsysteem.

Binnen de bodembescherming wordt het koppelend van de ankerdraad vanaf een te verankeren werkvaartuig aan dek van een ponton gebracht, en bevestigd. Dit is de zogenaamde boegbak. Een sleepboot vaart vervolgens met de boegbak naar het bij de



ankerpaal gereed liggende ankerbehandelingsvaartuig. Het ankerbehandelingsvaartuig heeft inmiddels het koppelende van de voorloper met behulp van een lier aan dek getrokken. Dit gaat als volgt in zijn werk. De lierdraad, die is uitgerust met een open haak, wordt op de harpsluiting bovenop de ankerboei gestoken. Vervolgens wordt de neuringdraad, die vrij door de boei loopt, op de trommel van de lier gehieuid. Als het aan de neuringdraad bevestigde ballastblok onder tegen de ankerboei aanslaat, trekt de lier de ankerboei aan dek, gevolgd door het ballastblok en het uiteinde van de voorloper. Het ballastblok wordt dan losgemaakt van het koppelende van de voorloper. Nu ligt de voorloper aan dek van het ankerbehandelingsvaartuig gereed.

Het eind van de ankerdraad van het werkvaartuig wordt dan vanaf de gearriveerde boegbak overgenomen op het dek van het ankerbehandelingsvaartuig. Vervolgens wordt door middel van een sluiting de koppeling tot stand gebracht tussen de ankerdraad en de voorloper.

De neuringdraad wordt weer op de voorloper gestoken en vervolgens wordt de lier aan boord van het ankerbehandelingsvaartuig afgevierd. Op het werkvaartuig wordt de ankerdraad stijf gehieuid tot de vereiste voorspanning. De boegbak is als het om een lange ankerdraad gaat van 600 meter, door de sleepboot tot de helft van de lengte van de ankerdraad teruggesleept; bij een korte draad van 300 meter, wordt hij van onder de ankerdraad verwijderd. De boegbak dient om de draad vrij van de bodembescherming te houden of, in geval van kruisende ankerdraden, de draden van elkaar vrij te houden, zodat geen beschadiging optreedt aan de bodembescherming of aan ankerdraden. Door de lier van het ankerbe-

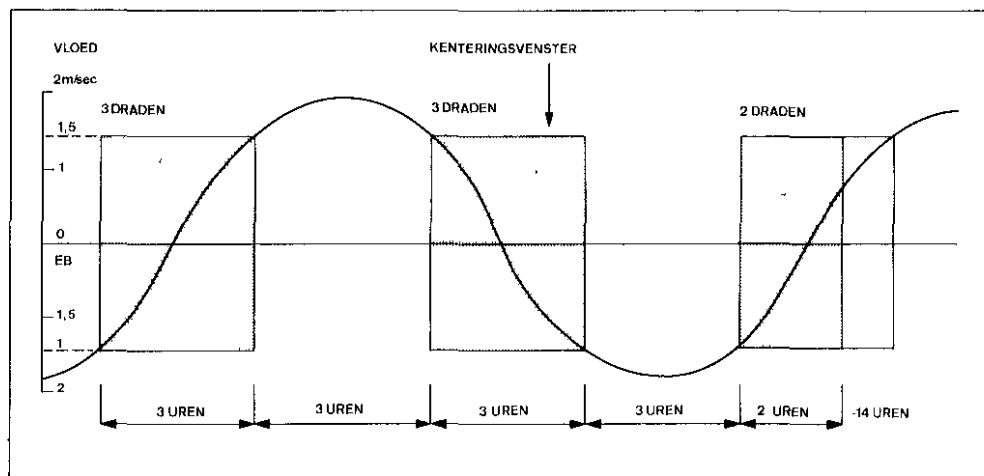
handelingsvaartuig af te vieren, lopen de ankerdraad en voorloper te water, gevolgd door de neuringdraad en ankerboei.

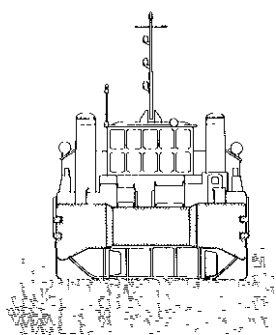
Van grote invloed op de ankerbehandeling zijn onder andere de weersomstandigheden en de stroom.

In de monding van de Oosterschelde hebben golven en deining vrij spel, en het kan er dus nogal ruw weer zijn. Het samenspel tussen de sleepboot met boegbak en het ankerbehandelingsvaartuig wordt op golven hoger dan 1 meter moeilijk en gevaarlijk. De boten gaan te veel stampen en slingeren, en botsen en schuren langs en tegen elkaar, met een kans op beschadiging van boten en draden, terwijl het voor de bemanning een gevaarlijk karwei wordt.

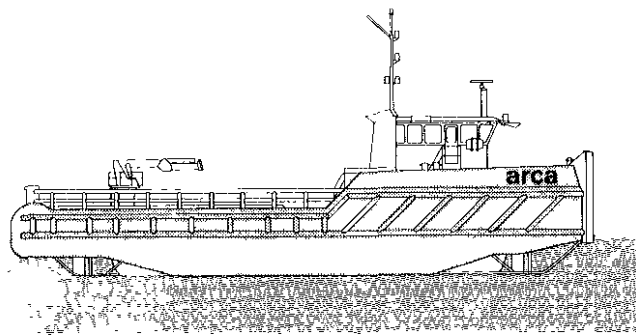
Over het algemeen wordt de ankerbehandeling gestaakt bij windkracht 7 en golven uit richtingen

Fig. 3. De invloed van het getij op het verankeringsprobleem.



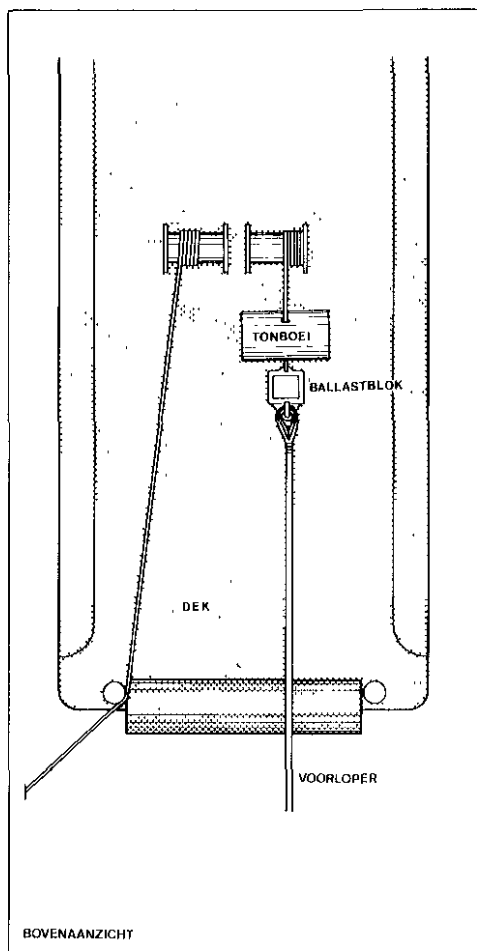


ACHTERAANZICHT



ANKERBEHANDELINGSVAARTUIG

AFMETINGEN: LENGTE 30m
BREEDTE 10m
HOLTE 3,5m
DIEPGANG 2,2m



BOVENAANZICHT

Fig. 4. De 'Arca', en enkele details.

tussen zuidwest en noordwest, hoger dan 1 meter. Ook de stroom belemmert de uitvoering van de ankerbehandeling, met name bij het uitvaren en koppelen van de zijdraden, en in mindere mate bij het koppelen van de boeg- en hekdraden (figuur 4). De zijdraden moeten namelijk dwars in de stroom gebracht worden. Naarmate de werkzaamheden in de drie sluitgaten vorderen zal de maximale stroom toenemen van 2 meter tot ten minste 4 meter, ofwel van 7 km/uur tot 14 km/uur. Met het huidige materieel wordt voor het uitbrengen en koppelen van een zijdraad meestal nog gewerkt tot een stroomsnelheid van ongeveer 1,5 meter/seconde. In toenemende mate zal men voor het wijzigen van de ankertoestand dus zijn toevlucht moeten nemen tot de zogenaamde kenteringsvensters. Is bij de kentering de stroom gelijk aan 0 m/s, het kenteringsvenster

omvat in dit geval alle tijd die ligt tussen 1,5 meter vloed- en 1,5 meter ebstroom. Gemiddeld duurt een kenteringsvenster van 1,5 meter/seconde stroom drie uur. Voor een enkele ankerdraadkoppeling is ongeveer 1 uur nodig, zodat in één venster drie draadkoppelingen met één vaartuig kunnen worden uitgevoerd.

Tot op heden waren de te behandelen vaartuigen voornamelijk: het verdichtingsschip 'Mytilus', de dustpanzuiger 'Slidrecht 27', de afvierpontons en het multi-functionele werkschip 'Jan Heymans'. De 'Mytilus' is uitgerust met acht ankerdraden, en de overige vaartuigen met zes draden.

Om een vaartuig uitgerust met 8 ankerdraden te behandelen, zou rekening houdend met kenteringsvensters van 3 uur en één enkele draadbehandeling per uur, 14 uur tijd gemoeid zijn. Met behulp van twee ankerbehandelingsvaartuigen vergt hetzelfde werk ongeveer 7 uur.

In de nabije toekomst echter zal de ankerbehandeling veel intensiever worden en de stroom sterker.

De combinaties 'Jan Heymans'/'Cardium' voor het aanbrengen van de fundering. 'Macoma'/'DOS I' voor het leggen van de tegelmat en 'Macoma'/'Ostrea' voor het plaatsen van de pijlers vergen ieder al 16 ankerbehandelingen. Behalve genoemde combinaties komen er in de naaste toekomst nog meer vaartuigen in de Oosterscheldemond. Bij de uitvoering van de drempel werkt men voornamelijk met afvierpontons en bij het plaatsen van de dorpelbalken voornamelijk met de 'Taklift IV' en de Taklift I'. Tot op heden werden de ankerbehandelingen verricht met twee daartoe aangepaste vaartuigen geassisteerd door sleepboten en boegbakken. Daar is nu op ruime schaal ervaring mee opgedaan. Op basis van deze ervaring en met het oog op de toekomstige groei van de activiteiten is besloten tot de bouw van een nieuw en specifiek voor de ankerbehandeling uitgerust vaartuig, de 'Arca' (Ark).

De 'Arca' moet aan talrijke ontwerpisen voldoen: Het schip moet een geringe hoogte hebben en een geringe diepgang, maar toch zeewaardig zijn onder op de Oosterschelde heersende omstandigheden.

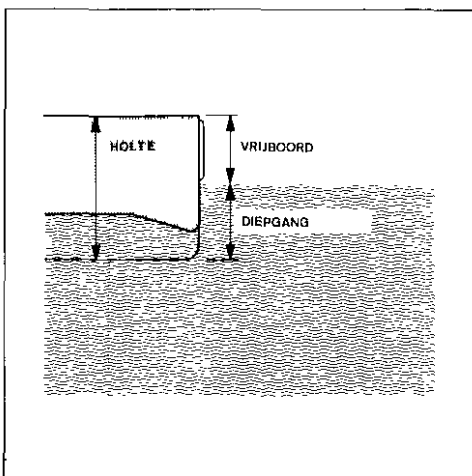
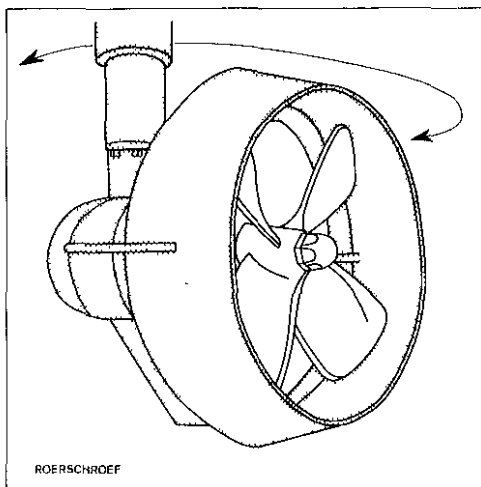
Daarbij manoeuvreervaarlijk in sterke stroomgebieden. Het moet beschikken over een betrekkelijk lang werkdek en uitgerust worden met een hekrol, een kraan, een sleeplijer en een opspoelijer. De paaltrek tenslotte moet minstens 20 ton bedragen.

De ontwerpisen hebben geleid tot de volgende hoofdgegevens van de 'Arca': lengte: 30

meter, breedte: 10 meter, holte: 3,50 meter, diepgang: 2,20 meter, kruiplijn: 6,50 meter.

De lengte van het vaartuig wordt voornamelijk bepaald door de lengte van het werkdek. Om de boei en de ballastplaat aan dek te halen en voldoende werkruimte over te houden is minimaal een werkdek van 11 meter vereist. De opstelling van lieren, dekhuis en werkruimte op het voorschip hebben de totale lengte van het vaartuig op 30 meter gebracht.

De breedte van het werkdek wordt bepaald door de breedte van de werkankers. Dit resulteert in een totale breedte van 10 meter. Om tenminste 12-tons ankers aan dek te kunnen vervoeren en overboord te kunnen laden of lossen wordt het vaartuig uitgerust met een 75 ton/meter kraan, waarmee maximaal 15 ton gewicht over 5 meter afstand van het hart van de kraan kan worden opgepakt. De



ruime breedte van het vaartuig is vanwege deze kraan ook van belang voor de stabiliteit. De geringe diepgang dient om zoveel mogelijk ook in ondiep water ankerpalen te kunnen bereiken en om zo dicht mogelijk bij de oevers te kunnen komen voor het tot stand brengen van verbindingen met de ankerpalen aan de wal.

Het vrijboord draagt in hoge mate bij tot de veiligheid van de bemanning. Het wordt echter weer beperkt door de praktische eis dat de ankerboeien en de boegbakken vanaf het dek goed bereikbaar moeten zijn. De geringe hoogte wordt bepaald door de doorvaarhoogte van de hulpbrug en resulteert in een kruiplijn van 6,50 meter, waarbij mast en radar moeten worden neergeklapt.

Veel aandacht is bij het ontwerp van de 'Arca' besteed aan de wendbaarheid, want naarmate de werkzaamheden vorderen neemt de stroomsterkte toe als gevolg van de vernauwing in de stroomgeulen. Als de pijlers eenmaal geplaatst zijn zal het vaartuig ook ankerdraadkoppelingen op de pijlers moeten uitvoeren en zich dus in betrekkelijk eng vaarwater moeten begeven.

De boven omschreven betrekkelijk conventionele ankerbehandeling kan met het nieuwe ankerbehandelingsvaartuig worden vereenvoudigd. Het vaartuig is zo ontworpen, dat de sleepboot en de boegbak vervallen; de te koppelen ankerdraad wordt door de 'Arca' zelf uitgevaren, boven de te verbinden ankerpaal haalt het schip zelf de voorloper aan dek en brengt vervolgens de koppeling tot stand. Om boei en voorloper aan dek te halen is de 'Arca' voorzien van een hekrol en een open hek. De hekrol is 400 cm breed en heeft een diameter van 200 cm. Deze breedte is afgestemd op de lengte van de ankerboei en op het feit, dat de 'Arca' in de ankerbehandeling zowel de ankerdraad van het te behandelen vaartuig als de voorloper van de ankerpaal gelijktijdig over de hekrol aan dek haalt. Tevens moet een werkanker over de rol aan dek getrokken kunnen worden. Als vuistregel geldt: om beschadiging aan draden te voorkomen, dient de diameter van een schijf of rol waarover de draad onder voorspanning wordt geleid, tenminste 20 x de draaddiameter te zijn. Om draden, boeien, ballastgewichten en ankers aan dek te kunnen trekken moet het ankerbehandelingsvaartuig uitgevoerd zijn met een open hek. Een normale sleepboot sleept op zijn sleephaak of sleeplier, die in of nabij het draaipunt van de sleepboot is opgesteld. Door te slepen of een ankerdraad uit te varen door een open hek, wordt de sleepboot daarentegen geboeid op het achterschip. Het sleeppunt wordt dan in feite verlegd van het draaipunt

van de sleepboot naar het hek, hetgeen de sleepboot in belangrijke mate beperkt in zijn wendbaarheid.

Om bij een geboeid achterschip toch voldoende te kunnen manoeuvreren is bij de bouw van de 'Arca' gekozen voor de opstelling van vier roerpropellers, twee onder het achterschip en twee onder het voorschip.

Bij een normale vaste schroefopstelling wordt de stuurkracht voor een vaartuig verkregen door achter de schroef een roer te plaatsen, maar bij gebruik van een roer- of stuurschroef, wordt de stuurkracht geleverd doordat de schroef ook om een verticale as kan draaien, waardoor het roer kan vervallen. Het ankerbehandelingsvaartuig moet om alle draden waar het mee omgaat vrij van de bodem te houden, een trekkracht leveren van maximaal 10 ton. De 'Arca' wordt uitgerust met 2 x 1100 p.k. dieselmotoren, die minimaal 20 ton stuwkracht op de schroeven moeten leveren, zodat bij het uitvaren van een ankerdraad ongeveer 10 ton stuwkracht beschikbaar blijft om het vaartuig ook in een sterke dwarsstroom van een goede bestuurbaarheid te verzekeren.

De fundering van de Oosterschelde-kering is reeds sinds de studieperiode, tussen 1974 en 1976, een belangrijk onderwerp van onderzoek geweest. De voorspelling van het gedrag van de constructie onder invloed van zware stormbelastingen vormde daarbij het grootste vraagstuk. Zowel de standzekerheid van de constructie als de maximale deformaties spelen een grote rol in het ontwerp van de kering.

Centrifuge- en wrijvingsproeven voor de Oosterschelde-kering

Gelet op het gecompliceerde karakter van de interactie van de constructie met de ondergrond is gekozen voor een voorspellingsmethode die gebaseerd is op verschillende technieken. Daarbij werden zonodig ook buitenlandse deskundigen en laboratoria ingeschakeld. Eén van de gebruikte technieken is die van de centrifuge.

De centrifuge is in de geotechniek een zeer bijzondere faciliteit. Een op schaal 1:100 verkleind model van de constructie en de fundering kan erin worden onderworpen aan zeer hoge centrifugale versnellingen. Daarmee wordt bereikt dat de grondspanningen in het model op het zelfde hoge niveau komen als verwacht wordt in de werkelijkheid.

Voor het eerst ontwikkeld in de Sovjet-Unie in de jaren '30, werd deze onderzoekstechniek in de zestig jaren in Engeland geïntroduceerd. De centrifuge die voor het onderzoek van de Oosterschelde-kering is gebruikt, dateert van 1971 en valt onder beheer van de Simon Engineering Laboratories, Universiteit van Manchester.

Thans zijn er voor grondmechanisch onderzoek ook al centrifuges in gebruik in Zweden, Denemarken, Frankrijk, de Verenigde Staten en Japan. Sinds geruime tijd bestaan er plannen om in een samenwerkingsverband van de Rijkswaterstaat, de Technische Hogeschool te Delft en het Laboratorium voor Grondmechanica ook in Nederland een centrifuge te bouwen en te exploiteren.

Het principe van de centrifuge kan worden geïllustreerd aan de hand van figuur 1. Het schaalmodel wordt ingebouwd in de modelcontainer. Deze container is bevestigd aan een arm die verbonden is aan een as. Om grote belastingen op de as te voorkomen is tegenover de

modelcontainer een ballastcontainer met gelijk gewicht als de modelcontainer bevestigd. De as wordt aangedreven en het model in een verticaal vlak rondgedraaid.

Tijdens het opvoeren van de hoeksnelheid roteren de container en het model in het verticale vlak éénmalig over een hoek van 90° zodat het model in een horizontaal vlak komt. Naast de grondeigenschappen zijn het spanningsniveau en de spanningsveranderingen de meest wezenlijke factoren die het grondgedrag bepalen. In normale fysische schaalmodellen zijn de grondspanningen een constante factor $1/N$ kleiner dan in de werkelijkheid; N is de geometrische schaal van het model. Dit betekent dat modelresultaten niet rechtstreeks te gebruiken zijn, maar steeds vertaald moeten worden naar de hogere spanningsniveaus in de werkelijkheid. Vaak vormt dit tevens de grootste bron van onzekerheid bij de interpretatie van modelresultaten. In de centrifuge daarentegen is het mogelijk overal in het model een verloop van de spanningen te simuleren dat identiek is aan dat in de werkelijkheid. Dit is dan ook het unieke voordeel van de centrifuge.

Om niet alleen de eigen gewichtsspanningen maar ook alle spanningsveranderingen identiek te laten verlopen met de werkelijkheid moet voldaan worden aan een aantal schaalregels (tabel 1).

Uitgangspunt daarbij is dat de grond in het model dezelfde samenstelling en dezelfde eigenschappen bezit als de grond in de natuurlijke situatie.

In deze tabel komt ook de tijdschaal van consolidatie voor. Die is van belang als de waterspanningen zich aanpassen onder

Tabel 1. Schaalfactoren

parameter	schaal in centrifugemodel met Ng
lengte	$1/N$
oppervlak	$1/N^2$
volume	$1/N^3$
kracht	$1/N^2$
massa	$1/N^3$
grondspanning	1
waterspanning	1
rekken	1
verplaatsingen	$1/N$
rotaties	1
tijd (consolidatie)	$1/N^2$
tijd (dynamisch)	$1/N$

invloed van tijdsafhankelijke grondspanningsrandvoorwaarden.

Dit speelt onder meer een rol bij het waterspanningsgeneratie-onderzoek. Onder invloed van de golfbelasting kan een gemiddelde verhoging van de waterspanning optreden. De mate waarin dat gebeurt, hangt behalve van de grootte van de golfbelastingen en de grondeigenschappen sterk af van de mogelijkheid tot drainage naar de omgeving. De drainage wordt bepaald door enerzijds de doorlatendheid van het grondpakket, en hangt anderzijds af van het kwadraat van de afstand waarover gedraineerd kan worden. Om in het centrifugemodel, waarin de afstanden $1/N$ kleiner zijn dan in werkelijkheid, toch een gelijke mate van drainage te krijgen, moeten, althans bij golfbelastingen, bijzondere maatregelen genomen worden.

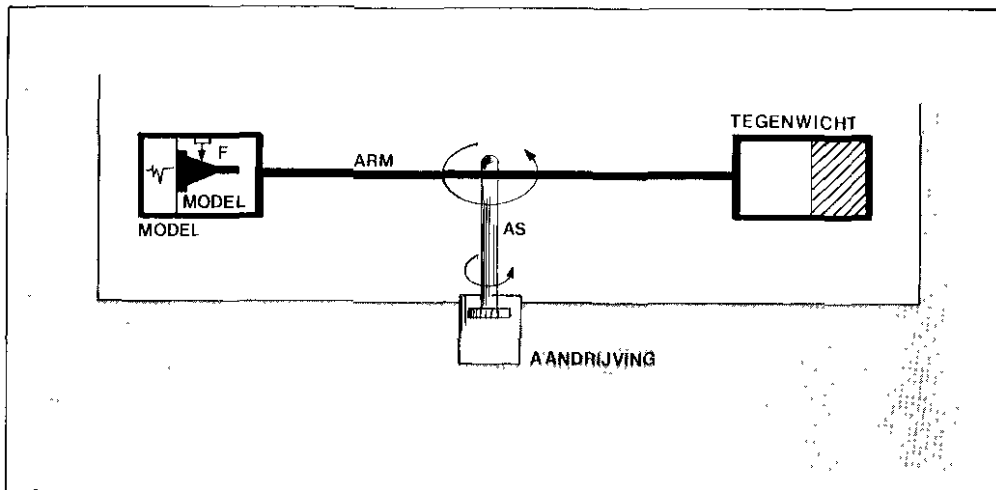
Volgens de consolidatie-theorie zou volstaan kunnen worden met het aanbrengen van een belasting met een N^2 maal hogere frequentie dan in de natuur, dus voor golven van 10s en een schaal 1:100 een frequentie van 1000 Hz. Dit is evenwel praktisch onmogelijk, zowel vanwege dynamische effecten als om modeltechnische redenen. Daarom wordt de doorlatendheid in het model vaak met een factor gereduceerd. Om de vervormingseigenschappen van de grond niet te veranderen wordt hiertoe een andere, meer visceuze porienvloestof toegepast, in plaats van water.

De centrifugeproeven voor de Oosterscheldedeking zijn uitgevoerd door de Universiteit van Manchester. Foto 1 en 2 geven een indruk van de modelcontainer en het pijlmodel.

Fig. 1. Schema van de centrifuge-opstelling.

Fig. 2. Verschillende belasting-schema's.

1

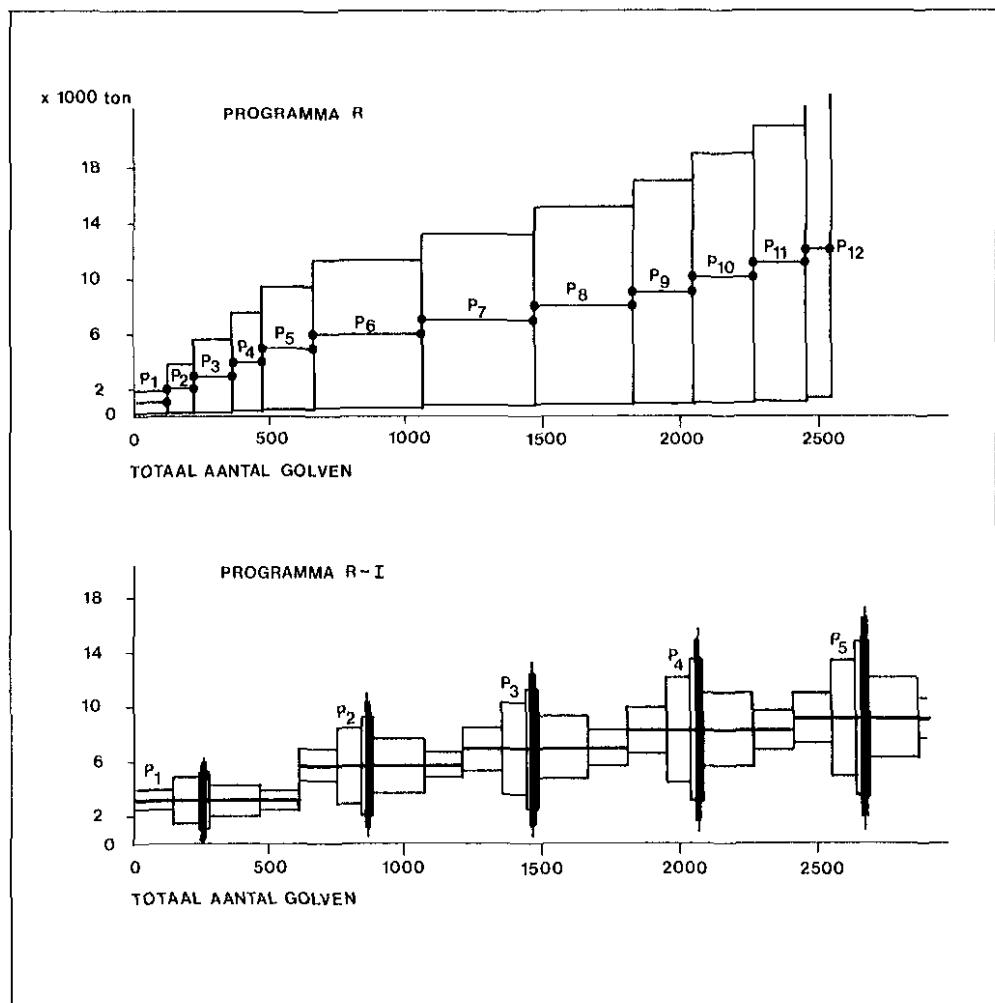


De container heeft een modelruimte van $2 \times 1 \times 0,6 \text{ m}^3$ en bevindt zich op een afstand van 3 m uit de as. Voor het Oosterschelde-onderzoek is vrijwel steeds gewerkt met een schaal 1:120. Dit betekent dat de container ronddraait met snelheden van 70 m/s, ofwel 250 km/uur. Met het oog op calamiteiten is de centrifuge ondergebracht in een speciale kelderconstructie. De krachten komen van elektrisch gestuurde vijzelbelastingen. In deze opstelling is het mogelijk om tegelijkertijd een groot aantal waarnemingen te verrichten aan het model: meting van krachten, verplaatsingen en waterspanningen in de ondergrond en tegelijk ook foto- en filmopnamen. De elektrische meetsignalen, maximaal 80 in getal, worden via sleepcontacten naar de as en vervolgens naar de registratie-apparatuur overgebracht.

Resultaten

Gedurende de periode 1975–1979 zijn in totaal 45 centrifuge-proeven uitgevoerd. De eerste 9 daarvan, tussen juni en december 1975, hadden betrekking op de caissons uit de studieperiode en als onderdeel daarvan op de voorspellingen voor de caissonproeven op Neeltje Jans.

De resultaten daarvan worden hier niet verder besproken. Zie Bericht 90 (november 1979). Alle overige proeven hadden betrekking op het pijlerontwerp. Zo werden er tussen november 1976 en april 1978 34 proeven gedaan ten behoeve van de parametrische studies naar de invloed van voetplaatafmetingen, gewicht, vorm en inbeddingsdiepte van de pijler en naar de invloed van het belastingschema op de deformaties. In de eerste helft van 1979



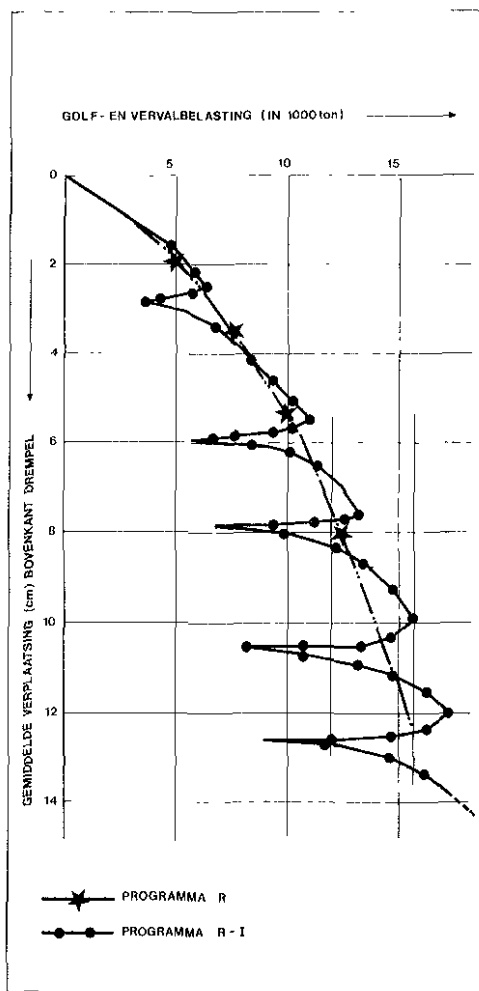
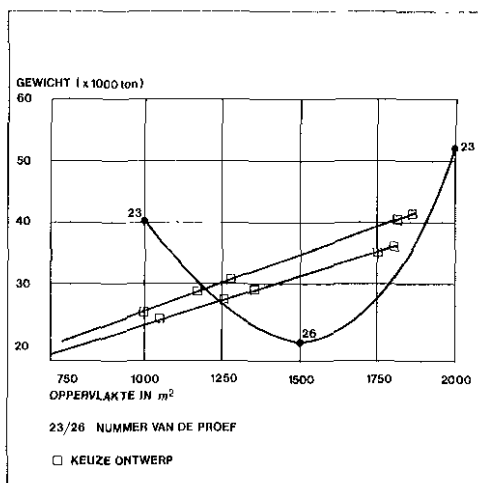


Fig. 3 De invloed van het toegepaste schema op het beeld van de deformaties is duidelijk te zien.

Fig. 4. Ontwerpgrafiek voor de afmetingen van de pijler.



3

volgden nog twee proeven in verband met de proef op schaal 1:10 te Kats en met betrekking tot de studie naar de invloed van het spanningsniveau op de deformaties, dit laatste mede in verband met de vertaling van de schaalproefresultaten naar de werkelijkheid.

Er werden twee typen belastingschema's toegepast, regular (R), en regular-irregular (R-I) (fig. 2). Schema R is opgebouwd uit een repeterend aantal delen, waarin de vervalkracht en de golfbelasting constant zijn. Het belastingniveau neemt toe van deel tot deel.

Het tweede belastingschema, R-I, bestaat eveneens uit delen met een toenemend belastingniveau. Hier is echter de golfbelasting binnen het deel niet constant, maar neemt aanvankelijk toe tot een bepaald maximum, om vervolgens weer geleidelijk af te nemen. Zo'n belastingschema geeft beter weer hoe een

storm wordt opgebouwd; het is ook toegepast in de schaalproeven te Kats. Een typisch resultaat van de in de centrifugeproeven gemeten deformaties is te zien in fig. 3. Daaruit is af te leiden dat het meer realistische belastingschema R-I resulteert in kleinere deformaties dan het eerstgenoemde.

De resultaten van de parameterstudie voor de ontwerpvariabelen zijn samengevat in ontwerpgrafieken, waarvan figuur 4 een voorbeeld toont. Met behulp van deze grafieken kan, vanuit een oogpunt van grondmechanische deformaties, een betere keuze uit de ontwerpvarianten gemaakt worden.

De invloed van de inbeddingsdiepte van de pijler in de drempel op de deformaties blijkt bij toenemende inbeddingsdiepte aanvankelijk af te nemen. Bij verdere inbedding neemt ze

zelfs echter uiteindelijk weer toe.

Dit opmerkelijke verschijnsel, dat ook met behulp van rekenmodellen is voorspeld, is verklaarbaar uit het feit dat de momenten op het niveau van de pijlervoetplaat bij grotere inbeddingsdiepte sterk toenemen. De horizontale verplaatsing ter plaatse van de voetplaat wordt weliswaar kleiner, maar de scheefstand van de pijler neemt toe.

Aan de bovenkant van de drempel kan het effect van de toegenomen kanteling groter zijn dan de afname van de verplaatsing in horizontale zin. De uiteindelijk gekozen pijler heeft een voetplaatoppervlak van $25 \times 50 \text{ m}^2$, een gewicht van maximaal 25 000 ton en een drempelinbedding variërend van 8,5 tot 11,0 m. Uit de parameterstudie in de centrifuge, waarvan de effecten in de meeste gevallen ook in rekenmodellen zijn aangetoond, blijkt dat dit

ontwerp het grondmechanisch verplaatsingsoptimum voor wat betreft voetplaatoppervlak en gewichtrelatie dicht benadert. Wat de optimale inbeddingsdiepte betreft, die moet volgens deze studie liggen tussen 10 en 15 m. Het vigerend ontwerp valt nagenoeg binnen dit gebied.

De parameterstudie geeft duidelijk in kwalitatieve zin de invloed aan van de verschillende ontwerpparameters op de deformaties. Daarnaast blijft echter de vraag welke waarde in absolute zin kan worden toegekend aan de gemeten deformaties. Dit is van belang voor de verdere detaillering van het pijlerontwerp, onder andere de schuifopleggingen en de dimensionering van de dorpelbalken. Parallel aan de centrifugeproeven zijn daarom ook voor de pijler de reeds genoemde proeven op schaal 1:10 te Kats uitgevoerd.

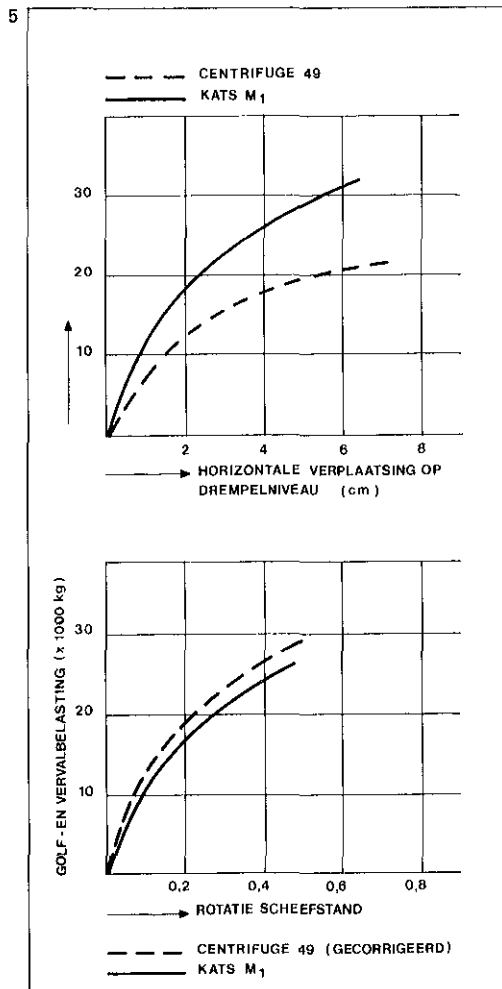
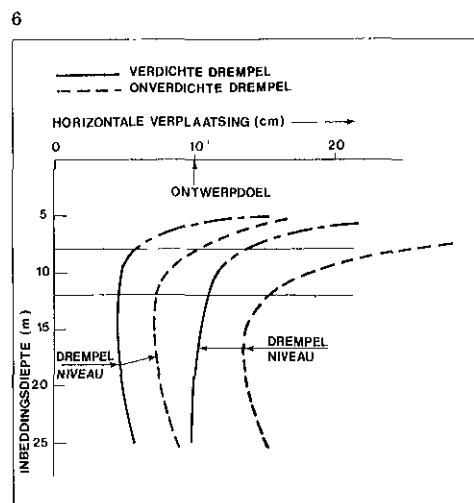


Fig. 5. Vergelijking van de centrifugerisultaten met de modelproef te Kats.

Fig. 6. De invloed van de inbeddingsdiepte op de deformatie.



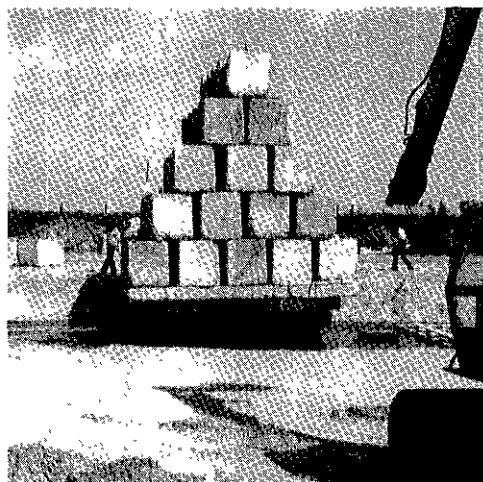
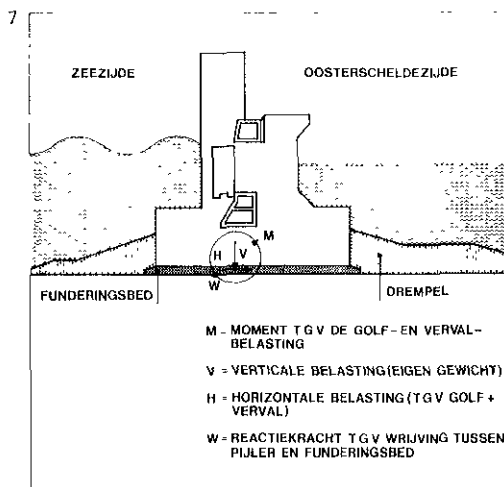


Fig. 7. Schematische voorstelling van de krachten op de pijler.

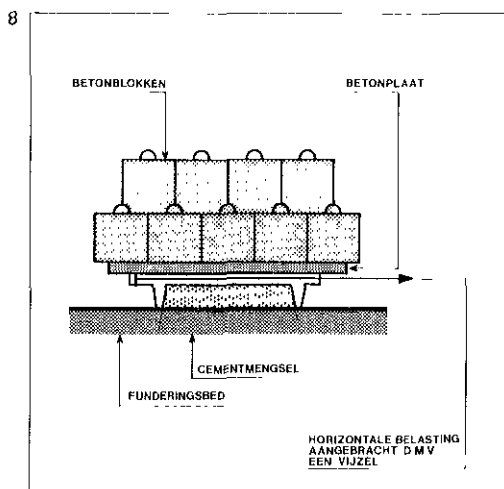


Fig. 8. De proefopstelling te Schelphoek.

Verder zijn er deformatierekenmodellen gebruikt, waarvan de belangrijkste het eindig-elementenprogramma CONSOL is. De invoerparameters voor dit programma komen direct uit het terreinonderzoek in de as van de kering en uit laboratorium-onderzoek op bodemonsters, voornamelijk triaxiaal-proeven. De betrouwbaarheid van de centrifugeproeven hangt voor een belangrijk deel af van de nauwgezetheid van de zandbedpreparatie en van de verdere modellering. Verstoringen kunnen vanwege de kleine schaal een grote invloed op het eindresultaat hebben. De modellering van dunne lagen, zoals in de filterconstructie onder de pijler, is niet goed mogelijk in de centrifuge. Er is daarom een vergelijkend onderzoek uitgevoerd dat bestaat uit enerzijds een toetsing van de centrifugevoorspelling aan de schaalproef 1:10 te Kats, dus

bij gelijk spanningsniveau, en anderzijds uit een vergelijking van de voorspellingen voor de deformaties in werkelijkheid die uit het centrifugeonderzoek voortkwamen, met de vertaalde Katsproeven en het rekenmodel CONSOL (fig. 6).

Nu blijkt dat de horizontale verplaatsingen volgens de centrifuge een factor 1,5 à 2,0 groter zijn dan volgens de proeven te Kats. De conclusie moet zijn dat de centrifuge deze verplaatsingen overschat.

Voor zowel de vertaalde Katsproeven als het rekenmodel CONSOL is daarbij, gelet op onzekerheden in de vertaalfactoren en de schematisering, een band aangegeven waarbinnen de verwachte deformaties zullen vallen. Uit figuur 7 wordt duidelijk met welke maximale deformaties bij een stormbelasting van 15 000 ton voor het pijlerontwerp rekening is gehou-

den. Voor het vigerend ontwerp, met een ontwerpbelasting van 11 200 ton, bedragen de maatgevende deformaties 75% van de in figuur 7 gepresenteerde waarden. In het kader van het HISTOS-project is als onderdeel van de conditiebewaking een meetprogramma opgenomen dat voorziet in het registreren van de deformaties van twee pijlers, tijdens en na stormbelastingen. De verwachting is dat de gegevens die hierbij beschikbaar komen nog voldoende stof tot wetenschappelijke discussie zullen opleveren.

Wrijvingsproeven te Schelphoek

De standzekerheid en de horizontale verplaatsing van de pijlerconstructie van de Oosterschelde-kering wordt mede bepaald door de wrijvingscoëfficiënt tussen pijler en funderingsbed (fig. 7).

In het ontwerpstadium van de kering is deze eigenschap, te weten de maximale wrijvingscoëfficiënt en de relatie tussen verplaatsing en optredende wrijving, uitgebreid onderzocht aan de hand van modelproeven.

Op het werkterrein Schelphoek werd een proefopstelling gemaakt, waarmee 15 proeven zijn uitgevoerd. De proefopstelling bestond uit een gedeelte van de bodem van de pijler ter grootte van 2,85 x 2,50 m², geplaatst op een funderingsbed van gelijke opbouw en afmetingen als in werkelijkheid. Op het bodemelement werd met betonblokken een zelfde funderingsdruk per m² uitgeoefend als in werkelijkheid.

(foto 1 en fig. 8). Met een vijzel werd op het betonelement een wisselende horizontale belasting aangebracht overeenkomstig de opbouw van die storm waarvoor de pijlerconstructie is ontworpen. Deze belasting werd

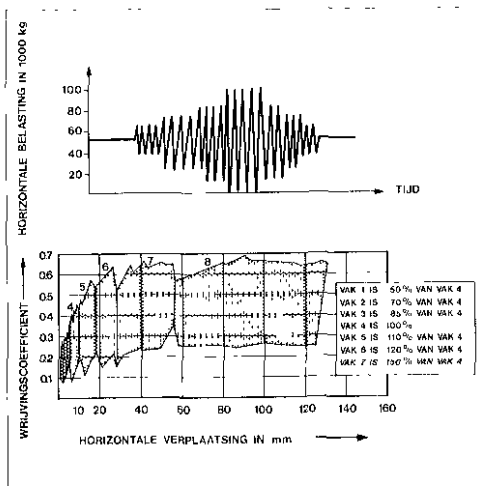
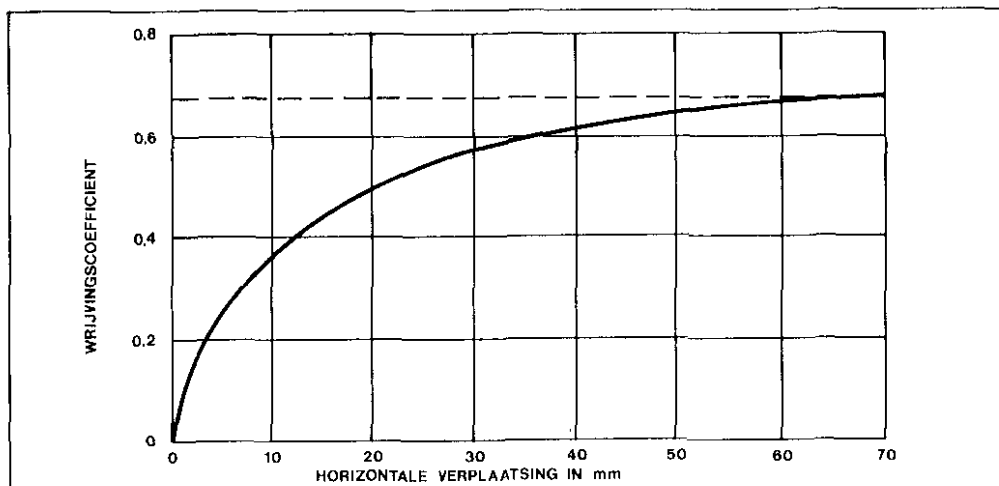


Fig. 9 De opbouw van de belastingen.

Fig. 10 De wrijvingscoëfficiënt en de horizontale verplaatsing in mm.



telkens procentueel verhoogd, tot de bezwijktoestand intrad. Figuur 9 geeft ter illustratie voor één van de proeven het belastingschema en de gemeten relatie tussen verplaatsing en optredende wrijving.

De opbouw van het funderingsbed is niet bij elke proef gelijk geweest. Bij alle proeven is een zand-cement-mengsel tussen het funderingselement en het funderingsbed geperst, overeenkomstig de uitvoeringswijze in werkelijkheid. Ook de verticale belasting werd gelijk gemaakt aan de belastingen die de Oosterschelde-kering tijdens de superstorm zal moeten verdragen: 320 ton/m^2 . Bij de interpretatie van de meetresultaten moest er echter rekening mee worden gehouden, dat bij een dergelijk spanningsniveau niet alleen een schuifvlak kan ontstaan ter plaatse van de aansluiting pijler/funderingsbed, maar ook dieper.

Het ontstaan van deze diepere glijdvlakken is een gevolg van de beperkte afmetingen van het grondvlak van het model, waardoor het grensdragvermogen veel eerder wordt bereikt dan in werkelijkheid.

Een te laag spanningsniveau in het model vereist eveneens extra aandacht bij de interpretatie, omdat dit een te hoge wrijvingscoëfficiënt oplevert, mogelijk ten gevolge van haakweerstand en andere neveneffecten. Op basis van de resultaten van de proeven te Schelphoek is voor het ontwerp van de pijlerconstructie van de Oosterschelde-kering de in figuur 10 aangegeven relatie tussen wrijvingscoëfficiënt en verplaatsing aangehouden. De maximaal toelaatbare wrijvingscoëfficiënt bedraagt 0,67, terwijl de maximaal optredende belasting tijdens de superstorm een wrijvingscoëfficiënt vereist van 0,3. Er is dus een ruime marge aanwezig.

Golven die voor de Nederlandse kust verschijnen, zijn doorgaans opgewekt door windvelden boven de Noordzee of Noorse zee die in de richting van onze kust lopen. De grootte van deze golven hangt af van de windsnelheid, de windrichting, de lengte van het windveld – de zogenaamde strijklengte – en de tijdsduur waarin de wind in een bepaalde richting waait.

Golven in de mond van de Oosterschelde

De golven die op zee zijn ontstaan lopen overigens niet ongehinderd naar de kust: hoogte en richting kunnen onder invloed van de bodemconfiguratie en de getijstroom veranderen. Tenslotte vinden de golven hun einde doordat ze breken op het strand of op een zeeoewering.

Voor onze kust zijn golven uit noordelijke richtingen het gevaarlijkst omdat dan de strijklengte het grootst kan zijn, maximaal 2500 km van de IJskap tot de kust, en dus de golven het hoogst. Stormen uit noordelijke richtingen veroorzaken bovendien een opstuwing van water in de zuidelijke Noordzee. De waterstanden worden daardoor verhoogd, met als gevolg dat de golven minder last hebben van de bodem. Grotere golven kunnen dan de kust en daarmee de stormvloedkering bereiken. Het feit dat hoge golven en stormvloed- en golfvloed optreden is dan ook bepalend geweest voor het ontwerp van de stormvloedkering.

Nu eerst iets over de waterstand, omdat die van grote invloed is op de golfbeweging in de Oosterscheldemond. Vanaf 1888 worden bij ons de waterstanden en in het bijzonder de stormvloedstanden gemeten. Wanneer de gemeten waarden op waarschijnlijkheidspapier worden uitgezet tegen de frequentie waarmee ze optreden, dan wordt er een wetmatigheid zichtbaar: de punten vormen vrijwel een rechte lijn, de hoogwateroverschrijdingslijn (fig. 1). De stormvloedkering moest zo worden ontworpen dat hij bestand is tegen een storm met een overschrijdingsfrequentie van 1/4000 per jaar. De meetduur is echter veel te kort om hiervoor ervaringscijfers op te leveren. Er moest dus met een extrapolatie gewerkt worden. In figuur 1 is de hoogwateroverschrijdingslijn geëxtrapoleerd. De vraag rijst of de natuur zich

ook aan deze extrapolatie van de waarnemingen houdt, met andere woorden of het optreden van de bijbehorende fysische verschijnselen nog wel waarschijnlijk is. Het K.N.M.I. heeft, om die vraag te beantwoorden, een studie verricht naar de oorzaken van hoge stormvloedstanden. Twee fysische verschijnselen, de windopzet veroorzaakt door krachtige stormvelden boven de Noordzee en het astronomisch getij, werden in mathematische modellen ondergebracht (figuur 2).

Berekeningen toonden vervolgens aan dat de geëxtrapoleerde hoogwateroverschrijdingslijn uit figuur 1 inderdaad met behulp van natuurkundige theorieën te funderen is. Zoals reeds is opgemerkt is de waterstand van invloed op de golven die de stormvloedkering bereiken. De vraag is dus welke golfhoogten kunnen optreden bij een bepaalde stormvloedstand. De meest voor de hand liggende aanpak is het statistisch verwerken van de waarnemingen. Sinds 1966 worden tijdens stormomstandigheden golfhoogten gemeten aan golfmeetpalen dichtbij de toekomstige kering. Wanneer de golfhoogten tegen de hoogwaterstanden worden uitgezet treedt weer een zekere wetmatigheid aan de dag. De resultaten zijn voor het ontwerp van de kering niet direct bruikbaar omdat de waarnemingen niet verder reiken dan hoogwaterstanden van N.A.P. + 3 m, terwijl er een uitspraak gevraagd wordt over de verdeling van de golfhoogten bij stormvloedstanden van N.A.P. + 5 m en hoger. Extrapolatie is geen eenvoudige zaak omdat de waarnemingspunten niet op een rechte lijn liggen, maar een puntenwolk vormen. Om dit probleem op te lossen is onderzocht hoe de golven die het tracé van de toekomstige

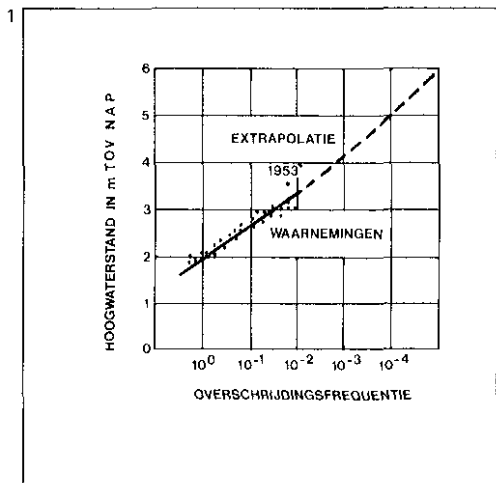
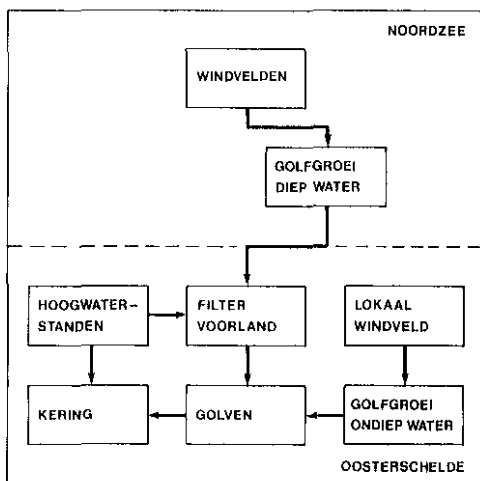
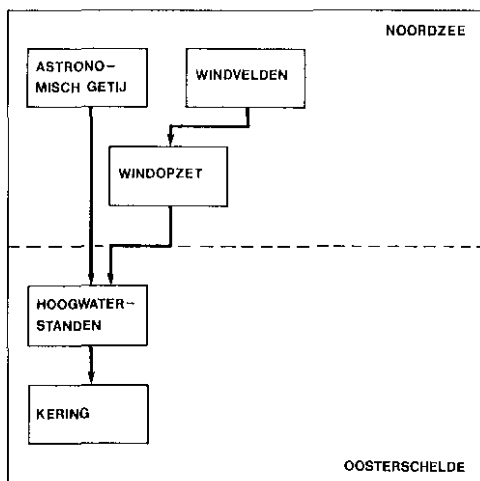


Fig. 1 Hoogwateroverschrijdingslijn.

Fig. 2 Schema van de opbouw van hoogwaterstanden

Fig. 3 Het golfmodel.

stormvloedkering bereiken zijn ontstaan. Omdat er ook een zeker wetmatig verband blijkt te bestaan tussen de golfhoogten en de lokale windsnelheid, is het denkbeeld ontstaan dat een deel van de golven veroorzaakt wordt door lokale windvelden in de Oosterscheldemonding, terwijl een ander deel afkomstig is van windvelden op de Noordzee. De Noordzeegolven bereiken na verloop van tijd het bankengebied voor de Oosterscheldemond; dit gebied heeft een dempende werking. Het banken- en geulengebied fungeert als een soort filter. De golven die vanuit zee via de banken en geulen in de monding doordringen en die in het vervolg 'deining' zullen worden genoemd, vormen samen met de lokaal ontstane golven het golfbeeld in de Oosterscheldemond. (Schematisch: als in figuur 3). Het moeilijkst om te beschrijven is de filterwerking van het voorland. Voor de Oosterscheldemond strekt dit voorland zich uit tot zo'n 15 km zeewaarts van de toekomstige kering. Daarbuiten is de waterdiepte groter dan 10 m beneden N.A.P. De invloed van banken en geulen op de golfbeweging is daar belangrijk minder. Ter vereenvoudiging van het probleem wordt het voorland geschematiseerd. Hierbij spelen twee criteria een rol. Ten eerste hebben banken een andere invloed op de golfbeweging dan geulen, zodat een indeling in bank- en geulsectoren zinvol is. Ten tweede maakt het veel uit, uit welke richtingssectoren de golven komen. Golven uit het Noordwesten kunnen immers een veel langere strijklengte hebben – maximaal 2500 km – dan golven uit het Westen, waar de strijklengte nooit groter is dan 200 km. Uit het Noordwesten kunnen dus veel hogere en langere golven komen. Figuur 4 geeft een indeling in vier richtingssectoren voor de



sluitgaten Hammen en Schaar van Roggeplaat. Iedere sector is geschematiseerd tot een eenvoudig bodemprofiel (fig. 5).

Per sector spelen een groot aantal verschijnselen een rol waarvan de samenhang uit literatuurgegevens niet bekend was. In het wiskundig model FILTER is nu een wiskundige beschrijving gegeven van de bouwstenen die worden opgesomd in figuur 6, en tevens van de samenhang tussen de diverse processen. Een belangrijke veronderstelling in het FILTER-model, is dat de golfenergie vanuit de Noordzee zich via de banken en geulen tot aan de Oosterschelde-kering voortplant zonder dat de richting noemenswaard verandert. Hierdoor kan de richtingssector van de golven worden gebruikt om het energieverlies van de golven te berekenen. Voor de beschrijving wordt het onregelmatige, chaotisch lijkende golfbeeld

van de zee geschematiseerd tot één sinusgolf met een periode gelijk aan de gemiddelde periode van de golven, en een golfhoogte gelijk aan de significante golfhoogte, dat is het gemiddelde van het hoogste derde deel der golven. Zo'n drastische vereenvoudiging van het golfbeeld tot een gemiddelde golf levert vaak goede resultaten op, omdat ze de effecten gemiddeld goed beschrijft. Door vergelijking van modelresultaten met metingen kan worden aangetoond dat deze vereenvoudiging goed bruikbaar is.

Het traject dat de golven afleggen is verdeeld in kleine stapjes. Per stapje wordt berekend hoeveel energie de gemiddelde golf van het ene roosterpunt naar het volgende brengt en hoeveel energie hij aan de bodem afstaat. Dat er energie aan de bodem wordt afgegeven komt omdat niet alleen het water aan het

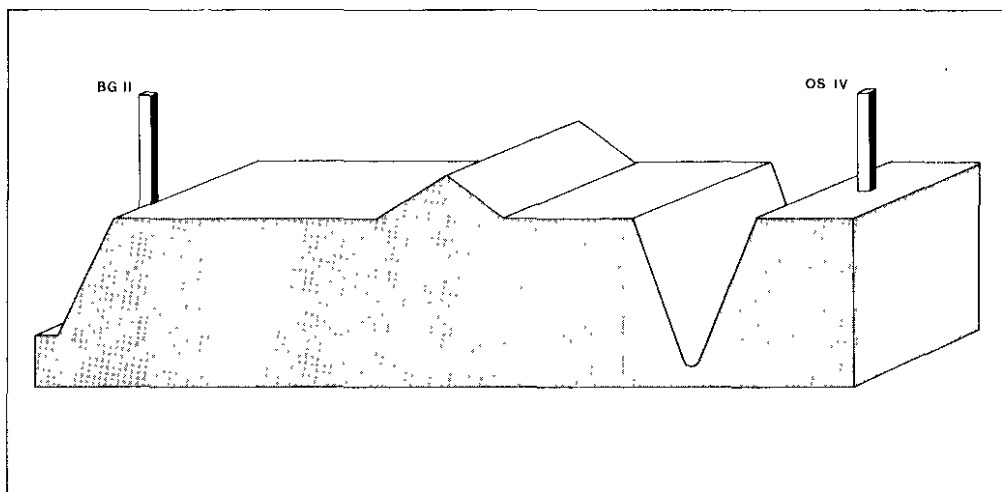


Fig. 5. Geschematiseerd bodemprofiel van sector IV.

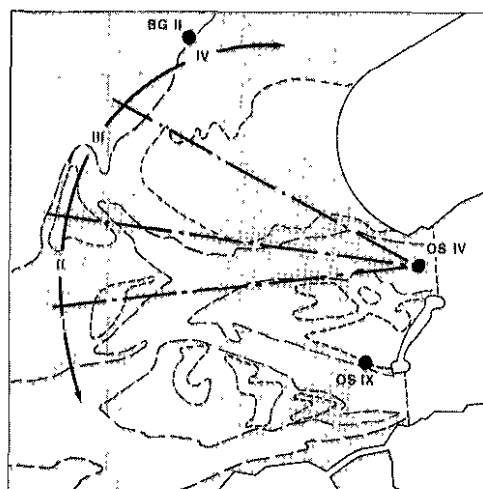
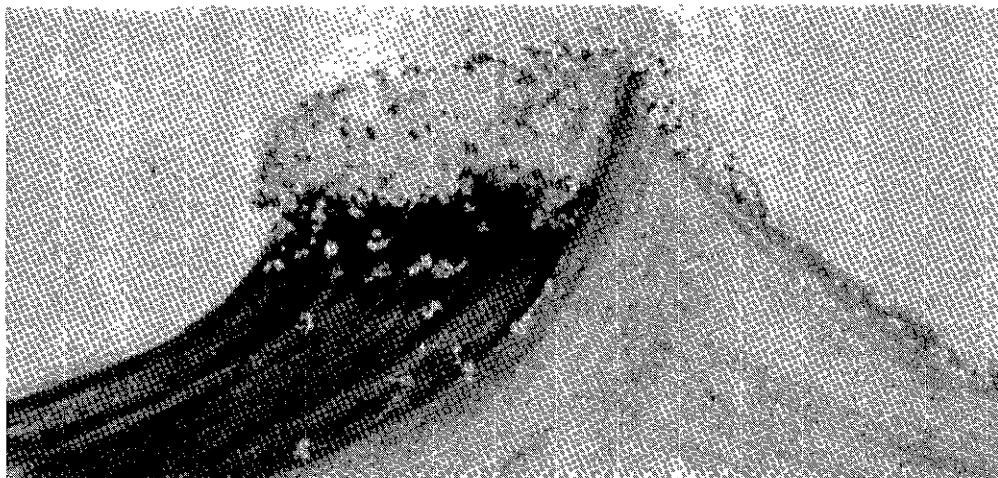


Fig. 4. Golfrichtingssectoren in de mond van de Oosterschelde.



oppervlak op en neer en heen en weer beweegt, maar ook het water daaronder. Dit water beweegt echter minder.

Het water daar weer onder zal nog weer minder bewegen. De onderste waterlaag grenst aan de bodem en geeft daaraan zijn bewegingsenergie af. Het energieverlies wordt sterk bepaald door de diepte en de golfhoogte.

Ook blijkt, dat lange golven meer energie afstaan dan korte golven

In het model wordt ook rekening gehouden met veranderingen in de golfhoogte ten gevolge van een verandering van de diepte.

Variatie van de bodemdiepte betekent een variatie van de voortplantingssnelheid van de golven en wel zo, dat gaande van diep naar ondiep water een aanvankelijke vermindering van de golfhoogte gevolgd wordt door een toename. Dit effect, 'shoaling' genaamd, kan verklaard worden aan de hand van een energiebeschouwing. Maar dat zullen we hier niet doen.

Energieverlies treedt ook op door het breken van golven. Er zijn verschillende typen van breking waar te nemen. Belangrijk in de Oosterscheldemond zijn de overstortende breker en de schuimende breker. Het eerste type kenmerkt zich door een steile voorkant en een minder steile achterzijde. Deze golf kan bij dieptevermindering omkrullen en overstorten in het golfdal. Op enige afstand vormt zich een nieuwe golf die de overblijvende energie bevat.

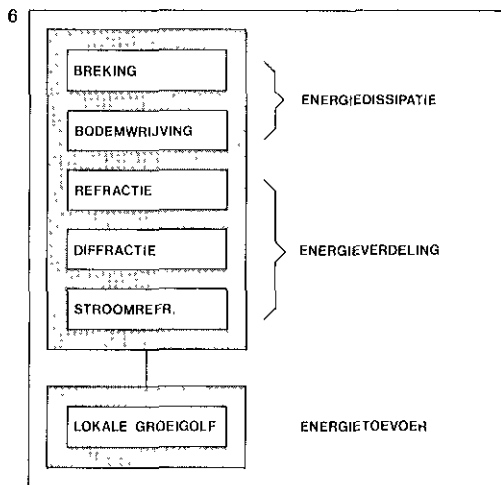
Bij de schuimende breker is van overstorten geen sprake. De top van de golf wordt geleidelijk instabiel; daarbij vormt zich schuim, waardoor de golfhoogte geleidelijk afneemt. Er is onderzoek gedaan naar de grenscondities waaronder breking gaat optreden. Deze grens wordt bepaald voor de lokale diepte, de golfhoogte

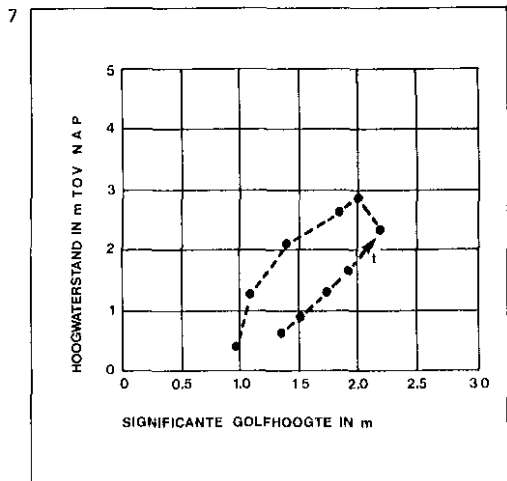
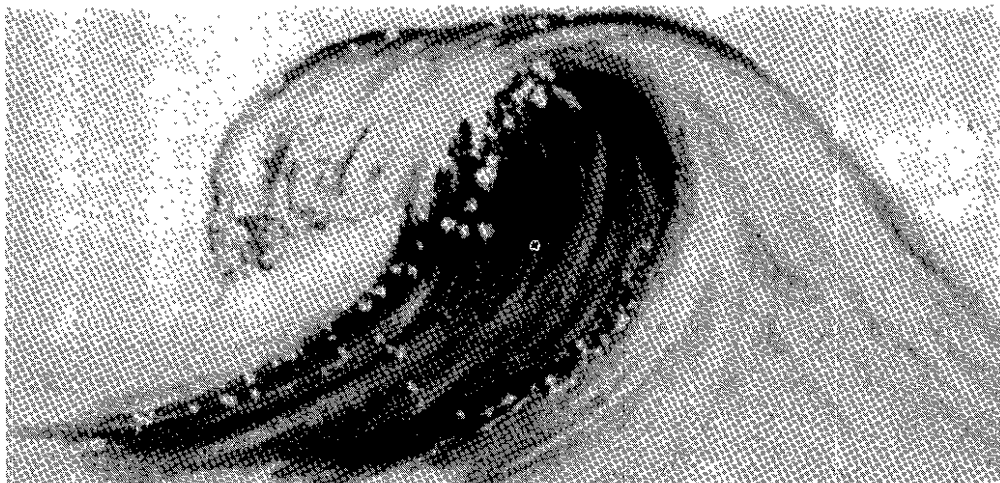
Schuimende breker.

Rechts: Overstortende breker.

Fig. 6. De bouwstenen van het FILTER-model.

Fig. 7. De significante golfhoogte als functie van de waterstand.





en de golflengte. Zodra de maximale golfhoogte bij een bepaalde diepte wordt overschreden, wordt in het FILTER-model breking verondersteld, en wordt de golfhoogte gelijk gesteld aan de maximale golfhoogte voor die diepte, die overigens ook nog afhankelijk is van de golflengte. Deze schatting van de hoogte van de gebroken golf is aan de veilige kant, zeker voor overstortende brekers, waarvan in werkelijkheid meestal golven met veel minder energie overblijven.

Met behulp van metingen in het Deltagebied is de geldigheid van de schatting gecontroleerd. De significante golfhoogte bleek toen ook nog af te hangen van de getijfase (figuur 7). Verwacht wordt dat bij eb de golven die tegen de stroom ingaan, steiler zullen worden en dientengevolge hoger, of veel lager door breking. Bij vloed worden lagere golven

verwacht. Dit is in strijd met fig. 7. Een verklaring kan gegeven worden door de afbuiging van de golven ten gevolge van de stroom. De invloed van de getijstroom is in het model ingebouwd. Eerder werd de veronderstelling geuit dat de golven in eenzelfde sector blijven en dat hun richting niet noemenswaard zal veranderen. Een kleine verandering in de richting heeft echter al invloed op de hoeveelheid energie die bij het tracé aankomt. Door de diepte-veranderingen zal de snelheid van de golven plaatselijk veranderen en dit zal een lichte afbuiging veroorzaken.

Een voorbeeld van afbuigende stralen is te zien in figuur 8. Daar waar de golfstralen dichter bij elkaar komen dan op diep water, treedt een hogere golf op. Lopen de stralen verder uit elkaar dan is er sprake van een verlaging. Dit afbuigingseffect, refractie genaamd, is ook in het model in rekening gebracht. Bij sterke oneffenheden van de bodem zal niet alle energie zich langs de golfstraal bewegen. Er zal ook energieverplaatsing zijn loodrecht op de golfstraal, namelijk langs de golfkam. Dit diffractie-effect wordt samen met de bovengenoemde refractie in het FILTER-model beschreven als één parameter. Het is nu mogelijk voor iedere sector de hoeveelheid energie te berekenen die vanuit de Noordzee doordringt tot de Oosterschelde-kering. Een ander belangrijk mechanisme hebben we echter tot nu toe buiten beschouwing gelaten. De lokale wind voert weer energie toe aan de golven, in het bijzonder aan golven met een korte periode. Deze op hun beurt staan weer energie af aan de langere golven. De diepteveranderingen in de Oosterscheldemond zijn zo plotseling dat het afstaan van de lokaal toegevoerde wind-energie hier veel gecompliceerder verloopt dan

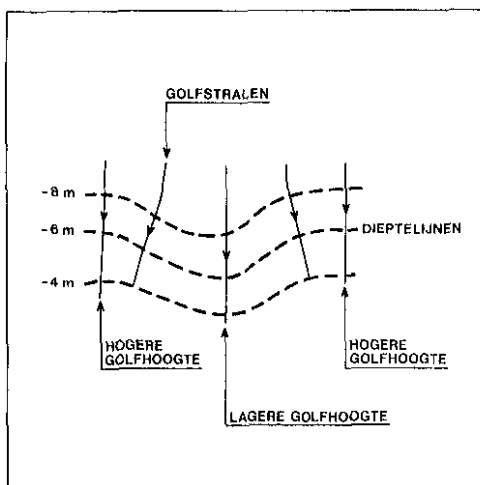
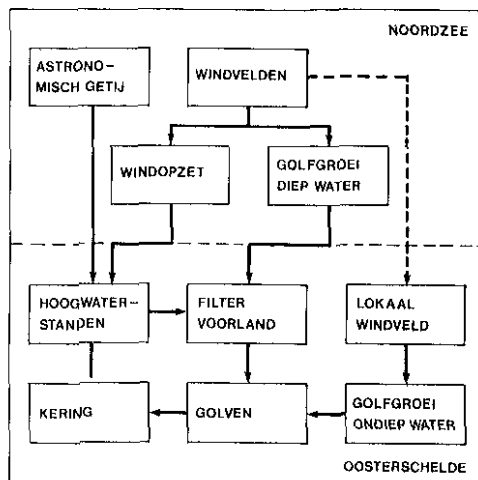
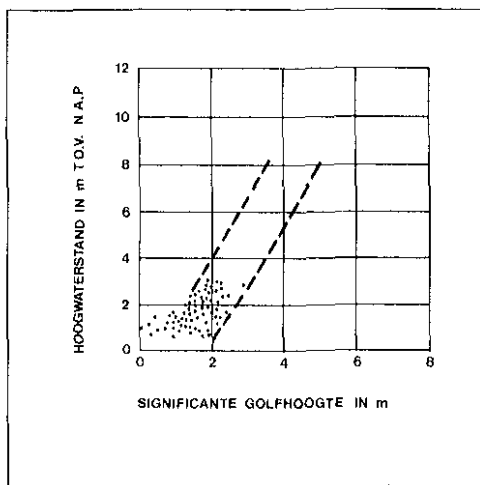


Fig. 8. Voorbeeld van refractie.

Fig. 9. Extrapolatie van de relatie golfhoogte/waterstand.

Fig. 10. Het complete beeld van de golfbepalende factoren.



op diep water. De energietoevoer door lokale wind en de herverdeling van deze energie over alle golven moest daarom op een speciale manier in het model aangebracht worden. Gevoed met formules voor de bovengenoemde mechanismen levert het computermodel FILTER resultaten die in goede overeenstemming zijn met de metingen. De hoeveelheid golfenergie die vanuit zee via de banken in de monding doordringt varieert sterk met de waterstand. De lokaal opgewekte component varieert daarentegen met de windsnelheid en wordt begrensd door de maximaal boven de banken beschikbare strijklengte. Omdat de lokaal opgewekte component onafhankelijk van de deïningscomponent kan variëren, ontstaat een veld van mogelijke combinaties met als grenzen aan de ene kant: de deïningscomponent zonder lokale golf en aan de andere kant de deïningscomponent plus de maximale lokale golf.

In figuur 9 zijn deze grenzen aangegeven. De

modelgrenzen omvatten de meetpunten. Tevens geeft het model de mogelijkheid te extrapoleren naar situaties boven waterstanden van N.A.P. + 3 m.

Met het totale model (fig. 10) is het nu mogelijk het gezamenlijk optreden van significante golfhoogte en hoogwaterstand voor extreme situaties te voorspellen. Hierbij is kennis nodig van de langjarige windstatistiek. Het FILTER-model is tevens geschikt om golfverwachtingen te geven tijdens de bouw van de kering. De benodigde invoergegevens voor dit model zijn dan de lokale windverwachting, het verwachte golfveld op de buitenrand van de Oosterscheldmond, de waterstand en de stroomsnelheid. In bericht 93 (augustus 1980) is aangegeven hoe deze gegevens verkregen worden, terwijl in bericht 92 (mei 1980) nader werd besproken hoe golfverwachtingen tot stand komen.

In afsluitdijken of -dammen moeten meestal kunstwerken worden opgenomen, zoals scheepvaart- of uitwateringssluizen. De bouw daarvan vergt veel tijd en de planning is dan ook meestal zo dat de aanleg van het kunstwerk al ver vooraf aanvangt en de dam pas in een later stadium wordt gelegd.

Bemaling van de bouwput voor de Krammersluizen

Eerst moeten daarom grote bouwputten in open zeearmen worden aangelegd en droogge maakt, alvorens men met de bouw van de funderingen van het kunstwerk op grote diepte kan aanvangen. In de afgelopen 25 jaar heeft de Deltadienst al verscheidene van zulke gigantische bouwputten gemaakt. Denk aan de bouwputten voor de Haringvliet- en Volkeraksluizen, terwijl ook bouwputten werden aangelegd voor de bouw van caissons.

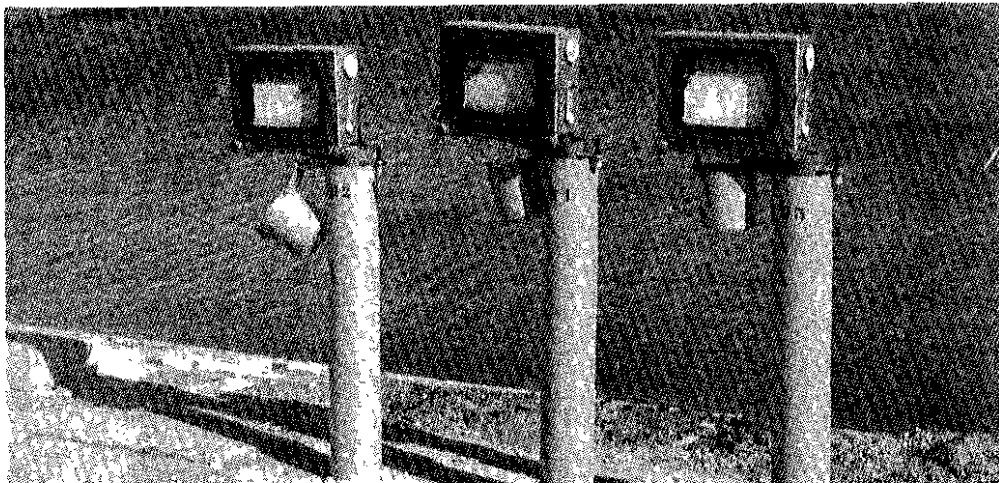
In het Schelde-Rijnkanaal werden de Kreekraksluizen in een bouwput aangelegd; in een later stadium werd de uitwateringssluis in de Brouwersdam in een bouwput gebouwd.

Momenteel zijn bij de Deltadienst een groot aantal bouwputten tegelijkertijd in bedrijf; de bouwput Schaar voor de bouw van de pijlers vanaf 1978, de bouwput voor de Krammersluizen op het werkeiland Philipsdam vanaf april 1979, terwijl recentelijk bouwputten zijn gemaakt voor de aanleg van de jachtensluizen in de Philipsdam en voor de hevel in de Grevelingendam, alsook voor een scheepvaartsluis bij Noorland.

Het lijkt zo vanzelfsprekend dat binnen een door een dijk omringde en eenmaal leeggepompte bouwput in den droge rustig gebouwd kan worden. Toch gaat aan dat bouwgebeuren de installatie van een bronbemaling van grote omvang vooraf. Als die bemaling niet ononderbroken zou functioneren, zouden de bouwputten in de kortste keren weer tot N.A.P. vol water staan vanwege kwel door de ringdijk en uit de ondergrond. Niet alleen tijdens het droogmalen van de bouwput maar ook tijdens de bouw werkt de bronbemaling dus op volle toeren, om het bouwen in den droge mogelijk te maken. Grote hoeveelheden grondwater uit de diepere grondlagen worden daarbij opgepompt. Om een beeld te vormen van de orde van

grootte vermelden we dat in de stationaire fase van de bemaling medio april 1981 het opgepompte totale debiet voor de bouwput Schaar 4500 m³ per uur en voor de bouwput Krammersluizen zo'n 3300 m³ per uur bedraagt. Omgerekend betekent dit per jaar een opbrengst van 3,9 respectievelijk 2,9 miljoen kubieke meter water. Een deel van de bouwkosten wordt dan ook opgeslokt door de aanleg van een fors aantal bemalingsputten en het langdurig elektrische stroomverbruik van de onderwaterpompen in bedrijf.

Voorafgaand aan de installatie van de bemaling wordt een begroting opgesteld van het te verwachten waterbezwaar en wordt een zogenaamd bemalingsadvies geformuleerd door het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening en het Laboratorium voor Grondmechanica. Aan de berekeningen voor het totale bemalingsplan dient meestal een pompproef ter plaatse vooraf te gaan om de plaatselijke grondcondanten en waterleveringsgrenzen te bepalen. Eenmaal geïnstalleerd wordt de bronbemaling altijd bewaakt door middel van een aantal peilfilters waarin periodiek de grondwaterstanden kunnen worden waargenomen. Zo kan nauwkeurig worden vastgesteld of het grondwater wel voldoende ver onder de aanlegdiepte van de fundering van het kunstwerk blijft en of het grondwater op zekere plaatsen niet onnodig diep wordt weggemalen. Hieruit kan bij voorbeeld worden afgeleid dat de onderwaterpompen tijdens het werk op bepaalde plaatsen kunnen worden stopgezet; zo bereikt men een zekere kostenbesparing in het elektrische stroomverbruik. In de afbouwfase, wanneer de diepste funderingen klaar zijn en de zandaanvullingen in het diepste deel van de bouwput al zijn uitgevoerd, kan het grondwaterpeil geleidelijk omhoog komen. Bij de regeling



daarvan wordt dan weer dankbaar gebruik gemaakt van de eertijds geplaatste peilfilters. Behalve deze bewakende en regelende functie hebben de waarnemingsfilters in de bouwput voor de Krammersluizen ook een meer bestuderende en evaluerende functie gekregen. Om de bemaling van een zo'n grote bouwput beter te kunnen volgen en niet alleen binnen, maar ook op de ringdijk en buiten de bouwput, heeft men eertijds besloten een meer uitgebreid netwerk van peilbuizen te installeren en meer dan gewoonlijk aan meetwerk te verrichten. De bemalings-ontwerpers en de adviesinstituten kunnen hun voordeel doen met zo'n terugkoppeling van praktijkgegevens waaruit lering te trekken valt voor volgende bemalingsopdrachten. De bouwput voor de Krammersluizen, waar dit experiment werd uitgevoerd, is groot van afmetingen: hij heeft, gemeten tussen de ringleidingen van de pompputten, een oppervlakte van 28 ha.

Op het werkeiland in de Philipsdam werd een groot aantal peilfilters geplaatst, niet alleen in de aanvankelijk nog met water gevulde bouwput maar vooral ook in een aantal raaien dwars over de ringdijken naar Oost en West, Noord en Zuid, om het verloop van de watertoeleveringsgrenzen en de grondwaterstijghoogten naar de buitenoever toe goed te kunnen volgen.

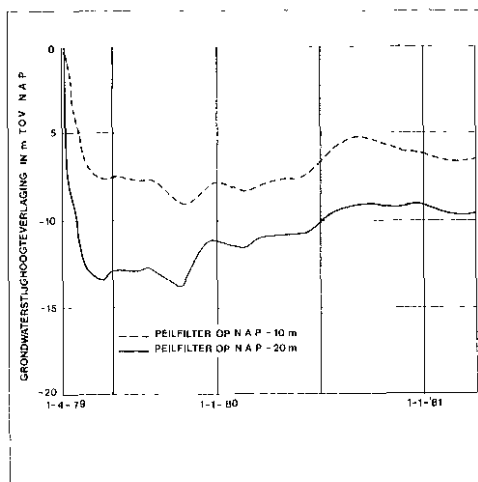
In totaal werden ruim 80 peilfilters geplaatst, meestal in groepjes van drie of vier waarmee de watervoerende zandpakketten op verschillende dieptes konden worden waargenomen; sommige peilfilters kwamen later droog te staan, maar die hadden daarvoor al hun bijdrage geleverd in de nog niet stationaire fase van de bemaling.

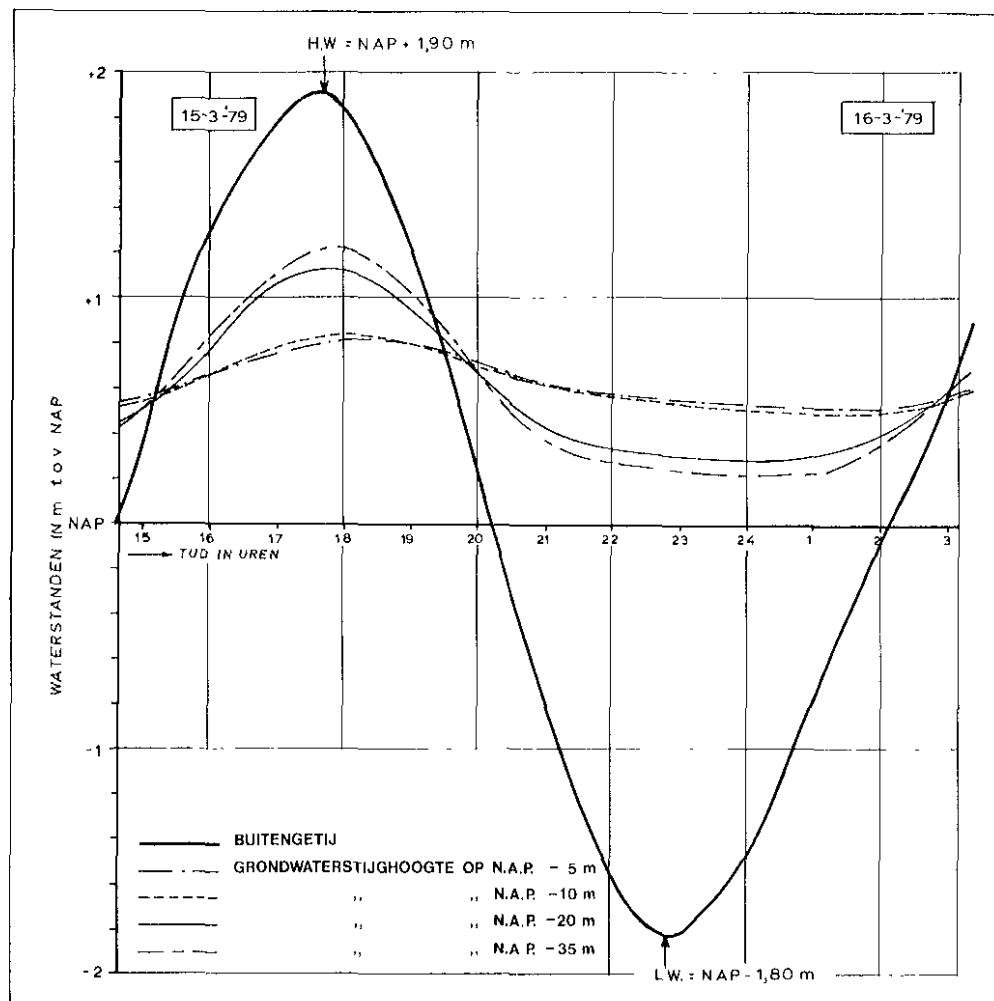
Op een groot aantal peilbuizen binnen en

Continue registratie van grondwaterstijghoogten met behulp van vlotterschrijvers

Fig. 1. Voorwaarneming van de getij-invloed in verschillende watervoerende grondpakketten.

Fig. 2. Verloop van de grondwaterstijghoogten met de tijd op twee verschillende diepten.





buiten de bouwput werden continu registreren- de peilschrijvers gemonteerd. Het principe daarvan berust op de overbrenging van de hoogte van een drijvende vlotter in de peilbuis. Bemalings- en getij-invloeden kunnen er continu in de tijd mee worden geregistreerd. Een tweede grootheid die in het meetprogramma werd opgenomen, was een nauwkeurige debietbepaling door continue registratie van de totale hoeveelheid opgepompt water. Bij het opzetten van het meetprogramma bleek al snel dat debietmetingen in het algemeen veel te onnauwkeurig geschieden. Maar hier werd een methode van debietmeten gezocht, die aan hoge eisen van nauwkeurigheid voldeed. Als beste meetinstrument bleek de Thomson meetoverlaat uit de bus te komen. Aan de buitenkant van de dijktafsluitingen werden derhalve meetbakken van dit type gebouwd, in

totaal 9 stuks. Zo'n Thomsonoverlaat is een driehoekvormige overlaat met een hoek van 90° en scherpe overstortranden. Door hoogtemeting van de waterstand op korte afstand vóór de overstortrand wordt een maat gevonden waarmee met een formule het debiet tot op 3 à 5% nauwkeurig kan worden vastgesteld. In verband met de korte duur van de open bemaling is daarvoor geen afzonderlijke Thomson-meetbak opgesteld. Het debiet van de open bemaling werd vastgesteld met een elektromagnetische inductieve debietmeter, gemonteerd in de afvoerleiding. De meting bleek nauwkeurig tot op een half procent. In de beginfase werd intensief gepeild en geregistreerd, in een later stadium, toen de stationaire fase van de bemaling was ingetreden, werden de meetactiviteiten wat beperkt. Op grond van de metingen kon begin 1980 een rapport

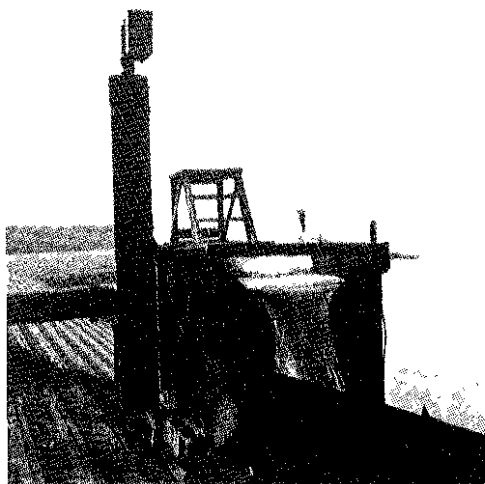
'Evaluatiebemaling bouwput Philipsdam' worden uitgebracht, waarin verslag werd gedaan over de periode maart tot september 1979. Het zou te ver voeren om alle aspecten die daarin uitvoerig worden beschreven in dit artikel te behandelen; daarom slechts een korte greep uit enkele facetten.

De grondopbouw

Tijdens het vooronderzoek, bij de opstelling van het bemalingsadvies, werd de grondopbouw ten behoeve van de berekeningen tot drie lagen geschematiseerd. Uit grondonderzoek bleek dat de opbouw van de Plaat van de Vliet – de lokatie van de bouwput – zeer zandig was, met veelvuldige klei- en siltensjes. Het te bemalen pakket, waarvan de onderkant lag op N.A.P. –50 m, werd geohydrologisch ingedeeld in een tweetal watervoerende zandpakketten, een diep en een ondiep, waartussen zich een tegen verticale grondwaterstroming weerstand biedende, semi-permeabele laag bevond. Deze weerstandbiedende laag komt, over het werkeiland verspreid, nogal op verschillende dieptes en in van elkaar verschillende diktes voor, variërend van 2 tot 10 m dikte, ergens tussen N.A.P. –10 m en –20 m.

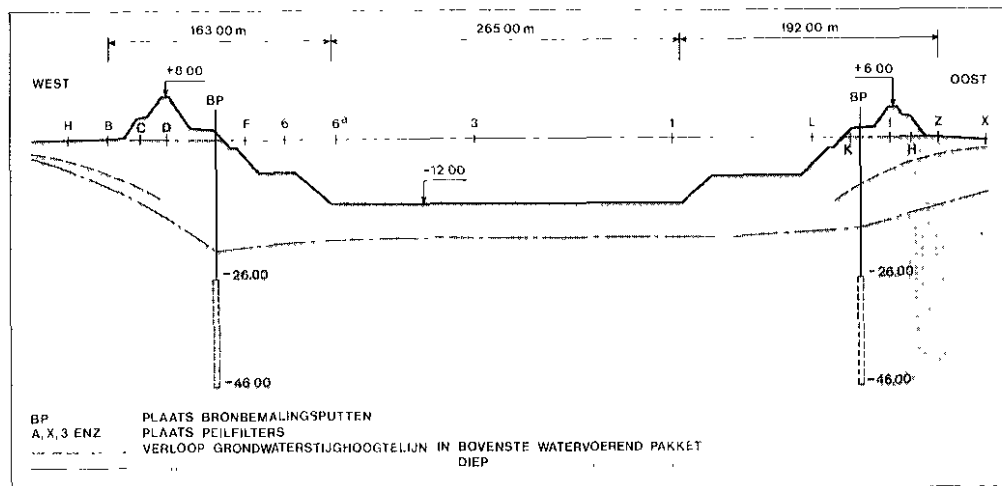
In het diepe zandpakket werden de filters van de te bemalen pompputten geplaatst tussen N.A.P. –26 en –46 m, 133 stuks in totaal, op uiteenlopende onderlinge afstanden rond de bouwput geschaard.

De onderwaterpompen werden op N.A.P. –25 m in deze pompputten gehangen. Omdat door deze diepe bemaling alleen het tweede watervoerende zandpakket wordt bemalen, was het zaak om het grondwater uit het bovenste zandpakket via de genoemde semi-permeabele

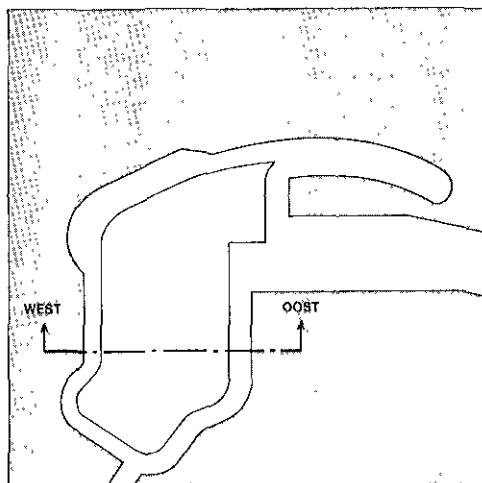


Thomson overlaat.

Fig. 3. Dwarsdoorsnede over de bouwput met bemalingssituatie in de stationaire fase.



laag naar dit diepste pakket toe te voeren, teneinde geen wateruitreding op de binnentafels van de bouwput te veroorzaken. Daarvoor werden dicht bij de bemalingsputten zandpalen aangebracht. In een bepaald stramien werden in 4 rijen, op afstanden van 3 meter onderling, boorgaten gemaakt die met goed waterdoorlatend, grof zandmateriaal werden gevuld over een hoogte van maaiveld tot N.A.P. -20 m. Hiermee werd de genoemde semi-permeabele laag doorboord en nu kon het grondwater uit het bovenpakket zo veel mogelijk naar het dieper bemalen zandpakket stromen. Hiermee werd tevens voorkomen dat het bovenste zandpakket apart bemalen moest worden. Vanwege de semi-permeabele laag, zo bleek later uit de grondwaterregistraties, gingen de twee zandpakketten hun eigen grondwaterstijghoogte voeren. Er konden zelfs plaatselijk twee verschillende vrije grondwaterspiegels optreden, één in het bovenste en één in het onderste zandpakket. De weerstandswaarde van de semi-permeabele laag, bleek uit de grondwaterstijghoogtere REGISTRATIES, verschilde nogal tussen de west- en oostkant van de bouwput; aan de oost- en noordzijde van de bouwput was de stijghoogte veel groter dan elders. Dat er geen aanvullende aparte bemaling in het bovenpakket nodig was kan inderdaad mede een gevolg van de goede werking van de zandpalen zijn geweest, maar zekerheid is daarover niet verkregen omdat de weerstandswaarde van de semi-permeabele laag op vele plaatsen meeviel, zodat ook via deze laag over een grote breedte toch wel watertransport naar beneden mogelijk bleek. Of het grondwatertransport dan via deze semi-permeabele laag of via de zandpalen geschiedde, is niet duidelijk uit te maken.



De niet-stationaire fase

Voorafgaand aan de start van de bemaling werd eerst gedurende enkele dagen zeer frequent de grondwaterstijghoogte in de peilbuizen waargenomen. Dit had tot doel de getijdoorwerking of getijdemping ter plaatse van de peilfilters nauwkeurig te onderzoeken. Met de gevonden maat voor de getij-invalde kon men in de latere registraties bij het tijdstip van meten rekening houden. Uit de voorwaarnemingen bleek al duidelijk een verschil in getijdemping tussen de meetpunten in het bovenste en die in het onderste te bemalen zandpakket. Dit verschil wordt veroorzaakt door de semi-permeabele tussenlaag.

Het bovenpakket bevat freatisch water en daardoor is de getijdemping erin sterker; in dit bovenpakket werd nog slechts een getij-amplitude gemeten tussen 3 à 10% van het werkelijke getij. Het diepe zandpakket bevat semi-spanningswater; het grondwater zit in dit pakket als het ware meer opgesloten en volgt daardoor de getij-invalde meer dan in het bovenpakket; in dit diepe zandpakket werden nog getij-amplitudes gemeten van 15 à 25%.

Uit de voorwaarnemingen bleek bovendien het sterk afgevlakte karakter van de laagwaterperiode ter plaatse van de peilfilters; het laagwater lijkt als het ware sterk na en is opmerkelijk gedempt. Dit wordt veroorzaakt door de langgerekte vlakke vooroevers buiten de ringdijken. De bouwput is immers aangelegd op de natuurlijk gevormde Plaat van de Vliet, die zich ver uitstrekt. De getijbeweging reikt alleen gedurende de hoogwaterperiode tot aan de buitenteen van de ringdijk. In de laagwaterperiode vallen de zandplaten over een grote lengte droog. Het grondwater in de hoge vooroevers kan gedurende de laagwaterperiode niet snel genoeg naar de ver weg gelegen geulen wegstromen en zo blijft een verhoogd grondwaterniveau gelden als randvoorwaarde voor de grondwaterstroming van en naar de bouwput; er ontstaat een op laagwater afgekapte getijkromme waarvan bovendien de middenstand 40 tot 70 cm hoger ligt dan normaal.

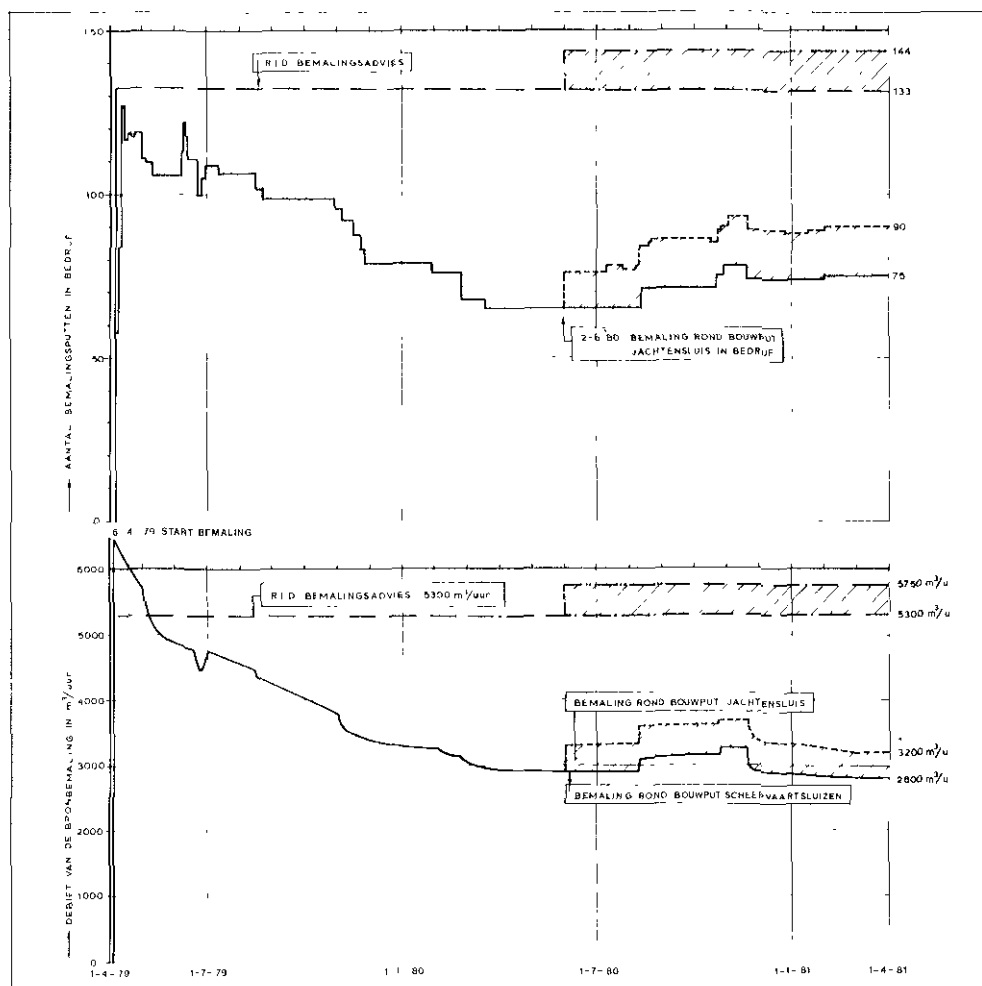
Op 6 april 1979 werd de bronbemaling op de bouwput gestart. Er werden frequent grondwaterpeilingen uitgevoerd om de start zo goed mogelijk te volgen. Deze start-meetcyclus werd tijdelijk doorbroken toen op 7 april moest worden geconstateerd dat de buitenteen met vooroeverbetasting plaatselijk te ernstig door de uitstortende waterstraal werd aangetast; de bronnering moest gedurende een weekend gedeeltelijk worden stopgezet. Na reparatie en

verhelping van het euvel draaide de totale bronnering weer op 12 april, op 12 april kon tevens begonnen worden met de open bemaling van het water uit de bouwput zelf. Het tempo van leegpompen van de bouwput moest in de hand worden gehouden, omdat er, in verband met stabiliteitseisen, geen water mocht uittreden in de taluds. De grondwaterstandsdaaling moest steeds voldoende voor blijven op de waterstand in de bouwput. Aanvankelijk gaf dit problemen, omdat de capaciteit van de open bemaling te groot was zodat hij veelvuldig stopgezet moest worden. Later werd het debiet geknepen tot ongeveer de helft en toen kon regelmatig doorgepompt worden.

Op 18 mei 1979 werd de open bemaling gestopt; de bouwput was toen nagenoeg leeg. In 40 dagen was de waterstand in de bouwput 12 m verlaagd, gemiddeld per dag 30 cm

Overzicht van de bronbemaling en de open bemaling, begin mei 1979. De open bemaling is gevorderd tot ongeveer halverwege.

Fig. 4. Het bemalingsbedrijf en de werkelijke totaaldebieten in de periode april 1979-april 1981





Uit debietmetingen van zowel de bronbemaling als van de open bemaling van de put zelf werd bij een narekening geconstateerd dat van de waterinhoud 40% via de bronnen en 60% door de open bemalingspomp uit de bouwput was gepompt.

Evaluatie

Tijdens de nauwkeurige registratie van de debieten van de bronbemaling is het volgende gebleken. Het debiet wordt slechts voor enkele procenten door het getij beïnvloed; in de praktijk is deze invloed verwaarloosbaar. Het maximaal te verwachten waterbezwaar volgens het bemalingsadvies bedroeg 5300 m³/uur bij een vereiste grondwaterstandsverlaging van 18 meter, waarin een extra verlaging vanwege stormvloedomstandigheden was

opgenomen.

Bij de aanvang van de bemaling bedroeg het totale debiet 6500 m³/uur; daarna nam het geleidelijk af tot 4300 m³/uur; vanaf september 1979 daalde het nog verder. Het laagst gemeten totaaldebiet werd bereikt in maart/april 1980, het bedroeg toen ongeveer 3000 m³/uur. Dit werd mede veroorzaakt door de langzame aanslibbing van de vooroevers en het weer langzaam omhoog brengen van grondwaterstanden in het midden van de bouwput nadat de diepste werkzaamheden daar reeds waren uitgevoerd. Dit laagste debiet van 3000 m³/uur bleef enkele maanden stationair; in juni 1980 ging het weer omhoog, toen de bemaling rond de bouwput voor de jachtensluis werd aangezet. Betrekkelijk kort na de start van de bemaling zijn in een aantal pompputten verlagingen van de grondwaterstand opgetreden die in verband

met koelingseisen van de pompen ontoelaatbaar waren, zodat enige pompen werden stopgezet. Vooral op de oostrijndijk en later ook op de westrijndijk bleken de pompputten op te geringe afstand van elkaar gepland. Soms was er maar 10 m tussen Pompputten op 40 m afstand van elkaar, zoals aan de noordzijde van de bouwput, ter plaatse van het werkterrein, is daarentegen in de praktijk aan de ruime kant gebleken. Er zijn aanzienlijke verschillen in niveau tussen de opgetreden verlagingen in overeenkomstig gesitueerde peilbuizen geconstateerd; er was een groot verschil tussen de west- en de oostzijde dat mede werd veroorzaakt door het verschil in doorlaatbaarheid van de semi-permeabele laag. Deze laag bleek overigens, zij het in verschillende mate, overal aanwezig. Medio mei 1979 waren in een groot aantal peilbuizen reeds de grootste verlagingen bereikt.

De laatste zakkingen naar de stationaire fase over de laatste $\frac{3}{4}$ à 1 meter verliepen uiterst langzaam. Door bijplaatsing van vier extra pompputten in het midden van de bouwput werd dit proces wat versneld. Dit bijplaatsen werd ook noodzakelijk omdat men dieper moest gaan met de grondverbeteringen dan aanvankelijk verondersteld was.

Een groot aantal ondiepe peilfilters is in de niet-stationaire fase van de bemaling reeds droog komen te staan; zelfs ondiepe peilbuizen op de meetpunten buiten het werkeiland. Was uit de voorwaarnemingen vast komen te staan, dat de voedende grens van de grondwaterstroming bij het begin van de bemaling dicht bij de buitenteen van de dijk was gelegen, namelijk zo'n tien meter er vandaan, al snel na de start van de bemaling bleek dat de voedende grens verder weg kwam te liggen. De voedende grenzen van beide watervoerende pakketten blijken in de tijd te zijn verlopen. Er trad aanslibbing op van de vooroever, die ging werken als een weerstand voor de grondwater-toestroming en er ook de oorzaak van was dat het debiet van de bronbemaling langzaam bleef dalen en eerst na maanden stationair werd. Via de aangeslibde vooroever op de uitgestrekte zandplaten moet tijdens het hoogwater nog wel enige voeding van het bovenste watervoerende pakket hebben plaatsgevonden. De hoeveelheid water die inzeeg was echter te gering om het bovenste pakket volledig met water gevuld te houden. Er ontstond daardoor een dieper gelegen freatische waterspiegel, zelfs over een grote afstand ter plaatse van de vooroevers. Via de dieper gelegen semi-permeabele laag bleef het diepst gelegen watervoerende pakket vanuit het

bovenste pakket gevoed worden, zij het dan met geringere druk dan bij de start van de bemaling. De genoemde watervoerende grenzen van de pakketten verplaatsten zich gedurende de aanslibbingsperiode langzaam verder weg. Dat deze aanslibbing z'n invloed heeft gehad, bleek later toen medio juni en juli 1980 de westelijke voorhaven op diepte werd gebaggerd.

De buitenmeetpunten en zelfs de meetpunten ter plaatse van de kruin van de westelijke ringdijk gaven hierdoor weer een tijdelijke stijging van de grondwaterstijghoogte te zien; later trad opnieuw aanslibbing op.

Twee maanden na het in bedrijf stellen van de bemaling was de bouwput begaanbaar en konden de werkzaamheden, allereerst in de vorm van grondverbeteringen ten behoeve van de fundering van de Krammersluizen, een aanvang nemen.

In het begin van de jaren '70 werden de eerste plannen ontwikkeld voor de verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland. Het kanaal zou volgens deze plannen moeten functioneren in samenhang met een afgesloten Oosterschelde, met een stagnant peil. De sluizen bij Wemeldinge zouden vervallen, als compensatie voor de sluispassage door de Volkerakdam.

In 1976 besloot de regering echter om een afsluitbare stormvloedkering in de Oosterschelde te bouwen; dit om te voldoen aan de belangen van de veiligheid enerzijds en aan die van het milieu anderzijds. Uit diverse varianten voor de compartimentering van het Oosterscheldebekken werd variant C3 – Kanaal door Zuid-Beveland uiteindelijk gekozen.

Aan de hand van de nieuwe randvoorwaarden werd door de directie Zeeland een tracé-nota voor de kanaalverbetering opgesteld, die in mei 1977 werd toegezonden aan de Minister van Verkeer en Waterstaat. Deze nota is volgens de gebruikelijke inspraakprocedure behandeld. Op grond van het advies van de Raad van de Waterstaat heeft de Minister op 4 juli 1978 het plan en het tracé vastgesteld.

Het thans definitief geworden plan omvat het volgende: het kanaal wordt verbreed en verdiept, zodat het geschikt wordt voor Rijnduwvaart met vier bakken. Bij Wemeldinge komt een open verbinding met de Oosterschelde. De bestaande oeververbindingen zullen worden gehandhaafd door de bouw van nieuwe bruggen en het aanbrengen van voorzieningen over het nieuwe sluizencomplex in Hansweert. Het huidige sluizencomplex te Hansweert is een zwakke schakel in de hoogwaterkering. Het nieuwe sluizencomplex wordt gebouwd als een deugdelijke waterkering die voldoet aan de eisen van de Deltawet. Deze sluizen zullen overeenkomstig de tracé-nota afmetingen krijgen van $280 \times 24 \text{ m}^2$.

Over de verdere uitwerking van de aanpassingen in Hansweert en in Wemeldinge wordt nader overleg met de betrokken gemeenten gevoerd. Ter beperking en bepaling van de eventuele schade door wijzigingen van de grondwaterstanden is een kwelmeetnet

Verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland

geïnstalleerd; de sluizen zullen in een zogenaamde natte bouwkuip worden gemaakt. De verbetering van het kanaal bestaat uit een verbreding en verdieping, zodanig dat straks bij het gereduceerde getij op de Oosterschelde Rijnduwvaart met 4 bakken mogelijk zal zijn. Bij een laagste laagwaterstand van N.A.P. $-1,8 \text{ m}$ op de Oosterschelde moet de bodem van het nieuwe kanaal N.A.P. $-7,5 \text{ m}$ bedragen. Deze diepten worden aangehouden vanaf het sluizencomplex noordwaarts. Ten zuiden van het sluizencomplex wordt de diepte N.A.P. $-9,0 \text{ m}$, gezien de laagste laagwaterstand op de Westerschelde; N.A.P. $-2,7 \text{ m}$. De breedte van het kanaal wordt eveneens bepaald door het getij en de scheepvaart: Ook bij laagwater moeten er drie vaarstroken bruikbaar zijn. Dit resulteert in een bodembreedte van 100 m op N.A.P. $-7,5 \text{ m}$. De dijken moeten vanwege het toelaten van het – gereduceerde – getij op het kanaal worden verhoogd. Ook al is het sluitingsregime van de stormvloedkering in de Oosterschelde nog in discussie, voor de hoogste vloedstand wordt uitgegaan – zoals ook bij andere werken rond de Oosterschelde – van een peil van N.A.P. $+3,5 \text{ m}$. Een blijvende hoogte van N.A.P. $+5,0 \text{ m}$ voor de kanaaldijken is daarbij voldoende.

Het sluizencomplex te Hansweert

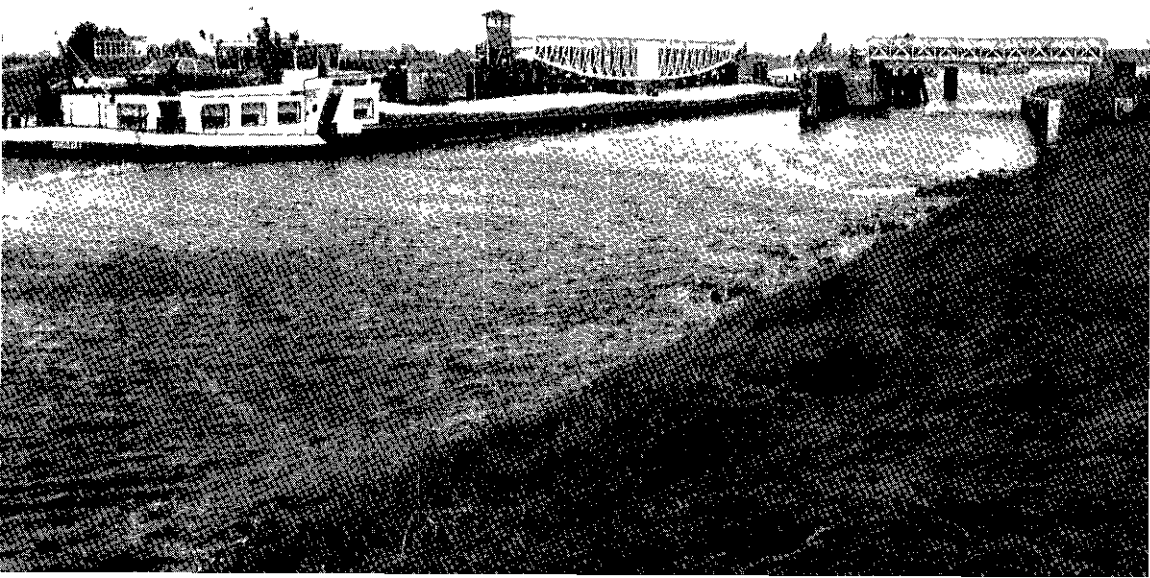
Het sluizencomplex zal bestaan uit twee sluizen met kolkafmetingen van 24 m doorvaartbreedte en 280 m nuttige kolk lengte. Deze afmetingen zijn gelijk aan die van het sluizencomplex in de Philipsdam. De drempeldiepte wordt bepaald door de diepgang van een vierbaksduwstel en door de maatgevende laagwaterstand op de Westerschelde. Dit resulteert in een drempeldiepte van N.A.P. $-7,30 \text{ m}$.

Deze drempeldiepte geldt voor alle drempels, zodat de deuren onderling uitwisselbaar zijn. Er hoeft dan ook maar één reservedeur te zijn. Vanwege de vereiste kerende functie van de deuren in beide richtingen is gekozen voor roldeuren. Per hoofd wordt één roldeur toegepast. Voor de waterkering vormen de twee deuren van één sluiscolk een dubbele kering. Om te kunnen voldoen aan de eisen van de Deltawet is de waterkerende hoogte van het sluisplateau bepaald op N.A.P. +7,0 m. Over alle vier de roldeuren zal verkeer van (brom)fietsen en voetgangers mogelijk zijn. Hiertoe worden op het sluisplateau de nodige wisselpaden aangelegd. Ten behoeve van onderhoud en brandbestrijding zal over twee deuren zwaar transport mogelijk worden gemaakt. Op het middenplateau wordt het centrale bedieningsgebouw geplaatst. Daar komt tevens ruimte voor het on-

derbrengen van de afstandsbediening van de Vlakte- en Postbruggen.

Aan de oostzijde van het sluisencomplex zal een nieuw gebouw voor de werktuigkundige dienst worden gebouwd, ter vervanging van het huidige gebouw, dat moet verdwijnen voor de kanaalwerken. Aan beide zijden van het sluisencomplex zullen in de buiten- en binnenvoorhaven geleidewerken en wachtplaatsen worden gemaakt. Er komen aparte ligplaatsen voor schepen met gevaarlijke stoffen.

Teneinde schade en overlast voor de omgeving ten gevolge van grondwaterstandswijzigingen zoveel mogelijk te beperken is bij de planvaststelling gekozen voor uitvoering in een natte bouwkuip. Er wordt dan een kuip van stalen damwand gemaakt met daarin een vloer van onderwaterbeton; dit is kostbaarder dan een open bouwput met bemalingsinstallatie.



Na onderzoek is een bruikbaar alternatief voor die dure uitvoeringsmethode gevonden in de vorm van een retourbemaling. De kuip en de onderwaterbetonvloer kunnen nu lichter worden uitgevoerd; toch blijft het gebied waarbinnen de grondwaterstand verlaagd wordt, beperkt tot het werkkerrein van het sluisencomplex.

Oeververbindingen

In principe blijven alle bestaande oeververbindingen gehandhaafd. De verbinding voor (brom)fietzers en voetgangers over het sluisencomplex Hansweert is reeds besproken. De Vlakketunnel in Rijksweg 58 is destijds reeds op voldoende diepte en lengte aangelegd, en vergt derhalve verder geen aanpassingen.

De Bonzijbrug in Wemeldinge wordt vervangen door een vaste verbinding ter plaatse van de afdamming van het oude kanaal.

De overige verbindingen, te weten die in Rijksweg 258 en de spoorlijn Bergen op Zoom-Vlissingen – de Vlakebruggen –, en in de rijksweg Yersekedam-Kloetinge – de Postbrug –, zullen worden gehandhaafd door de bouw van nieuwe bruggen. Deze nieuwe bruggen zijn nodig wegens de verbreding van het kanaal, en het gedempte getij van de Oosterschelde, dat voortaan ook zal optreden op het kanaal.

Alle bruggen krijgen een vaste overspanning en een beweegbaar gedeelte. De vaste overspanningen worden loodrecht op de kanaalas gemeten 126 m lang. Daarnaast komen beweegbare delen met een doorvaartbreedte van 25 m, terzijde van het doorgaande kanaal en bereikbaar via in- en uitvoegstroken.

De onderkant van de vaste gedeelten is vastgesteld op N.A.P. + 10,60 m; dat is rijnsaarhoogte

– 9,10 m –, boven N.A.P. + 1,50 m als aangenomen maatgevende hoogwaterstand.

De Vlakebruggen zijn 100 m ten noorden van de bestaande bruggen geprojecteerd om de spoorwegverbinding ongehinderd doorgang te doen vinden tijdens de bouw van de nieuwe bruggen. De nieuwe Postbrug wordt op dezelfde plaats herbouwd teneinde zo min mogelijk landbouw- en natuurgonden te verliezen. Dit heeft als consequentie dat deze verbinding gedurende de bouw verbroken wordt.

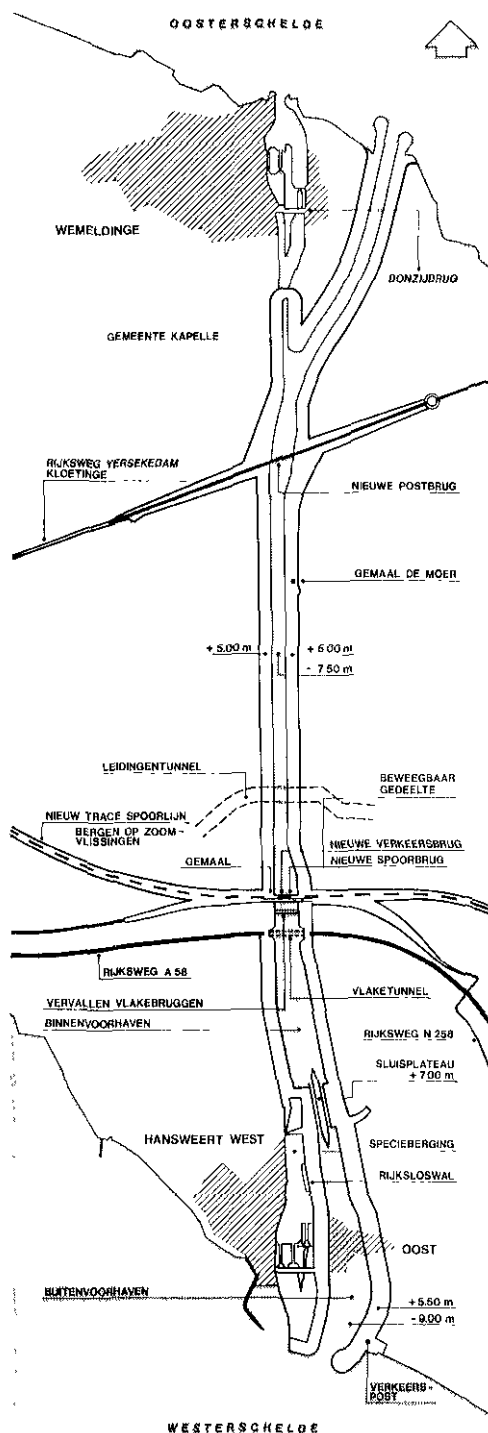
De bestaande drie loswallen in Hansweert die ieder 100 m lang zijn, worden vervangen door één nieuwe loswal, die wat hoogte en diepgang betreft geschikt is onder de toekomstige getijomstandigheden. Thans zijn als uitgangsafmetingen gegeven 200 m lengte bij een breedte van 30 m. Grotere lengte is eventueel mogelijk, mits dit in een reële behoefte voorziet. De nieuwe loswal wordt ten noordwesten van het nieuwe sluisencomplex gesitueerd, in de nabijheid van het bedrijfsterein van Hansweert-West. In Wemeldinge wordt het oude kanaal zo afgesloten dat een doodlopend gedeelte ontstaat aan het nieuwe kanaal. In dit gedeelte is een nieuwe loswal geprojecteerd ter vervanging van de huidige loswal nabij het industrieterrein. De juiste plaats van de loswal ten opzichte van de olietransportleidingen en goederentransportbanden van de belanghebbende bedrijven wordt nog nader uitgewerkt.

Overige werken

In het algemeen worden de bestaande verbindingen gehandhaafd door verlegging of aanpassing. Dit geldt volledig voor de interlokale verbindingen zowel in Oost-West richting – Rijksweg 58, de spoorweg, Rijksweg 258 en de Postweg –, als in Noord-Zuid richting – Wemeldinge-Postbrug-Vlakebrug-Hansweert-West. De overige wegen hebben veelal meer dan één functie: landbouwverkeer, ontsluiting van percelen en onderhoud van dijken. Ook hier wordt in principe elke functie gehandhaafd. In overleg met de ruilverkaveling Kapelle-Wemeldinge zijn een aantal wegen overbodig verklaard, wegens gewijzigde functies. Het wegennet wordt daar aangepast.

Het aantal en de plaatsen van de vereiste kruisingen van wegen onderling en van wegen met waterlopen is in overleg met de betrokken beheerders vastgesteld.

Ten noorden van de Vlakebruggen blijven de aanpassingen van kabels en leidingen beperkt, omdat de in 1973 nieuw gelegde zinkers ter plaatse van de leidingenstrook reeds bemeten



waren op een verbreed kanaal. Voor kabels en leidingen in wegbermen zullen geringe aanpassingen nodig zijn

In het gebied ten zuiden van de Vlakebruggen liggen dertien kruisingen van kabels en leidingen met het kanaal. Al deze kruisingen zullen moeten worden vervangen en verplaatst, wat ook wijzigingen in de landtracés veroorzaakt. Voor de nieuwe kruisingen is in principe het gedeelte tussen de Vlaketunnel en de noordelijke beëindiging van de geleidewerken van het sluiszencomplex beschikbaar.

Van de drie nu bestaande bovengrondse hoogspanningsleidingen dienen de zuidelijke en de noordelijke aangepast te worden door verplaatsing en door vervanging van enkele masten door hogere. De middelste leiding, de 380 kV-hoogspanningsleiding bij de Vlaketunnel, is reeds op juiste hoogte en breedte.

Aan de westzijde van het kanaal is de ruilverkaveling Kapelle-Wemeldinge in uitvoering. De afwatering van het polderwater verloopt nu via het kanaal. De ruilverkaveling voorziet in de opheffing van het gemaaltje en in samenvoeging van het noordelijke en zuidelijke afwateringsgebied middels een watergang.

Het oorspronkelijke tracé van deze watergang ligt ongelukkig ten opzichte van de nieuw ontworpen opritten naar de verhoogde Vlakebruggen. In overleg met de ruilverkaveling is een voor alle belanghebbenden gunstig nieuw tracé getrokken. In dit tracé worden Rijksweg 258, de Molenweg en de spoorbaan gekruist. De nieuwe duikers werden door de Rijkswaterstaat gebouwd. Rond de jaarwisseling 1980-1981 kon de nieuwe watergang al worden gebruikt.

Aan de oostzijde van het kanaal bevindt zich het gemaal De Moer, waardoor de Yerseke Moer loost op het kanaal. Door de verhoging en de

Overzicht van de werken tot verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland.

verbreding van de nieuwe kanaaldijken is verplaatsing van het gemaal nodig, en moet de opvoerhoogte worden aangepast. In afwachting van de resultaten van een op handen zijnde ruilverkaveling in de Yerseke Moer wordt voorschijds gerekend op een achterwaartse verplaatsing van het gemaal. Bij uitvoering van deze ruilverkaveling is het niet denkbeeldig dat het gemaal verplaatst wordt naar Vlakte, en wel op grond van cultuurtechnische overwegingen.

In Hansweert wordt het bestaande tracé van het kanaal verlaten. Het zuidelijkste deel van het thans bestaande kanaal wordt afgesloten van de Westerschelde, en voor een deel bestemd als specieberg. Uit economische overwegingen wordt het bestaande sluizencomplex slechts ten dele geslecht; verder wordt het opgenomen in de specieberg. De detaillering en het toekomstige gebruik van de speciebergplaats geschiedt in overleg met de gemeente.

Ook bij Wemeldinge wordt via de open kanaalarm naar de Oosterschelde het bestaande tracé verlaten. Een deel van het oude kanaal – met aan de nieuwe omstandigheden aangepaste dijken – wordt gehandhaafd ten behoeve van de nieuwe loswal. Het bestaande sluizencomplex komt in zoverre te vervallen dat de hoogwaterkering wordt vervangen door een dam ongeveer ter plaatse van de huidige Bonzijbrug. Over het gebruik van de aldus ontstane voorhaven wordt nog overleg gepleegd met de gemeente Kapelle. Handhaving van één van de sluizen ten behoeve van een binnenhaven met stagnerend peil behoort tot de mogelijkheden. Dit laatste zou winterberging van jachten mogelijk maken. Het ligt echter in de bedoeling dit gehele gebied aan de gemeente Kapelle over te dragen; de financiële consequenties zijn dus vooral voor deze gemeente van belang.

Het gedeelte van het oude kanaal tussen de afdamming bij de Bonzijbrug en de afdamming bij de nieuwe loswal wordt een specieberg, en wel zo dat hier uitbreiding van het bestaande industrieterrein mogelijk wordt.

Uitvoering

In de tracé-nota werd als minst ongunstige plaats voor de specieberg de Prinsenplaat in de Oosterschelde genoemd. Naarmate het grondmechanische onderzoek vorderde, werd het gebruik van de Prinsenplaat voor specieberg minder aantrekkelijk: de benodigde oppervlakte bleek bij gelijkblijvende put-inhoud groter te zijn dan verwacht en daarmee ook de benodigde omdijkingslengte; de bruikbaarheid van het uitkomende zand viel tegen; de kosten stegen ook door de uitspraak van de regio dat

na specieberg de oorspronkelijke toestand van het slik hersteld moest worden. Dit alles leidde tot het bestuderen van alternatieven voor de grondbalans. Rekening houdend met de bruikbaarheid van de bij de kanaalverbreding vrijkomende specie werd toen gekozen voor een grondbalans waarbij zoveel mogelijk werk met werk gemaakt wordt.

De benodigde specie wordt – met name het zand voor de spoorwegopritten – verder uit de Westerschelde betrokken. De onbruikbare specie wordt in de Westerschelde geborgen. De verhouding tussen halen van en brengen naar de Westerschelde is hierbij min of meer in evenwicht. Een consequentie van deze keuze is wel dat de grondwerken van het gehele project veel meer aan elkaar gekoppeld zijn.

Rekening houdend met de bruikbaarheid van de vrijkomende specie en op basis van de aan de nieuwe kanaaldijken te stellen eisen is een algemeen dijkprofiel vastgesteld. Daarna werd een schema voor het grondverzet gemaakt, waarna de bestekken konden worden ingedeeld en gefaseerd.

Gaan we er van uit dat de grondaankoop in 1981 kan zijn voltooid, dan is het mogelijk om in 1986 de eerste schutkolk van het sluizencomplex gereed te hebben voor de scheepvaart. Een jaar later kan de tweede kolk operationeel zijn.

Onder druk van de economische omstandigheden zal het gedeelte ten noorden van de Vlaktebruggen twee jaar verschoven worden. Vertraging van de bouw van het sluizencomplex – en daardoor langer handhaven van de slechte waterkering van het huidige sluizencomplex – is uit veiligheidsoverwegingen niet verantwoord. In de tracé-nota is voor de gekozen variant een raming van kosten opgenomen ad f 520 miljoen. Dit bedrag was in 1980 toegenomen tot f 550 miljoen. De toeneming is een gevolg van de prijsstijgingen sinds 1977.

Toch is intussen op een aantal onderdelen winst geboekt door minder kostbare methodes of constructies toe te passen. Al eerder werd de reitourbemaling bij de bouw van het sluizencomplex genoemd. De verplaatsing van de huidige verkeerspost Hansweert naar de nieuwe oostelijke havenmond omvat geen vernieuwing van het gebouw; ook de keuze van 4 roldeuren in plaats van 16 in het oorspronkelijke ontwerp, heeft bijgedragen tot een beperking van de kostenstijgingen.

Bij de aanleg en na het gereedkomen van de Oosterschelde-kering treden aan beide zijden ontgrondingen op. In hoeverre zulke ontgrondingen de stabiliteit van de constructie in gevaar kunnen brengen zal afhankelijk zijn van de vorm en de grootte van de ontgrondingskuilen en van de grondmechanische gesteldheid van het bodemmateriaal.

Een ontgrondingsproef bij de spuisluis in de Brouwersdam

De grootte van de ontgrondingen die kunnen optreden is bepalend voor de benodigde lengte van de bodembescherming en voor de maatregelen die moeten worden getroffen bij de beëindiging van de rand van de bodembescherming. Hoe langer de bodembescherming, des te geringer zal de ontgrondingsdiepte zijn. Kennis van de absolute grootte van de aanzet-hellingen en van de diepte van de ontgrondingskuilen is derhalve van groot belang voor het ontwerp van de kering.

Tot nog toe was men voor de oplossing van de concrete ontgrondingsproblemen aangewezen op hydraulisch modelonderzoek en de daaruit afgeleide empirische relaties.

Op grond van het systematisch twee- en driedimensionaal ontgrondingsonderzoek is gebleken dat deze relaties, binnen de modeltechnische grenzen, een min of meer abstract karakter hebben: er wordt immers altijd uitgegaan van een permanente stroming, er wordt geen aanvoer van bodemmateriaal verondersteld, de gebruikte materialen zijn steeds zand, bakeliet en polystyreen en de waterdiepte varieert van 0,25 tot 1,5 m. Deze relaties en de uitkomsten daarvan zijn echter onvoldoende geverifieerd aan de werkelijkheid. Wel werden de niet permanente water-beweging en de materiaal-aanvoer die in werkelijkheid optreden, tot nu toe door aanvullende rekenmethoden alsnog ingebracht. Toetsing van de absolute waarde van deze model- en rekenmethodiek is echter slechts mogelijk door een combinatie van op elkaar afgestemd model- en natuuronderzoek.

Bij de verschillende afsluitingswerken in het Deltagebied is evenwel veelvuldig gebruik gemaakt van ontgrondingsmodellen om het verloop van de ontgrondingen in de tijd

gedurende de bouwwerkzaamheden te voorspellen. Een betrouwbare toetsing van het modelonderzoek in de natuur kon eigenlijk nooit goed worden uitgevoerd omdat de werkelijke situatie altijd op de een of andere wijze van de in het model onderzochte situaties afweek.

Om zo'n toetsing mogelijk te maken werd besloten proeven op schaal 1:1 uit te voeren bij de spuisluis in de Brouwersdam en deze proeven vervolgens in een geometrisch gelijkvormig model te reproduceren.

Het hier bedoelde onderzoek bestond eigenlijk uit twee proeven; allereerst een ontgrondingsproef bij de huidige bodemgesteldheid en dan uit een ontgrondingsproef bij kunstmatig aangebracht homogeen zand. Bij beide proeven was het mogelijk het verloop van het ontgrondingsproces en dan met name de kuilvorm, de maximale diepte en de aanzethelling van de kuil, waar te nemen als functie van de verschillende stroomtoestanden die men bij de sluis aantreft: vooral de hoofdstroom, de wervelstraten en de zijneren.

De bodemgesteldheid bij de Brouwersdamsluis heeft bepaalde punten van overeenkomst met de bodemgesteldheid in het tracé van de Oosterschelde-kering en de tracés van de Philips- en de Oesterdam. De proef kan dus informatie verschaffen over het ontgrondingsbeeld in een werkelijke situatie en over de erbij behorende problemen, speciaal die met betrekking tot de stabiliteit van de bodembescherming.

De proefopstelling in de sluis in de Brouwersdam bood voor het eerst gelegenheid om onder beheersbare omstandigheden met homogeen zand een ontgrondingsproef te doen op schaal 1:1. Bij de tijdschaal van

ontgrondingsproeven in het model bleef het altijd onzeker welke invloed er uitging van de vertrekking van het model. De beste mogelijkheid om daar iets over te weten te komen bood tot nu toe de grote ontgrondingsgoot in het Waterschapkundig Laboratorium 'De Voorst'. Hier kon ook ongestoord de ontwikkeling van aanzethellingen worden waargenomen.

Een vergelijking van de proefresultaten in de werkelijkheid en in de stroomgoot in De Voorst leert ook welke afwijkingen er mogelijk zijn tussen de geïdealiseerde homogene bodemtoestand en één bepaalde werkelijke toestand.

Beschrijving van de proeven

Een belangrijke overweging bij de keuze van de sluis in de Brouwersdam voor deze proef was, dat de hydraulische randvoorwaarden, vooral de waterstanden en debieten, er goed onder controle kunnen worden gehouden. De spuisluis wordt, wegens beheers- en milieu-eisen, alleen in de periode oktober/februari continu gebruikt. De effectieve stroomtijd is echter aanzienlijk korter en bedraagt maar 100 dagen.

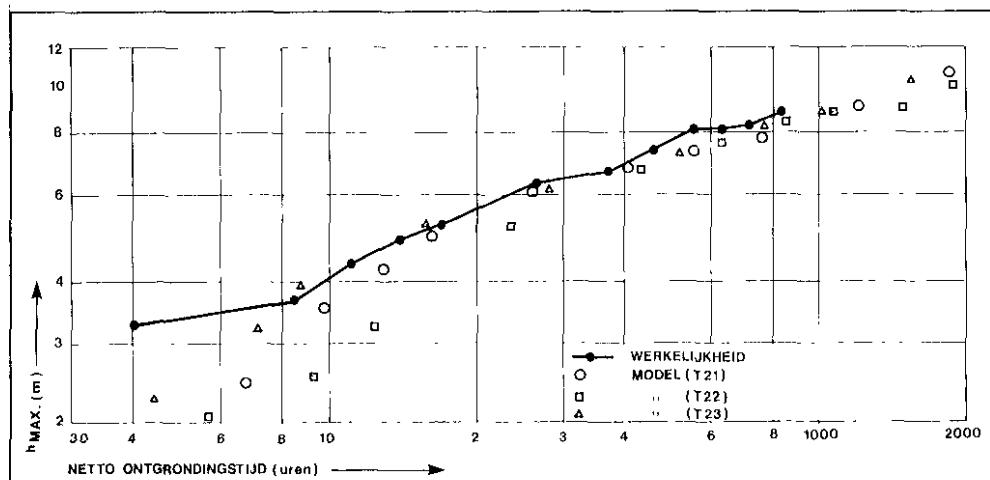
Er zijn namelijk extra lozingsperioden naar zee nodig voor de peilbeheersing op het Grevelingenmeer; ook wordt de sluis dichtgezet bij stormomstandigheden en soms voor peilingen en nog andere doeleinden. Door middel van oriënterend modelonderzoek werd vastgesteld welke maatregelen in de uitstroomconstructie van de sluis moest worden getroffen om na 100 dagen een ontgrondingskuil van 10 m te verkrijgen. Daarbij moest uiteraard worden voorkomen dat het kunstwerk zelf gevaar zou lopen.

Gekozen werd voor het aanleggen tussen twee damwanden, van een 5,4 m hoge drempel –

de helft van de waterdiepte – in de uitstroomconstructie, op 65 m afstand van de rand van de bodembescherming en op 60 m van de uitlaat van de kokers. Langs de damwanden werden op deze drempel twee schermen geplaatst voor het opwekken van wervelstraten. De oorspronkelijke bodembescherming werd 10 m verlengd en de rand verzwaaard door middel van een randbalk. De eerste proef, uitgevoerd in december 1979 en januari/februari 1980, had betrekking op de bestaande, niet-homogene bodem. Die bestond uit cohesieloos zand met enkele dunne kleilagen. De gemiddelde korrel diameter over de beschouwde ontgrondingsdiepte bedroeg 0,25 mm.

De tweede proef werd uitgevoerd in de periode oktober 1980 t/m februari van 1981, met homogeen zand. De kuil uit de eerste proef werd verruimd en aangevuld met min of meer

Fig. 1. Tijd-ontgrondingslijn in het model en in werkelijkheid.



homogeen zand uit de omgeving. De drempel werd verhoogd tot 6,5 m. Om het mogelijk te maken dat de aanzwelling zich in het homogene zand zou ontwikkelen, is de bodembescherming nog 10 m extra verlengd.

Voor de waterstandsmeting waren meetpalen aanwezig aan weerszijden van de sluis. Het debiet werd met akoestische debietmeters gemeten. Voor de proef konden slechts de inlaatperiodes worden gebruikt. De debietvariatie bij een gemiddeld getij op zee liep van 0 tot 430 m³/s. Het peil van het Grevelingenmeer bedraagt gemiddeld N.A.P. -0,2 m.

In het vervolg worden het verloop en de resultaten van de eerste ontgrondingsproef toegelicht.

Op 19 november 1979 werd de spuisluis geopend voor de eerste inlaatperiode. Uit de peiling die op die dag is uitgevoerd vóór het openen van de sluis, blijkt dat er reeds een maximale ontgroning aanwezig was van 2,4 m ten opzichte van de ligging van de rand van de bodembescherming op N.A.P. -11 m. Dit was het resultaat van ontgroningen tijdens de verversingsperiode van 1978-1979.

Gedurende de eerste twee weken van de proef, tot 3 december, verliep de ontgroning nogal traag, hetgeen werd geweten aan de aanwezigheid van een kleilaag van 30 cm dikte.

Toen de sluis op 29 februari 1980 werd gesloten, bleek dat na 844 uur netto inlaattijd een maximale ontgrondingsdiepte van 8,8 m was ontstaan ten opzichte van de ligging van de rand van de bodembescherming op N.A.P. -11 m. Van de totaal 202 getijden tussen 19 november 1979 en 29 februari 1980, werd 141 maal ingelaten. Gedurende 61 getijden werd de sluis niet geopend wegens peil- of onderhoudswerkzaamheden.

Voor een goede vergelijking van de proeven in de natuur en in het model, met name in het begin van de proeven, moest de invloed van de kleilaag op het ontgrondingsproces worden geëlimineerd door een fictief startpunt van het ontgrondingsproces in te voeren. Hiervoor was een extrapolatie van de tijdontgrondingslijn benodigd met behulp van de resultaten van het modelonderzoek. Het fictieve startpunt van de natuurproef moest op 25 uur netto ontgroningstijd na het werkelijke startpunt op 19-11-'79 worden gekozen, dus op 21-11-'79 te 24.00 uur.

Naderhand zijn de proeven in het model met een schaal 1 op 30 gereproduceerd, met een permanente stroming. Op grond van de bestaande relaties die het ontgrondingsproces beschrijven, zijn de model-resultaten naar de

natuur vertaald, rekening houdend met het in werkelijkheid optredende getij. Wegens modeltechnische beperkingen was het niet mogelijk de natuurproef precies in het model te reproduceren.

In het model zijn drie proeven uitgevoerd ter reproductie van de natuurproef en wel bij permanente stroom met drie verschillende debieten: 404, 384 en 370 m³/s. Dit diende om de invloed van het getij na te gaan op het stroombeeld en op de ontgroningen.

Uit het uitgevoerde onderzoek in het model en in de natuur kan worden geconcludeerd dat het model in grote lijnen een zeer goede voorspelling van het gebeuren in de werkelijkheid kan geven, mits de randvoorwaarden van getij, stroombeeld en bodemgesteldheid nauwkeurig bekend zijn.

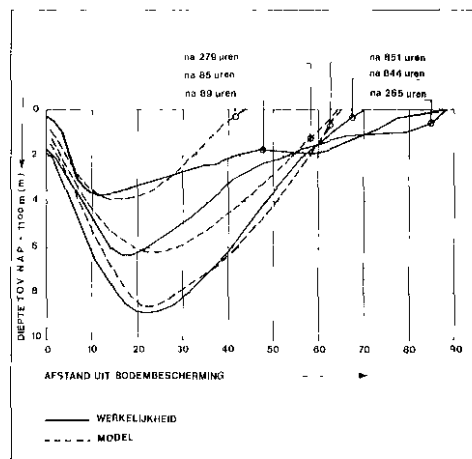


Fig. 2 Kuilprofielen.

Enkele resultaten van het onderzoek worden vervolgens nog kort samengevat. De tijdontgrondingslijnen voor model en natuur, zoals in figuur 1 weergegeven, laten zien dat bij het begin van de proef een zeer bevredigende overeenkomst werd geconstateerd.

In figuur 2 zijn kuilprofielen voor het model en de natuur weergegeven op drie verschillende tijdstippen. De profielen komen goed met elkaar overeen, behalve op het eerste tijdstip, waar de kuil in werkelijkheid veel langer is dan in het model. Dit wordt toegeschreven aan de aanwezigheid van de kleilaag in het begin van de proef, waardoor de ontgronding zich verder benedenstrooms moest uitbreiden. Op latere tijdstippen, toen de kleilaag was doorbroken, is dit effect langzaam verdwenen.

Opvallend is verder de zeer steile benedenstroomse helling die tegen het einde van de proef zowel in het model als in werkelijkheid wordt gevonden. De bovenstroomse helling aan het eind van de proef is in het model ongeveer gelijk geweest aan die in de natuur, namelijk 1:2 à 1:3.

In het model verlopen de aanzethellingen in de tijd wat regelmatigere dan in de natuur, met een tendens naar steiler wordende helling. De steilste hellingen in de natuur, 1:1,5 à 1:2,0 worden echter niet door het model weergegeven. Het onregelmatige verloop dat de aanzethellingen in de tijd vertonen in de natuur, zou kunnen worden verklaard uit een soort dynamisch evenwicht, waarbij ze de neiging zouden hebben steiler te worden totdat de helling van het natuurlijke talud wordt bereikt en er derhalve, met korte tussenpauzen, kleine afschuivingen plaatsvinden, tot de aanzethelling weer tijdelijk flauwer is. De grondgesteldheid speelt een belangrijke rol in het ontgrondingsproces. Met name de voorwaarde dat het bodemmateriaal uit cohesieloos materiaal bestaat is van belang, omdat cohesie het ontgrondingstempo remt.

In het onderhavige geval is uit een uitgebreid bodemonderzoek gebleken, dat op verschillende diepten doorlopende kleilaagjes voorkwamen tot dikten van 30 à 40 cm. De invloed kon niet in de vertaling van modelresultaten naar de werkelijkheid meegenomen worden. Dit laatste was de voornaamste aanleiding voor de uitvoering van de tweede natuurproef met homogene bodemgesteldheid. De resultaten hiervan en de reproductie ervan in het model zijn eind 1981 te verwachten. We zullen daar in 1982 verslag van doen.

Samenvattingen

Onderzoek naar de funderingsmatten voor de Oosterschelde-kering

De funderingsmatten onder de pijlers van de Oosterschelde-kering bevatten drie filterlagen, die onder alle omstandigheden van elkaar gescheiden moeten blijven. De matten zijn daarom opgebouwd uit drie lagen korven, door kunststofweefsels of -vliezen van elkaar gescheiden. Het geheel wordt gedragen door een met staalkabeltjes versterkte 'Jumbo'-mat. Pennen houden de hele constructie bij elkaar. Na de fabricage worden de matten opgerold, versleept en weer afgerold op de bodem. De constructie is uitvoerig getest op sterkte onder alle omstandigheden. De rek en de optredende krachten werden omstandig gemeten, en men is er zeker van dat de mat heelhuids zal aankomen op de grond. De sterkte heeft echter ook stijfheid veroorzaakt, waardoor de kans niet uitgesloten was dat er onder de mat holle ruimte zou overblijven waardoor bodemmateriaal uitspoelde. Uit onderzoek is nu gebleken dat dit verschijnsel onmiddellijk onder de pijlervoet niet zal optreden wanneer de bodem voldoende vlak is gezogen en de mat wordt verdicht. In de overgangszone naar de stortebedden zal aanvankelijk wel bodemmateriaal worden verplaatst, maar de mat zakt vervolgens bij, en dat stopt het transport.

De verankering van het materieel in de sluitgaten van de Oosterschelde-kering

Vanwege de bodembescherming die aan weerszijden van de Oosterschelde-kering is aangebracht, zal er bij de afsluiting van de stroomgeulen straks niet conventioneel geankerd kunnen worden door de vele werk-

schepen. In 1978 werden daarom al 59 vaste ankerpalen in die sluitgaten geheid; in 1981 bleken er nog 18 aan te moeten worden toegevoegd.

De ankersituaties worden vooraf bestudeerd in de plotkamer in de Roompothaven, waar ook de actuele ankersituaties op wandkaarten worden bijgehouden. Het verstellen van een ankerdraad kost ongeveer een uur, en aangezien verscheidene combinaties van werkschepen 16 ankerbehandelingen vergen om te worden verplaatst, worden zulke operaties zeer tijdrovend, temeer daar ze slechts bij snelheden van 1,5 m/s of minder kunnen worden uitgevoerd, dat wil zeggen gedurende minder dan de helft van het getij.

Een nieuw gespecialiseerd ankerbehandelingschip, de 'Arca', zal in deze situatie verlichting brengen; het werkt de ankerbehandeling vlotter af, en het heeft ook krachtiger motoren, zodat het ook bij hogere stroomsnelheden kan blijven werken.

Centrifuge- en wrijvingsproeven voor de Oosterschelde-kering

De voorspelling van het gedrag van de Oosterschelde-kering onder zware storm veronderstelt een grondige kennis van de grondmechanica ter plekke. Eén van de middelen om die te onderzoeken is de centrifuge-opstelling van de Universiteit van Manchester, waar grondmodellen met hoge snelheid kunnen worden rondgeslingerd, wat tot spanningsniveaus leidt, gelijk aan die in de werkelijkheid, terwijl ondertussen allerlei metingen worden gedaan. In de periode 1975-1979 zijn in opdracht van de Rijkswaterstaat 45 centrifugeproeven uitgevoerd, de meeste ten dienste van de

parameterstudies voor de pijlers in de Oosterschelde-kering. Ook werden er voorspellingen geformuleerd aangaande de uitkomst van fysische proeven met een schaal 1:10 te Kats. Een van de andere onderzoekstechnieken is de fysische modelproef. Zo is de invloed van de wrijving op de horizontale verplaatsing van de pijlers onderzocht in een proefopstelling te Schelphoek. Er bleek een wrijvingscoëfficiënt aanwezig van 0,67, terwijl 0,3 al voldoende zou zijn.

Golven in de mond van de Oosterschelde

Golven voor de Nederlandse kust zijn meestal afkomstig van windvelden op de Noordzee of de Noorse Zee. De richting waaruit ze komen kan een sterke uitwerking hebben op hun hoogte: uit noordelijke richtingen kan de strijklengte van de wind die ze opwekt, 2500 km bedragen.

Hoe hoger de waterstanden, des te hogere golven kunnen er voorkomen. Het kustgebied werkt overigens als een filter dat de golfhoogten beperkt en kleine veranderingen veroorzaakt in de golfrichting. *Daar staat tegenover dat lokale wind weer energie toevoegt aan het golfbeeld.* Men onderzoekt de factoren die in het spel zijn en de relaties ertussen in het wiskundig model FILTER.

De golfvoorspelling maakt een essentieel onderdeel uit van de randvoorwaarden voor de Oosterschelde-kering.

Bemaling van de bouwput voor de Krammersluizen

Wanneer men een kunstwerk bouwt in een bouwput die op zijn beurt weer in het water ligt, moet men die put droogmaken en drooghouden. Daartoe moet een bronbemaling worden geïnstalleerd en gedurende de werkzaamheden draaiende worden gehouden. Daarnaast installeert men een open bemaling in die gevallen waarin de bouwput aanvankelijk vol water staat. Vooraf worden bemalingsadviezen en een begroting opgesteld.

Bij de bouwput voor de duwvaartsluizen in de Philipsdam heeft men een meer dan gebruikelijk aantal peilfilters en debietmeters aangebracht, om nu ook eens in algemene zin de bijzonderheden van een bemaling te kunnen bestuderen. De locatie op de Plaat van de Vliet had als grondmechanische bijzonderheid dat er twee wattervoerende pakketten waren met daartussen een min of meer water-afsluitende tussenlaag. Omdat alleen het onderste grondpakket werd bemalen, moest de tussenlaag met zandpalen worden doorboord.

Van al het weggepompte water liep 40% via de bronbemaling, en slechts 60% over de open bemaling.

Verbetering van het Kanaal door Zuid-Beveland

Het Kanaal door Zuid-Beveland zal worden verbeterd in samenhang met de overige werken in de Oosterschelde. De sluis bij Wemeldinge, aan de noordzijde, komt te vervallen, zodat het gedempte getij voortaan ook zal doordringen op het kanaal. De scheepvaartweg wordt geschikt gemaakt voor vierbaksduwvaart. *In verband daarmee en met de* getij-omstandigheden moet het kanaal worden verbreed en uitgediept. De dijken erlangs worden verhoogd. De sluis in het zuiden, bij Hansweert, wordt op een andere plaats geheel herbouwd, met afmetingen gelijk aan die van de Krammersluizen in de Philipsdam, en met een waterkerende hoogte overeenkomstig de eisen van de Deltawet.

Een ontgrondingsproef bij de spuisluis in de Brouwersdam

Tot nu toe was men voor de oplossing van vraagstukken met betrekking tot de ontgrondingen bij kunstwerken uitsluitend aangewezen op hydraulische modelproeven. Niet alleen biedt de vertaling van proef naar werkelijkheid altijd een onzekerheid, ook het feit dat in modelproeven wordt geabstraheerd van de feitelijke werkelijkheid veroorzaakt onzekerheid over de vraag wat de proef nu eigenlijk betekent. Aan de binnenzijde van de spuisluis in de Brouwersdam is recentelijk een ontgrondingsproef in de natuur gedaan, dus op schaal 1:1, die naderhand in het model werd herhaald. Eigenlijk bestond de natuurproef uit twee delen: een proef met de natuurlijke bodem, gevolgd door een proef met kunstmatig aangebracht homogeen bodemmateriaal. Alleen van de eerste proef en van de modelnabootsing worden de resultaten hier besproken; ze zijn niet ongunstig voor het model.

Summaries

Study into the behaviour of the foundation mattress of the Oosterschelde barrier

The foundation mattress under the piers of the Oosterschelde barrier consists of three graded filter layers, which must remain separated under all conditions. To this end, the mattress has been composed of three separate layers of steel wire mesh frames, separated from one another by synthetic fabrics or synthetic diaphragms. The three filter layers are supported by a 'Jumbo' mattress, which has been reinforced with steel cables. Steel 'locker' bars pin the whole construction together. After fabrication, the mattress is rolled over a drum, towed to its position and rolled out over the sea bed. The strength of the mattress has been tested extensively under all conditions. Strain and stresses on the mattress during the process have been thoroughly checked to ensure that the mattress will land safely on the sea bed. However, the reinforcement has made the mattress rather rigid, which could mean that voids could occur under the mattress and, as a consequence, sediment could be flushed out. Tests have shown, however, that this phenomenon will not occur directly under the pier, provided the sea bed has been levelled sufficiently and the mattress compacted. In the transitional zone towards the aprons, the sediment will, at the initial stages be moved, but after the mattress has gradually adjusted itself to the sea bed, this transport will cease.

Anchorage of the equipment in the closure gaps of the Oosterschelde barrier

The bed-protection constructed on both sides

of the Oosterschelde barrier will prevent the normal anchorage of the many working vessels when the channels are closed. Therefore in 1978, 59 fixed anchor piles were driven into closure gaps to which another 18 had to be added in 1981.

The site of the anchorages will be studied in advance in a plotting room, located at the Roompot-harbour, where the actual position of the anchorages will be kept up to date on maps. Changing the position of the anchor-hawsers takes approximately one hour and, as various combinations of working vessels require 16 anchor-movements such operations are highly time-consuming, in particular, as these actions can only be executed at speeds of 1.5 m/s. or less, i.e. in less than half the tidal period.

A new, specialised, vessel for these anchoring activities, the 'Arca', will simplify this task. The vessel has been equipped with more powerful engines and can remain active during higher flow velocities and it speeds up the anchorage procedures.

Centrifugal and frictional tests for the Oosterschelde barrier

To be able to predict the behaviour of the barrier during a heavy storm, profound knowledge of the local soil mechanics is required. One of the places where the condition of the soil can be investigated is the centrifuge-centre at the University of Manchester, where test models are centrifuged at high speeds equal to the stress levels in the actual situation. During this process, a great variety of measurements can be taken.

During the period 1975–1979, 45 of these centrifugal tests were undertaken for Rijkswaterstaat, most of which were for the parametric studies for the piers of the Oosterschelde barrier. Predictions were also made regarding the outcome of physical tests on a scale of 1:10 at Kats. One of the other forms of research is the physical model-test. By this means, the shear stress on the horizontal displacement of the piers was investigated in a physical model at Schelphoek. The friction co-efficient proved to be 0.67, whereas 0.3 would have been sufficient.

Waves at the mouth of the Oosterschelde

The waves along the Dutch coast are mostly caused by winds on the North Sea or on the Norwegian Sea. The height of the waves is strongly influenced by the direction of the wind: coming from the North the wind-shear can affect the waves over a distance of 2,500 km. The higher the water-levels, the higher the waves that are generated. The coastal area, however, acts as a filter, limiting the wave-heights and causing small changes in the wave-direction. On the other hand, the local wind will add energy to the wave-pattern. The factors concerned and the relations between them are being studied in the mathematical FILTER model. The prediction of the waves forms an essential part of the boundary conditions set for the Oosterschelde barrier.

Drainage of the construction-pit for the 'Krammer' locks

When a structure is built in a construction-pit, which is itself surrounded by water, it has to be pumped dry and kept dry. To this end a pumping-station must be installed and kept working during the entire operation. In addition, other drainage equipment must be available when, in the initial stages, the construction-pit is still completely full of water. In advance, instructions for the pumping procedures and an estimate of the costs will be prepared. The construction-pit for the push-tow locks in the Philips Dam has been equipped with more than the normal number of level gauges and discharge meters in order to study in general the peculiarities of a pumping operation. The location on the *Plaat van de Vliet* displays a peculiar soil mechanical phenomenon: there are two layers of water-bearing soil sandwiching an almost impermeable layer. Sand piles had to be driven through the intermediate layer

because only the lowest layer was drained. 40 percent of the water that was drained was done by filter-pumping and the remaining 60 percent by the normal de-watering process.

Improvement of the Kanaal door Zuid-Beveland

The Canal through South-Beveland will be improved, in conjunction with the other hydraulic engineering works in the Oosterschelde. The sluice on the northern side near Wemeldinge will no longer be used, thus enabling the reduced tidal action to penetrate the Canal. The shipping route will be made suitable for a train of four push-tow barges. As a consequence and also because of the tidal action, the Canal will have to be widened and deepened. The dikes along the Canal will be raised. The southern sluice, near Hansweert, will be rebuilt completely at a different location and be of the same dimensions as the sluices in the Krammer and the Philips dam; the height of the dam walls will be in accordance with the stipulations laid down in the Delta Law.

A scouring test near the discharge-sluice in the Brouwersdam

Up till now, for the solution of problems regarding scourings near structures, one has depended entirely on hydraulic model tests. Not only the fact that the translation of a test into the actual situation offers some uncertainty, also the fact that the data used in model tests are only abstracted from the actual situation causes uncertainty about the question of the intrinsic value of the test. Recently a physical scouring test has been performed on the inside of the discharge-sluice in the Brouwersdam, i.e. a test on the scale of 1:1, which was later repeated in the model. In fact, the physical test was divided into two parts i.e. a test with the natural bed-soil, followed by a test performed with artificial homogenous sediment. Only the results of the first test and of the model are discussed here. The outcome is not unfavourable for the model.

Vorderingen

in de periode 1 januari –
1 april 1981

A. De werken van het Deltaplan

Philipsdam

In de verslagperiode werd voortgegaan met het grondwerk ten behoeve van de verschillende onderdelen van het werk, zoals de jachtensluis, de duwvaartsluizen, het riolenstelsel noord, midden en zuid en de overbrugging. Ook het heiwerk voor de overbrugging en de grondkerende constructies aansluitend op het schuivengebouw van het riolenstelsel vorderde.

De omkading van het hoge bekken voor het zoet/zout-scheidingssysteem van de duwvaartsluizen wordt thans op de 5 m brede kruin bekleed met 20 cm dikke betonblokken en op de taluds bestort met 750 kg/m² stortsteen 10/60 kg. Na de sluiting van de omkading van het hoge bekken op 10 februari 1981, is dit bekken bij het eerstvolgende hoogwater via het lage deel in de omkading gevolgd. Hierbij is schade ontstaan aan het binnentalud en de kruin. Na evaluatie van het ontwerp is besloten de constructie zwaarder te dimensioneren. De vrijkomende oorspronkelijke verdediging van stortsteen zal worden gebruikt bij het herstel van door ontgrondingen opgetreden schade aan de verdediging van de noordelijke oever van het werkeiland.

Flakkeese Spuisluis

Op 29 juni 1979 heeft de
404

minister besloten een doorlaatmiddel in de Grevelingendam aan te leggen ter plaatse van de aansluiting met de Philipsdam. Dit doorlaatmiddel, de Flakkeese Spuisluis, wordt uitgevoerd als een hevel met 6 stroomkokers, elk met een doorsnede van 3,2 × 3,2 m. De sluis dient ter handhaving van het zoutgehalte in de Oosterschelde, met name tijdens de sluitingsfase van de compartimenteringsdammen. Er kan een zoute rondstroming mee worden gerealiseerd vanuit het Grevelingenmeer. Blijft het Grevelingenmeer na 1985 zout, dan kan de spuisluis functioneren als instrument ter regeling van de waterhuishouding in het zoute gebied; bij een zoet Grevelingenmeer kan de sluis onder de Philipsdam door worden verlengd naar het zoete Zoommeer. Inmiddels is de bemaling rond de bouwput voltooid en is de put op diepte gebracht. Hierbij moest een deel van de oude bodembescherming in het oorspronkelijke sluitgat van de Grevelingendam worden opgeruimd. Onderloopheids- en hoofddamwandschermen zijn aangebracht en de landhoofden van een viaduct in rijksweg 18 gestort.

Oosterdam

Het zandlichaam van het zuidelijk damvak van de Oosterdam is verder uitgebouwd, thans tot een lengte van 1600 m. De taludverdediging van koperslabblokken aan de westzijde van de dam is al aangebracht over een lengte van 1600 m, de verdediging van betonblokken over een lengte van 1400 m. Ongeveer aan het eind van het nu uitgebouwde zandlichaam is een dwarsdammetje aangelegd dat een verbinding vormt met de westelijke havendam van het Kreekraksluizencomplex. Deze hulpdam

was onder meer nodig om een dwarsstroming voor de kop van de uit te bouwen dam weg te nemen, die erosie van de bodem veroorzaakte.

Omkading van het Markiezaat

Op 23 december 1980 werd de Markiezaatsdam aanbesteed. Het werk is inmiddels opgedragen aan een combinatie van vier aannemers die een alternatieve aanbieder deden, voor een bedrag van f 15.002.000,-. De combinatie, die gaat werken onder de naam Combinatie Oesterdam Markiezaat (COM) bestaat uit Aannemers Combinatie Zinkwerken BV te Gorinchem, Baggermaatschappij Bos & Kalis BV te Papendrecht, Aannemers- en Handelsbedrijf Van Oord-Werkendam BV te Werkendam en Zinkcon BV te Werkendam. Op 2 februari 1981 is een aanvang gemaakt met het werk.

Begonnen werd met de aanleg van een bodembescherming ter plaatse van het geplande sluitgat. De verdediging aan de zuid- en oostzijde van de Molenplaat is opgenomen en weer verwerkt als zinksteen op de bodembescherming. Inmiddels is ook de aanleg van het zuidelijk gedeelte van de dam in uitvoering gekomen. Het benodigde zand wordt gezogen door drie hopperzuigers in een zandwinplaats in het Tholense Gat. Het zandlichaam is uitgebouwd over een lengte van 1100 m. Ten behoeve van de sluiting wordt een depot van 50 000 ton stortsteen 60–300 kg aangelegd in de werkhaven van het Kreekraksluizencomplex.

Spuikanaal Bath

De tijdelijke omlegging van twee leidingen in de zuidelijke leidingenbundel in de Kreek-

rakpolder is gereedgekomen. De definitieve oplevering vond plaats op 24 maart 1981. Op 19 februari 1981 werd het definitief verleggen van twee zinkerbundels aanbesteed. Gezien het specialistische karakter van de werkzaamheden zijn hiervoor vier aannemers uitgenodigd. De laagste inschrijver was het Aannemingsbedrijf Visser en Smit Hanab BV uit Papendrecht, voor een bedrag van f5.643.100,-. Inmiddels is men begonnen met de voorbereidende werkzaamheden voor de noordelijke leidingenbundel. De werkzaamheden worden uitgevoerd onder directie van het ingenieursbureau Lievense uit Breda.

Oosterschelde-kering

In de havens Roompot en Neeltje Jans wordt voortgegaan met het aanbrengen van twee vaste stalen steigers voor het afmeren van binnenschepen. Een drijvende steiger voor ankerbehandeling en reparatiewerken kwam gereed in haven Roompot. Hij bestaat uit een ponton van 38 x 7,5 m door een brug met de wal verbonden.

Twee vaste loswallen in de buitenhaven Neeltje Jans naderen hun voltooiing. De verharding van terreinen ten behoeve van steenopslag is nagenoeg gereedgekomen evenals de aanleg van toegangswegen. In totaal is thans op het damvak Geul en op de Roggenplaat 28 ha aan depot beschikbaar.

In samenwerking met de Provinciale Zeeuwse Energie Mij en het Energie Centrum Nederland wordt een voorstudie verricht naar het mogelijke gebruik van de bouwput. Schaar als energiespaarbekken, eventueel in combinatie met toepassing van windenergie. Omstreeks april zal een experimentele windmolen

van 55 kW worden opgesteld op het damvak Geul. Over de landschappelijke inpassing van de kering in het Zeeuwse landschap is een intern rapport verschenen. Vier alternatieve vormgevingen worden genoemd, met daarbij de mogelijke bestemmingen.

Nadat eerder de bouwput van de Roompotsluis werd drooggezet en grondverbeteringen werden aangebracht, is thans met het betonwerk begonnen. Vanwege bemalingsproblemen ontstond een werkachterstand van één maand, maar thans verloopt het werk voorspoedig; onlangs kon de eerste vloermoot gestort worden.

Het bestek voor het maken van havens op Noordland is in voorbereiding. Met de uitvoering zal eind dit jaar worden aangevangen.

Zowel de sluis als de havens dienen op 1 januari 1983 voor gebruik gereed te zijn. Op dat tijdstip zal namelijk de vaarweg door de Roompotgeul gesloten worden, vanwege bouwactiviteiten in de as van de kering.

In de verslagperiode werd 63 000 ton asfaltmastiek aangebracht in de sluitgaten. Waar nodig verwijderde het asfaltchip het overtollige zand met de aangebouwde jetinstallatie.

Met behulp van 1 of 2 hopperzuigers werd het cunet in de as van de kering verder aangevuld. Er werd 1 500 000 m³ schoon zand geklapt op dieptes van 30 à 40 meter. Eind maart kwam dit werkonderdeel gereed. Bij controle bleek dat ter plaatse van pijlervakken nog sporen van klei aanwezig waren, waardoor niet voldoende kon worden verdicht. Deze kleiresten moesten worden verwijderd door de dustpanzuiger. Daarna werd dit gedeelte van het cunet weer met schoon

zand aangevuld en met een grindlaag afgedekt.

In de stroomgeulen werd het verdichtingswerk voortgezet. Doordat de stagnaties teruglopen, kon het geplande schema over het algemeen worden aangehouden en verliep het werk goed. Wel moest worden overgegaan op een drielooptegendienst.

Met de damaanzetten aan de noord- en de zuidzijde van de Roggenplaat is medio maart een aanvang gemaakt.

De bouwkundige werkzaamheden voor de filtermattenfabriek zullen 1 april 1981 gereed zijn, behalve het afsproeien van de wegen.

De meest gecompliceerde machine, de penneninbreng-, borg- en afknipinstallatie is 17 maart 1981 opgesteld en wordt nu afgemonteerd. De constructiewerken en de overige installaties van de fabriek zijn klaar, zodat 30 maart 1981 gestart kon worden met het proefbedrijf. Voordat met de fabricage van proefmatten begonnen wordt, zullen de diverse installaties namelijk afzonderlijk beproefd worden. Ook worden de wiggengietinstallatie, de houdlieren, de centrerinrichting en de waterhydrauliekinstallatie bij de loswal nog nagelopen.

Voorzien wordt dat deze installaties niet voor april en mei 1981 gereed komen. De voortgang van het proefbedrijf wordt niet beïnvloed door deze vertraging bij het gereedkomen van de loswalinrichting, aangezien in feite de leverdatum van de zinkbalken en de rollen bepalend is.

De elektrotechnische werkzaamheden zijn in een vergevorderd stadium. Het wachten is de oplevering van de installaties.

De aanvoer van breuksteen uit de Duitse groeven bedroeg in het eerste kwartaal 1981 97 000 ton.

Uit de Finse groeve werd begin januari nog één ponton aangevoerd met 18 500 ton steen 300/1000 kg; daarna werd de aanvoer gestopt vanwege zware ijsgang. In het tweede kwartaal 1981 wordt de aanvoer uit Finland hervat.

Op 4 februari 1981 is het middendeel van het casco van de 'Cardium' met goed gevolg te water gelaten en dezelfde dag nog versleept naar het grote dok te Kiel-Gaarden. In dit dok worden de zijsecties aangebouwd. Medio 1981 wordt het casco naar Nederland versleept voor de verdere afbouw van de mattenlegponton; dan worden de baggerladder, de lieren, het dekhuis, de afzink-, ladder- en verdichtingsbokken, het mattenrolwerkbordes en de verdichtingsinstallatie gemonteerd. Voor het aanbrengen van grindbestortingen rondom de funderingsmatten wordt het asfaltchip 'Jan Heijmans', eigendom van Bitumarin B.V., uitgebreid tot grindstort. Het casco van het asfaltchip wordt verbreed tot 39 m en voorzien van voorraadsilo's, een transportsysteem, een stortpijp met aan de onderzijde een opschooninstallatie en een doseerinstallatie. Het merendeel van de bouwingswerkzaamheden is inmiddels opgedragen aan in Nederland gevestigde bedrijven.

Op het proeenterrein te Schelphoek werden de proeven met de rolstrooier afgerond. Ook de proeven met betrekking tot de aansluiting van de funderingsmat op de ondergrond kwamen gereed. Voorts werd een aanvang gemaakt met het beproeven van een zogenaamde zachte kubel, een stortemmer van flexibel materiaal, die grote kluiten asfaltbeton tegen de

pijlers moet kunnen aanbrengen zonder ze te beschadigen. In de stroomgoot te Lith wordt begonnen met proeven om de rolstrooier verder op schaal te beproeven in stromend water. In Kats werden verdichtingsproeven uitgevoerd op de funderingsmat en op de grindzak rond de pijlervoet. Proeven in verband met de vervorming van de funderingsmat tijdens het afzinken staan nog op het programma. De bouw van de pijlers vordert gestaag; er is enige voor-sprong op de planning. Alle 19 pijlers in compartiment I van de bouwput Schaar zijn op hoogte en worden verder afgewerkt, opdat in augustus de inundatie plaats kan vinden. Daarna zal de dijk doorgebaggerd worden. Ter plaatse van de doorbaggering wordt een afmeersteiger voor het hefschip gebouwd, zodat dit vaartuig rond de jaarwisseling op de Oosterschelde ontvangen kan worden voor een proefperiode. In compartiment II zijn alle 27 pijlers in uitvoering, terwijl in compartiment III de eerste vloeren van de resterende 20 pijlers gestort zijn. In totaal is meer dan de helft van het beton gestort. Het repetitieveffect gaat duidelijk een rol spelen, zodat reeds nu de arbeidsinzet beperkt kan worden.

Te Kats is de bouw begonnen van de landhoofdelementen en van schijven universeel inzetbare pijler- en keerwanden voor de randpijlers. Op deze bouwplaats zullen (vanaf begin 1983) eveneens de verkeerskokers, bovenbalken en hamerstukken gebouwd worden; de dorpelbalken worden vanaf midden 1982 gemaakt in compartiment IV van de bouwput Schaar. Er worden voorbereidingen getroffen om half april te kunnen aanvangen met het

heien van 18 stuks extra ankerpalen ter verankering van het drijvend materieel in de sluitgaten.

Het ontwerp van de schuiven is vrijwel voltooid. De aanvraag voor prijsaanbieding aan de aannemingscombinatie Ostem is begin februari 1981 verzonden; de prijsaanbieding vindt plaats in april. Het definitieve ontwerp van de bewegingswerken voor de schuiven maakt goede voor-de-ringen.

De besturing van de schuiven wacht op de definitieve beslissing ter zake van het beheer. Het ontwerp van het bedieningsgebouw verloopt als gepland.

Fotoverantwoording

Bart Hofmeester en
Rijkswaterstaat

