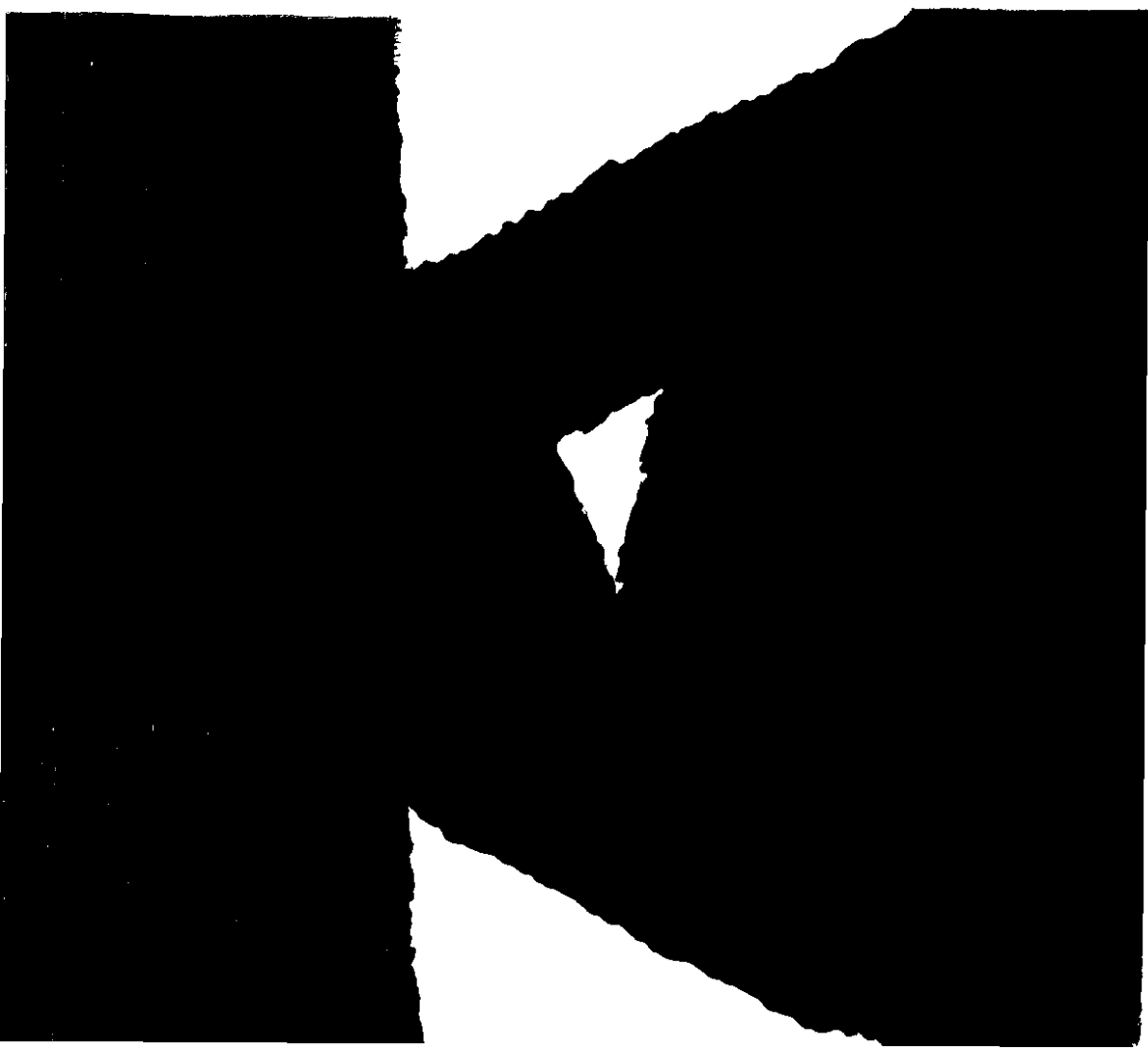


Driemaandelijks Bericht
nummer 98, november 1981

deltawerken



Deltawerken

Redactie.

Deltadienst
Van Alkemade laan 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

Het 'Energó'-project	411
Verdichting van de grond onder de pijlers	419
Breuksteen voor de Oosterschelde-kering	427
Hoe de stroom verandert gedurende de bouw van de Oosterschelde-kering	435
Onderzoek in de Deltagoot naar de cyclische verhangen onder de pijlers	439
Fasering en sluitingsmethode van de compartimenteringsdammen	447
Samenvattingen/Summaries	457
Vorderingen	461



Het 'Energio'-project



Medio 1980 kwam een onderzoek op gang naar de mogelijkheden van de opwekking, de opslag en de distributie van energie nabij de stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde. Deze zogenaamde 'Energio'-studie, die wordt uitgevoerd in samenwerking tussen de Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij – de P.Z.E.M. –, het Energie Onderzoeks Centrum Nederland – het ECN – en de Rijkswaterstaat, houdt verband met een ander lopend onderzoek, namelijk dat naar de bestemming, die na het gereedkomen van de kering aan de werkerreinen en de havens kan worden gegeven, en voorts ook met het ontwerp van de energievoorziening voor het bewegen van de schuiven van de stormvloedkering, voor het doen functioneren van de scheepvaartsluis en voor de verlichting.

Daarnaast werd overwogen dat deze studie en later wellicht een 'energie-project Oosterschelde' een bijdrage zouden kunnen leveren aan het regeringsbeleid met betrekking tot de besparing van energie, de spreiding van het energieverbruik over meer dan één bron, en het opzetten van demonstratie-projecten. Zo zou 'Energio' een pilot-functie kunnen hebben voor de als 'plan-Lieveense' ontvouwde ideeën met betrekking tot een groot energiebekken in de Markerwaard, dan wel een onderdeel kunnen zijn van decentraal gelegen kleinschalige energie-projecten binnen het verzorgingsgebied van de P.Z.E.M. De studie werd ook daarom zinvol geacht, omdat de verwachting bestaat dat de Rijkswaterstaat met zijn kennis en kunde in toenemende mate zal worden betrokken bij het ontwerp van dergelijke projecten, in het binnenland mogelijk voorals-

nog alleen ter onderbouwing van de 'brede maatschappelijke discussie over kernenergie en andere vormen van energie'; maar in het buitenland meteen al ten behoeve van de energievoorziening in de landen van de derde wereld.

Wat is nu de inhoud van het 'Energio'-project? Zoals aan het begin van dit artikel is gemeld, omvat het zowel de opwekking van energie als de opslag en de distributie ervan.

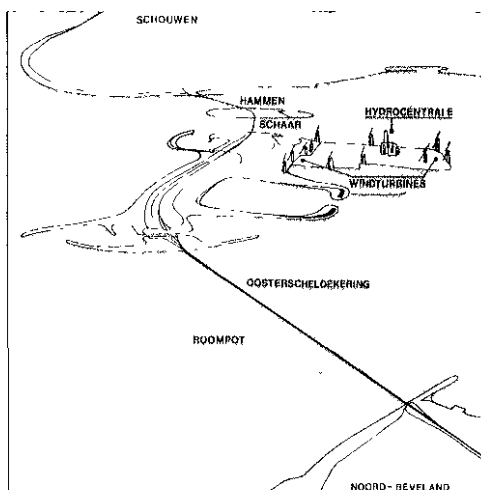
Bij de opwekking van energie kan men denken aan vijf energie-componenten, te weten: stroomoverschotten van de P.Z.E.M. in de vorm van nachtstroom; windenergie; energie uit het verticale getij nabij de Oosterscheldekering; energie uit het horizontaal getij in de kering, en tenslotte aan de energie afkomstig van de diesel-generatoren die de stroom moeten leveren voor het op en neer bewegen van de schuiven.

Opslag van energie kan plaatsvinden in vliegwielen, in perslucht, in waterstofgas, en in accu's. Ook een waterbassin kan daarvoor dienen. Binnen het 'Energio'-project kan de bouwput Schaar – thans de fabricageplaats van de pijlers en de dorpelbalken voor de stormvloedkering – later als energiespaarbekken worden ingericht, en wel door het creëren van een verval tussen de waterstand in het bekken en die van de omringende Oosterschelde. Dit verval kan op twee manieren worden bereikt: zowel door het verlagen, als door het verhogen van de waterstand in het energiespaarbekken: uitmalen of oppompen van water. De verval-energie wordt daarbij omgezet in elektrische stroom. Voor het opslaan en het genereren van de energie kan gebruik gemaakt worden van pomp-eenheden en in één richting werkende hydro-turbines, dan wel van twee-zijdig werkende waterkracht-installaties.

De opgeslagen energie wordt uiteindelijk in het elektriciteitsnet van de P.Z.E.M. gebracht en van daar uit geleverd aan de gebruikers, met inbegrip van de beheerder van de stormvloedkering.

Nu iets naders over de energie-componenten, de opslag en de levering van de energie in het elektriciteitsnet en de problemen die samenhangen met de combinatie van een groot aantal elementen binnen het 'Energio'-project; en tenslotte over de relaties van het project met de elektriciteitsvoorziening in Zeeland.

Als eerste energie-component beschouwen we het overschot aan stroom van de P.Z.E.M., het verschil namelijk tussen de produktie van de stroom en de afname ervan door de groot- en kleinverbruikers binnen het verzorgingsgebied. Het totale vermogen van de basislast-centrales – de thermische centrales en de kerncentrale –



kan namelijk om rendementsredenen niet onbeperkt 'neergeregeld' worden om de mindere afname van stroom door de gebruikers te volgen. De afname fluctueert voortdurend onder invloed van de wisseling van de seizoenen, werkdagen en weekend- en feestdagen, daguren en nachturen en door incidentele invloeden, zoals het fluctuerend stroomverbruik vóór, tijdens en na televisieuitzendingen van bijvoorbeeld verkiezingsuitslagen, nachtelijke bokswedstrijden en huwelijksplechtigheden overdag van personen van koninklijke bloede. Ook andere energiemaatschappijen in den lande hebben met pieken en dalen in het elektriciteitsverbruik te maken, zodat overeenkomstig onderlinge regels en afspraken in de energiewereld een levendige handel van elektrische stroom plaatsvindt via het landelijk koppelnet.

In Zeeland bestaat daarnaast een regeling dat een grootgebruiker, Pechiney, meer stroom afneemt naarmate het stroomoverschot van de P.Z.E.M. toeneemt, en omgekeerd.

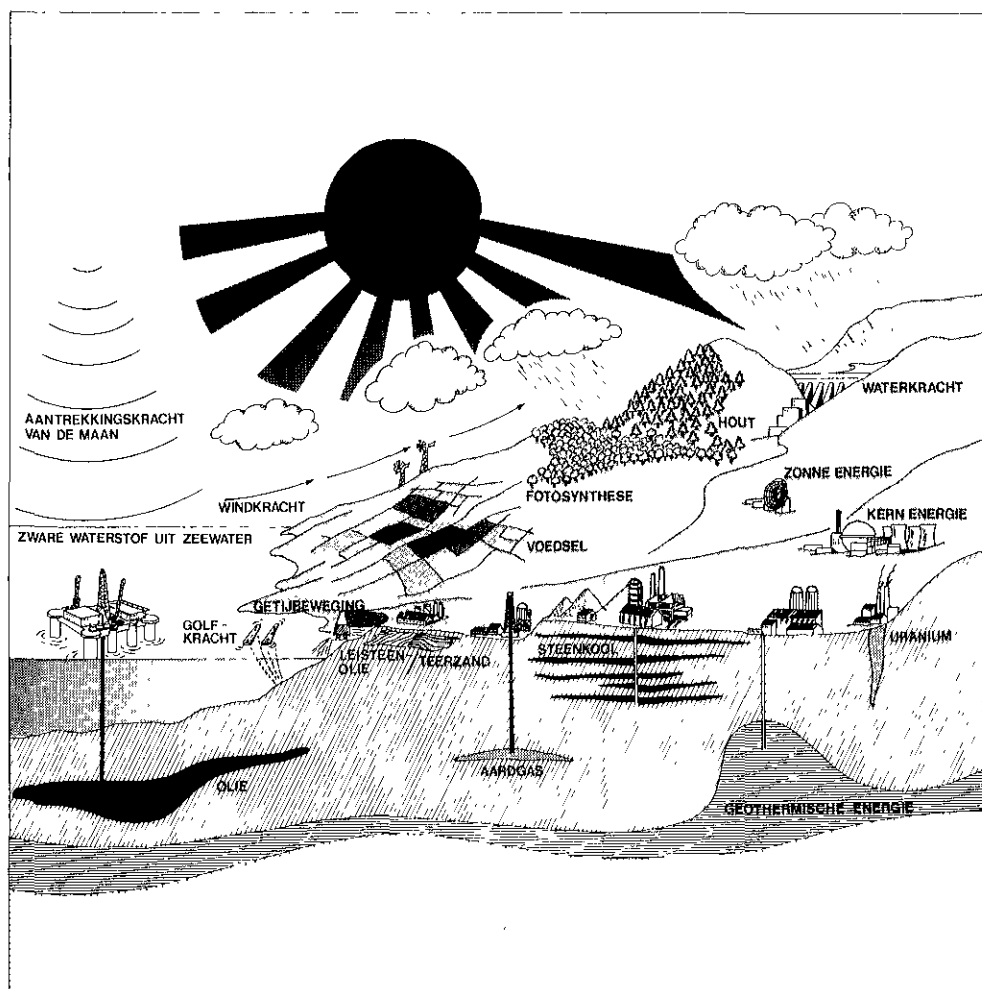
Als een gedeelte van dit overschot – de nachtstroom – wordt ingevoerd in het 'Energio'-project en de opgeslagen energie bij verbruikspieken weer terug wordt geleverd in het openbaar net, dan beschikt de P.Z.E.M. over een extra-regelmechanisme in de bedrijfsvoering. In het 'Energio'-project moet daarom worden nagegaan, hoeveel energie uit deze component kan worden betrokken, en welke werken, in de vorm van kabel aansluitingen en transformatoren, daartoe moeten worden uitgevoerd.

De volgende energie-component die we bekijken is windenergie. Deze energie moet door middel van wind-turbines worden omgezet in elektrische stroom. Zulke turbines

Fig. 1. Situatie van een mogelijk energiebekken in de Oosterschelde.

zouden overal binnen het verzorgingsgebied van de P.Z.E.M., en zelfs daarbuiten kunnen worden opgesteld. Voorlopig wordt echter alleen plaatsing overwogen in de omgeving van de Oosterscheldewerken, op de werkeilanden Neeltje-Jans en Roggenplaat. Windenergie lijkt een onzekere energie-component te zijn, omdat zij kan afnemen of geheel wegvallen, ongeacht het opgesteld vermogen aan windturbines. Bovendien kan de levering van stroom uit windenergie aan het openbaar net wegens de fluctuaties in de windsnelheden regelproblemen opleveren. Hierbij dient men te bedenken dat de energie die door windturbines wordt verkregen, evenredig is met de derde macht van de optredende windsnelheid. Verder is het zo dat tot nu toe theoretisch maximaal $10/27 \times$ het windvermogen in elektrische energie kan worden omgezet. Anderzijds zijn er ten

Fig. 2. Wereld-energiebronnen.



aanzien van het windregime in de monding van de Oosterschelde wel gegevens die het plaatsen van windturbines aldaar aanvaardbaar maken: over het tijdvak januari 1971 t/m december 1977 blijkt het jaargemiddelde van de windsnelheid 6,8 m/sec te zijn, gemeten op het station Roggenplaat op een hoogte van 10 m boven het maaiveld. Daarnaast zijn nog vele andere meteorologische gegevens beschikbaar, en kan men ten behoeve van de bedrijfsvoering binnen het 'Energo'-project, en daarmee van de levering van energie, beschikken over de faciliteiten van het K.N.M.I. afdeling Zierikzee voor de dagelijkse weersverwachtingen ten behoeve van de uitvoering van de Deltawerken. Het aantal op te stellen windturbines is afhankelijk van de beschikbare ruimte op de werkeilanden. Zij mogen niet te dicht bij elkaar staan, omdat ze dan elkaars energie-omzettingen negatief zouden beïnvloeden.

Het maximum wordt verder bepaald door de verlangens en eisen die worden gesteld met betrekking tot het toekomstige landschap en het milieu rond de Oosterschelde. In aanmerking genomen dat de technologische ontwikkeling van het productie-vermogen van windturbines nog verder gaat, evenals het maximaal aantal turbines dat kan worden geplaatst, is het thans nog niet geheel duidelijk hoeveel wind-energie bij de Oosterscheldewerken in elektriciteit kan worden omgezet. Een ander aspect van stroom uit wind is de levering aan het P.Z.E.M.-net: volgens de huidige schatting van het energie-bedrijf kan maximaal 20MW turbinevermogen aan het net worden afgegeven zonder al te grote regelproblemen. Bij een vermogen groter dan 20MW moet de energie van het meerdere vermogen in opslag worden gebracht. Bij kleinere restvermogens is het nog onduidelijk of opslag in een waterbekken wenselijk of noodzakelijk is.

Een derde energie-component kan de energie zijn van de dieselaggregaten die bij de stormvloedkering voor een gedeelte van de stroomvoorziening moeten zorgen: voor de schuifbewegingen alleen al zijn tien eenheden met een totaal nominaal vermogen van 6400KW nodig. Deze aggregaten wekken nu de stroom op die nodig is voor de bouw van de Oosterscheldeking. Aangezien deze aggregaten naar hoop en verwachting weinig zullen worden gebruikt, bestaat in principe de mogelijkheid ze als aanvullende energiebron voor de openbare elektriciteitsvoorziening in te zetten. De opgewekte stroom kan dan ofwel rechtstreeks, ofwel via opslag in het openbaar net worden gebracht. Deze vorm van energie-opwekking is echter zeer duur en kan daarom alleen zinvol

zijn in onderhoudsperioden van de wind- en waterkracht turbines.

Dan kan als potentiële energie-component het verticaal getij worden gebruikt. Deze energie kan alleen worden gewonnen met behulp van de bouwput Schaar als spaarbekken, zoals eerder besproken. Indien het verval wordt gecreëerd door water in het bekken op te pompen, dan vindt de winning van de getij-energie plaats door oppompen bij hoog water in de Oosterschelde, en wordt de energie gegene-reerd bij laag water. Bij een verval, verkregen door verlaging van de waterstand in het bekken, moet de getij-energie worden gewonnen door malen bij laag water en genereren bij hoog water. Deze energie-component komt dus voort uit de kunstmatige vergroting van het verval tussen het bekken en de Oosterschelde. Per jaar zijn gemiddeld 706 getijden beschikbaar. Omdat voor het oppompen of uitmalen van water energie nodig is, kan energie uit het verticale getij alleen gewonnen worden met behulp van een andere energie-component. Is deze component nachtstroom, dan kan alleen 's nachts getij-energie worden opgeslagen in het spaarbekken. Dat betekent dat het aantal beschikbare tijen slechts ongeveer voor de helft kan worden benut.

Windenergie is als basiscomponent voor getij-energie te onzeker, omdat het kan gebeuren dat er ten tijde van het oppompen of wegmalen onvoldoende of helemaal geen wind beschikbaar is, of te veel, zodat de wieken van de windturbines moeten worden stilgezet. Daarom kan ook hier het volle aantal tijen niet worden benut. De energie afkomstig van de dieselaggregaten is wel altijd inzetbaar.

Winning van getij-energie is samen met deze energievorm bij alle 706 getijen mogelijk, indien althans geen energie hoeft te worden gegenereerd tijdens het creëren van het verval. Zoals eerder werd gesteld is het inzetten van de dieselcentrale een dure aangelegenheid. Het winnen van energie uit het verticaal getij maakt de bedrijfsvoering binnen het 'Energo'-systeem gecompliceerd. De hoeveelheden energie uit het verticaal getij zijn niet constant, doordat de getijverschillen wisselen: er is een dagelijkse ongelijkheid en de waterstanden wisselen ook in de cyclus springtij-doodtij-springtij, en door weersinvloeden. Overigens moet de winning van de energie afgeleid worden uit de getij-amplitude op de Oosterschelde na het gereedkomen van de stormvloedkering, dus uit het gereduceerde tijverschil.

Windturbine met een rotordiameter van 25 m te Petten, op het terrein van het ECN.

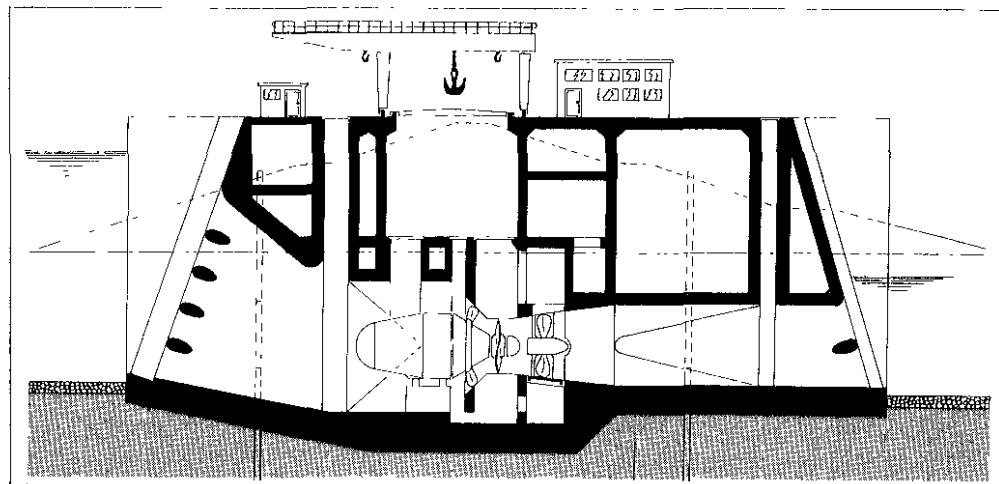


Als vijfde en laatste energie-component zou het horizontaal getij in de kering eventueel in aanmerking kunnen komen. Deze energie kan worden gewonnen door getij-molens of rivierstroomturbines, die mogelijk in of nabij de opening van de Oosterschelde-kering kunnen worden aangebracht. Middels deze apparatuur kan de stromingsenergie – de stroomsnelheden in de kering bedragen 0 tot 5 m/s – in elektrische energie worden omgezet. Omdat de conversie van energie uit het horizontaal getij een nadelige invloed heeft op het getijverschil te Yerseke en dit getijverschil van belang is voor het behoud van het natuurlijk milieu en de schelpdiercultures in de Oosterschelde, is vooreerst van deze energie-bron afgezien.

Nu de opslag van energie.

In de 'Energio'-studie wordt nagegaan of de bouwput Schaar in de toekomst als energie-

Fig. 3. Doorsnede van de hydroturbine.



spaarbekken kan dienen. Dit bekken is 100 ha groot en heeft een bodemdiepte van N.A.P. – 15 m met ringdijken waarvan de kruinen liggen op 6,50 tot 9,00 m boven N.A.P. De opslagcapaciteit of het vermogen van dit spaarbekken wordt bepaald door de gewenste of mogelijke fluctuatie van de waterstand in het bekken tijdens het opslaan van energie – pompen of malen – en het genereren van elektrische stroom, dus door het maximale beginverval en het minimale eindverval dat moet worden aangehouden tussen bekken en Oosterschelde; en verder door het maximum- en het minimum-debiet door de pompen en hydroturbines. Deze debieten volgen uit het elektrische vermogen dat de P.Z.E.M. vraagt, alsook uit de rendements-krommen van de gebruikte pompen en turbines. Het gewenste vermogen van het bekken, de wijze van opslag van de energie en een zekere

waakhoogte in verband met wateroverslag bij storm zijn van invloed op de kruinhoogte van de ringdijken. Om aan een redelijk opslagvermogen te komen moeten de dijken bij een bekken met een verhoogde waterspiegel worden verhoogd. Bij een bekken met een verlaagd waterpeil is dat niet nodig: de bestaande dijken zijn ruimschoots hoger dan de hoogste waterstand die nog kan worden verwacht op de Oosterschelde nadat de kering is gereedgekomen. Bij een hoog bekken wordt de opslagcapaciteit dus begrensd door de kruinhoogte. Bij een laag bekken theoretisch door de diepte van de bouwput – N.A.P. – 15 m –, maar praktisch door een niveau dat afhankelijk is van de vereiste diepteligging van de pompen en turbines en de kwaliteit van de ondergrond van het bekken in relatie met de waterbeweging in

de ondergrond bij de optredende vervallen. Dat de dijken in alle gevallen stabiel moeten zijn, behoeft niet nader te worden uitgelegd. Wel is het zo dat de bouwput pas als energie-spaarbekken kan functioneren nadat ook het gat waardoor de onderdelen van de stormvloedkering zijn weggevoerd, is gedicht. Een noodzakelijk 'nat' werk is nog het aanbrengen van ontvang- en stortbedden aan weerszijden van de hydro-installaties die voor de opslag van energie en het opwekken van stroom uit de opslag moeten zorgen. Verder moeten de hydro-installaties, de pompen en/of turbines in de ringdijk worden geplaatst, bij voorbeeld in een of meer caissons die wellicht nodig zullen zijn om het hiervoor genoemde gat te dichten. Ook is het mogelijk de installaties te bouwen in een bouwput bestaande uit damwand, op een andere plaats waar de bodem van de Oosterschelde voldoende diep is.

Het genereren van energie gebeurt met waterkrachtturbines. Het aantal en de capaciteit daarvan hangen enerzijds samen met het vermogen van het bekken, anderzijds met de vraag hoeveel energie in een bepaalde tijd aan het P.Z.E.M.-net moet worden geleverd. Die levering zal in het algemeen plaatsvinden tijdens de verbruikspieken overdag en bij storingen in de centrales. De diepteligging van de hydro-centrale is afhankelijk van de rendementen bij de optredende vervallen en van eventuele cavitatieverschijnselen.

Bedrijfsvoering

Een juiste integratie van het 'Energio'-systeem als productie-, opslag- en distributie-eenheid in de openbare stroomvoorziening in Zeeland zal dus bepalend zijn voor de vormgeving van het project. In de 'Energio'-studie is daarom de bedrijfsvoering een probleem van de eerste orde. Dit zal eerst moeten worden opgelost, alvorens men zich aan technische zaken kan wijden. Uit de bedrijfsvoering volgen namelijk de vermogens en de hoeveelheden energie, ofwel de primaire randvoorwaarden waaraan het project moet voldoen. Een belangrijke vraag is hoe men het 'Energio'-systeem zal gaan benutten: als vermogensbekken, dan wel als energieproductiebekken. Bij gebruik als vermogensbekken moet het opgestelde hydro-vermogen te allen tijde beschikbaar zijn. Het vermogen wordt dan alleen benut als de elektriciteitsvraag ernaar is dus bij pieken overdag en bij storingen in de centrales. De hydro-turbines kunnen dan in luttele tientallen secondes een vervangend vermogen leveren. Ook is het mogelijk de

'Energio'-opslag als aanvulling te zien op de snel-opstartbare gasturbine van de P.Z.E.M. Dit wordt wellicht van belang als in de toekomst meer wordt overgegaan tot met kolen onderveruurde en daardoor minder snel opstartbare centrales. Die aanvulling kan ook nodig zijn als er grotere fluctuaties zouden ontstaan in de productie en het gebruik van elektriciteit: aan de produktiekant door levering van stroom uit windenergie aan het net, aan de gebruikskant door een verandering van het gedragspatroon van de groot- en kleinverbruikers ten gevolge van ontwikkelingen in de economie, door energiebesparing en door het installeren van eigen energieproductie-eenheden. Bij gebruik van het spaarbekken als vermogensbekken moet worden afgezien van zowel het verticale als het horizontale getij als potentiële energiecomponenten, wegens de tijdsafhankelijkheid van het gevraagde vermogen.

Bij een vermogensbekken dient men ermee te rekenen dat het genereren van elektriciteit niet kan samenvallen met het opslaan van energie. Dus als voor het opslaan nachtstroom wordt gebruikt, kan gedurende enkele uren van de nacht geen stroom worden afgegeven. Dit geldt ook bij het opslaan van windenergie. Wel is gedurende het opslaan en ook als de hydro-centrale eventueel niet functioneert altijd een reserve-vermogen aanwezig, namelijk de 6,4 MW van de dieselaggregaten. Maar zoals eerder gezegd, de inzet daarvan is duur. In hoeverre het vermogensbekken energie-besparing oplevert, dan wel extra gebruik van energie vraagt, is thans nog niet duidelijk. Aan de ene kant moet worden gerekend op rendementsverliezen bij het opslaan en genereren van energie, aan de andere kant kan het gebruik van de bouwput Schaar binnen de bedrijfsvoering wellicht energetische winst opleveren.

Wordt de opslag van energie met hydro-turbines daarentegen gebruikt als energie-spaarbekken, dan gaat men anders te werk. Er wordt dan geprobeerd een zo groot mogelijke hoeveelheid energie te vangen: uit wind en uit het verticale getij. Uit wind, indien men meer windenergie in stroom zou willen omzetten dan de maximale hoeveelheid die uit een oogpunt van regeling rechtstreeks in het net kan worden gebracht. Uit getij, indien de perioden van opslag en generatie corresponderen met die van aanbod en vraag binnen het openbaar net. Momenteel is niet te zeggen hoe deze relaties liggen. Hoeveel energie zo jaarlijks wordt gewonnen zal daarom slechts bij grove benadering kunnen worden vastgesteld. Hoewel hierboven een scherpe scheiding is getrokken tussen het gebruik van de opslag als vermogensbekken en

als energiespaarbakken, mag worden verwacht dat het opslagbekken, bij realisering van het 'Energó'-project in de praktijk zal gaan fungeren als een combinatie van de beide mogelijkheden. In verband daarmee en met de eerder geschetste mogelijke toekomstige ontwikkelingen in productie en gebruik van energie, zal het project derhalve pas na de realisering zijn functie en nut ten volle kunnen bewijzen.

Op grond van de resultaten van het tot heden verrichte onderzoek tendeert het ontwerp van het 'Energó'-project naar een opslagbekken met hydro-turbines met een generatievermogen van 15 MW en een minimale generatieduur van 4 uur, corresponderend met een waterstandsfluctuatie van 2,7 m in het bekken, namelijk tussen N.A.P. + 10,7 m en N.A.P. + 8,0 m. Dit vereist een bekken van 100 ha en ringdijken met een kruinhoogte op N.A.P. + 12,9 m, één omkeerbare hydro-turbine met een waaierdiameter van 5,3 m en een ashoogte op N.A.P. -8,6 m. Daarbij denkt men aan maximaal 15 windturbines, met een gezamenlijk vermogen van 35 MW, waarvan er vijf elk een vermogen zullen hebben van 1 MW en tien elk een

vermogen van 3 MW. Constructief betekent dit 5 turbines met een rotordiameter van 50 m en een ashoogte op 60 m boven maaiveld; en 10 turbines met een rotordiameter van 80 m en een ashoogte op 80 m boven maaiveld.

De afmetingen kunnen in de toekomst natuurlijk nog veranderen als gevolg van voortgezette technologisch onderzoek op het gebied van windenergie. De uitvoering van deze opzet denkt men zich gefaseerd aldus: 1984 t/m 1988: inrichting van het spaarbekken met turbine en gebouwen; 1984 t/m 1988: plaatsing van de windturbines met 1 MW vermogen; 1987 t/m 1992: plaatsing van de windturbines met een vermogen van 3 MW.

Men moet zich realiseren dat het 'Energó'-project het karakter draagt van een 'feasability study'. Het lijkt op grond van de studie mogelijk de bouwputten in de Oosterscheldemonnd te gebruiken voor de opslag van energie en de plaatsing van een serie windmolens. Op dit moment lijken de kosten te hoog voor een rendabele exploitatie.

Of een proefproject op zijn plaats is, staat aan anderen ter beoordeling.

In een eerder artikel (Bericht 93, augustus 1980) is een overzicht gegeven van de belangrijkste resultaten van de verdichtingsproeven in het laboratorium en in het terrein. Dit onderzoek leidde onder meer tot een classificatie van de verdichtbaarheid van zandgrond.

Verdichting van de grond onder de pijlers

De niet verdichtbare grondlagen, die sterk klei- of slihboudend waren, werden weggebaggerd om te worden vervangen door een grondverbetering van schoon zand.

Het onderzoek heeft daarnaast ook geresulteerd in de formulering van ontwerpparameters voor de 'Mytilus'.

Met de Mytilus is van oktober 1979 tot maart 1980 een proefperiode gehouden. In de eerste plaats werd daarmee beoogd de betrokkenen met het schip en de instrumentatie vertrouwd te maken.

In de tweede plaats werd gestreefd naar beheersing en optimalisering van het verdichtingsproces. Er zijn verscheidene procesvariabelen, en inzicht in de onderlinge beïnvloeding ervan is vereist om het werk optimaal te doen verlopen, namelijk zo dat aan de verdichtingseisen wordt voldaan, terwijl de produktie zo hoog mogelijk is.

Om het verdichtingsproces te leren kennen en beheersen werd voornamelijk de invloed bepaald van vier procesvariabelen: de invloed van de toevoeging van lucht en water op het indalen van de trilnaald, en tijdens het verdichtingsproces op het verdichtingsresultaat; de invloed van de tijdsduur van het trillen op het verdichtingsresultaat; die van de stapafstand op de mate van verdichting en op de homogeniteit; en tenslotte welk effect het uitvallen van een trilnaald heeft op de verdichting.

In dit artikel wordt allereerst ingegaan op de verdichtingsomvang ter plaatste van de pijlers en de eisen waaraan ze moet voldoen. Vervolgens wordt een beschouwing gegeven over het controle-onderzoek naar de verdichting; ten slotte worden de belangrijkste grondmechanische resultaten van het zogenaamde proef-

periode-onderzoek samengevat.

Bij de toegepaste verdichtingsmethode komt de verdichting tot stand door middel van alleen verticale trillingen. Er zijn tegelijkertijd vier door middel van een balk geleide vibratoren aan het werk, op een onderlinge afstand van 6,50 m hart op hart. Op deze wijze kan in één keer een strook van 26 m worden verdicht (fig. 1).

De afmetingen van een trillichaam zijn:

doorsnede inclusief vinnen	2,10 m
doorsnede buis, exclusief vinnen	0,508 m
lengte trillichaam	3,50 m
lengte totale naald	42,50 m
maximaal bereik	15,00 m beneden de bodem, met als grens N.A.P. - 35 m; incidenteel door middel van naaldverlenging N.A.P. - 40 m
amplitude (onbelast)	5 mm
frequentie	25 hz

Tijdens het verdichten wordt geen aanvulmateriaal toegevoegd.

De afmetingen van de voetplaat van de pijlers bedragen $25 \times 50 \text{ m}^2$. Niet alleen in de zandgrond onder de pijlers, maar ook enige meters buiten de rand van de voetplaat treedt water-spanningsgeneratie op. Dit gebied draagt zelfs het meest bij tot de deformatie en de rotatie van de pijlers. Daarom is het noodzakelijk de

1.

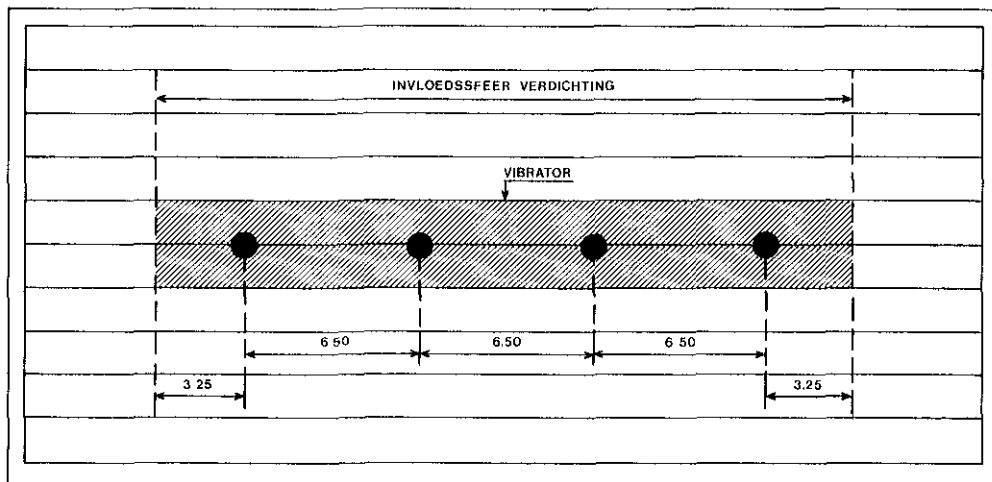


Fig. 1. Verdichtingsstrook.

verdichting aan de Oosterscheldezijde van de pijlers door te zetten tot 16 m buiten de rand van de pijlervoet, en aan de zeezijde tot 12 m buiten de rand. Loodrecht op de as omvat de verdichting zodoende $16 + 50 + 12 = 78$ m, hetgeen neerkomt op 3 stroken van 26 m. De ondergrond tussen de pijlers wordt eveneens verdicht. Bij de eerste en de laatste pijler in een sluitgat wordt nog 5 m voorbij die pijler verdicht, aangenomen dat de verticale verdichtingsdiepte onder de voetplaat 10 m bedraagt, en dat de belastingsspreiding kan worden gesteld op 2 : 1 (fig. 2).

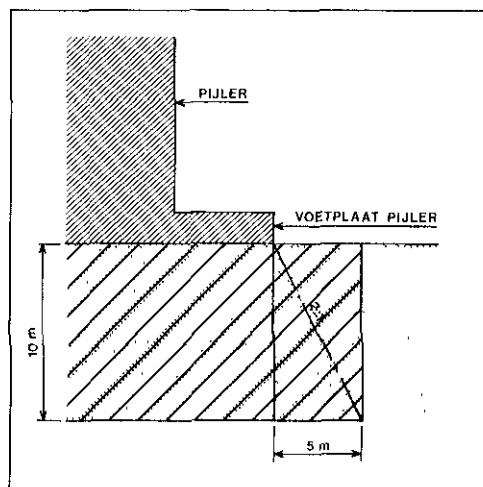
Fig. 2. Verdichtingsomvang evenwijdig aan de as van de kering.

Fig. 3 geeft een beeld van de totale horizontale verdichtingsomvang bij een pijler. Bij het intekenen van het verdichtingsstramien is voorlopig uitgegaan van een strookafstand van 5 m.

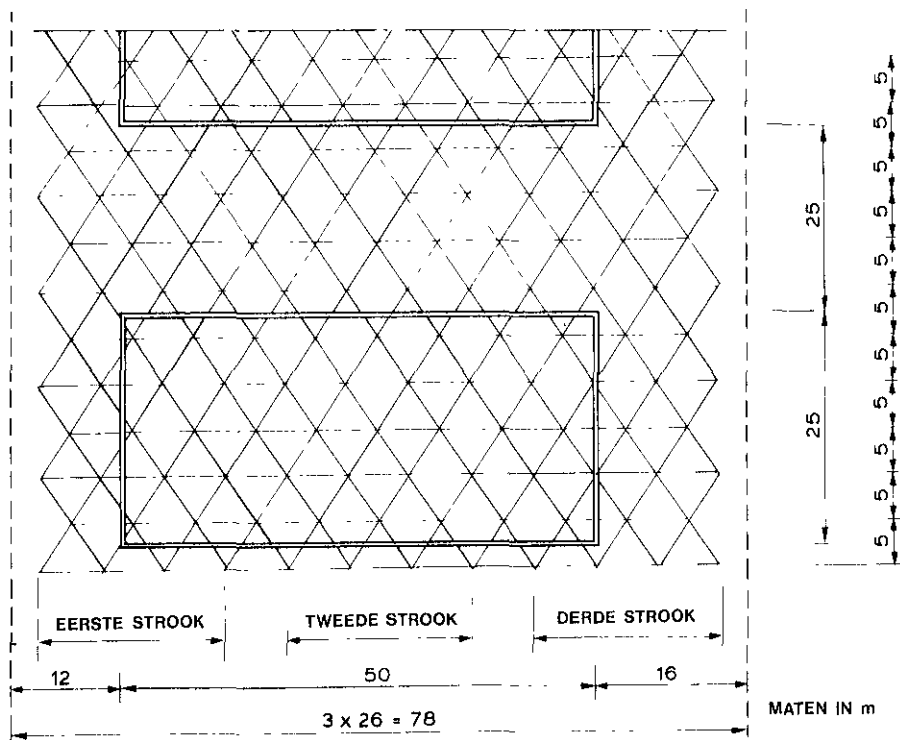
Fig. 3. Horizontale verdichtingsomvang ter plaatse van een pijler.

De omvang van de verticale verdichting wordt in principe bepaald door de onderkant van de grondverbetering en door de verdichtingsdiepte die nodig is vanwege de verwekingsgevoeligheid en de deformaties van de zandgrond. Deze grens volgt uit waterspanningsgeneratie- en deformatieberekeningen. Ook de grensscheiding pleistoceen – holoceen is erop van invloed. Ten gevolge van de opgewekte trillingen kan de horizontale voorspanning die door voorbelasting in het pleistoceen aanwezig is, voor een deel verloren gaan, waardoor pleistoceen zand met aanvankelijk hoge conusweerstand na het verdichten een lagere conusweerstand verkrijgt. Ten slotte ligt er een grens in het maximale dieptebereik van het verdichtingsschip. De verticale verdichtingsomvang in de as van de sluitgaten is overigens al behandeld in het vorige artikel.

De verdichtingseisen hangen af van de mate waarin deformaties en rotaties van respectieve-



2.



lijk één pijler en twee aangrenzende pijlers toelaatbaar worden geacht en van de vraag welke wateroverspanningsgeneratie per pijler kan worden getolereerd.

Op grond hiervan kunnen aan de verdichtings-eisen drie aspecten worden onderkend. Het eerste aspect betreft de verwekingsgevoeligheid van de zandgrond, uitgedrukt in een gewogen dichtheid en conusweerstand. Met de term 'gewogen' wordt bedoeld dat het niet gaat om absolute waarden, maar dat tevens de diepte waarop die waarde voorkomt, meetelt.

Het tweede aspect heeft te maken met de toelaatbare speiding in gewogen conusweerstand ter plaatse van één pijler; en ten derde met de gemiddelde conusweerstand van twee aangrenzende pijlers.

Bij de bepaling van de verdichtings-eisen werden de conusweerstand en het poriëngehalte weer net zo gewogen als bij de deformatie-berekeningen gebeurd was, namelijk naar evenredigheid van de betrokken laagdikte, en omgekeerd evenredig met de diepteligging van de betreffende laag.

Bij het poriëngehalte gaat het echter om de bepaling van de wateroverspanningsgeneratie. De dieper gelegen lagen hebben bij een bepaald initieel poriëngehalte een kleinere relatieve schuifspanningsverandering ondergaan door cyclische golfbelasting dan de hoger gelegen grondlagen. Het komt er al met al op neer dat de verdichting van de bovenste grondlagen zwaarder weegt dan die van de onderste.

De verwekingsgevoeligheid van de zandgrond

zou in principe alleen in een poriëngehalte dienen te worden uitgedrukt. Voor het te verdichten Oosterschelde-zand kan in het algemeen worden gesteld dat het poriëngehalte na verdichten kleiner dient te zijn dan 40 %. Om te kunnen controleren of aan deze eis wordt voldaan zijn dichtheidsmetingen nodig. Dichtheidsmetingen zijn echter duur en tevens tijdrovend. Voor de controle van deze verdichtingseis heeft men daarom zijn toevlucht gezocht in een combinatie van sonderingen en dichtheidsmetingen. Uit correlatieonderzoek is namelijk gebleken dat in het matig grove Oosterschelde-zand $-d_{60} = 150\text{--}250$ micrometer – bij een poriëngehalte kleiner dan 40 %, een conusweerstand behoort die groter is dan 130 kgf cm^2 . De verdichtingseis met betrekking tot de verwerkingsgevoeligheid van de zandgrond is daarom geschematiseerd als in figuur 4.

Na het verdichten dient de gemiddelde conusweerstand met het bijbehorende gemiddelde poriëngehalte in het gearceerde gebied te liggen. De gemiddelde conusweerstand is het rekenkundig gemiddelde van vier gewogen conusweerstand.

De eis ten aanzien van de spreiding in de gemiddelde conusweerstand bij één pijler hangt samen met de toelaatbare inhomogeniteit van de grondslag binnen dat gebied. Deze inhomogeniteit speelt een rol bij de spanningsverdeling van de ondergrond onder de betonconstructie, en ook bij de langs- en dwarsrotaties van de pijler, die het gevolg zijn van de verticale belastingen bij de verschillende stormbelastingen in de bouw- en de eindfase.

De eis met betrekking tot de gemiddelde conusweerstand van twee aangrenzende pijlers heeft te maken met de relatieve dwarsrotaties, dus het verschil in dwarsrotatie tussen twee aangrenzende pijlers.

Verdichtingscontrole

De controle op de verdichting wordt uitgevoerd met behulp van sonderingen met een elektrische ingesnoerde conus en met behulp van elektrische dichtheidsmetingen. Om een goed beeld te verkrijgen van de mate van verdichting en de gelijkmatigheid ervan, worden per pijler vier sonderingen en één dichtheidsmeting uitgevoerd.

De meetpunten liggen alle in het zwaartepunt van een verdichtingsdriehoek. Op de 20 m lange verdichte grondslag tussen de pijlers wordt geen controle-onderzoek uitgevoerd, omdat daar niet zulke strenge verdichtingseisen gelden. Tussen de pijlers wordt hetzelfde

verdichtingsstramien toegepast als onder de pijlers zelf, dus er kan in principe dezelfde mate van verdichting worden verwacht. Het grondonderzoek geschiedt vanaf de zeebodem, met een bemande dijkerklok die vanaf de geoponton 'Johan V' wordt afgeliërd.

Proefperiode

Gedurende de proefperiode is gebleken dat het verdichtingsproces tot en met windkracht 7 zonder vertraging kan worden uitgevoerd. Of er bij windkracht 8 nog gewerkt kan worden hangt af van de windrichting en de plaats waar de 'Mytilus' ligt in de stroomgeul. Stagnatie door onwerkbaar weer komt dus niet veel voor. Tijdens de proefperiode is verder onder meer bepaald wat de invloed op de verdichtingskwantiteit is van de snelheid waarmee de trillichamen telkens omhooggetrokken worden, van de verticale en de horizontale stapgrootte en van het zogenaamde alternerende verdichten. Bij de interpretatie van de meetgegevens is gebruik gemaakt van de zogenaamde proces- of vermogensregistratie van de trilnaalden: vermogensgrafieken waarin de vermogensopname van de trilmotoren is weergegeven als functie van de tijd. Geschematiseerd ziet een vermogensgrafiek er uit als in fig. 5.

De vergelijkingsproeven die werden uitgevoerd om de invloed van de treksnelheid te bepalen, zijn gedaan bij een slagkracht van $1200 \text{ kN/f} = 25 \text{ Hz}$, een verticale stapafstand van 1,0 m en een horizontale of stramienafstand van 5,0 m; de verdichtingsdiepte bedroeg 10 m, en het snelle trekken ging twee keer zo vlug als het langzame. De naalden werden om overbelasting te voorkomen getrokken wanneer de vibratoren ieder 90 kW vermogen opnamen, of na 6 minuten verdichten. De 90 kW-grens bleek maatgevend voor de onderste te verdichten grondlagen; de 6 minuten-grens voor de bovenste.

Uit de proeven blijkt dat het vermogen gedurende het verdichten in de diepere lagen, 7 tot 10 m beneden het maaiveld, bij snel trekken sneller toeneemt dan bij langzaam trekken. Het vermogen neemt bij langzaam trekken langzamer toe, zodat er meer tijd beschikbaar komt om te verdichten, hetgeen resulteert in een hogere energieafgifte aan de grond. Het gemiddelde vermogen per verdichtingsstap ligt dus bij langzaam trekken hoger, ondanks de $2 \times 90 \text{ kW}$ -grens die in de diepere lagen bepalend blijft voor de start van het trekken. In de bovenste lagen is het gemiddelde vermogen bij snel trekken ongeveer even groot als bij langzaam trekken. Aangezien niet de vermogensgrens van $2 \times 90 \text{ kW}$, doch de

tijdslimiet bepalend is voor het moment waarop het trekken begint, betekent dit dat bij snel en bij langzaam trekken evenveel energie aan de grond wordt afgegeven.

Uit de sonderingen in de trilpunten blijkt duidelijk dat bij langzaam trekken een beter verdichtingsresultaat wordt bereikt dan bij snel trekken (fig. 6).

Normaliter worden de trilnaalden nadat op een bepaalde diepte is verdicht, een meter omhoog getrokken. Bij wijze van proef is nagegaan of een verkleining van de verticale stapafstand tot 0,5 m een beter verdichtingsresultaat oplevert. De vergelijkingsproeven zijn uitgevoerd bij een slagkracht van $1200 \text{ kN/f} = 25 \text{ Hz}$, een maximale triltijd van 10 minuten bij een verticale stapafstand van 1 m, en van 6 minuten bij een stapafstand van 0,5 m; de stramienafstand bedroeg 5 m, en de verdichtingsdiepte 10 m;

de verticale stapafstand bedroeg in het gebied tussen -10 en -7 m telkens één meter, en daarboven 0,5 m of 1 m; er werd langzaam getrokken.

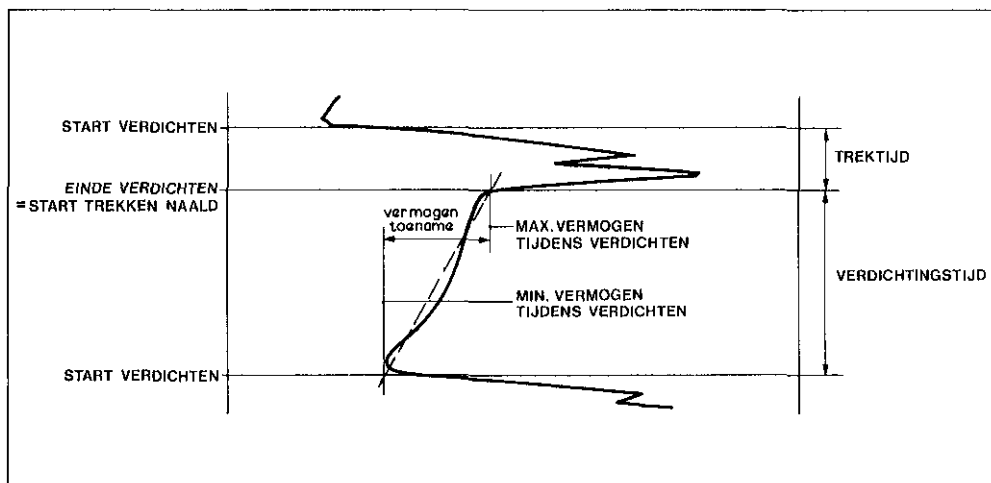
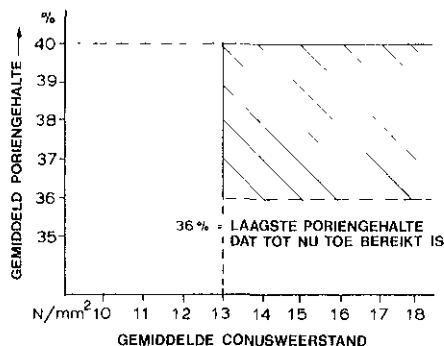
Hoewel er op deze wijze boven 7 m beneden het maaiveld bij een verticale stapafstand van 0,5 m meer energie in de grond werd gestopt, leidde dit niet tot een betere verdichting van de grond (fig. 7).

Alternerend verdichten

Uit fig. 6 en 7 blijkt dat er in de 'trektrajecten' teruggangen in de conusweerstand optreden. Deze zogenaamde 'dips' komen, zij het in mindere mate, eveneens voor in de sonderingen die in het zwaartepunt van de verdichtingsdriehoek zijn gemaakt, zowel bij een verticale stapafstand van 1,0 m als van 0,5 m.

Fig. 4. Verdichtingseis met betrekking tot de verwerkingsgevoeligheid van de ondergrond.

Fig. 5. Vermogenegrafiek van de trilmotoren.



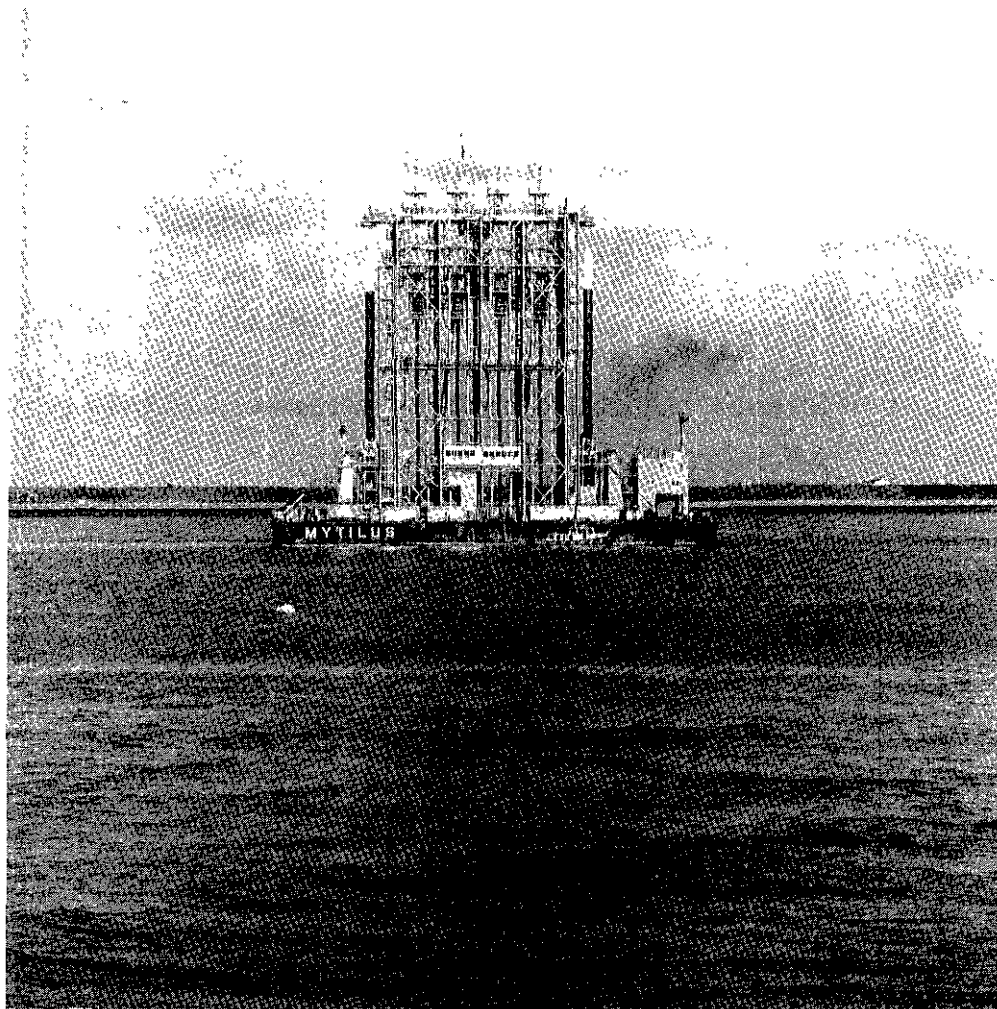
De 'dips' hebben grote invloed op de 'gewogen' conusweerstand, met name die in de bovenste grondlagen. Er is daarom onderzocht in hoeverre de 'dips' kunnen worden geëlimineerd met 'alternerend' verdichten. Bij deze methode wordt een maximum vermogen van 2×90 kW of een maximale verdichtingstijd van 6 minuten aangehouden. Als de vermogensgrens van 2×90 kW bereikt wordt binnen de 6 minuten, wordt de naald 1 m getrokken. Als de 2×90 kW niet bereikt wordt binnen de 6 minuten dan laat men de naald 0,5 m vieren. Door de reeds bereikte verdichting zal de naald echter niet indalen over deze 0,5 m, maar als het ware 'op stuit' gaan staan: in de bovenste lagen is de indringing 0,2 à 0,3 m, in de diepere lagen 0 à 0,2 m. In deze positie wordt dan voor de tweede keer verder verdicht tot de 2×90 kW – of de 6 minuten-grens – weer bereikt wordt.

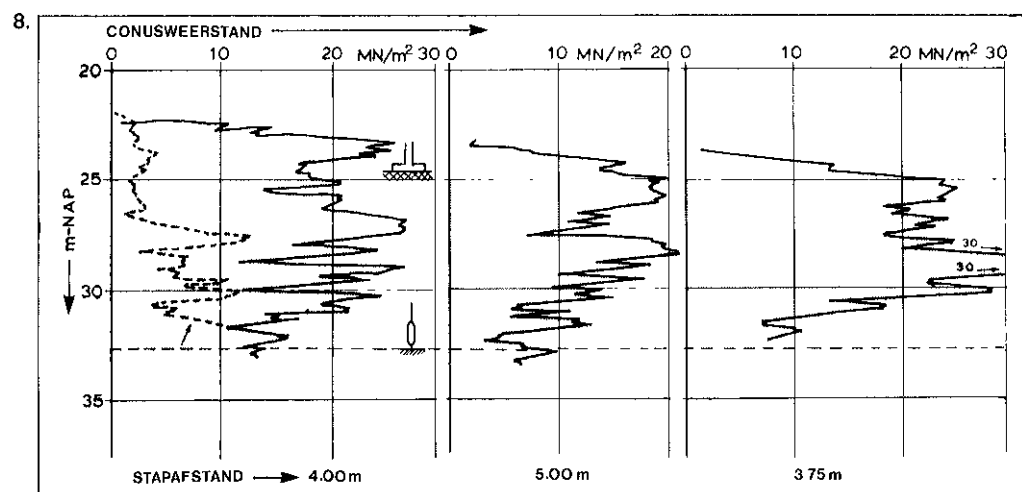
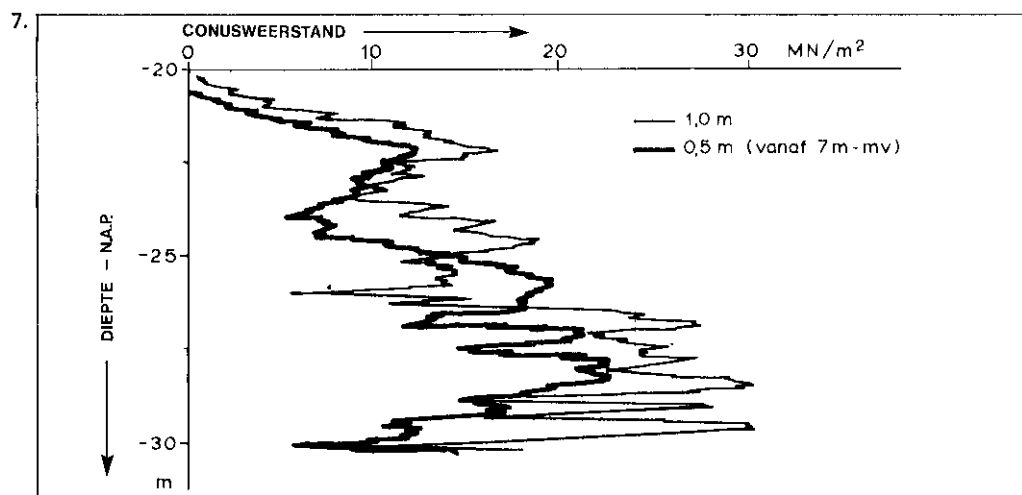
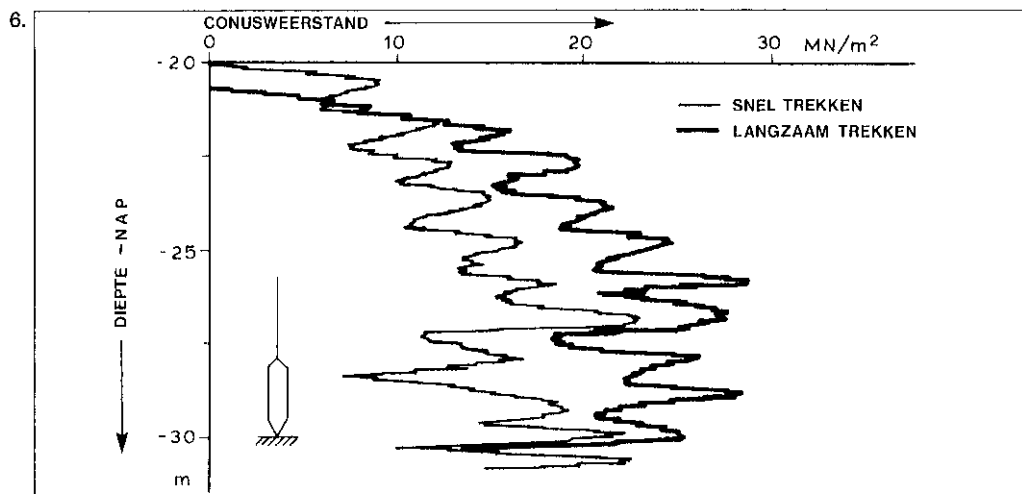
Fig. 6. Invloed van de treksnelheid op het verdichtingsresultaat.

Fig. 7. Invloed van de verticale stapafstand.

Fig. 8. Invloed van de horizontale stapafstand.

Het verdichtingsschip 'Mytilus'.





Sonderingen in dit proefvak toonden aan dat bij toepassing van deze verdichtingsmethode geen 'dips' voorkwamen. Dit is te verklaren uit het feit dat de door het trekken teweeggebrachte verstoring in het gebied onder de resonator teniet gedaan wordt door het verdichten 'op stuit'. Doordat in een volgende verdichtingsstap een op deze wijze verkregen klankbodem aanwezig is, zal de toegevoegde energie beter benut worden voor de verdichting rondom de resonator.

Tijdens de proefperiode was gebleken dat het om een goed verdichtingsresultaat te kunnen bereiken nodig was om de trilmotoren tot boven nominaal vermogen te belasten; hierdoor trad dan ook veelvuldig thermische uitval van de motoren op. Gezien deze ervaringen is daarom besloten om de naalden van drie in plaats van twee vibratoren te voorzien. Met deze drie vibratoren per trilnaald is onderzocht wat de invloed van de stramienafstand of horizontale stapafstand is op de verdichtingskwaliteit. Deze vergelijkingsproeven zijn uitgevoerd met een slagkracht van $1200 \text{ kN/f} = 25 \text{ Hz}$, een verdichtingsdiepte van 10 m en een horizontale stapafstand van 3,75 m, 4,0 m en 5,0 m. Er werd alternerend verdicht en langzaam getrokken. In figuur 8 zijn de

resultaten van de sonderingen in de zwaartepunten van de verdichtingsdriehoeken weergegeven. Het blijkt dat de verdichtingskwaliteit bij een stapafstand van 3,75 en 4,0 m beduidend beter is dan die bij een stapafstand van 5,0 m. Voor de sonderingen in figuur 8 geldt dat de onderkant van de funderingsmat op 25 m beneden N.A.P. komt te liggen. De bepaling van de 'gewogen' conusweerstand dient daarom dan ook vanaf dit niveau te geschieden; de onderbegrenzing is de verdichtingsdiepte. De 'gewogen' conusweerstand bij deze sonderingen zijn markant: Bij een stapafstand van 4,0 m wordt een conusweerstand verkregen van $14,1 \text{ MN/m}^2$, en bij een stapafstand van 5,0 m slechts $9,9 \text{ MN/m}^2$. Bij een stapafstand van 5 m wordt de verdichtingseis van 13 MN/m^2 dus bij lange na niet gehaald; bij een stapafstand van 4 m ligt de 'gewogen' waarde even boven de eis.

Op grond van de opgedane ervaringen gedurende de proefperiode wordt de verdichting van de ondergrond bij de pijlers voorlopig uitgevoerd met een stapafstand van 4 m. Er wordt alternerend verdicht, terwijl de naalden langzaam worden getrokken, met een verticale stapafstand van 1 m.

Voor de bouw van de Oosterschelde-kering is ruim vijf miljoen ton breuksteen nodig. Ongeveer negentig procent daarvan zal worden verwerkt in de drempel, in de breukstenen dammen bij de landhoofden en in de overgangsconstructies tussen de drempel en de stortebedden van asfaltmestiek. Het overige gedeelte is in hoofdzaak bestemd voor de bestorting van zink- en kraagstukken en voor de aanleg van met asfalt te penetreren glooiingen.

De drempel, de breukstenen dammen en de genoemde overgangsconstructies worden opgebouwd als fysisch vrijwel ondoordringbare filters, dat wil zeggen dat elke volgende laag ondoordringbaar is voor materiaal uit de vorige. De korrelverdelingen van de opeenvolgende lagen moeten daartoe binnen relatief nauwe grenzen op elkaar worden afgestemd. Daarnaast dienen de materialen stabiel te blijven ook tijdens de bouw van de kering, wanneer de stroomsnelheden toenemen. In de eindfase zijn het de zware stenen in de toplagen die onder extreme omstandigheden de onderliggende constructies beschermen. De steenlichamen van drempel en breukstenen dam dienen dan tevens in grondmechanisch opzicht stabiel te zijn.

De voornaamste eigenschappen van de steenachtige materialen die men verwerkt in de genoemde constructies betreffen de dichtheid, de sterkte, de korrel- of massaverdeling, de steenvorm, de wrijvings eigenschappen, de doorlatendheid en de bestendigheid in zeewater. De te stellen eisen worden beperkt door de beschikbaarheid van materialen die in voldoende hoeveelheid en tegen aanvaardbare kosten te koop zijn. Daarom is een uitgebreid vooronderzoek ingesteld en is mede aan de hand van proefleveringen bepaald welke steensoorten voor verwerking in aanmerking komen en welke parameters voor het ontwerp kunnen worden gehanteerd. Met de verkregen informatie is het ontwerp verder uitgewerkt.

De bestaande voorschriften voor de levering van breuksteen bleken niet toereikend te zijn voor de eisen die vanuit dit ontwerp moesten worden gesteld; derhalve heeft men gedurende het onderzoek nieuwe kwaliteitsnormen ontwikkeld. De nieuwe eisen sluiten beter aan

Breuksteen voor de Oosterschelde-kering

bij hetgeen in de praktijk haalbaar is.

De dichtheid van het materiaal wordt bepaald door de vereiste stroombestendigheid. In het algemeen blijkt het voor de Oosterschelde-kering aantrekkelijk de toplagen van de constructie te maken van breuksteen met hoge dichtheid, ofwel een soortelijk gewicht van 2900 à 3000 kg/m³. Voor de fijnere materialen, die in de eindfase zijn afgedekt met grover materiaal, kan men breuksteen gebruiken met een lagere dichtheid, 2600–2750 kg/m³.

Wil de filteropbouw ook na lange tijd aan de gestelde eisen voldoen, dan moet met het oog op breuk bij de verwerking en de hoge druk in de eindfase, een ondergrens aan de sterkte van de breuksteen worden gesteld.

De verbrijzelingswaarde, internationaal aangeduid met Aggregate Impact Value (AIV) is een maat voor de sterkte. Ze geeft aan welk percentage van de steen bezwijkt bij een standaard-vermorzelingsproef. Voor de stormvloedkering wordt voor het grootste deel breuksteen met een AIV van ten hoogste 25 % geleverd, en voor een kleiner deel steen met een AIV van ten hoogste 35 %.

De massaverdeling van de steenstukken biedt, meer dan de overige materiaaleigenschappen, mogelijkheden tot variatie in de constructies. Bij het ontwikkelen van de eerder genoemde normen is vooral aandacht besteed aan de afstemming van de massaverdeling van de verschillende sorteringen op de produktiemogelijkheden. Rond de nominale sorteringsgrenzen zijn daarbij bandbreedten bepaald waarbinnen de leveringen moeten vallen.

Steenform en massaverdeling bepalen in belangrijke mate de wrijvings eigenschappen en de doorlatendheid van breuksteenconstructies.

Voor de steenvorm wordt de eis gehanteerd dat de grootste afmeting van een steenstuk binnen een sortering niet meer mag bedragen dan driemaal de kleinste afmeting die erin voorkomt.

De levensduur van de breuksteensoorten die voor dit werk in aanmerking komen, basalt, graniet, diabaas en porfier, is zeer groot, groter dan de in dit verband aan de kering gestelde eis.

De in de Oosterschelde-kering te verwerken breuksteen is over een groot aantal sorteringen verdeeld. De keuze wordt bepaald door de ontwerp-eisen; daarbij wordt rekening gehouden met de afname van de gemiddelde massa van de steenstukken tijdens het transport en de verwerking.

De verdeling naar sortering is als volgt:

Nominale sorteringsgrenzen		hoeveelheden
----------------------------	--	--------------

5-40	kg	400 000 ton
10-60	kg	1 100 000 ton
60-300	kg	1 200 000 ton
300-1 000	kg	800 000 ton
1 000-3 000	kg	950 000 ton
3 000-6 000	kg	300 000 ton
6 000-10 000	kg	270 000 ton
10 000-15 000	kg	10 000 ton
15 000-20 000	kg	40 000 ton
20 000-25 000	kg	15 000 ton

Bijna 1 miljoen ton steen, voornamelijk in de sortering 60-300 kg, bestemd voor bestorting van de aanvankelijk bedoelde geheel dichte Oosterscheldedam, is reeds een aantal jaren geleden op het werk aangevoerd. Voor ruim 4 miljoen ton moesten nieuwe leveringscontracten worden afgesloten.

Aan de levering van de breuksteen in de sorteringen die hiervoor zijn genoemd, is een periode voorafgegaan van marktverkenning en van materiaalonderzoek.

Het verkennen had een tweeledig doel: in de eerste plaats het zoeken van geschikte steen tegen een aanvaardbare prijs, en in de tweede plaats het introduceren van de materiaaleisen. Met het materiaalonderzoek werd beoogd inzicht te krijgen in de meest relevante eigenschappen van de breuksteen, om zo tot een keuringsmethodiek te komen die enerzijds afgestemd zou zijn op de ontwerp-eisen en anderzijds op wat in de groeve praktisch haalbaar zou zijn.

Voor een goed verstaan van een en ander is het wellicht nuttig een stukje voorgeschiedenis te geven.

Al vele jaren lang wordt er in Nederland breuksteen toegepast, onder andere als oeverbescherming van rivieren, havens en kanalen en als bestorting op zink- en kraagstukken. Deze breuksteen werd geleverd in vele sorteringen, zoals 10/60 kg; 10/80 kg; 20/80 kg; 10/300 kg; 60/300 kg en 80/200 kg. Dit toont al aan dat er op dit gebied weinig uniformiteit was en is. De keuring van het materiaal berustte eigenlijk alleen op visuele waarneming. Meestal werd gelet op de grootte van de steen en op de mate van verontreiniging; men oordeelde de steen goed, te groot, te klein of te veel verontreinigd. De mate van afwijking werd in de regel niet bepaald en kon ook niet bepaald worden, omdat numerieke criteria veelal ontbraken. Dit leidde gelukkig niet tot rampen, omdat men misschien dan wel niet de steen kreeg die geheel overeenstemde met de genoemde sortering, maar wel de steen die men ongeveer verwachtte te zullen krijgen. Deze gang van zaken wordt in vele gevallen nog steeds als voldoende ervaren. Veelal zal een dergelijke oppervlakkige en subjectieve benadering ook wel voldoende zijn. Soms echter had men behoefte aan een exaktere benadering.

Zo is men in het begin van de zeventiger jaren begonnen met het bemonsteren van de aangevoerde steen en het toetsen van deze monsters aan numerieke keuringen. Doordat de eisen onvoldoende waren afgestemd op het produkt breuksteen waren de keuringsuitslagen niet bevredigend, in die zin dat op het oog zeer goede steen toch niet aan de eisen bleek te voldoen.

Bij de Oosterschelde-kering was er echter behoefte aan voorschriften die wel stringent maar ook uitvoerbaar waren, vooral voor wat betreft de steen in de drempel, de overgangsconstructie, de stortbedden en de dam aanzetten.

Deze steen maakt namelijk deel uit van de hoofdconstructie van de stormvloedkering en moet zo zijn gedimensioneerd dat ze geen zwakke schakel in de constructie vormt. De steen in de drempel bij voorbeeld moet niet alleen stabiel zijn onder de maatgevende omstandigheden, maar moet als deel van een filter ook voldoen aan de filterwetten.

De 'levensduur' van de steenconstructies moet even lang zijn als die van de stormvloedkering, dit in tegenstelling tot bij voorbeeld de levensduur van stortsteen in de sluitopeningen van de overige Deltadammen, waar hij na de afsluiting geen functie meer heeft.

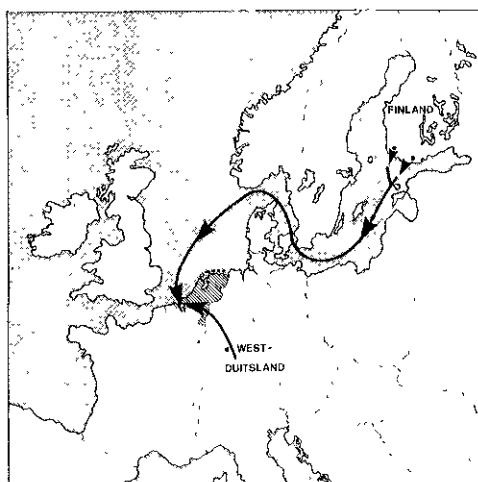
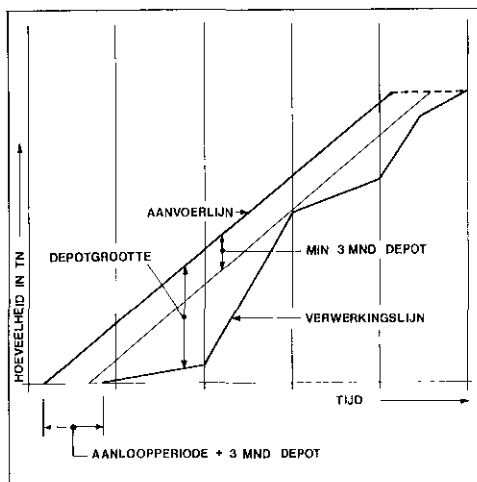


Fig. 1. Aanvoerroutes van breuksteen voor de Oosterschelde-kering.

Fig. 2. Aanvoer- en verwerkingsschema.



Gelet op de grote hoeveelheid steen, de vele sorteringen en, voor een deel van de hoeveelheid, de grote stukgrootten – tot maximaal 25 ton – stond men voor de vraag welke groeven deze steen zouden kunnen leveren.

Daar kwam nog bij dat men naast steen met een grote dichtheid – in de bovenste lagen van de drempel wordt gestreefd naar een soortelijk gewicht van 3000 kg/m^3 – uit kostenoverwegingen ook steen wenste met een veel kleinere dichtheid in de kern van de drempel. Het soortelijk gewicht hoefde daar maar 2,60 tot 2,65 t/m^3 te bedragen.

In 1977 is gestart met een inventarisatie van steenvoorkomens in een deel van West- en Noordwest-Europa. Groeven in Noorwegen, Zweden, Finland, Duitsland, België, Engeland, Schotland en Frankrijk werden bezocht en op hun bruikbaarheid beoordeeld.

Daarbij werd gelet op zaken van uiteenlopende aard. Allereerst werd gekeken naar de situering van de groeve: de afstand van de groeve tot diep vaarwater moest niet te groot zijn; het landtransport is namelijk relatief duur. De geologische toestand van het gebied werd geschat als indicator van de constantheid van het voorkomen en zijn kwaliteiten. Daarnaast had men veel aandacht voor het aanzicht van de groeewand. Is die erg verbrokken, dan is het niet te verwachten dat de groeve steen met een grote stukgrootte kan leveren.

Ook werd gelet op de dichtheid en de sterkte van de steen. Dit geschiedde aan de hand van gegevens in de groeve en door het onderzoeken van genomen monsters, onder andere op het gedrag onder vorst, en bij dooiwisselingen.

Wat de leveranciers betreft, na een algemene indruk te hebben gekregen van de groeve, onderzocht men en détail welke hoeveelheden steen er per jaar zouden kunnen worden geleverd; wat de soort en de grootte zou zijn van de in te zetten schepen voor het transporteren van de steen naar de Oosterschelde, en hoe het prijsniveau lag. Ook werd onderzoek ingesteld naar de financiële draagkracht en het technisch kunnen van de firma.

Bij deze inventarisatie werden vele gegevens verzameld, die onder andere een idee gaven van de eisen die men in redelijkheid aan het materiaal zou kunnen stellen. Dit inzicht werd nog verdiept door uitgebreid onderzoek in enkele groeven. Bij dit onderzoek bleek dat er aanvankelijk nogal wat verschil bestond tussen de grootte van de steen die men dacht te leveren en de grootte van de steen die men in werkelijkheid leverde.

Ten slotte werden de eisen nog eens getoetst aan een aantal proefladings breuksteen uit

groeven in Duitsland, Engeland, Schotland, Noorwegen en Finland.

Zo konden tenslotte eisen worden ontwikkeld die uit ontwerp-oogpunt aanvaardbaar waren, en waaraan de groeven zouden kunnen voldoen als ze beschikten over geschoold kader en goed materieel.

Eind 1979 konden toen leveranciers worden uitgenodigd voor het doen van een prijsopgave voor het leveren van breuksteen in schip voor de wal in een van de werkhavens van de Oosterschelde-kering. De leveringsovereenkomsten op grond waarvan deze prijsopgave werden gevraagd, hebben een duur van 4 jaar. Ten einde de risico's voor de leveranciers te verkleinen, komen schommelingen in de prijscomponenten loon en brandstof en in de valutakoers voor verrekening in aanmerking. De prijsaanbiedingen zijn uitvoerig geanalyseerd. Op grond hiervan werden in januari 1980 vier contracten afgesloten voor de levering van ruim 4 miljoen ton steen met drie leveranciers, een Duits, een Fins en een Schots bedrijf. Het Schotse bedrijf moest echter afhaken nog voordat het met de levering was begonnen. Dankzij het vele reeds gedane inventarisatiewerk kon binnen korte tijd een tweede inschrijving worden gehouden om een andere leverancier te zoeken. Ook deze inschrijvingen werden uitvoerig geanalyseerd, waarna de levering werd gegund aan een Fins bedrijf. Enkele bijzonderheden met betrekking tot de leveranciers, de soort steen, en de plaats van herkomst staan vermeld in de tabel.

Het grootste deel van de breuksteen voor de Oosterschelde-kering zal worden verwerkt in de jaren 1983 tot en met 1985.

Hoewel het in sommige opzichten aantrekkelijk is de steen direct uit de aanvoerscheppen op de verwerkingsscheppen over te slaan, is reeds in 1980 met de aanvoer begonnen, en wordt een deel van de aangevoerde steen op het werk in natte en droge depots opgeslagen. Deze aanpak wordt in hoofdzaak bepaald door de produktiemethoden in de groeve. De produktie is optimaal wanneer diverse steensorteringen min of meer gelijktijdig kunnen worden geproduceerd: kleine en grote stenen zijn in zekere zin elkaars bijprodukten. In de sluitgaten worden echter eerst de kleinere steensorteringen verwerkt. De ook al geproduceerde grotere stenen moeten dan worden opgeslagen, en in de groeven is maar een beperkte opslagruimte beschikbaar. Bovendien kan de produktiecapaciteit van de groeven niet altijd gelijke tred houden met de te verwerken hoeveelheden steen. Tijdens de aanleg van de drempel wordt per week 50 000 à 70 000 ton verwerkt, en het is economisch niet verantwoord voor de betrekkelijk korte periode waarin deze hoeveelheden nodig zijn, investeringen te doen ten behoeve van zo'n hoge produktie. Men moet ook rekening houden met de aanloopperiode van de groeven. Het duurt in het algemeen geruime tijd voordat een groeve een maximale produktie bereikt. Door depotvorming vermijdt men het risico van stagnatie in de aanvoer, door bij voorbeeld lage waterstanden op de Rijn of storm op zee. Gedurende de wintermaanden wordt in verband met het dichtvriezen van de Botnische Golf zelfs helemaal geen steen uit Finland aangevoerd.

leverancier	herkomst-land	plaats	laadhavens	afstand groeve-laadplaats	hoeveelheid	steen-soort	dichtheid	A/V
BAG	Bondsrepubliek Duitsland	Balduinstein (Wester-Wald)	Koblenz	40 km	1,4 miljoen ton	Basalt	3t/m ³	<25%
BAG	idem	Mayen (Eiffel)	Koblenz	35 km	0,8 miljoen ton	Basalt-Lava	2,75t/m ³	<25%
Mynämäen	Finland	Eurojoki (ZW Finland)	Eurojoki (Botnische golf)	10 km	1,25 miljoen ton	Diabaas	3t/m ³	<25%
Partek	idem	Pargas (ZW Finland)	Pargas (Finse golf)	2 km	0,75 miljoen ton	Graniet	2,6t/m ³	<35%

Daar de aanleg van de drempel deel uitmaakt van een groot aantal onderling samenhangende werkzaamheden aan de kering, zou het niet tijdig beschikbaar zijn van de juiste materialen grote gevolgen hebben voor het gehele bouwproces. Daarom is de eis gesteld dat van elke steensortering een voorraad voor ten minste drie maanden op het werk aanwezig moet zijn (fig. 2).

Ondanks deze beperkingen zijn de aanvoer en de verwerking zo op elkaar afgestemd dat toch nog een zo groot mogelijk deel van de breuksteen direct vanuit de aanvoerschepen op de verwerkingsschepen kan worden overgeslagen. Het aanvoer- en overslagbedrijf van breuksteen staat verder onder invloed van de omvang die de aanvoer aanneemt, van het aantal en type van de aanvoerschepen en van de reeds genoemde afstemming van aanvoer op verwerking. Ook de depotvorming, de ligging en de inrichting van de werkhavens, met hun beschikbare of nog te realiseren los- en laadvoorzieningen en het beschikbare overslagmateriaal hebben er invloed op.

2 200 000 ton van de totaal aan te voeren hoeveelheid breuksteen wordt uit Duitsland via de Rijn naar de Oosterschelde getransporteerd. De aanvoer uit Duitsland vindt plaats met duweenheden met een laadvermogen van 2000 ton. Per week komen gemiddeld 6 duwbakken op het werk aan. Elke duwbak wordt in ongeveer 15 uren gelost.

Vanuit Finland wordt de breuksteen aangevoerd met door sleepboten getrokken pontons. De pontons zijn 130 m lang en 30 m breed; ze hebben een diepgang van 6 à 7 m en een laadvermogen van 20000 ton. De steenaanvoer uit de beide Finse groeven wordt voor wat het transport overzee betreft gecombineerd.

Begonnen is met twee pontons en één sleepboot. Later wordt het bedrijf uitgebreid tot drie pontons en twee sleepboten. Er ontstaat dan een aaneengesloten losbedrijf. Het lossen van een ponton met 20 000 ton steen duurt ongeveer zes dagen.

Op en nabij het werk kan de breuksteen zowel worden opgeslagen in depots in het water van de werkhavens als in depots op het land. Wat voor depot men kiest, wordt uitgemaakt door het tempo waarin de steen moet worden verwerkt, de plaats van verwerken en het materieel voor aanvoer en overslag.

Na onderzoek van verschillende modellen heeft men besloten voor de breuksteen uit Finland uitsluitend droge depots aan te leggen, en gedeeltelijk droge, gedeeltelijk natte depots voor de breuksteen uit Duitsland. Van de steen uit Duitsland worden alleen de sorteringen

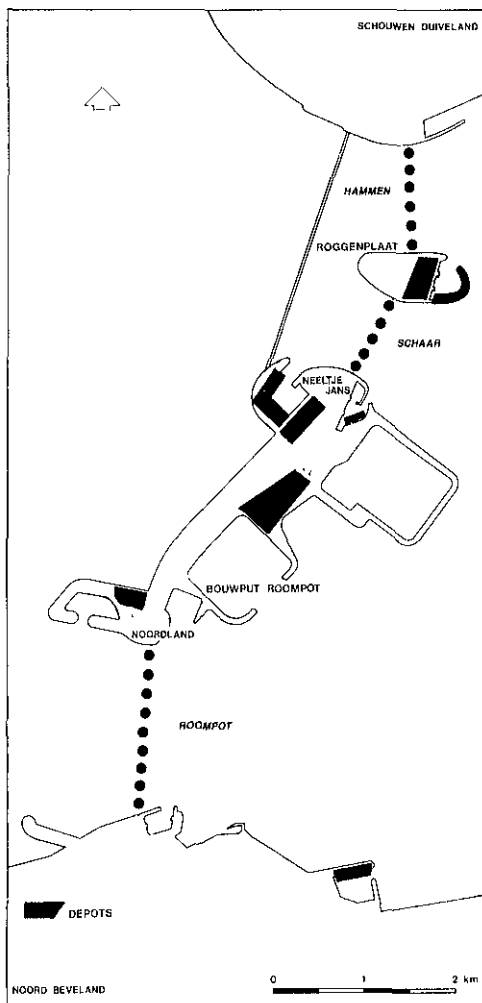


Fig. 3. Werkhavens en steende-pots.



5–40 kg en 10–60 kg in natte depots opgeslagen, de overige in droge depots. Het is in dit verband nog van belang te vermelden dat grote stenen moeilijker dan kleine uit natte depots kunnen worden opgenomen; het beladen van de verwerkingsschepen gaat dan te traag verlopen en de depotverliezen worden te groot. De reeds op het werk aanwezige breuksteen 60–300 kg is vrijwel geheel in natte depots opgeslagen.

De natte depots beslaan een groot deel van de buitenhaven Neeltje Jans, de werkhaven Roggenplaat en de werkhaven Sophia. De droge depots hebben een gezamenlijk oppervlak van 30 hectare en zijn geconcentreerd op het werkeiland Neeltje Jans. Een klein droog depot wordt nog aangelegd op de Roggenplaat. Naarmate de bouw van de kering vordert, neemt de mogelijkheid om met schepen door

het tracé te varen af, zodat de aanvoerschepen niet alle werkhavens meer kunnen bereiken, en de verwerkingsschepen aan beide zijden van de kering moeten kunnen worden beladen. De situering van de depots is daar op afgestemd. Ook de inrichting van de werkhavens wordt daar voor een belangrijk deel door bepaald. Door enig baggerwerk uit te voeren heeft men ze alle geschikt gemaakt voor de ontvangst van duwbakken. Voor de ontvangst van pontons uit Finland zijn gezien hun afmetingen uitsluitend de werkhaven bij de bouwput in de Roompot en de buitenhaven van de nog te bouwen Roompotsluis geschikt.

De los- en laadplaatsen die in vrijwel alle werkhavens moesten worden aangelegd, bestaan uit een aantal betrekkelijk eenvoudig geconstrueerde loswallen van 40 m lengte, geschikt voor het lossen van duweenheden en



Links: Steenwinning in de
groeve te Eurojoki;
Boven: Steendepot

het laden van verwerkingsschepen.

Dit type loswal is echter in verband met de vereiste diepte niet geschikt voor het lossen van de grote pontons uit Finland. Het is ook niet doenlijk om met een kraan vanaf de loswal het gehele vlak van deze aanvoerpontons te bereiken. Om deze problemen te ondervangen is een zogenaamde roll-on-roll-off inrichting geconstrueerd, die bestaat uit een ponton van 25 x 90 m, drijvend tussen twee stalen palen. Via een brug is hij verbonden met de wal. Het dek van de ro-ro-pontoon kan op gelijke hoogte worden gehouden met het dek van de aanvoerpontoon door de aanvoerpontoon tijdens het lossen met water te ballasten. Het losmaterieel kan de aanvoerpontoon dan op rijden. Verhalen van de aanvoerpontoon is gezien de lengte van de ro-ro-pontoon niet nodig. Vanaf de ro-ro-pontoon kunnen ook de verwerkingsschepen worden beladen, zonodig gelijktijdig met het lossen van de aanvoerpontoon. Bij directe verwerking van de aanvoer kunnen dan twee verwerkingsvaartuigen tegelijkertijd worden beladen. De ro-ro-pontoon wordt ook gebruikt

voor het lossen van duwbakken vanuit Duitsland.

Wanneer de steenaanvoer uit Finland naar de bouwput Roompot ophoudt tijdens en na het plaatsen van de pijlers in het sluitgat Roompot, wordt de ro-ro-pontoon overgebracht naar de buitenhaven van de Roompotsluis.

De gemiddelde overlaadcapaciteit van breuksteen voor de drempel is 1000 ton per uur. Incidenteel zal de capaciteit moeten oplopen tot 1500 ton/uur in verband met de uitvoering van andere werkonderdelen. Om deze capaciteiten te kunnen bereiken worden in de droge depots, op de loswallen en op de ro-ro-pontoon hydraulische kranen gebruikt. In de natte depots worden drijvende draadkranen ingezet. Bij de steensoorten vanaf 6 ton wordt in elke steenbrok een gat geboord en een haak ingelijmd, waaraan de steen wordt opgehesen. Het transport naar en van de depots vindt plaats met speciale 32-ton steenwagens, de lichtere soorten soms ook met 15-tons wagens. Een kraan zet de steen daar tot een hoogte van 4 à 5 m op; dit om de oppervlakte van het depot te beperken.

Bij duwbakken en binnenvaartschepen wordt de grootte van de lading door scheepsmeting bepaald. Met de pontons uit Finland is dit echter niet mogelijk vanwege de niet nauwkeurig te bepalen hoeveelheid water in de ballast-tanks. Voor het meten van de uit Finland aangevoerde hoeveelheden is daarom op het werkeiland een weegbrug geïnstalleerd. De lading van de verwerkingsschepen wordt weer bepaald door scheepsmeting. Het lossen, in depot brengen en laden van de breuksteen is geregeld in een langlopende overeenkomst die jaarlijks wordt bijgesteld.



Tijdens de bouw van de Oosterschelde-kering verandert de stroom in de mond van deze zeearm voortdurend. Zodra er weer een nieuwe pijler geplaatst is, moet het water dat eerst op de plaats van de pijler stroomde, immers een andere weg zoeken. Daardoor wordt de stroomsnelheid op vele andere plaatsen hoger. Maar de stroom wordt ook onregelmatiger: in de buurt van de pijler zullen we plaatselijk extra hoge snelheden aantreffen, verder ook wervelstraten en soms, vlak langs de pijlerwand, stroom tegen de hoofdstroom in.

Het is van groot belang te weten hoe de stroom verandert. Want bij de volgende plaatsing van een pijler kunnen de hogere stroomsnelheden en het onregelmatiger stroombeeld extra problemen scheppen. Een tijd later moeten steenstorters zich tussen de pijlers begeven om een drempel op te storten. Lukt het om daartussen te manoeuvreren? Komen de stenen wel op de goede plaats terecht? Dat hangt mede van de stroom af. In nog latere bouwfasen moet men met de stroom rekening houden bij het plaatsen van de brugliggers, de schuiven, de hamerstukken en de bovenbalken. Al die elementen blijven weliswaar ver boven water, maar de bok die de elementen plaatst niet. Die ligt precies daar waar de stroom het sterkst is. Het is moeilijk manoeuvreren met elementen van vele honderden tonnen vanaf een slingerende bok. Van nog grotere invloed is de stroom bij het plaatsen van een dorpelbalk, aangezien die onder water, dwars op de stroom, precies in twee sponningen van de pijlers moet zakken, zonder tegen de pijler te botsen. Weliswaar spelen al die plaatsingsactiviteiten zich in principe af tijdens de kentering. Maar de kentering duurt juist tussen de pijlers en boven de drempel wel erg kort, zodat toch met een behoorlijke stroom moet worden gerekend. Er wordt uitgebreid onderzoek verricht naar de stroom in al die verschillende bouwfasen. Het stroombeeld is steeds tamelijk gecompliceerd.

Stroommeting in het overzichtsmodel van de Oosterschelde.

Hoe de stroom verandert gedurende de bouw van de Oosterschelde-kering

Daarom zijn hydraulische schaalmodellen onmisbaar. Daar is allereerst M 1000, het getijmodel van de gehele Oosterschelde. Daarin is de hele zeearm en ook nog een stukje Noordzee op schaal nagebouwd. Aan de rand van dat stukje Noordzee bevinden zich pompen en kleppen die op en neer gaan, waardoor water in en uit het model stroomt, net als bij een getijbeweging.

In dit model is een aantal bouwfasen onderzocht: van de fase met slechts enkele pijlers tot de fase waarbij het grootste deel van de dorpelbalken al is geplaatst. Steeds werden de stroomsnelheden en -richtingen op vele plaatsen rond de kering gemeten. Links staat een foto van een stukje van dit model: de twee noordelijke sluitgaten. Het is een soort luchtfoto. Het zwarte is water. De witte streepjes geven het stroombeeld weer. Ze worden veroorzaakt door witte balletjes die op het wateroppervlak drijven, terwijl de camera een zeer lange belichtingstijd had.

Om tijd en kosten te besparen werden de proeven voornamelijk gedaan met slechts één soort getij, het gemiddelde. Later in dit artikel zal worden ingegaan op de vraag hoe de resultaten geëxtrapoleerd kunnen worden naar andersoortige getijden, zoals doottij en springtij.

Bijna evenveel bouwfasen werden onderzocht in M 1001, het detailmodel van de Oosterschelde *demonstratie dat een grotere schaal heeft, zodat het stroombeeld ook en détail bepaald kan worden.*

Soortgelijke informatie over een drietal bouwfasen is tenslotte verkregen uit proeven in de zogenaamde windgoot in Delft. In deze goot konden, op schaal, vijf pijlers naast elkaar worden geplaatst.

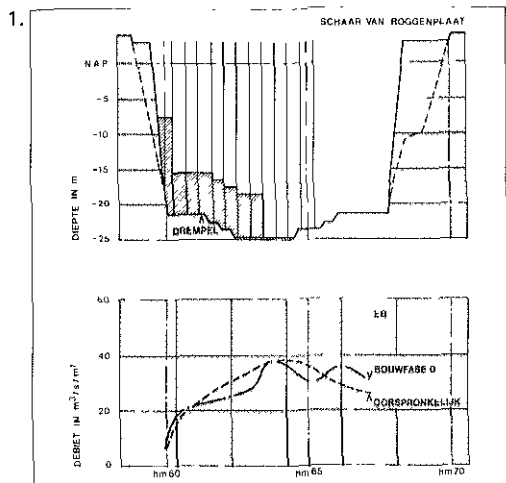
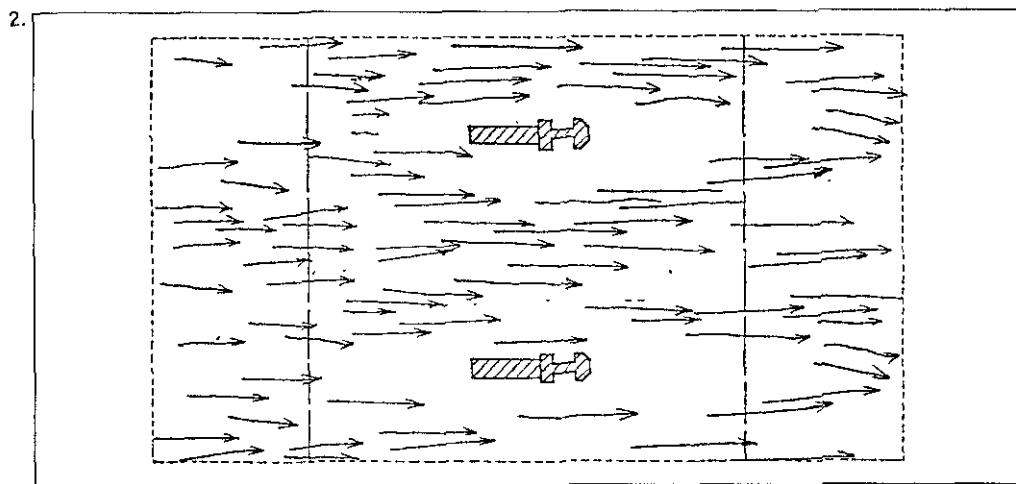


Fig. 1. Dwarsprofiel en debiet in de Schaar van Roggenplaat nu en in bouwfase 0.

Fig. 2. Stroombeeld tussen de pijlers. De lengte van elk pijltje is een maat voor stroomsnelheid.

Fig. 3. Stroombeeld in de Oosterschelde bij schuine aanstroming van de kering.



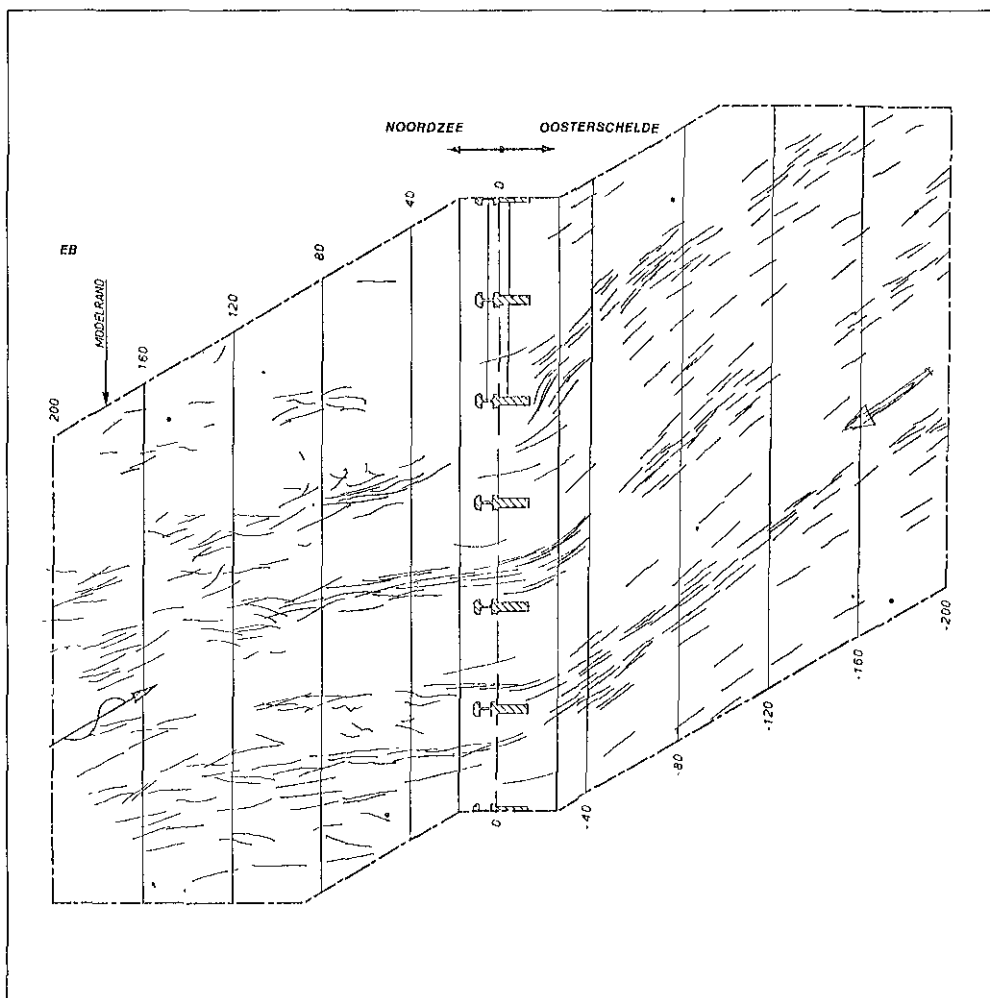
Behalve hydraulische modellen, werden ook computermodellen van de Oosterschelde gebruikt.

Ten slotte waren metingen in de natuur onmisbaar, enerzijds als controle achteraf van de modellen, anderzijds als basis voor de bestudering van bepaalde verschijnselen, zoals de invloed van variatie van het getij op de snelheden.

Het thans verrichte onderzoek heeft al heel wat kennis opgeleverd. Op basis daarvan zullen in de rest van dit artikel enige stroomverschijnselen worden besproken. Eerst zal aandacht worden besteed aan verschijnselen op grote schaal, om vervolgens af te dalen naar de kleine schaal van het detailstroombeeld rond een paar pijlers. Ten slotte wordt ingegaan op de rol van de variatie van het getij.

De stroom door de mond van de Oosterschelde is te danken aan de afwisseling tussen hoog- en laagwater, de verticale getijbeweging. Als de waterstand in het Oosterscheldebekken stijgt van laag- naar hoogwater, moet een geweldige hoeveelheid water door de Oosterscheldemond naar binnen stromen; dat is de vloedstroom. Omgekeerd doet de daling van de waterstand op zee de ebstroom ontstaan. De verticale getijbeweging wordt aan de Noordzee-kant niet beïnvloed door de Oosterschelde-kering. Zolang het verval over de kering gering is, zal die beweging in het Oosterscheldebekken ook niet sterk veranderen en blijft dus de hoeveelheid water die telkens in en uit het bekken moet stromen, praktisch gelijk.

Tot de eerste dorpelbalken worden geplaatst blijft dit verval inderdaad gering. Uit modelon-



derzoek is gebleken, dat het totale maximum-debiet tot aan dat moment afneemt met minder dan 1%. Maar tijdens het plaatsen van de dorpelbalken neemt het geleidelijk verder af met 20% à 30%.

Per sluitgat is er wat meer variatie in het debiet, met name in de twee noordelijke sluitgaten. Dat komt doordat eerst de Hammen wordt volgebouwd met pijlers en drempel en daarna pas de Schaar, zodat zo'n 10% van het debiet van de Hammen tijdelijk uitwijkt naar de Schaar. Het wijkt niet uit naar de Roompot, omdat pijlers en drempel daar tegelijk in ongeveer hetzelfde tempo worden aangebracht als in de twee noordelijke sluitgaten. Bovendien ligt de Roompot verder weg.

Veel sterkere veranderingen treden op in de verdeling van het debiet binnen elk sluitgat, vooral dan wanneer aan de ene oever al een

drempel is opgebouwd, terwijl aan de andere oever zelfs nog geen pijlers staan (figuur 1). Ook tijdens het plaatsen van de dorpelbalken zal het debiet tijdelijk zeer onregelmatig verdeeld zijn over het sluitgat.

Als met de debietverdeling binnen een sluitgat het debiet tussen twee pijlers bekend is, kan de gemiddelde snelheid tussen die pijlers berekend worden. Maar daarmee weten we nog niet hoe groot bij voorbeeld de maximum stroomsnelheid aan het oppervlak is. Enerzijds treedt horizontale contractie op: midden tussen de pijlers stroomt het veelal harder dan vlak langs de pijlers, zoals te zien is in figuur 2. Anderzijds is de snelheid aan het oppervlak meestal groter dan bij de bodem. Uit de resultaten van bovengenoemde onderzoeken in het Oosterschelde-detailmodel en de windgoot, komt globaal naar voren hoe de verhouding is



tussen de lokale maximumsnelheid en de gemiddelde snelheid tussen de pijlers. Benedenstrooms van de kering, in het zog van pijlers en drempel, zijn dergelijke verschijnselen nog sterker.

Stroombeeld bij extreem verval; proef in het detailmodel van de Oosterscheldedmond.

Getijvariatie

Bij het onderzoek ter beantwoording van de vraag hoe de stroming verandert gedurende de bouw van de kering, wordt er in principe van uitgegaan dat we kunnen volstaan met de bestudering van de verandering bij gemiddeld getij. Bij een ander getij, bij voorbeeld een extreem springtij, zal de verandering waarschijnlijk in grote lijnen gelijk zijn, maar er kunnen toch wel afwijkingen komen, vooral tegen het einde van de bouw.

Alvorens daar op in te gaan, besteden we eerst aandacht aan een onderzoek naar de invloed van de variatie van het getij in de huidige situatie. Natuurmetingen spelen daarbij uiteraard de hoofdrol.

Al ettelijke malen zijn permanente stroommeters geïnstalleerd op vijftien punten in de as van de kering. Die registreren de lokale stroomsnelheden twee of drie weken lang 24 uur per dag. Uit de registraties is een verband af te leiden tussen de maximale eb- of vloedssnelheid en het bijbehorende getijverschil.

Aangezien we langjarige waarnemingen van het getijverschil hebben, kunnen we berekenen welke snelheden er zullen voorkomen, en hoe vaak per jaar. De snelheden bij voorbeeld die maar éénmaal per jaar voorkomen kunnen bij vloed 50 à 60% hoger zijn dan bij gemiddeld getij, en bij eb 25 à 30%.

Tot hoelang deze zelfde getallen gebruikt kunnen worden is nog niet duidelijk. Daarom

worden berekeningen uitgevoerd met IMPLIC, het één-dimensionale computermodel van de Oosterschelde. Met dit programma kan een soortgelijke veertiendaagse reeks snelheden worden gevonden als met de permanente stroommeters. Het gaat dan niet om lokale snelheden, doch om de snelheden gemiddeld over een heel sluitgat. Voor deze grootheden kan dan ook het verband met het getijverschil worden afgeleid. En dan ook voor latere bouwfasen.

Uit een eerste oriëntatie is al gebleken dat de invloed van de variatie van het verticaal getij op de snelheden in de laatste bouwfasen merkbaar afneemt. Dit was ook wel te verwachten, aangezien de weerstand van de kering meer dan evenredig met het debiet toeneemt.

Zo blijkt dat het onderzoek al heel wat informatie heeft opgeleverd over de stroom in de bouwfasen, maar dat er ook nog heel wat moet worden uitgezocht. Waar het uiteindelijk om gaat, is de vaststelling van de maatgevende stroomkarakteristieken voor ieder werktuig, voor iedere bouwactiviteit en voor iedere bouwphase. Met de kennis omtrent de verandering van de stroom gedurende de bouwfasen wordt de basis gelegd om die stroomkarakteristieken af te leiden.

De fundering van de stormvloedkering moet verschillende functies vervullen. Onder andere in bericht 96 (mei 1981), is hierop reeds uitgebreid ingegaan. Het artikel dat u nu leest, gaat alleen over cyclische verhangen. Eerst worden kort de gebruikte begrippen gedefinieerd. Daarna wordt een beschrijving gegeven van het probleem rond de cyclische verhangen. Vervolgens wordt het onderzoek behandeld dat geleid heeft tot een grootschalige proef in de Deltagoot, en tenslotte de proef in de Deltagoot zelf.

Tot goed begrip van wat volgt dient men de inhoud te kennen van een paar begrippen. Zo is er spake van:

verhang, dat wil zeggen het verschil in waterdruk tussen twee punten gedeeld door de afstand tussen die twee punten. Met de term *filter* bedoelen we een laag grove korrels, aangebracht op een laag fijne korrels met het doel de fijne korrels vast te houden. De *filterbelasting* is dan het verhang dat in het scheidingsvlak tussen de grove en de fijne korrels werkt als gevolg van verval- en golfkrachten op de pijlerconstructie, en de *filtersterkte* geeft aan welk verhang het filter nog kan hebben zonder dat de fijne korrels indringen tussen de grove korrels.

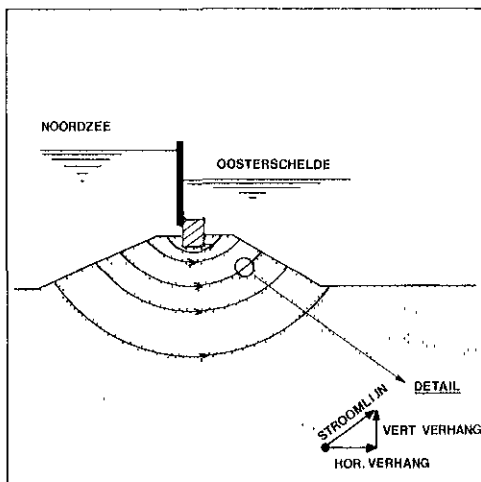
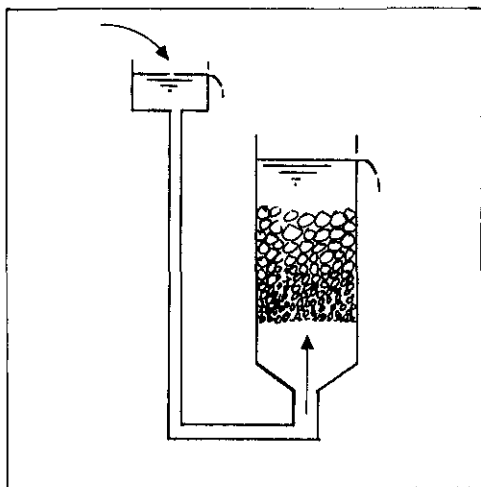
De pijler staat op een fundering die bestaat uit een op het Oosterscheldestrand gelegde filtermat. Deze filtermat is opgebouwd uit lagen zand en grind; de onderste laag, het zand, sluit filtertechnisch aan op het Oosterscheldestrand, en de bovenste laag op de eerstvolgende drempellaag. Als er zandkorrels van uit de ondergrond in het funderingsbed binnendringen, kunnen er zettingen van de pijler optreden. Dit fenomeen treedt pas op wanneer een zekere kritieke belasting situatie wordt overschreden. Dat wil zeggen, de indringing vindt pas plaats, als de aanwezige filtersterkte kleiner is dan de optredende belasting. Hierna worden de beide begrippen filtersterkte en -belasting verder uitgewerkt. De filtersterkte wordt voornamelijk bepaald door de verhouding van de diameter van de korrels van het zogenaamde basismateriaal, het Oosterscheldestrand dus, en het zand in de laag daarop.

Men denke zich een bak, waarin een laag grote bollen het filtermateriaal voorstelt, dat is aangebracht bovenop een laag kleine bollen,

Onderzoek in de Deltagoot naar de cyclische verhangen onder de pijlers

het basismateriaal. Indien de verhouding van de diameter van de grote bollen en de kleine bollen voldoende klein is, zullen er bij een zekere belasting bestaande uit een omhoog gerichte waterstroom geen kleine bollen tussen de grote bollen doordringen. De filtersterkte is dus groter dan de optredende belasting. De filtersterkte is niet alleen afhankelijk van de diameterverhouding, maar ook van de pakking van de korrels, de vorm van de zeefkrommes van het basis- en het filtermateriaal, de aanwezige bovenbelasting en de soort van aandrijvende krachten. Een dichte pakking van de korrels komt tot uiting in een relatief geringe holle ruimte tussen de korrels van het filtermateriaal; de filtersterkte neemt daardoor toe. Een grote bovenbelasting, in casu het gewicht van de pijler op het filter, zorgt ervoor dat de korrels van het basismateriaal onder een grote drukspanning komen. Daardoor zullen ze moeilijker in het filter kunnen doordringen. Ook dit resulteert in een grotere filtersterkte. De belasting die zandkorrels in het filter kan doen doordringen, is een waterstroom in de grond, veroorzaakt door drukverschillen ten gevolge van verval- en golfbelasting. De grootste drukverschillen treden op wanneer de kering gesloten is.

Het over de kering staande verval veroorzaakt drukverschillen, en daarmee verhangen op het grensvlak basismateriaal/filter. Onder invloed van de golfbelasting op de kering komt de pijler in een wiebelende beweging. Daardoor treedt vervorming van het grondpakket op met als gevolg dat er zogenaamde cyclische verhangen in de ondergrond worden opgeroepen. De door de golfbelasting veroorzaakte cyclische grondspanningen onder de pijler worden voor een deel opgenomen door het



water en voor het overige deel door de korrels. Deze waterspanningen geven drukverschillen en dus verhangen op het grensvlak. Ten gevolge van deze verhangen is het mogelijk dat zandkorrels in het filter verdwijnen.

De grootte van de verhangen wordt bepaald door de vorm van de constructie, de doorlatendheden en de stijfheden van de verschillende materialen, het luchtgehalte van het water en de grootte van de golfkrachten, uitgedrukt in golfamplitude en golfperiode.

Het in de afgelopen jaren verrichte onderzoek naar de mogelijke consequenties van de optredende cyclische en stationaire verhangen op de fundering van de pijlers was gesplitst in twee delen, die gelijktijdig werden aangepakt. Het eerste deel betrof de bepaling van de filtersterkte in verschillende filters, onder invloed van zowel verval als cyclische golfverhangen. Het tweede bestond uit de bepaling van de grootte van de verhangen in de verschillende filters. Hierna zal alleen verder worden ingegaan op de bepaling van de grootte van de cyclische verhangen, omdat dit aspect de meeste complicaties opleverde.

Deze grootte kan worden bepaald in rekenmodellen, maar ook met behulp van proeven. De invloed van verschillende parameters, zoals de krachten, de samenstelling van het Oosterschelde-zand en de opbouw van het funderingsbed kan gemakkelijker en sneller worden bepaald met rekenmodellen. Om zekerheid te verkrijgen dat de hiermee berekende verhangen juist waren, werd het rekenmodel getoetst aan de hand van een proefopstelling. Het onderzoek werd dus gesplitst in enerzijds berekeningen met rekenmodellen, en anderzijds toetsing van het rekenmodel aan een eenvoudige één-dimensionale proefopstelling, en aan een grote

twee-dimensionale modelproef. Tenslotte leidde dit tot een definitieve berekening van de verhangen.

Verwacht werd dat de grootste cyclische verhangen zouden optreden onder de hoekpunten van de pijler, aan zowel de Oosterschelde- als de Noordzezijde, omdat de pijler globaal zou roteren om zijn as. Daartoe werden pijler en ondergrond geschematiseerd tot een verticale moot grond onder de hoekpunten van de pijler. Met behulp van een één-dimensionale analytische som konden onder invloed van verticale cyclische belastingen de waterspanningen en dus de verhangen berekend worden in de verschillende grenslagen. Deze berekeningen werden ook uitgevoerd met het eindigelementenprogramma 'SPONS', omdat met dit programma uiteindelijk voorspellingen zouden worden gemaakt voor de pijlers in de Oosterschelde.

Beide rekenmodellen gaven dezelfde resultaten. Vervolgens zijn ze getoetst aan de zogenaamde één-dimensionale proef.

In deze proef werd een laag grof zand aangebracht op een laag fijn zand.

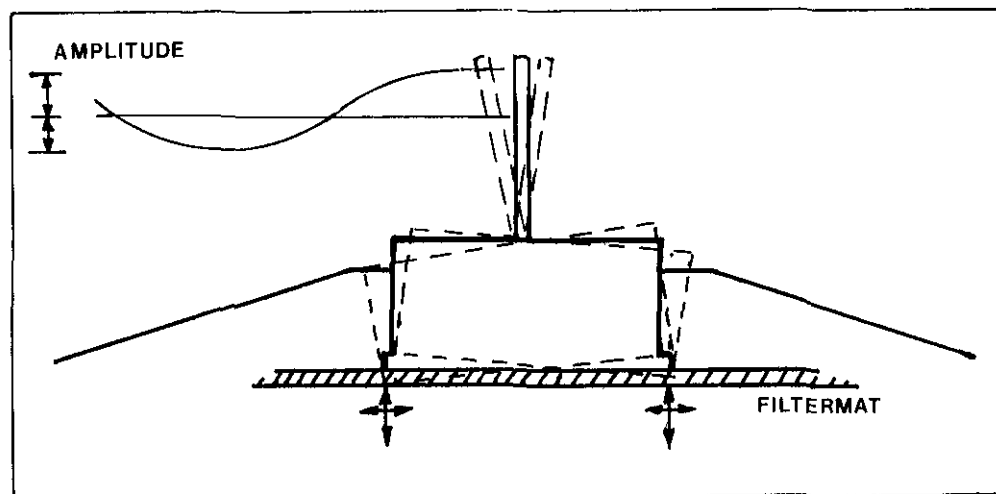
Om de één-dimensionale situatie na te bootsen, werd de horizontale afstroming van het poriënwater verhinderd. De overeenkomst tussen de berekening met 'SPONS' en de metingen was goed te noemen. Geconcludeerd kon dus worden dat het programma 'SPONS' de door een cyclische belasting veroorzaakte cyclische verhangen voor een één-dimensionale situatie goed berekent. Omdat de werkelijke situatie veel meer twee-dimensionaal dan één-dimensionaal was, is vervolgens met 'SPONS' een berekening gemaakt van een langsdoorsnede van een pijler.

Dit leverde verschillende verbeteringen op: de

Fig. 1. Filter met opwaartse waterstroom.

Fig. 2. Dwarsdoorsnede over de drempel tussen de pijlers met stroomlijnen ten gevolge van verval.

Fig. 3. Dwarsdoorsnede over een pijler onder golfbelasting.



overdracht van de krachten van de pijler naar de ondergrond kon veel beter bepaald worden, de ondergrond kon horizontaal vervormen, en er was horizontale afstroming van het onder druk staande poriënwater mogelijk. Met name vanwege de mogelijkheid tot horizontaal afstromen werd verwacht dat de cyclische verhangen sterk zouden afnemen in vergelijking met de één-dimensionele situatie. Uit de 'SPONS'-resultaten bleek, dat de cyclische verhangen afnamen, maar dat ze nog steeds aanzienlijk waren.

Het eindige-elementenprogramma 'SPONS' rekent met een zogenoemd lineair elastisch grondmodel. Dat gaat, zoals uit de proef is gebleken, wel op voor een één-dimensionele situatie. Maar bij een twee-dimensionele situatie spelen ook schuifspanningen een rol, de overdracht dus van de horizontale golfkracht

aan de ondergrond. Omdat de invloed daarvan op de cyclische verhangen moeilijk kon worden geschat en omdat het verwachte gunstige effect van horizontaal afstromen tegenviel, werd besloten de twee-dimensionele 'SPONS'-berekening te toetsen aan een proef. In verband met meetnauwkeurigheden en schaafeffecten werd voorgesteld een zo groot mogelijk model van de pijler te beproeven. Dit kon in de nieuwe golfgoot in het Waterloopkundig Laboratorium 'De Voorst', de 'Deltagoot'. Deze goot, die gebouwd was voor het bestuderen van de Oosterschelde-problematiek, zou pas eind 1979 operationeel zijn. De ontwerpers konden echter niet zo lang wachten op de modelresultaten. Omdat verwacht werd dat de cyclische verhangen uit de modelproeven ook zeer groot zouden zijn, werd toen als afdoende oplossing een funderingsbed gekozen dat

bestaat uit een 'ondoordringbaar' filter, dus met een filteropbouw die de indringing van materiaal van uit een laag in de daarop liggende laag praktisch uitsluit.

Het voornaamste doel van de Deltagootproeven werd daarom het testen van het computerprogramma 'SPONS'. Dit was van belang, zowel voor het beter voorspellen van de cyclische verhangen onder de pijlers als voor de toekomstige conditiebewaking van de Oosterscheldedeking. In het programma van de conditiebewaking van de Oosterscheldedeking worden juist vanwege de cyclische verhangen ook waterspanningsmeters aangebracht in de grond onder enkele pijlers. Om de gemeten waterspanningen te kunnen interpreteren, is een goed rekenmodel noodzakelijk.

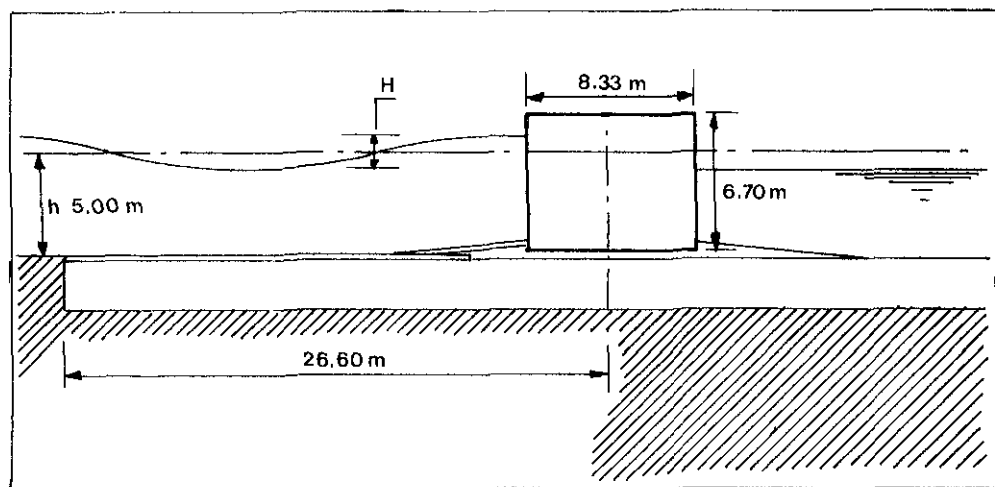
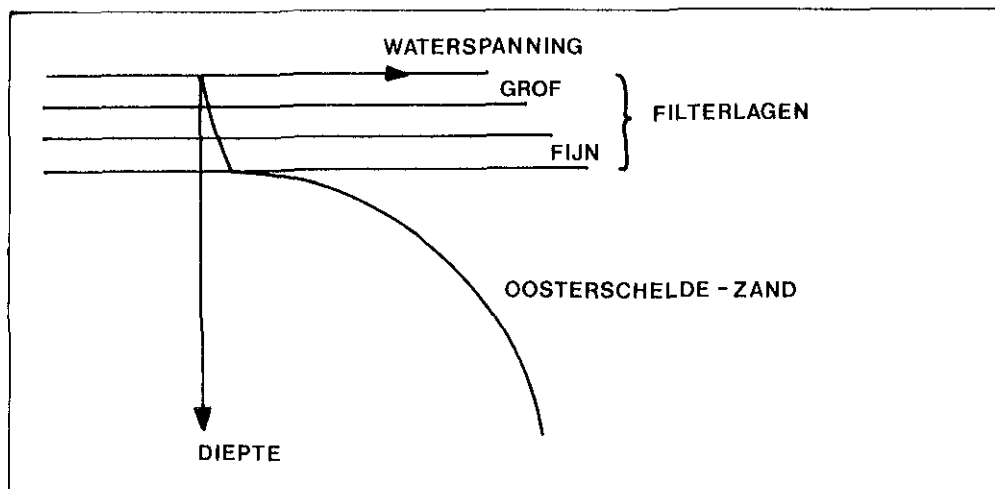
De Deltagoot

De Deltagoot is een faciliteit waarin gecombineerd hydraulisch en grondmechanisch onderzoek wordt uitgevoerd door het Waterloopkundig Laboratorium en het Laboratorium voor Grondmechanica. De goot heeft een lengte van 233 m, een breedte van 5 m en een diepte van 7 m. De eigenlijke testsectie is 50 m lang en 9,5 m diep. De wanden van de testsectie bevatten 300 ramen op regelmatige afstanden, waarin meetapparatuur kan worden aangebracht. Er kunnen zowel regelmatige als onregelmatige golven opgewekt worden. De maximale golfhoogte is 2,50 m, bij een golfperiode van 8,5 sec. en een waterdiepte van 5 m. Om het zand te kunnen conditioneren, dat wil zeggen in de gewenste homogene dichtheid te brengen, is een fluidisatie- en verdichtingssysteem aanwezig. Met het fluidisatiesysteem kan het zandbed tevens worden ontluicht. De besturing van de golven en de opslag van meetgegevens verloopt via een computer. De uitvoer van gegevens kan zowel in getalvorm als in grafische vorm plaatsvinden. De studie naar de cyclische waterspanningen in de grond onder een model van de pijler was het eerste project dat in de Deltagoot werd uitgevoerd. Omdat het eindige-elementenprogramma 'SPONS' twee-dimensioneel en niet drie-dimensioneel rekent, is de drie-dimensionele pijler ingebouwd als een twee-dimensioneel model. De afmetingen van het model zijn een factor 6 kleiner dan die van de werkelijke pijler. Ook de golven en het verval werden ten opzichte van de werkelijkheid 6 keer verkleind. De opstelling is als volgt. Het model – $8,33 \times 5 \times 6,70 \text{ m}^3$ – met een gewicht boven water van 1690 kN staat op een funderingsbed dat bestaat uit 2,45 m verdicht Oosterscheldezand. Deze laag is afgedekt met een laag grint van 0,3 m dikte. Om erosie van zand en grint door de golfwerking te verhinderen zijn filters aangebracht bestaan-

De Deltagoot bestaat uit een overdekt en een open gedeelte. De foto is gemaakt van de kant van de testsectie.





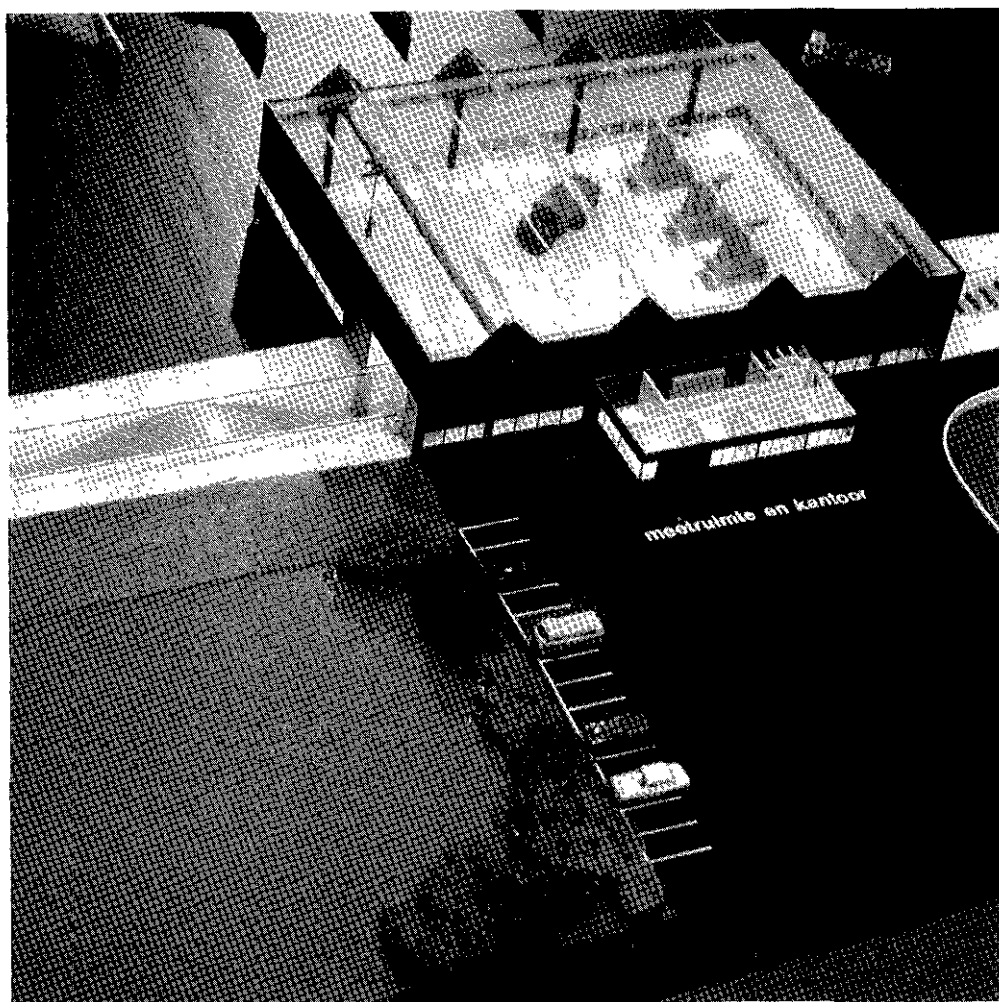


de uit aluminium frames met filterdoek. De waterspanningen in de grond werden gemeten met 63 waterspanningsmeters. De verhangen in het zand werden door tien verhangmeters geregistreerd; elke verhangmeter bestond uit twee waterspanningsmeters, op een vaste afstand van elkaar verbonden door een staafje. Verder werden de verplaatsingen van de caisson, de golfhoogte en de waterdrukken op de caisson gemeten. Voorafgaande aan de eigenlijke proef werden het luchtgehalte in het zand en de dichtheid van het zandbed gemeten. Omdat reeds een zeer geringe hoeveelheid lucht in het water onder de caisson een aanzienlijke reductie oplevert van de later te meten cyclische waterspanningen, is er zeer veel aandacht besteed aan het ontluichten van het zandbed. De test zelf bestond uit zeven fasen, elk met een verschillende belasting. De

Fig. 4. Waterspanning in de ondergrond tijdens een golftop.

Fig. 5. Geometrie van de Oosterschelde-kering.

Maquettefoto van de Deltagoot met toebehoren.

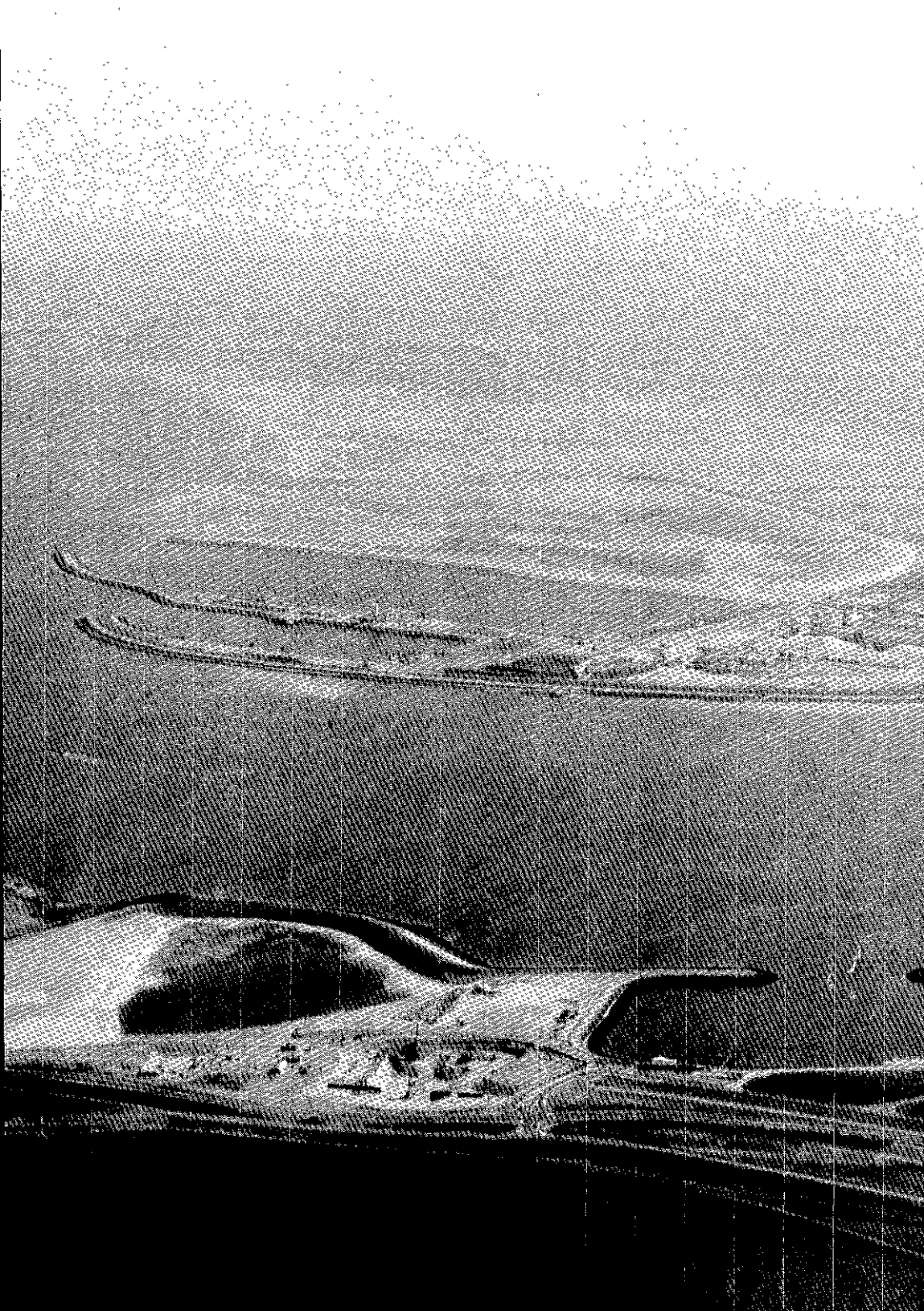


belasting werd in regelmatige stappen opgevoerd. Opmerkelijk waren de resultaten van de gemeten cyclische waterspanningsamplituden bij de zogenaamde ontwerp-belasting: midden onder de caisson werden nog aanzienlijke waterspanningen gemeten. De gemeten extreme waterspanningen komen wel redelijk overeen met de berekende.

Naar alle waarschijnlijkheid zijn de waterspanningen midden onder de caisson veroorzaakt door de schuifspanning die de caisson op het grint en het zand uitoefent, en die veroorzaakt wordt door de horizontale kracht op de caisson. Globaal kan geconcludeerd worden dat aan de uiteinden van de caisson de cyclische waterspanning voornamelijk wordt veroorzaakt door verticale spanningswisselingen die het gevolg zijn van de rotatie van de caisson. Aan de golfzijde komt daar de invloed van de recht-

streekse golfindringing bij. Midden onder de caisson geeft voornamelijk de cyclische schuifspanning, die wordt veroorzaakt door de overdracht van de horizontale kracht naar de ondergrond, aanleiding tot de cyclische verhangen ter plaatse.

De meetgegevens worden momenteel gekoppeld aan de berekeningen met 'SPONS'. Uit deze confrontatie moet volgen of het grondmodel zoals dat in 'SPONS' is ingebouwd, voldoet. Indien nodig zal het model nog worden aangepast. Daarna kan een voorspelling worden gedaan voor de pijlers van de Oosterschelde-kering. Uit een voorlopige interpretatie van de resultaten van de Deltagootproeven blijkt dat de resultaten geen consequenties meer hebben voor het ontwerp van de stormvloedkering, omdat het filter met een voldoende grote veiligheid is ontworpen.





Fasering en sluitingsmethode van de compartimenteringsdammen

Sinds de aanvaarding, in 1976, van het plan om de Deltawerken volgens model C 3 te voltooien is met betrekking tot de momenten en de methoden van sluiting van de Oesterdam en de Philipsdam achtereenvolgens een reeks beslissingen genomen.

De beslissruimte is daardoor thans beperkt tot drie alternatieven. In dit artikel wordt inzicht gegeven in de diverse stadia van besluitvorming en worden de drie resterende alternatieven toegelicht.

Tijdens het kamerdebat van november 1974 heeft de Minister van Verkeer en Waterstaat toegezegd dat de compartimenteringsdammen in de Oosterschelde zoveel mogelijk gelijktijdig met de Oosterschelde-kering in 1985 zouden worden gesloten. Daarmee wordt voorkomen dat tijdelijk een te grote zoutbelasting op het Haringvlietbekken en/of een te grote verzoeting in het Oosterscheldebekken zou optreden; dit zou bij een sluiting van de compartimenteringsdammen na gereedkomen van de Oosterschelde-kering ongetwijfeld het geval zijn. Sluiting van de compartimenteringsdammen op een vroeger tijdstip zou de stormvloedstanden direct ten westen van deze dammen verhogen en is daarom onaanvaardbaar.

Naast de relatie tussen de sluiting van de compartimenteringsdammen en die van de kering in de Oosterscheldemond bestaat er ook nog een relatie tussen de sluiting van de Philipsdam en de Oesterdam onderling.

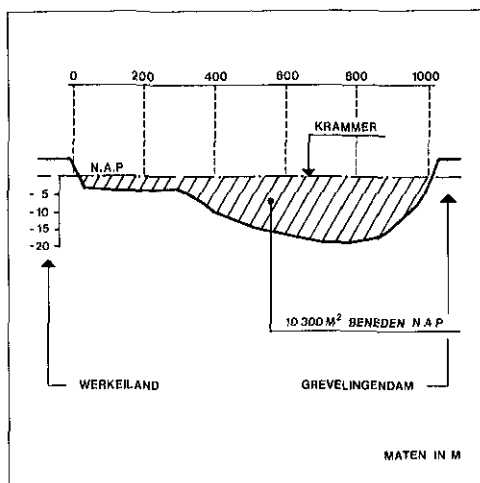
Uit onderzoek is gebleken, dat de afsluiting van het Krammer met de Philipsdam en die van het Tholense Gat met de Oesterdam gelijktijdig dienen te geschieden, met dien verstande dat de afsluiting van het Tholense Gat iets mag voorlopen op de afsluiting van het Krammer. In dit verband is van belang dat de resulterende stroming van eb en vloed in het Tholense Gat

Overzicht van de Philipsdamwerken; op de voorgrond de Grevelingendam.

[illegible]

The map illustrates the Grevelingenmeer area, showing various water bodies, dams, and land reclamation projects. Key features include:

- GREVELINGENMEER**: The main body of water at the top.
- GREVELINGENDAM**: A dam structure on the left side.
- WESTELIJKE VOORHAVEN**: A harbor area on the left.
- OOSTELIJKE VOORHAVEN**: A harbor area on the right.
- KRAMMER**: A water body on the right.
- DAMVAK KRAMMER**: A dam area on the right.
- HOGHE BEKKEN**: A basin area in the center.
- BRUINISSE**: A water body on the left.
- ZIJPE**: A water body on the left.
- ANNA JACOBAPOLDER**: A land area in the center.
- SLAK**: A water body in the center.
- LAGE BEKKEN**: A basin area in the center.
- DAMVAK SLAK**: A dam area in the center.
- DAMVAK SLIKKEN VAN DE HEEN**: A dam area on the right.
- KRABBENKREEK**: A water body at the bottom left.
- SINT PHILIPSLAND**: A land area at the bottom.
- OUDE TONGE**: A water body at the top right.



niet naar het westen gericht mag zijn, gezien de nadelige invloed op het milieu in de kom van de Oosterschelde van relatief zoet water dat via de Schelde-Rijnverbinding uit het Volkerak komt. Bovendien zou bij een dichte Philipsdam en een gedeeltelijk nog open Oesterdam de vulling en lediging van het Volkerak via de Schelde-Rijnverbinding en het sluitgat in de Oesterdam verlopen. Dit zou leiden tot te hoge stroomsnelheden op deze scheepvaartverbinding en in het sluitgat van de Oesterdam.

Het tracé van de Philipsdam is vastgesteld bij Koninklijk Besluit van 11 maart 1978. Inmiddels is aan de Grevelingendam een damaanzet uitgebouwd en werd de bodem van het sluitgat Krammer voor een groot deel door middel van een bodembescherming vastgelegd. Uit een prognose van de morfologische ontwikkelingen tijdens de aanleg van de Philipsdam bleek namelijk, dat het Krammer maximaal 2 m zou verdiepen, tot een nieuwe evenwichtssituatie was bereikt. Dit is mede een gevolg van de met 20% toegenomen stroomsnelheden in het Krammer na aanleg van het werkeiland. Omdat

verdieping ter plaatse van het tracé van de sluiting zeer kostenverhogend zou werken op de uiteindelijke sluiting, loonde het de moeite een bodembescherming aan te brengen. Het tracé van de Oesterdam is vastgesteld bij Koninklijk Besluit van 12 januari 1979. Nadien is in 1979-1980 aan de zuidzijde van het sluitgat Tholense Gat een werkeiland aangelegd. Hierdoor wordt de vorm van het sluitgat thans grotendeels bepaald.

Het voorgaande geeft in het kort een overzicht van de situatie waarmee we nu te maken hebben. Voorafgaand aan de eigenlijke afsluitingswerken is in het Krammer al in 1978 een onderdeel van de afsluiting uitgevoerd, te weten de eerdergenoemde aanleg van een bodembescherming. Alvorens de vastlegging kon worden uitgevoerd, moest het sluitingstracé bekend zijn. De sluitingsmethode is namelijk van invloed op het tracé van de bodembescherming. Met het oog hierop is in 1978 een studie uitgevoerd naar de alternatieven voor de sluitingsmiddelen van de Philips- en Oesterdam gezamenlijk.

In verband met de afstemming van de sluitingen op elkaar bleek een combinatie van verschillende sluitingsmethoden niet te voldoen.

Uitgaande van sluiting bij het vrijwel volledige getij op de Oosterschelde zijn een geleidelijke sluiting met betonblokken of stortsteen onderzocht en ook een caissonsluiting met doorlaatcaissons. Voor de geleidelijke sluiting waren nog verschillende uitvoeringsalternatieven denkbaar: met kabelbanen, met hulpbruggen of met helikopters.

Elk van de alternatieven is ter onderlinge vergelijking globaal uitgewerkt. De ontwerpen van de kabelbanen gaan uit van hergebruik van onderdelen van de kabelbanen over het Haringvliet en het Brouwershavense Gat. Voor de sluiting van het Krammer zouden 125 000 2,5-tons-blokken nodig zijn, voor die van het Tholense Gat de helft daarvan.

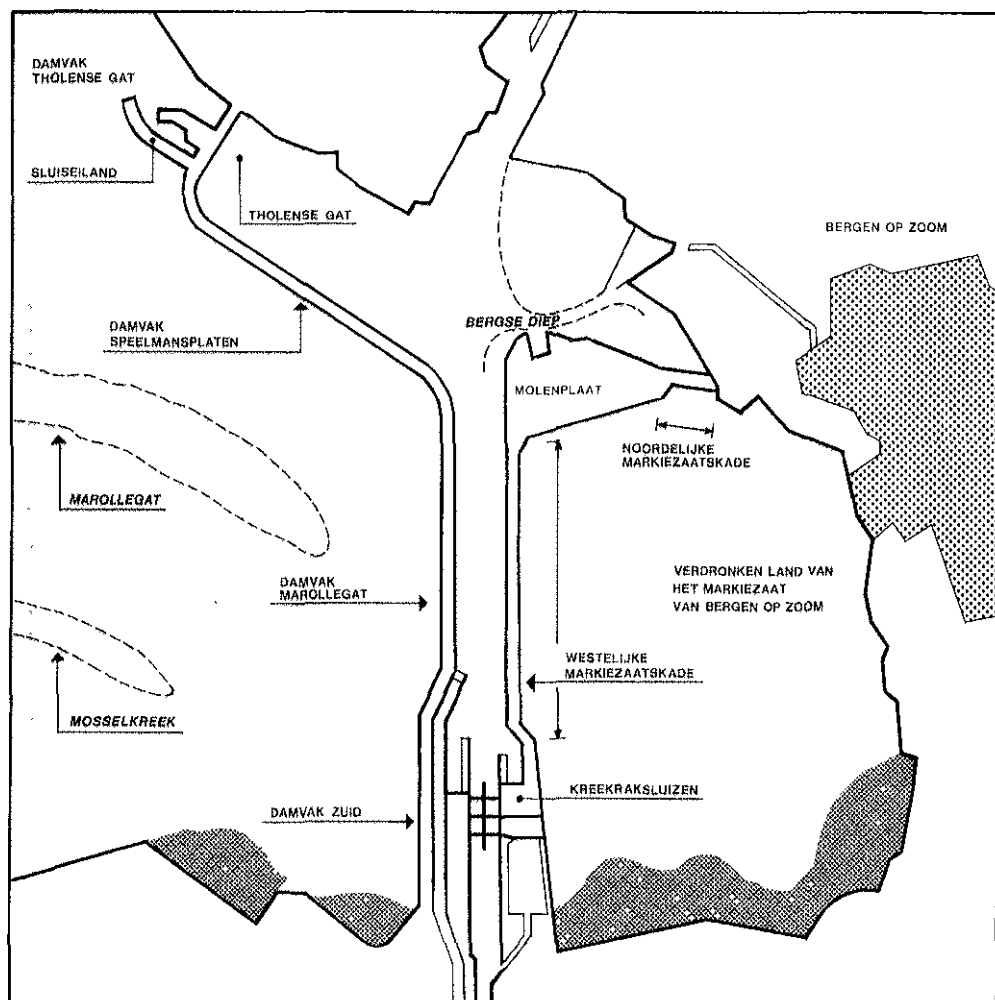
De sluiting met behulp van hulpbruggen is

Tabel 1. Enkele kenmerken van de sluitgaten (situatie 1978)

Omschrijving	Krammer	Tholense Gat
Breedte op N.A.P.	980 m	340 m
Max. diepte t.o.v. N.A.P.	19 m	22 m
Doorstroomprofiel beneden N.A.P.	10300 m ²	4700 m ²
Max. vloeddebiet	12500 m ³ /s	4000 m ³ /s
Max. ebdebiet	11000 m ³ /s	3500 m ³ /s
Max. vloodsnelheid	1,1 m/s	0,9 m/s
Max. ebsnelheid.	1,2 m/s	0,8 m/s

uitgewerkt op basis van hergebruik van de brug naar het werkeiland Noeltje Jans in de mond van de Oosterschelde. Na aanpassing van de brug zouden betonblokken en/of stortsteen vanaf vrachtauto's met kantelbare frames door een sleuf in het brugdek kunnen worden gestort. Doordat de opbouw van de sluitkades bij hulpbruggen, evenals bij kabelbanen, verloopt volgens fig. 4 (boven), moeten in de eindfase van de sluiting om de kruin van de kade verder te verhogen, relatief veel blokken gestort worden. Bij het alternatief met helikopters wordt eerst een sluitkade tot N.A.P. - 5 m opgeworpen vanaf steenstorters en door onderlossers. Omdat daarna de capaciteit van het varend bedrijf sterk terugloopt, - men kan niet meer bij alle getijfasen storten - wordt de opbouw met helikopters voltooid. Dat gebeurt dan zoals in fig. 4 (beneden).

Fig. 3. Overzicht Oesterdam, met dwarsdoorsnede van het sluitgat



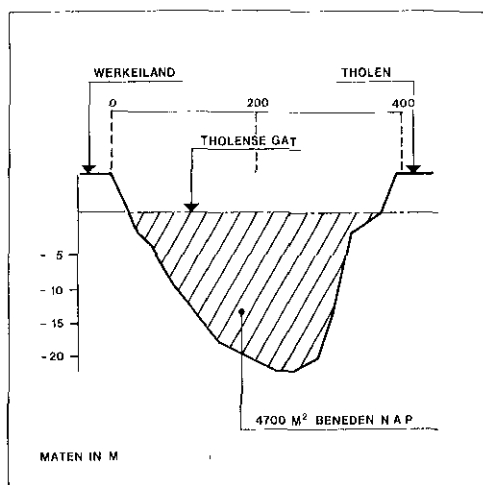


Fig. 4. Opbouw van de sluitka-
de geheel gestort (boven) of met
een brede dam als substraat.

Bij een plotselinge sluiting met doorlaatcaissons wordt lange tijd een zo ruim mogelijk doorstroomprofiel gehandhaafd. Vervolgens *voltrekt men de sluiting in één keer door rond de kentering de schuiven neer te laten*. Voor beide sluitgaten kunnen dezelfde doorlaatcaissons worden gebruikt, waarvoor een deel van het hoge bekken van de Krammersluizen als bouwdok zou worden ingericht.

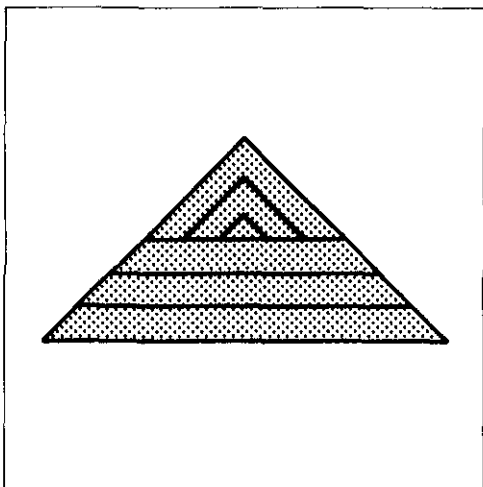
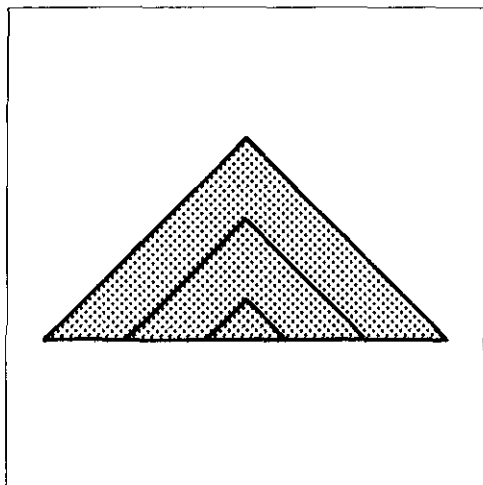
Deze vier alternatieve sluitingsmethoden zijn onderling vergeleken op basis van waterloopkundige en grondmechanische aspecten en aspecten van milieu en visserij, uitvoering, planning en kosten.

Uit de vergelijking bleek dat bij een caissonsluiting goed aan de zoutgehaltnormen in de Oosterschelde zou kunnen worden voldaan. Bij een geleidelijke sluiting zou een kans bestaan dat *de normen werden overschreden*, met name in de Krabbenkreek. Een caissonsluiting bleek echter f 20 à 30 miljoen duurder dan een kabelbaansluiting en f 40 à 50 miljoen duurder dan een hulpbrugsluiting.

Mede omdat de zoutgehaltnen in de Krabbenkreek bij een *blokkenluiting door zoute rondstromingen* zouden kunnen worden verhoogd, is gekozen voor een blokkenluiting met behulp van hulpbruggen.

In dezelfde periode als waarin de studie naar de methode van sluiting is uitgevoerd, is ook een faseringsstudie uitgevoerd. Bij dit onderzoek werden sluitingen van de Philips- en de Oesterdam bij het vrijwel volledige getij op de Oosterschelde vergeleken met zandsluitingen van deze dammen bij een sterk gereduceerd getij, na de voltooiing dus van de Oosterschelde-kering. Voor het eerst werd de mogelijkheid genoemd om de geulen met zand te sluiten.

Hiertoe zou het getij geleidelijk gedempt



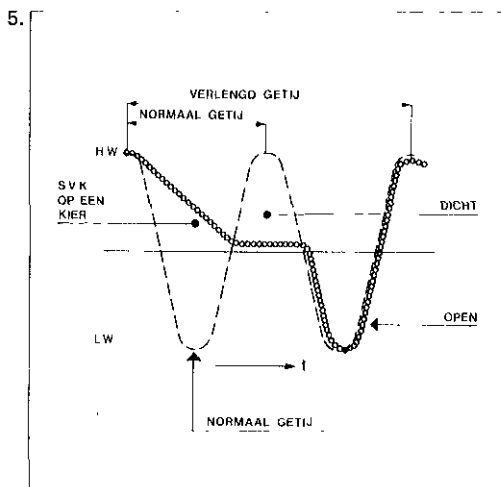


Fig. 5. Verloop van een gerekt getij, nodig bij een zandsluiting.

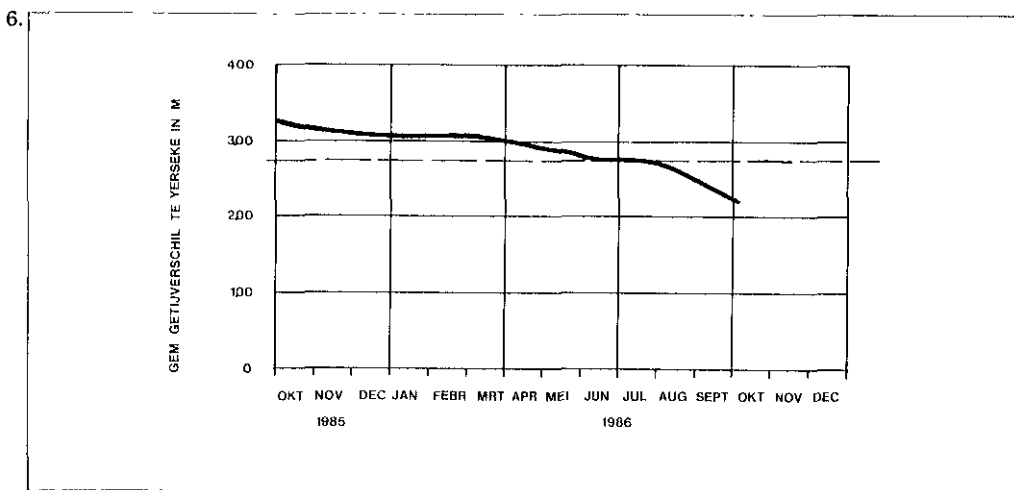


Fig. 6. Vermindering van de getij-amplitude als gevolg van het plaatsen van de dorpelbalken.

moeten worden, door de kering in de Oosterscheldemond steeds verder te sluiten en tenslotte gedurende enkele dagen geheel gesloten te houden. Ofschoon de kosten van dit zandsluitingsalternatief bij sterk gereduceerd getij f 55 à 70 miljoen lager werden geschat dan die van een kabelbaansluiting bij volledig getij, kleefden er aan de zandsluiting overwegende bezwaren: de sterke getijdemping zou te grote schade toebrengen aan het milieu en de visserij in de Oosterschelde. In 1978 werd dan ook in principe besloten tot sluiting van de compartimenteringsdammen bij het volle getij. Wel werd opgemerkt dat nog op deze beslissing kon worden teruggekomen ten gunste van een zandsluiting, indien gewijzigde inzichten in de milieu- en visserij-effecten hiertoe aanleiding zouden geven en de planning van de sluitingen het toeliet.

Aangezien de zandsluiting een aanzienlijke kostenbesparing kan opleveren, is en wordt deze oplossing nader uitgewerkt. Hierbij is het nodig de gevolgen van een tijdelijke aanpassing van de getijbeweging na te gaan en te onderzoeken of de bezwaren door aanvullende maatregelen en werken kunnen worden opgeheven.

Tijdens forumdiscussies met biologen van verscheidene instituten ontstond de gedachte de getijperiode te verlengen, met handhaving van een zo groot mogelijk getijverschil (fig. 5), in plaats van geleidelijk het getijverschil te verkleinen en zelfs enkele dagen geheel te laten verdwijnen bij handhaving van de bestaande getijperiode. Uit milieukundig oogpunt bestaat er een duidelijke voorkeur voor zo'n gerekt getij met relatief groot getijverschil boven een getij met de bestaande

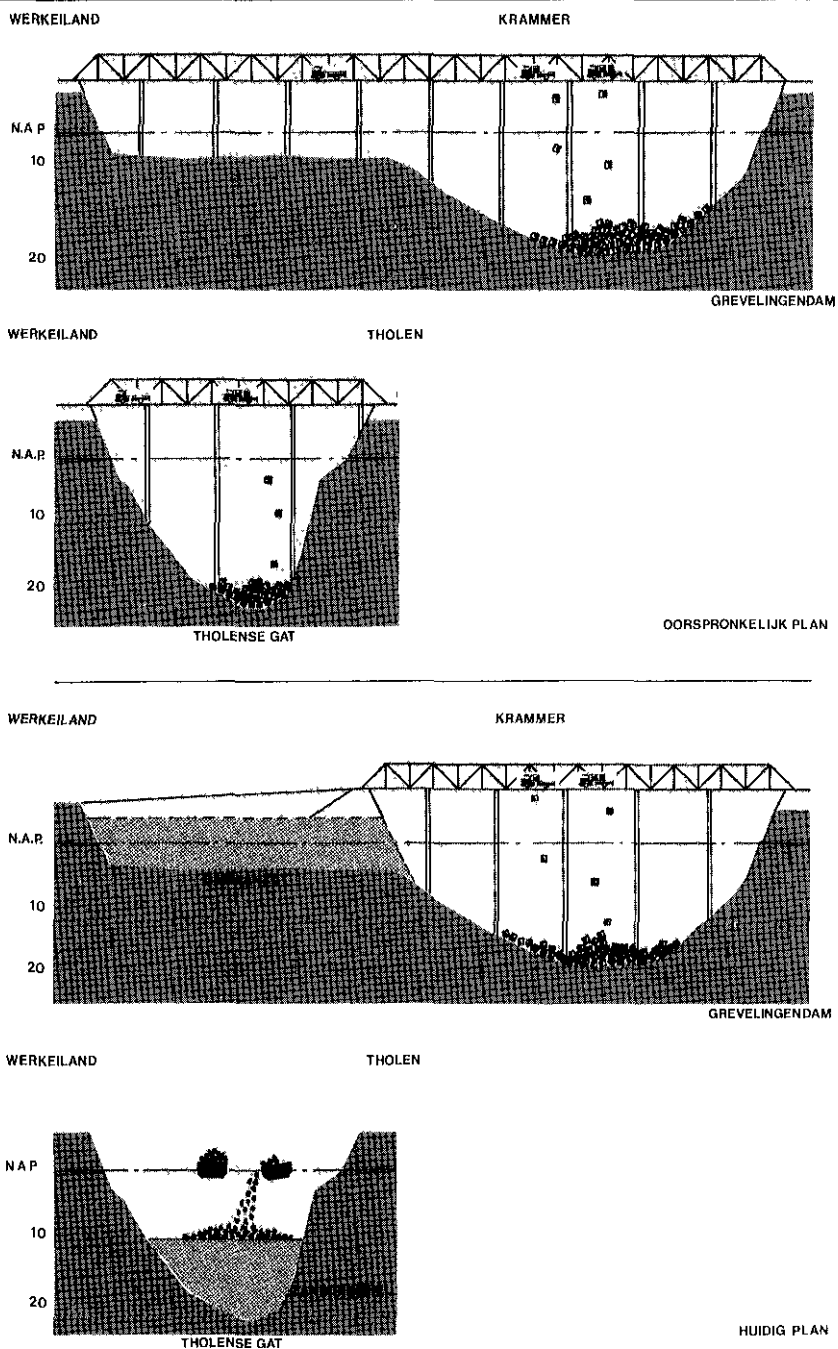


Fig. 7. Oorspronkelijk en tegenwoordig plan voor de sluiting van de compartimentsdammen.

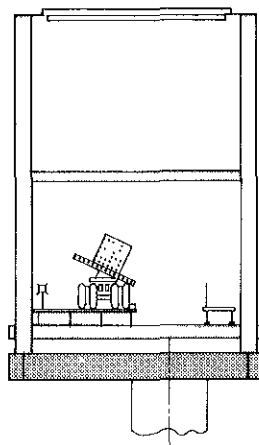
normale periode maar met tot nul afnemend getijverschil.

In december 1978 is een volgende nota uitgebracht, waarin de uiteindelijke keuze betreffende de sluitingsmethode voor het Krammer en het Tholense Gat beperkt werd tot twee alternatieven.

Als eerste een blokkensluiting met betonblokken of zware stortsteen bij het vrijwel volle getij, plaatsvindend in augustus of november 1985, dus nadat de dorpelbalken in de Oosterschelde-kering zijn aangebracht. Bij de uitvoering wordt gebruik gemaakt van een hulpbrug. Het alternatief is een zandsluiting bij gerekt getij, waarbij een zo groot mogelijk getijverschil zo lang mogelijk wordt gehandhaafd; de reductie van de zandverliezen wordt bewerkstelligd door gedurende twee maanden de periode van het getij trapsgewijs tot driemaal de bestaande te verlengen. Uitgangspunten voor realisering van deze alternatieven waren, dat de Oosterschelde-kering operationeel zou zijn op 1 oktober 1985 en dat het plaatsen van de dorpelbalken drie maanden tijd zou kosten, van juni tot en met augustus 1985. Door het aanbrengen van de dorpelbalken tussen de pijlers van de stormvloedkering neemt het doorstroomprofiel in de mond van de Oosterschelde af van 50 000 m² tot 15 000 m². In de ongecompartmenteerde Oosterschelde zou het getijverschil te Yerseke bij gemiddelde omstandigheden in de mond van de Oosterschelde dan afnemen van 3,4 m tot 2,4 à 2,5 m. De conclusie van deze nota wees in dezelfde richting als de faseringsstudie: bij de planning en voorbereiding van de compartimenteringswerken diende te worden uitgegaan van een blokkensluiting bij het volle getij en wel vanaf een hulpbrug; inmiddels moest de mogelijkheid van een zandsluiting verder worden onderzocht.

Dorpelbalken

Sinds december 1978 is een tweetal belangrijke randvoorwaarden voor de sluiting van de compartimenteringsdammen gewijzigd, namelijk de datum van gereedkomen van de Oosterschelde-kering, en de periode waarin de dorpelbalken zullen worden geplaatst. In 1978 werd nog uitgegaan van plaatsing tussen juni en augustus 1985, waarbij de gehele kering dan klaar zou zijn op 1 oktober 1985. Thans zegt de planning dat de dorpelbalken in de periode oktober 1985 tot 1 oktober 1986 zullen worden geplaatst, en dat de kering operationeel is op 1 oktober 1986. Nu de plaatsing van de dorpelbalken zo'n vooruitgeschoven langdurige operatie geworden is, zal het getij op de Oosterschelde al in de loop van 1986 beginnen



af te nemen (fig. 6) Dit biedt de mogelijkheid om hier met het sluiten van de Philips- en de Oesterdam op in te spelen.

Door de afname van de stroomsnelheden in de sluitgaten Krammer en Tholense Gat kunnen ze al enigszins worden verkleind vóór de eigenlijke sluiting. Bij het Tholense Gat kan het sluitgat verticaal verkleind worden door het aanbrengen van een zanddrempe tot N.A.P. -10 m en bij het Krammer horizontaal door het uitbouwen van een damaanzet van 350 m aan de noordzijde van het werkeiland. De eigenlijke sluiting van het Tholense Gat kan dan met stortsteen met behulp van een varend bedrijf worden voltrokken en die van het Krammer met betonblokken, gestort vanaf een 700 m lange hulpbrug. Natuurlijk is dit sluitingsalternatief uitvoerig vergeleken met voor beide dammen een betonblokkensluiting bij het volle getij, zoals tot aan de wijziging in de dorpelbalkenplanning werd aangehouden en wel op de punten milieu en visserij, waterhuishouding, scheepvaart, uitvoering en planning, relatie met de Oosterschelde-kering en kosten. Alleen de beide laatste aspecten lieten wezenlijke verschillen zien. Het nieuwe alternatief vertoont een nauwere relatie met de Oosterschelde-kering, doordat gebruik wordt gemaakt van de plaatsing van de dorpelbalken. Belangrijk is de kostenbesparing: sluiting bij gereduceerd getij is f 40 miljoen goedkoper dan een blokkensluiting bij het volle getij met behulp van hulpbruggen!

In het voorjaar van 1981 is dan ook besloten om de compartimenteringsdammen bij een gereduceerd getij te sluiten, waarbij het onderzoek naar de mogelijkheden van een zandsluiting toch weer moest worden voortgezet.

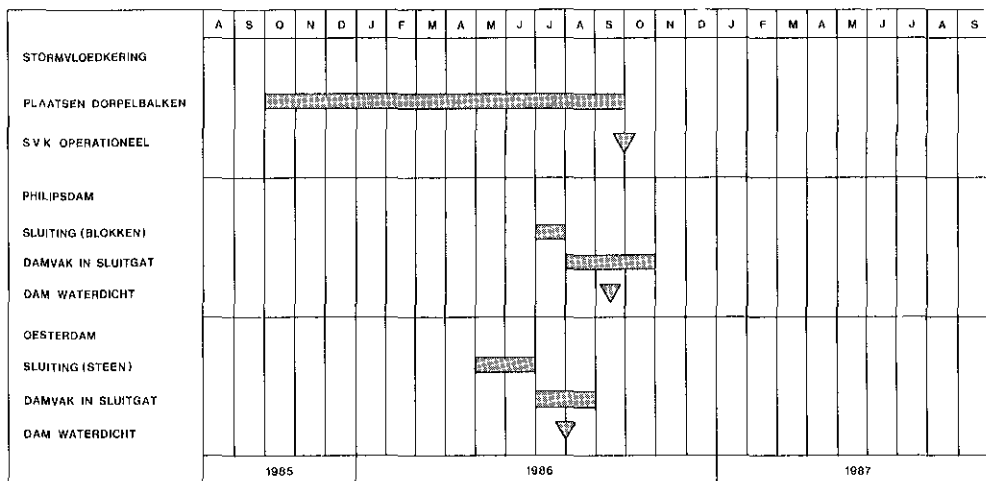
Fig. 8 Steenstorten vanaf een brug.

De reductie van het getij als gevolg van de plaatsing van de dorpelbalken in de loop van 1986 geeft enige vrijheid in de fasering van de sluiting van de Philipsdam en de Oesterdam ten opzichte van elkaar. De sluiting van de Philipsdam mag echter niet eerder vallen dan die van de Oesterdam.

De sluitgatvernaauwingen die mogelijk geworden zijn door de getijreductie, zullen bij uitvoering van alternatief I (fig. 9) in de zomer plaatsvinden. Bij het Krammer wordt hiertoe een damaanzet van 350 m uitgebouwd aan de noordzijde van het werkeiland.

Bij de steen- of blokkenluiting in juli 1986 worden zeven overspanningen gebruikt van de hulpbrug die momenteel de toegang vormt tot het werkeiland Neeltje Jans. In het brugdek wordt dan een sleuf aangebracht (fig.

Fig. 9. Tijdschema behorend bij alternatief I.



In onderstaand overzicht zijn de drie nog resterende alternatieven vermeld:

Alternatief		Oesterdam	Philipsdam
I	materiaal tijdvak methode	steen mei/juni '86 varend bedrijf	blokken/steen juli '86 hulpbrug
II	materiaal tijdvak methode	steen mei/juni '86 varend bedrijf	zand oktober/november '86 zandsluiting
III	materiaal tijdvak methode	zand oktober/november '86 zandsluiting	zand oktober/november '86 zandsluiting

8), waardoor met behulp van aangepaste vrachtwagens, die over de brug tussen het werkeiland en de Grevelingendam heen en weer rijden, betonblokken in het sluitgat kunnen worden gestort. Er zijn ruim 100 000 blokken van 1 m³ nodig. In het Tholense Gat wordt een zanddrempel aangebracht tot N.A.P. -10 m, afgedekt door een bodembescherming. Vervolgens kunnen de zandsluiting van het Marollegat in maart/april en de steensluiting van het Tholense Gat in mei/juni met behulp van een varend bedrijf worden uitgevoerd. Bij alternatief II geldt voor de steensluiting van de Oesterdam in mei 1986 hetzelfde als bij alternatief I.

Om een zandsluiting van de Philipsdam mogelijk te maken zal in november 1986 het getij gedurende 3 à 4 weken moeten worden gerekend tot tweemaal de normale periode.

Overdag kan het getij vrijwel normaal verlopen terwijl de stagnante perioden 's nachts kunnen vallen.

Bij de zandsluiting van beide dammen volgens alternatief III geldt hetzelfde als bij de zandslui-

ting van de Philipsdam volgens alternatief II. De uitwerking van deze alternatieve mogelijkheden op milieu, visserij, waterhuishouding, scheepvaart, uitvoering en planning en kosten worden nog bestudeerd; daarna kunnen de alternatieven onderling worden vergeleken. Ook wordt nog gekeken naar het effecten van sluitingen in andere perioden van het jaar. De planning van de sluiting van de compartimenteringsdammen is voorshands gericht op alternatief I (fig. 9). Dit alternatief vergt meer tijd dan de beide andere mogelijkheden door de voorbereidende werkzaamheden die erbij te pas komen, zoals het inrichten en aanleggen van stortsteendepots en/of van blokkenterreinen en het aanbrengen of verzwaren van bodembeschermingen. Wanneer de studies naar de sluitingsmogelijkheden zijn afgerond zal daar in een volgend artikel nader over worden gerapporteerd. Bij de vigerende planning van de stormvloedkering moet een beslissing omtrent de methode medio 1982 worden genomen.

Samenvattingen

Het 'Energio'-project

Er is een onderzoek gestart naar de opwekking en opslag van energie in een bekken in de mond van de Oosterschelde, bij voorbeeld ter plekke van de bouwdokken op het damvak Geul. Overschietende nachtstroom van het elektriciteitsnet, maar ook wind- en getij-energie zouden kunnen worden vastgelegd in een waterstandsverschil tussen dit bekken en de omringende Oosterschelde; daarbij is het even denkbaar dat het bekken een sterk verhoogde als dat het een sterk verlaagde waterstand zou krijgen. Via hydraulische turbines zou een zekere verevening van de beide waterspiegels daarna op elk gewenst moment weer kunnen worden omgezet in elektriciteit. Het eerste probleem dat bij deze studie moet worden opgelost, en dat nog voorafgaat aan alle technische problemen, is dat van de bedrijfsvoering: hoe wil men het bekken gebruiken?

Op grond van een eerste verkenning is een voorontwerp gemaakt. Voorlopig ziet men het plan als een 'feerproject'.

Verdichting van de grond onder de pijlers

Van oktober 1979 tot maart 1980 heeft het verdichtingsschip 'Mytilus' een proefperiode doorgemaakt, waarin de verdichtingsprocessen zoveel mogelijk werden geoptimaliseerd. De invloed van de horizontale en verticale stapafstand, die van de tijdsduur van het trillen en van de snelheid waarmee de naald getrokken wordt, werden door proeven bepaald. De eisen die aan de verdichting moesten worden gesteld, werden daarnaast concreet beschreven

voor elke grondlaag, in samenhang met de dikte en de diepteligging van die laag. Ook werd een methode uitgewerkt voor de controle van het verdichtingsresultaat.

Breuksteen voor de Oosterschelde-kering

Breuksteen van allerlei sortering wordt in de Oosterschelde-kering gebruikt voor de aanleg van de drempel, voor de landhoofden en bij de overgangsconstructie naar de stortebedden. Omdat de traditionele visuele keuring bij dit werk niet meer voldeed, is een nieuw stel van meer objectieve normen ontworpen, waaraan de geleverde breuksteen kon worden getoetst. Na jarenlange verkenning in steengroeven in verscheidene landen van Europa is de levering uiteindelijk opgedragen aan één Duits en twee Finse bedrijven.

Niet alle steen kan meteen worden verwerkt. Als regel wordt bij voorbeeld een depotvoorraad aangehouden van drie maanden. Inmiddels zijn de nodige los- en overslaginstallaties aangelegd in de werkhavens rondom de Oosterschelde-kering.

Hoe de stroom verandert gedurende de bouw van de Oosterschelde-kering

Het is van groot belang te weten hoe de stroom verandert in de mond van de Oosterschelde, als gevolg van de aanleg van de kering. Hieruit volgen immers weer de werkomstandigheden voor de schepen die in de vernauwde gaten moeten opereren. In enkele hydraulische modellen en in een stroomgoot is daarom uitvoerig onderzoek

gedaan naar deze veranderingen; eenvoudshalve werd daarbij steeds gerekend met een gemiddeld getij. Ook wiskundige modellen en natuurmetingen zijn bij dit onderzoek ingeschaald.

Het debiet neemt pas flink af wanneer de dorpelbalken worden geplaatst, de verdeling ervan over de sluitgaten wordt dan anders, en ook per sluitgat treden nieuwe verdelingen op. De gevonden waarden konden door extrapolatie ook geldig worden gemaakt voor spring- en doottij.

Onderzoek in de Deltagoot naar de cyclische verhangen onder de pijlers

Voor het onderzoek naar de cyclische verhangen in de drempel van de Oosterschelde-kering is gebruik gemaakt van rekenmodellen. Om zekerheid te krijgen is het rekenmodel achteraf getoetst in één- en tweedimensionale modellen. De twee-dimensionale proef 1.6 werd uitgevoerd in de nieuwste aanwinst van het Waterloopkundig Laboratorium, de Deltagoot, waarvan de testsectie 50 m lang en 9,5 m diep is.

Er bleek uit deze proeven niet dat het gekozen ontwerp nog aanpassing behoeft, omdat het filter met voldoende veiligheid is ontworpen

Fasering en sluitingsmethode van de compartimenteringsdammen

Voor het moment van sluiten van de compartimenteringsdammen achter in de Oosterschelde kunnen verschillende tijdstippen gekozen worden: voor of na de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterscheldemonnd met een stormvloedkering. Wat betreft de sluitmethode stond de keuze open tussen een plotselinge sluiting met caissons en een geleidelijke sluiting met stortsteen of betonnen blokken, die van een brug, van schepen of van helikopters zouden worden afgeworpen. Wachtte men eerst de voltooiing van de Oosterschelde-kering af, dan kwam tenslotte nog een derde mogelijkheid in zicht: de Philipsdam en de Oesterdam zouden dan met zand dichtgespoten kunnen worden. Er is een geleidelijke weg gekozen naar de uiteindelijke beslissing. Thans ziet het er naar uit dat in 1986 vooruitlopend op de volledige sluiting van de compartimenteringsdammen vernauwing van de sluitgaten kan plaatsvinden omdat de dorpelbalken van de Oosterschelde-kering al vanaf 1985 zullen worden geplaatst, en dus eerder een getij-reductie teweeg brengen op de Oosterschelde dan aanvankelijk was voorzien. De studie naar de definitieve sluiting wordt intussen voortgezet, met inbegrip van die naar de mogelijkheid van een zandsluiting.

Summaries

The 'Energo' project

A project has been set up to study the generation and storage of energy in a basin in the mouth of the Oosterschelde; for instance, at the site of the construction docks in the Geul dam-section. The night current of the electrical network, but also the wind and tidal energy could be stored by creating a difference in water levels between this basin and the adjacent Oosterschelde; one could conceive of a possibility that the water level in the basin would either be considerably raised or lowered. By means of hydraulic turbines, the difference in water levels could be adjusted to a certain degree at any desired moment, to translate the energy of the water into electricity.

The first question of this study, namely the question of organisation, 'how will the basin be used?', which question supersedes all technical problems, must still be solved.

A preliminary design has been made based on the information collected during the first reconnaissance. For the time being, the plan is considered a 'study project'.

Compaction of the subsoil near the piers

From October, 1979, until March, 1980, the compaction vessel 'Mytilus', made several trial runs during which the compacting processes were optimized as much as possible. The effect of variations in horizontal and vertical distance variations, the duration of the vibration and the speed with which the vibrator tubes are retracted, was determined by tests. In addition, the standards required for compaction were described in detail for each layer of soil, depending on the thickness and the depth of that layer. At the same time, a method was developed to check the results of the compaction.

Quarry stones for the Oosterschelde barrier

Quarry stones of varying kinds and sizes will be used for the construction of the sill, the abutments and the transitional structure

towards the aprons of the Oosterschelde barrier. As the traditional visual control used up till now did not satisfy the present requirements, a new set of objective standards was worked out by which the supplied quarry stones could be tested.

After years of searching in quarries in many European countries, the contract for supply of the stones was awarded to one German and two Finnish firms.

Not all the material supplies can be used immediately. As a rule, a three month supply will be stock-piled.

In the meantime, the required equipment for unloading and transshipping this stone, has been installed in the working-harbours near the Oosterschelde barrier.

Change of the current during the construction of the Oosterschelde barrier

It is very important to know how the current will be affected in the mouth of the Oosterschelde during the construction activities as based on these data, the working conditions can be predicted for the vessels which will have to operate in the narrowed closure-gaps. Therefore, these changes have been intensively studied in various hydraulic models and in a flume; to avoid unnecessary complication, the data of an average tide have constantly been assumed. For this study, both mathematical models and field measurements were used. The discharge will sharply decrease when the sill-beams are placed; the distribution of the water discharge over all the closure gaps will be changed and, consequently, in each gap there will be differing variations.

By extrapolating the established values, the values for spring and neap-tides could also be determined.

Study performed in the Delta flume regarding the cyclic energy gradients occurring under the piers

Mathematical models were used to investigate the cyclic energy gradients occurring in the sill

of the Oosterschelde barrier. To ascertain the accuracy of the models the outcome has been tested in one- and two-dimensional models. The two-dimensional test (1 : 6) was performed in the latest acquisition of the Delft Hydraulic Laboratory, i.e. the 'Delta flume', the test-section of which is 50 m. long en 9.5 m. deep. These tests showed that the selected design need not be adjusted as the safety margin of the filter proved to be satisfactory.

The phasing and closing method of the compartment dams

The moment of actual closure of the compartment dams at the end of the Oosterschelde is optional, i.e. they can be closed before or after the partial closure of the mouth of the Oosterschelde with a stormsurge barrier. As to the closing-method: a choice can be made for an instant closure with caissons or a gradual closure with rubble or quarry stones which could be dumped from a bridge, from ships or from helicopters. A third solution is possible if one waits until the Oosterschelde barrier is completed. Then the Philips Dam and the Oester Dam could be sand-filled.

A happy medium has been found to reach the ultimate decision. There are signs that by 1986, in anticipation of the complete closure of the compartment dams, the closure gap will be narrowed, due to the fact that the sill beams of the barrier will already be placed by 1985, thus creating an earlier reduction of the tidal action than originally expected. In the meantime, the study into the final closure including the possibility of a sand-fill closure, will continue.

Vorderingen

in de periode 1 april–1 juli
1981

A. De werken van het Deltaplan

Oosterschelde-kering

De asfaltmastieken stortebeden voor de Oosterschelde-kering kwamen in de verslagperiode gereed. Daar het asfalt-schip 'Jan Heymans' moest worden uitgebreid tot grind-stortschip, konden enkele bijkomende asfaltmastiekwerken niet worden uitgevoerd. Deze kunnen echter na de terugkomst van de 'Jan Heymans' alsnog worden uitgevoerd.

De grondverbetering in de as van de kering heeft te lijden gehad van erosie. Plaatselijk bleek herstel van de schade noodzakelijk. De verdiepte gebieden moeten opnieuw met zand worden aangevuld tot de vereiste hoogte, en dan weer worden afgedekt met grind. Het grind dat nu aangebracht wordt, is van een wat grovere gradering dan eerst. Aan zand wordt 150 000 m³ en aan grind 44 000 m³ extra verwerkt.

De verdichting in de stroomgeulen werd voortgezet; het werk verloopt nu goed. De verdichtingsresultaten komen kwalitatief uit boven de gestelde eisen, en de voort-

gangssnelheid is dermate verbeterd, dat ingelopen wordt op het aangepaste tijdschema.

De algehele verbetering van het proces is mede bereikt doordat de onderhouds- en reparatiewerkzaamheden nu in een speciale werkplaats aan de wal worden uitgevoerd. De bouw van de damaanzet aan de zuidkant van het werkeiland Roggenplaat werd voortgezet. Tijdens de opbouw vanaf N.A.P. – 20 m worden moeilijkheden ondervonden door de afzet van bodemzand in de constructie. Deze zand-insluitingen kunnen later door uitspoeling verzakkingen veroorzaken. Om dit zoveel mogelijk te voorkomen wordt met behulp van een extra zandzuiger telkens gesedimenteed zand verwijderd.

In de verslagperiode zijn de vorderingen met de aanbouw van bijzonder materieel volgens schema verlopen. Op 24 april heeft de kiellegging plaatsgevonden van de afmeer- en opschoonponten 'Macoma' (*Nonnetje*). Op 5 juni werd het ankerbehandelingsvaartuig 'Arca' (*Ark*) met goed gevolg tewater gelaten. De proefvaart zal begin augustus plaatsvinden.

Op 30 juni is het casco van de mattenlegponten 'Cardium', dat te Kiel is gebouwd, overgedragen en op transport gesteld voor verdere afbouw in Nederland.

Ook met de bouw van de 'Ostrea', het hefschip, zijn goede vorderingen gemaakt. De tewaterlating vindt binnenkort plaats.

Het asfalt-schip 'Jan Heymans' moet worden uitgebreid met een stortapparaat voor het aanbrengen van grindbestortingen rondom de funderingsmatten. Op 15 mei werd met die aanpassing een begin gemaakt.

De bouw van pijlers in bouw-dok I is afgerond. De bouw van de overige pijlers verloopt volgens planning.

In april is in Kats een begin gemaakt met de bouw van de elementen van de universeel inzetbare reserve-pijler.

Tevens is daar toen een aanvang gemaakt met de bouw van prefab-elementen voor de landhoofden.

De bouw van de schuiven en bewegingswerken is opgedragen aan constructiebedrijf 'Ostem', voor f 395 miljoen.

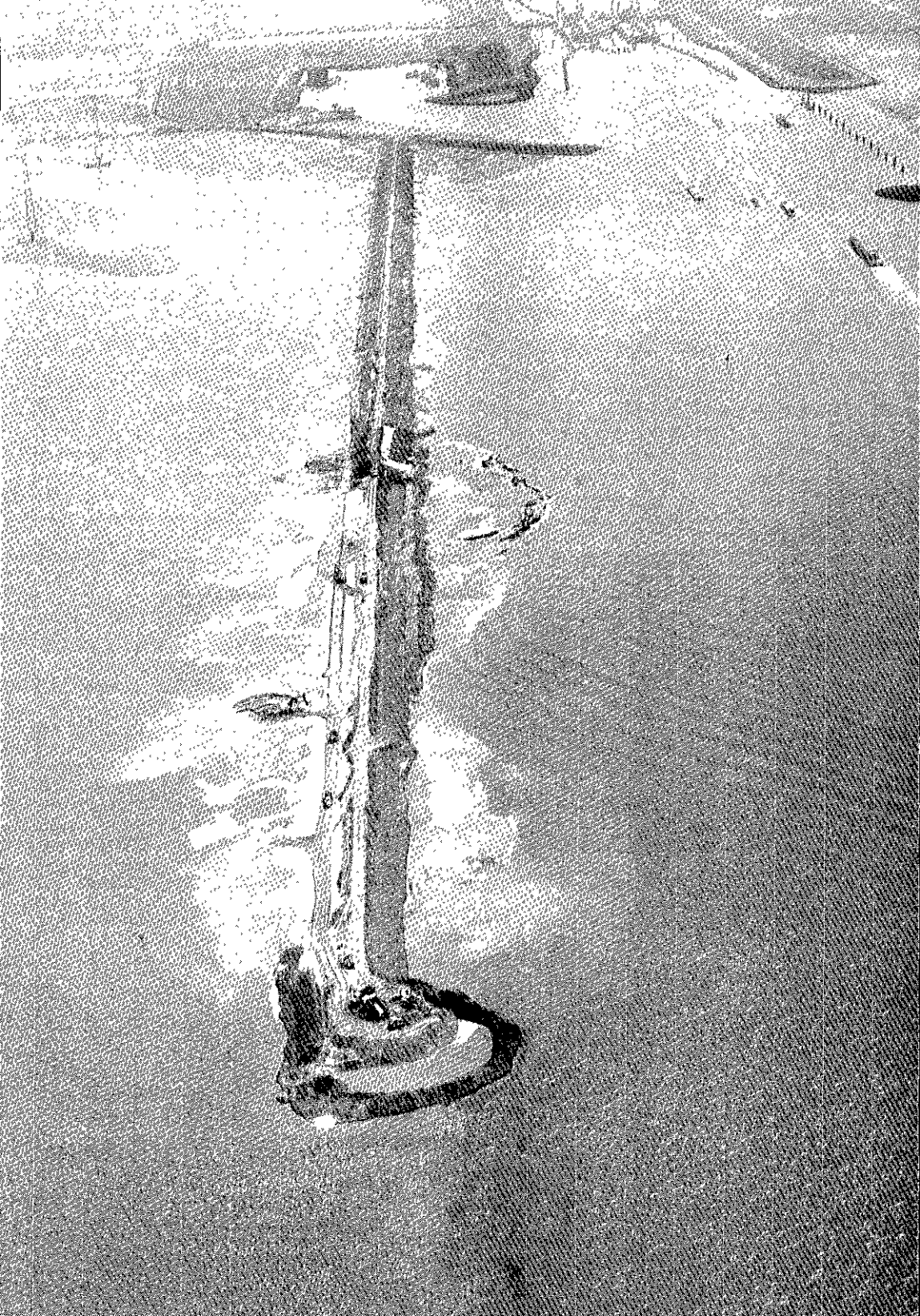
Het ontwerp van de schuiven is nog niet helemaal definitief, omdat het onderzoek naar de effecten van golfklappen nog niet is afgerond. Het ontwerp van de bewegingswerken daarentegen is gereed.

Philipsdam

De ontgraving van de jachten-sluis en die voor de kelder van de basculebrug werden voortgezet; de uitkomende grond is verwerkt in aanvullingen bij de jachten- en de duwvaartsluizen.

Met het heiwerk voor de grondkerende constructies aansluitend op de schuivengebouwen van het riolenstelsel werden goede vorderingen gemaakt. Het betonwerk ligt op schema.

De havendammen van de westelijke voorhaven van de duwvaartsluizen en de omkading van het bufferbekken werden volgens bestek op 4 juni opgeleverd. Volgens een staat van meer werk wordt nu de schade aan de overstroombare omkading van het hoge bekken hersteld. Die schade was ontstaan bij het vollopen van het hoge bekken na de sluiting van de omkading. Bij het herstel wordt een zwaardere constructie aangebracht; de vrijkomende lichte stortsteen wordt gebruikt voor het herstel van door ontgravingen veroorzaakte schade



aan de verdediging van de noordoever van het werkeiland.

Bij dit laatste herstelwerk wordt ook grof grind gebruikt, dat wordt gewonnen op de Krammerse Slikken, een zandplaat aan de noordoever van het Krammer, die ten gevolge van plaatvallen grotendeels als verloren moet worden beschouwd.

Flakkeese Spuisluis

Na enkele aanloopmoeilijkheden in het najaar van 1980, deels in verband met de bemaling, vordert het werk nu goed. De stalen damwanden die de vleugelmuren vormen, zijn inmiddels geslagen. De vloeren van de zes kokers zijn gestort. Een deel van de wanden is al aangebracht, terwijl een aanzet is gegeven tot de constructie van de hevelknie. Van de tot het werk behorende viaducten naderen inmiddels de landhoofden hun voltooiing.

Oesterdam

Van het zuidelijk damvak is het zandlichaam uitgebouwd tot 2400 m. Aan de buitenzijde van dit damlichaam is een taludverdediging van koper-slakblokken aangebracht over een lengte van 2 km. Betonblokken werden aangebracht over 1700 m.

Aan de binnenzijde wordt voor de taludverdediging gebruik gemaakt van silicomangaanslakken; tot op heden kwam daarvan 2 km gereed. Op 1 juli werd een aantal ontgravingsputten opgeleverd.

De uitvoering van het gehele werk loopt iets achter op het geplande tijdschema.

Wat de Markiezaatskade (foto links) betreft, in de verslagperiodes is de bodembescherming ter plaatse van het geplande

sluitgat gereed gekomen. Het zuidelijke damgedeelte is in ruwe vorm gereed. Momenteel worden de mijnsteenbelopen onder profiel gebracht en afgedekt met kunststofweefsel, waarop stortsteen wordt aangebracht. Aan de noordzijde is het zandbedrijf gevorderd tot de verbindingsdam. Ook hier is een begin gemaakt met de afwerking van de belopen. Voor het gedeelte van de Markiezaatskade tussen de verbindingsdam en het zinkveld brengt men nu een bodembescherming aan, bestaande uit mijnsteen. Dit heeft een tweeledig doel: de erosie van het maaiveld wordt erdoor tegengegaan, en tevens bespoedigt deze maatregel het tijdschema. Ten behoeve van de sluiting worden twee stortsteendepots aangelegd in de werkhaven nabij het Kreekraksluizencomplex. Eén depot, met 50 000 ton stortsteen 60/300 kg is gereed; van het andere depot, met stortsteen 300/1000 kg, is 15 000 ton aangevoerd.

Spuikanaal Bath

De onderhoudstermijn van de bouwput voor de Bathse Spuisluis verstreek op 7 mei 1981. De in het bestek opgenomen wegomleggingen nabij de Bathseweg en RW 258, die in de onderhoudstermijn moesten worden gemaakt, zijn niet uitgevoerd, omdat de aanbestedingsdatum van de te bouwen bruggen over het Spuikanaal te laat bekend was. Voor het maken van de wegomleggingen zal nu een nieuwe overeenkomst worden gesloten.

Momenteel worden in de Kreekrakpolder twee pijpleidingenzinkers verlegd. De betrokken leidingen zijn in beheer bij de Gasunie, de Waterleidingmij Zeeland, DOW Chemical en het Hoogheemraadschap West-Brabant.

De werkzaamheden aan de noordelijke bundel verlopen geheel volgens schema. Met de zuidelijke bundel wordt in augustus begonnen. Omstreeks januari 1982 moet het hele werk gereed zijn.

Op 23 juni 1981 heeft de aanbesteding plaatsgevonden van een bestek voor het maken van kanaaltaluds, werk- en ontsluitingswegen. De laagste inschrijver was J. van Tiel te Hoogerheide, voor bijna 3 miljoen gulden. Voorgesteld is, het werk aan deze aannemer op te dragen. Met de uitvoering begint men in augustus. In verband met de aanleg van het Spuikanaal Bath moeten bruggen worden gemaakt in RW 258, in RW 58 en in de Bathseweg. Ook dit werk werd op 23 juni aanbesteed. De laagste inschrijver was Aannemingsbedrijf Ph. de Koning te Papendrecht, voor een bedrag van ruim vier miljoen gulden.

