

Driemaandelijks Bericht
nummer 74, november 1975

deltawerken

Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1,
's-Gravenhage

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

**dit nummer is geheel gewijd
aan de afsluiting van
de Oosterschelde**

Inhoud

Beleidsanalyse in dienst van de
Oosterscheldestluiting 167

Het criterium voor het sluiten van de
stormvloedkering bij storm 175

De verdere ontwikkelingen in het ontwerp van
de caissons en hun afsluitmiddelen 181

Onderzoeksmethoden met betrekking tot
krachten en trillingen bij de schuiven van de
stormvloedkering 188

Het sluitgatprofiel en de caissonplaatsing 197

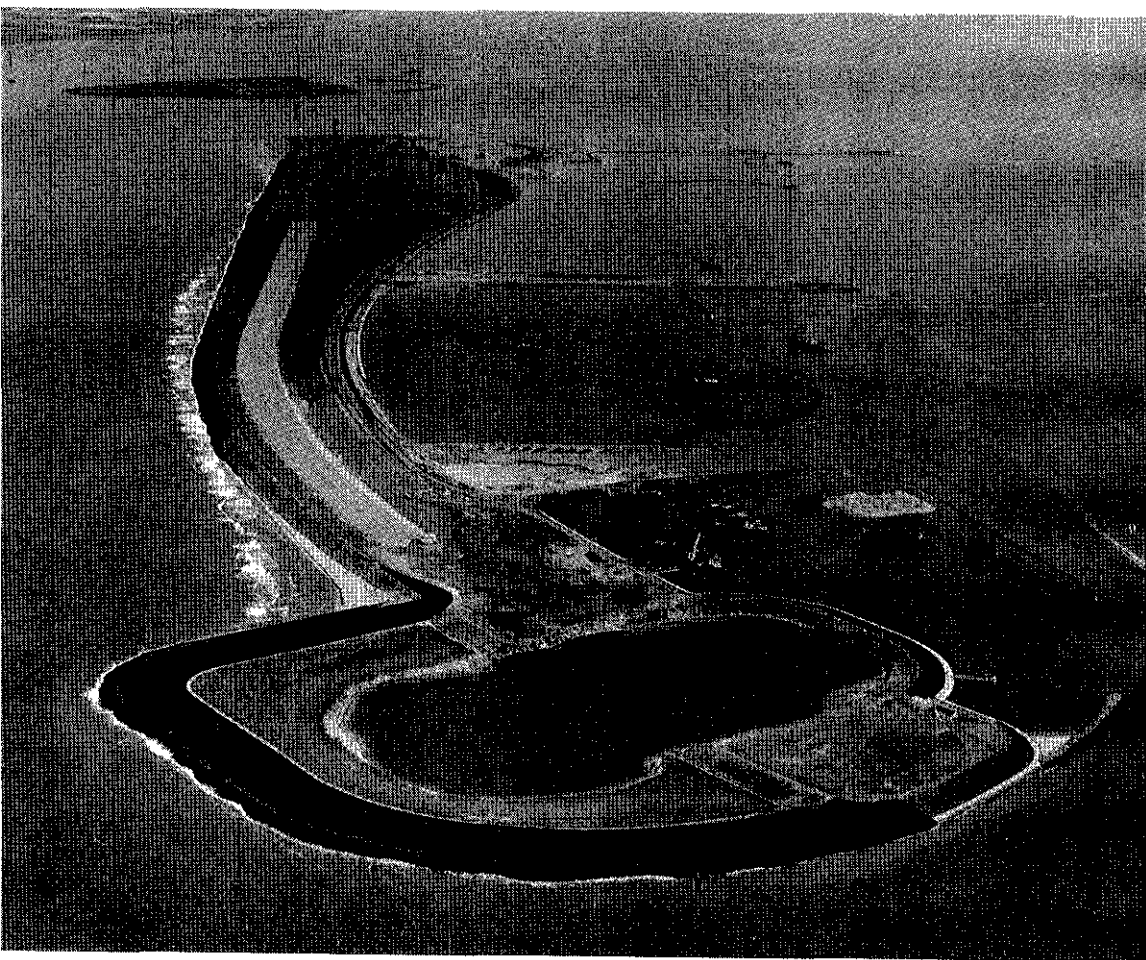
Natuurmetingen ten behoeve van het nieuwe
getijmodel RD-II 200

De voortgang van het waterloopkundig en
morfologisch onderzoek 206

Deformatiegedrag en stabiliteit van de
caissons 213

Vorderingen 222

Aanleg van bouwputten voor de
bouw van stormvloedkerende
caissons. Stand van het werk
op 18 augustus 1975



In de afgelopen jaren is mede door het werk van de door het Rijk ingestelde Commissie voor de Ontwikkeling van Beleids Analyse, kortweg COBA genoemd, het inzicht gelijpt dat het beoordelen van beleidsalternatieven op basis van een kosten-batenanalyse alleen onvoldoende mogelijkheden biedt aan de *beslisser*. Met name geeft de kosten-baten-analyse in het algemeen te weinig inzicht in het effect van vaak sterk persoonlijk verschillende waardeoordelen met betrekking tot de niet-financiële aspecten van een *beslissingsprobleem*.

Beleidsanalyse in dienst van de Oosterscheldesluiting

De beslissing over de afsluiting van de Oosterschelde kenmerkt zich nu juist, evenals vele andere beslissingen in de infrastructuursfeer, door het grote belang van de niet in geld uit te drukken factoren. Deze factoren zijn niet alleen bepalend geweest voor de *regeringsbeslissing van november 1974*, maar ze bepalen deels ook binnen de gegeven randvoorwaarden de keuze uit de mogelijke alternatieven. Om in het voorjaar van 1976 te kunnen beschikken over een zo compleet mogelijk beeld van de onderzochte alternatieven voor de afsluiting van de Oosterschelde met een stormvloedkering, gezien in samenhang met de compartimenteringswerken en met het toekomstig beheer van de Oosterschelde, wordt een beleidsanalyse opgesteld. De beleidsanalyse wordt uitgevoerd door de Rand Corporation uit Santa Monica (Californië, U.S.A.), in samenwerking met beleidsanalisten van de Rijkswaterstaat. Een neven-doel van deze samenwerking is het overnemen van de door Rand gebruikte analyse-technieken.

In het volgende zal nader worden ingegaan op vragen als: wat is beleidsanalyse? Hoe werk je er mee en waarom werd de Rand Corporation gekozen voor het uitvoeren van dit onderzoek?

Beleidsanalyse (Engels: policy analysis) is een systematische benadering voor het maken van een keuze in complexe situaties. Met succes is van deze techniek met name in Amerika gebruik gemaakt bij het bepalen van de beste gedragslijn inzake vraagstukken als het tegengaan van luchtverontreiniging in grote steden, de verbetering van de educatie-

ve en medische diensten voor geestelijk en lichamelijk gehandicapte kinderen, de uitbreiding en inkrimping van de brandweer en andere diensten die in noodgevallen moeten optreden, het opvoeren van de kwaliteit en de kwantiteit van behuizing, en het aanbrengen van veranderingen in de constructie van auto's met het oog op de energiebesparing.

Beleidsanalyse is geen eenduidige methode of techniek en zelfs geen vaste reeks van technieken. Aangezien het karakter van de beleidsanalyse wordt bepaald door het probleem dat wordt aangepakt, tonen de analyses van de verschillende problemen vaak weinig gelijkenis met elkaar. Het is dan ook moeilijk om een korte definitie te geven van de beleidsanalyse, die toch de kern raakt. Een definitie die bij verdere uitwerking wellicht een redelijk beeld geeft is de volgende: Beleidsanalyse is een onderzoek dat als doel heeft *steun te geven* bij het kiezen van de meest gewenste gedragslijnen uit *complexe* alternatieven onder *onzekere* randvoorwaarden.

De cursief gedrukte woorden in deze definitie behoeven enige toelichting. Met de woorden *steun te geven* willen we goed tot uitdrukking laten komen dat de beleidsanalyse het beslissen niet vervangt, net zo min als een röntgenfoto het oordeel van de dokter vervangt. Het doel is echter de beslisser een betere basis te geven voor zijn oordeel door het probleem duidelijk te stellen, de alternatieven te beschrijven en hun gevolgen te vergelijken. Het woord *complexe* geeft aan dat de alternatieven gewoonlijk groot in aantal zijn, betrekking hebben op een schakeling van verschillende technieken en beleidsmaatregelen en een

groot aantal consequenties met zich brengen, die meestal ingrijpend zijn en moeilijk te voorzien, laat staan te voorspellen. Het woord *onzekere* benadrukt dat de keuzes over het algemeen gemaakt worden op grond van onvolledige informatie, tussen alternatieven die feitelijk nog niet bestaan en waarvan de gevolgen, als ze al zouden optreden, alleen in de onbekende toekomst zullen plaatsvinden. Dit houdt in dat de alternatieven niet uitsluitend moeten worden vergeleken met het oog op de verwachte gevolgen, maar ook met betrekking tot het risico dat ze foutief gekozen zijn.

Om niet te abstract te worden zullen we aan de hand van een voorbeeld enkele karakteristieke trekken van de beleidsanalyse belichten. Veronderstel dat een zeker budget is uitgetrokken voor de verbetering van de

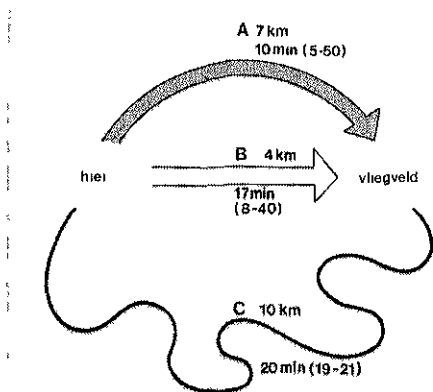
De elementen van het beslissingsraamwerk

Bij de beleidsanalyse is het nuttig gebleken dergelijke beslissingen te behandelen in een raamwerk dat de volgende elementen omvat. Het *doel*, ofwel: wat willen we bewerkstelligen. Het doel van de verkeersveiligheidsactiviteiten zou evengoed het verkleinen van het aantal dodelijke verkeersongevallen kunnen zijn, als het verkleinen van de totale kosten die door ongelukken aan de gemeenschap worden berokkend.

De *alternatieven*, dat zijn de wegen waarlangs wij onze doelstelling verwachten te bereiken. Enkele voorbeelden uit de sfeer van de verkeersveiligheid zijn:

lagere snelheidsgrenzen, het aanbrengen van betere veiligheidsgordels, en het sneller beschikbaar maken van ziekenauto's.

1



verkeersveiligheid. Hoewel een groot aantal verkeersveiligheidsprogramma's aantrekkelijk lijken, kunnen ze niet allemaal volledig worden uitgevoerd. Dat plaatst de bestuurder die de verkeersveiligheid behartigt, voor een moeilijke keuze: welke activiteiten op verkeersveiligheidsgebied moeten er worden ondernomen, en tot welk bedrag? Meer verlichting op de grote wegen? Verhoogde controle op het naleven van de verkeersregels? Verbetering van de rijvaardigheid? Het is duidelijk dat de bestuurder zijn budget zo zal willen verdelen onder de elkaar aanvullende en beconcurrerende alternatieven dat hij het grootste rendement aan verkeersveiligheid krijgt voor zijn beperkte geldelijke middelen. Maar hoe moet hij dit aanpakken? Welke middelen moet hij aanwenden, en welke factoren zou hij in overweging moeten nemen?

2

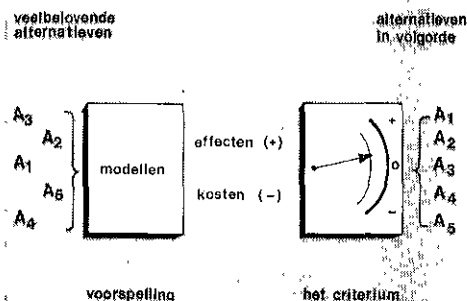


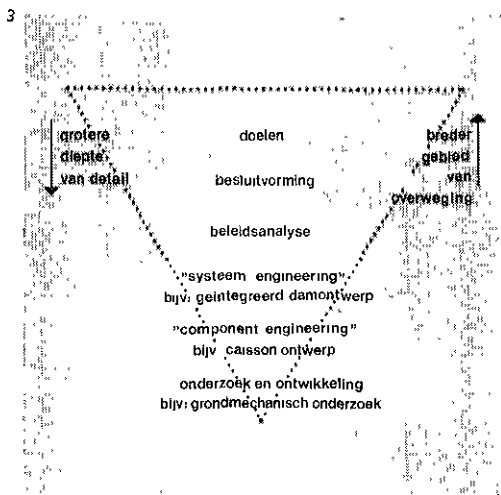
Fig. 1. Wat is de beste weg naar het vliegveld?

Fig. 2. Elementen van het beslissingsraamwerk

Fig. 3. De plaats van de beleidsanalyse in het besluitvormingsproces

Onder de *kosten* verstaat men de additionele kosten die nodig zijn om ieder alternatief te verwezenlijken, uitgedrukt in geld, hulpmiddelen of personeel. In ons voorbeeld: voor meer controle op het naleven van de verkeersregels moet men politieagenten aan het werk zetten, een schaarse categorie, die anders ter beschikking zou zijn om de misdaad te bestrijden.

De *maatstaf* is een uitdrukking voor de schaal die aangeeft in hoeverre de doelstelling wordt bereikt. Als de doelstelling in ons voorbeeld zou zijn het verminderen van het aantal verkeersslachtoffers, dan zou de juiste maat zijn het aantal gespaarde levens. De plaats van ieder alternatief moet dan op deze schaal worden bepaald. Een alternatief als 'strenge controle gedurende een jaar op de maximumsnelheid' zou op deze schaal een score van



duizend halen als het effect bestond in duizend gespaarde levens.

Het *criterium* is een beslissingsformule die aangeeft welke combinaties van kosten en bereikt effect een alternatief het aantrekkelijkst maken. Een gebruikelijk criterium is het maximaliseren van het bereikte effect voor een vast kostenniveau. Het criterium van maximaal effect tegen minimale kosten is verleidelijk, maar jammer genoeg onmogelijk. Het *model* of de modellen vormen niet anders dan de middelen waarmee we het effect en de kosten van de verschillende alternatieven voorspellen. Het gebruik van een enkel model of een serie van modellen voor een bepaald probleem wordt uitsluitend bepaald door de complexiteit ervan.

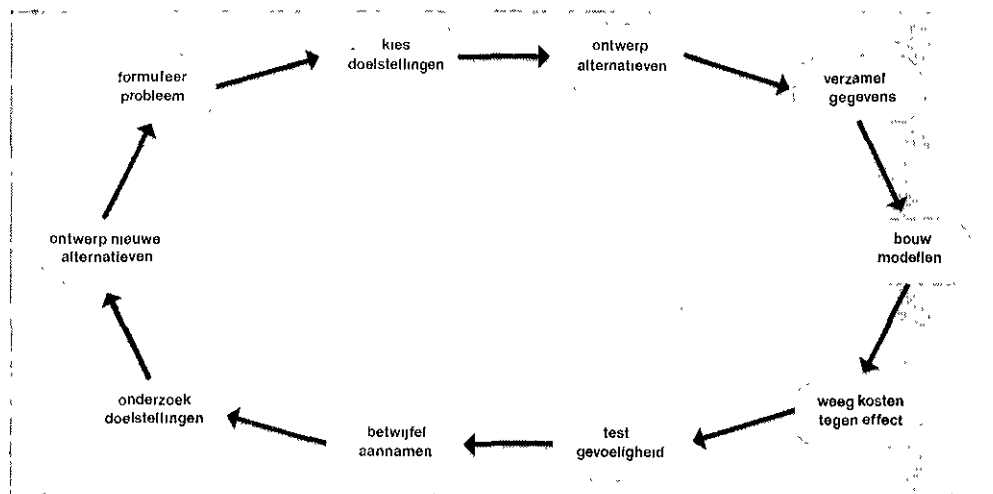
De ervaring heeft geleerd dat een analytisch beslissingsmodel voor complexe problemen

absoluut onontbeerlijk is. Het wordt erg moeilijk goede beslissingen te nemen, laat staan de best mogelijke, als doelstellingen en criteria verward worden en er een diffuus beeld ontstaat van de relatie tussen de kosten en het bereikte effect. Fig. 2 laat zien hoe de verschillende elementen van dit beslissingsraamwerk worden gecombineerd om de alternatieven op volgorde van kiesbaarheid te krijgen. Er blijkt ook uit hoe belangrijk modellen voor de beleidsanalyse zijn en hoe centraal de functie is die zij hierin vervullen. Een model is een afbeelding van de werkelijkheid. Het omvat de met betrekking tot het onderzochte probleem meest relevante factoren en de meest wezenlijke oorzaak-gevolgrelaties daartussen. Afhankelijk van het soort probleem zal het meest geschikte model bestaan uit een stel wiskundige vergelijkingen, een computerprogramma of zelfs een serie tekeningen. De vorm van het model wordt bepaald door de vraagstelling. Het meest geschikte model van de werkelijkheid voor het maken van een uitstapje zal een topografische kaart of een stadsplan zijn, afhankelijk van de vraag of we in de natuur gaan wandelen of de bezienswaardigheden van een stad gaan bekijken. Zoals hierboven reeds gesteld, is de bedoeling van het model om steun te geven bij het voorspellen van het effect en de kosten van een aantal alternatieven. Om nog even bij het in de aanvang gebruikte voorbeeld van de verkeersveiligheid te blijven: Het model moet in dat geval helpen antwoord te geven op vragen als: hoeveel botsingen worden volgend jaar voorkomen wanneer wij de omvang van het politietoezicht verdubbelen; de antwoorden wijzen ons, hopelijk, de weg bij ons handelen in dat deel van de wereld waar het model een afbeelding van vormt.

Maar waarom prefereren wij de meer objectieve en systematische benadering met behulp van een model voor het voorspellen van de kosten en effecten van de alternatieven boven een intuïtieve of onderdeelsgewijze benadering? In de eerste plaats omdat het aantal factoren dat de resultaten bepaalt zo groot is dat hun onderlinge relaties niet allemaal in beschouwing genomen kunnen worden zonder de hulp van de formele structuur van een model. Ten tweede omdat sommige maatregelen effecten hebben die wij intuïtief verkeerd beoordelen, en waarvan de ware aard pas blijkt wanneer ze in het model onderzocht worden. Sommige types vangrail bijvoorbeeld, beperken het aantal dodelijke ongevallen, maar vergroten het aantal ongelukken. Ten derde omdat de onderlinge afhankelijkheid

van sommige veiligheidsmaatregelen een grote invloed op het gezamenlijk effect heeft. Zo lijkt bijvoorbeeld een telescopische stuurstang meer levens te sparen wanneer hij alleen zou worden gemonteerd in plaats van in combinatie met veiligheidsriemen, die voorkomen dat de inzittende überhaupt met de stuurstang in aanraking komt. Het gebruik van modellen in de beleidsanalyse vergemakkelijkt de communicatie door een ondubbelzinnige terminologie, en wat belangrijker is, het bevordert de objectiviteit doordat de gebruiker wordt gedwongen tot het expliciet maken van zijn mogelijk in de aanvang verborgen veronderstellingen. Tenslotte staat het model de bestuurder toe om alternatieven te bestuderen die vanwege gevaar of kosten onmogelijk in werkelijkheid kunnen worden beproefd.

men thuis is en dat men naar het vliegveld wil rijden. Er zijn drie verschillende wegen. Route A is 7 km lang en vereist meestal een rijtijd van 10 minuten ofschoon die kan variëren van 5 tot 50 minuten; route B is 4 km lang en vraagt gemiddeld 17 minuten, hoewel dit kan variëren van 8 tot 40 minuten, en route C is 10 km lang en kost normaal 20 minuten, met een variatie van 19 tot 21 minuten. Wat is nu de *beste* weg naar het vliegveld? Het is duidelijk dat er objectief gesproken geen eenduidig antwoord op deze vraag kan worden gegeven; verschillende mensen nemen gewoonlijk verschillende wegen. De individuele keus hangt kennelijk samen met de nadere interpretatie van het woord *beste*. Bij de keuze voor route A betekent de 'beste' de 'snelste'; wie route B preferereert interpreteert 'de beste' als de 'kortste'; bij voorkeur



Het probleem van de probleemstelling

De probleemstelling houdt zich voornamelijk bezig met het formuleren van de doelstellingen en het aangeven van de grenzen waarbinnen de analyse moet blijven. Het kiezen van een dessert in een restaurant brengt voor de meeste mensen maar een eenvoudige probleemstelling mee; de analyse wordt begrensd door de mogelijkheden die het menu biedt en de doelstelling wordt grotendeels bepaald door de vraag of men op dieet is of niet, en indien niet, wat men het lekkerste vindt. Bij complexe vraagstukken echter vormt de probleemstelling een omvangrijk en kritiek deel van het werk.

Fig. 4. Kringloop van activiteiten tijdens de analyse

Fig. 1 illustreert hoe moeilijk het is doelstellingen te formuleren. Men stelle zich voor dat

voor route C blijkt de 'beste' de 'meest voor-
spelbare of betrouwbare' te betekenen.
In dit eenvoudige probleem is het al moeilijk
om te beslissen welke betekenis van 'beste'
werkelijk de beste is. In complexe problemen
waarbij toch bijna altijd het vinden van de
'beste' manier om iets te doen wordt gezocht,
is het in het algemeen zeer moeilijk om te
bepalen wat het 'beste' moet betekenen. Het
grote belang van die precisering echter blijkt
onmiddellijk wanneer we ons realiseren dat
een verschillende keus bij het bepalen van de
doelstelling over het algemeen leidt tot een
verschillende volgorde van de alternatieven.
Als bijvoorbeeld het minimaliseren van het
aantal dodelijke ongevallen als doel wordt
gekozen, kunnen we hoge prioriteit geven aan
het verminderen van ongelukken waarbij een
auto van de weg af rijdt, omdat die ongeluk-
ken over het algemeen zeer ernstig zijn. Staat
echter als doel het minimaliseren van de
materiële schade voorop, dan moeten we
hoge prioriteit geven aan het verminderen
van zogenaamde blikshadeongelukken; deze
zijn namelijk zeer talrijk.

Zelfs wanneer de juiste doelen zijn geïdenti-
ficeerd, blijft er een moeilijk deel van de pro-
bleemstelling over: het begrenzen van de
analyse. Dit omvat de beslissing welke factoren
in de beschouwing betrokken moeten worden
en hoe gedetailleerd. Het verwaarlozen van be-
langrijke factoren kan immers tot oorzaak heb-
ben dat de analyse tot onjuiste conclusies leidt,
terwijl het opnemen van onbelangrijke factoren
en overbodige details ertoe kan leiden dat de
analyse in het geheel niet of niet tijdig tot
conclusies leidt. Ter illustratie noemen we
enkele – maar niet alle – begrenzingen die
het probleem om de beste weg naar het
vliegveld te vinden omvatte. In de eerste
plaats was de belangrijke mogelijkheid ver-
waarloosd dat de reiziger gebruik maakt van
het openbaar vervoer. Ook het aantal restau-
rants langs de routes werd verwaarloosd,
omdat dit gegeven geen rol speelt bij zo'n
korte reis. Ten derde werd het effect van het
weer op de reistijden verwaarloosd als een
overbodig detail.

In ons aanvankelijke voorbeeld, de verkeers-
veiligheid, zouden de verschillende alterna-
tieven gevolgen kunnen hebben voor totaal
verschillende sectoren van de maatschappij.
Hoever moeten we deze effecten volgen?
Verhoging van de wegenbelasting bijvoor-
beeld kan effect hebben op het gemak waar-
mee van de auto gebruik wordt gemaakt en
dientengevolge op de verdeling tussen de rit-
ten per auto, bus en trein. In welke mate
moeten we nu het gehele transportsysteem in

onze analyse betrekken? Meer medische
noodhulp voor slachtoffers van verkeersonge-
lukken, een ander voorbeeld, zou de vraag
naar dokters en ziekenhuisbedden kunnen
vergroten. In welke mate moeten we om deze
reden het gehele medische systeem in de
analyse betrekken?

De expliciete behandeling van de onzekerheid

Aangezien belangrijke beslissingsproblemen
in het algemeen betrekking hebben op de
toekomst houden zij ook grote onzekerheden
in. De beleidsanalyse moet bij dergelijke pro-
blemen voorzien in de expliciete behandeling
van de onzekerheid. Dit kan op verschillende
manieren. Zo kan men zijn visie op deze
onzekerheden vastleggen in een 'scenario'.
Een scenario is de beschrijving van een
hypothetische toekomstige toestand in de
wereld. Het scenario tracht uitsluitend die
factoren in de beschouwing te betrekken,
die de kosten of het effect van een alternatief
in belangrijke mate beïnvloeden. Dergelijke
factoren kunnen zowel de vooruitgang in de
wetenschap en de schaarsheid van hulpbron-
nen zijn als de houding van mensen of de
politiek en de economie van hele staten.
Het komt vaak voor dat in een analyse een
paar sleutelparameters zitten over de waarde
waarvan een bijzonder grote onzekerheid
bestaat. In plaats van de gemiddelde waarde
voor deze parameters kan de analist dan
achtereenvolgens verschillende waarden in-
voeren: een hoge, een gemiddelde en een
lage waarde. Hij dient dan vervolgens na te
gaan hoe gevoelig het resultaat, de volgorde
van de alternatieven is voor variaties in de
onzekere parameters. Deze werkwijze staat
bekend als de *gevoeligheidsanalyse*. Het al-
ternatief dat er als beste uitkomt bij deze
gevoeligheidsanalyse wordt de dominante
oplossing genoemd. Ondubbelzinnige domi-
nantie is een karakteristiek waar de analist
vanzelfsprekend altijd naar zoekt, maar in
complexe problemen komt ze zelden voor.

De analyse van onvoorziene omstandigheden
(contingency analysis) gaat na hoe de volg-
orde van de beschouwde alternatieven wordt,
wanneer een belangrijke verandering in de
doelstelling, de criteria, of het scenario op-
treedt. In ons verkeersveiligheidsprobleem
zou het verleggen van het doel van het
minimaliseren van het aantal dodelijke onge-
vallen naar het *minimaliseren van de totale*
kosten van de ongelukken waarschijnlijk
verandering brengen in de volgorde van de
alternatieven.

De *a fortiori* analyse bestaat uit het testen van het schijnbaar beste alternatief onder omstandigheden die gunstig zijn voor concurrerende alternatieven. Indien het betreffende alternatief dan nog steeds het beste blijft, is er een zeer goede reden om het te verkiezen boven andere. Stel bijvoorbeeld dat alternatief A na veel analyse het beste lijkt te zijn. De analist constateert echter dat het effect van alternatief B aanzienlijk verbetert wanneer bepaalde waarden worden ingevuld voor onzekere parameters. Bij de afweging van A tegen B kan de analist deze waarden nu expres zo kiezen dat zij het gunstigst zijn voor oplossing B, om dan te kijken hoe A zich houdt onder deze ongunstige veronderstellingen.

Deze technieken ter explicitering van onzekerheid kunnen niet alleen nuttig zijn voor de vergelijking van alternatieven, maar ze kunnen indirect ook bijdragen tot het verbeteren van het ontwerp van de alternatieven. Wanneer de analist bijvoorbeeld door gevoeligheidsanalyse en de analyse van onvoorziene omstandigheden een goed begrip krijgt van de werkelijk kritieke onzekerheden in een gegeven vergelijking, kan hij op basis van deze kennis een nieuw alternatief formuleren – dikwijls een mengsel van de oude alternatieven – dat redelijk goed bestand is tegen de variatie in de meeste belangrijke onzekere parameters. De beschreven procedure is meestal een moeilijk begaanbaar pad, maar ze biedt een van de beste wegen om de onzekerheid te beperken.

Fig. 2 stelt het proces van de beleidsanalyse voor als een ordelijk in één richting verlopend proces. Ongelukkigigwijls komt dit in de praktijk zelden voor. Maar al te vaak hebben we te maken met een groot aantal conflicterende en onduidelijke doelen, met alternatieven die de beoogde doelen niet verwezenlijken en maatstaven voor het effect die niet werkelijk de mate meten waarin de doelen worden bereikt. In werkelijkheid kan het effect van een alternatief zelden met één maat gemeten worden; meestal zijn er meer nodig. In de realiteit zitten modellen vol onzekerheden; dikwijls moet men toegeven dat andere criteria, die leiden tot een verschil in de volgorde van de alternatieven, bijna even redelijk lijken als de gekozen criteria. Wanneer dit gebeurt moeten we niet concluderen dat de beleidsanalyse ondeugdelijk is als instrument bij het nemen van beslissingen; we moeten ons realiseren dat de analyse nog niet is voltooid. Een enkelvoudige poging om een probleem op te lossen is zelden voldoende.

de. Zoals in figuur 4 is aangegeven is de sleutel tot een succesvolle analyse een doorlopende kringloop van probleemstelling, kiezen van de doelstellingen, ontwerpen van alternatieven, verzamelen van gegevens, bouwen van modellen, afwegen van kosten tegen effecten, testen op gevoeligheid, in twijfel trekken van veronderstellingen en gegevens, opnieuw waarderen van de doelstelling, ontwerpen van nieuwe alternatieven en het bouwen van betere modellen – net zolang tot de analyse tot tevredenheid stemt of de studie door een tekort aan tijd of geld moet worden afgebroken.

In de beleidsanalyse maakt men bij een brede probleemstelling meestal gebruik van een interdisciplinair team van onderzoekers. Niet alleen omdat een brede studie in het algemeen complex is; een belangrijker argument is dat de vragen die tijdens de studie rijzen er anders uitzien voor een econoom, een wiskundige, een jurist, een socioloog, een ingenieur, of een bioloog. Het feit dat verschillende onderzoekers al naar hun discipline op verschillende manieren tegen een probleem aankijken, kan bijzonder veel bijdragen tot het vinden van een oplossing.

Beleidsanalyse en stormvloedkering

Waarom maakt de Rijkswaterstaat voor het ontwerp van de stormvloedkering nu gebruik van de beleidsanalyse? Deze vraag vormt de eigenlijke kern van dit artikel. Hoewel door de regeringsbeslissing van november 1974 een aantal criteria in de vorm van ontbindende voorwaarden is aangegeven, is het aantal denkbare alternatieven nog zeer groot. Al deze alternatieven zijn complex van aard en hebben gevolgen op tal van gebieden. De beleidsanalyse is hierbij te hulp geroepen om een raamwerk te leveren met behulp waarvan de consequenties van de alternatieven op verschillende gebieden op systematische wijze kunnen worden nagegaan. Het onderzoek van een aantal verschillende caissonsontwerpen, ieder met doorstroomopeningen van verschillende grootte, gesloten door schuiven met verschillende karakteristieken, omvat al gauw een paar honderd alternatieven.

Maar daarbij moeten wij ons realiseren dat de stormvloedkering in engere zin slechts een deel is van het grotere systeem waarin ook de fundering, de bodembescherming, de versterking van de dijken en de plaats van de compartimenteringsdammen een rol spelen.

Keuze voor een bepaald alternatief heeft een groot aantal consequenties op vele

gebieden die veelal op complexe wijze met elkaar samenhangen. Zelfs de categorieën van consequenties zijn talrijk. Zij omvatten de veiligheid van mensen en bezittingen tegen overstroming; de uitgaven van het rijk ten behoeve van de constructie en het onderhoud van de werken; de eventuele tekorten van kritieke hulpmiddelen die nodig zijn voor de constructie; de economische gevolgen niet alleen met betrekking tot de industrie die regelrecht bij de constructie van de stormvloedkering is betrokken maar ook met betrekking tot de toeleveringsbedrijven; de intensiteit van het watergebruik voor verschillende doeleinden en de kwaliteit van het water; eventuele veranderingen in de populaties en de soortenrijkdom van flora en fauna; en tenslotte de verdeling van de consequenties over de verschillende belanghebbende bevolkingsgroepen.

De studies die op het ogenblik gaande zijn met betrekking tot de stormvloedkering in de Oosterschelde hebben als doel meer inzicht te verwerven op gebieden waar thans nog onzekerheid heerst. Aangezien het hier een werk betreft dat pas in de toekomst zal functioneren is het wegnemen van alle onzekerheden onmogelijk. Door studie kunnen de onzekerheden echter wel beperkt, gelokaliseerd en gewaardeerd worden. Onzekerheid bestaat bijvoorbeeld nog over de grondmechanische eigenschappen van de ondergrond waarop de caissons komen te staan. Een tweede onzekerheid wordt gevormd door de vorm van de getijkromme die zich zal voordoen bij de eens in de tienduizend jaar optredende superstorm. Het spreekt vanzelf dat we hierover geen meetgegevens hebben, zodat en de hoogte en de vorm door extrapolatie moeten worden bepaald. Zoals uit een van de volgende artikelen in dit nummer blijkt, heeft de vorm van de getijkromme niet alleen gevolgen voor de krachten op de schuiven en de sluitingsmanoeuvres, maar bepaalt ze ook de door de sluiting gevormde translatiegolf in het Oosterscheldebekken. Een derde onzekerheid wordt gevormd door de bodemontwikkeling van de Oosterschelde als gevolg van de verschillende vormen van de stormvloedkering. Blijven de geulen op de plaats waar ze zich thans bevinden, of treedt er aanslibbing op, moeten we nog aantasting van de oevers verwachten, en dergelijke onzekerheden meer. Naast deze onzekerheden van meer technische en sedimentologische aard kunnen we de onzekerheden in het ecologische vlak noemen, zoals de mogelijkheid van flora en fauna op de platen ten gevolge van de veranderde getijhoogten.

De relatie tussen de beleidsanalyse en de andere studies die gaande zijn wordt getoond in fig. 3. De aandacht wordt erop gevestigd dat de activiteiten een breder gebied bestrijken en minder details in aanmerking nemen naarmate we hoger in de piramide komen. Door een veelomvattende en systematische benadering probeert de beleidsanalyse de ontwerpers en managers die bij de studie betrokken zijn, te helpen verschillende taken te coördineren, prioriteiten te bepalen en te wijzen op mogelijk ontbrekende schakels. Dit alles met behoud van haar meer traditionele rol als steun bij de later te maken keuze tussen de verschillende ontworpen alternatieven.

Om de beleidsanalyse voor de Oosterscheldeproblematiek uit te voeren is samenwerking gezocht met de Rand Corporation, een bekend Amerikaans researchinstituut dat baanbrekend werk heeft verricht op het gebied van de ontwikkeling en toepassing van de beleidsanalyse. Rand is een organisatie zonder winst oogmerk, met een staf van meer dan vijfhonderd academici uit verschillende gebieden van wetenschap, waaronder natuurkundigen, biologen, wiskundigen, sociologen, ingenieurs en informatici. Om haar onafhankelijkheid en objectiviteit te waarborgen wordt de Rand Corporation evenals vele Amerikaanse universiteiten bestuurd door een curatorium. Bovendien bevindt zich binnen de Rand-organisatie een opleidingsinstituut, het Rand Graduate Institute, dat een van de weinige postdoctorale opleidingen in de beleidsanalyse in de wereld geeft. Men kan aan dit instituut dus de doctorsgraad in de beleidsanalyse behalen.

Rand heeft de beleidsanalyse in de afgelopen jaren vooral gebruikt bij milieuproblemen. In de zogenaamde 'STAR-study', een onderzoek naar de verschillende mogelijkheden van vervoer in California, heeft deze organisatie computertechnieken ontwikkeld voor het voorspellen van geluidsoverlast en andere gevolgen van verschillende transportsystemen. Het 'San Diego Clean Air project' gaf aanleiding tot de ontwikkeling van een omvattende methodologie voor het analyseren van milieuproblemen. Twee Randstudies op het gebied van de smog-beheersing in Los Angeles hebben de basis gevormd voor het kortgeleden aanvaarde plan van die stad voor het beperken van de luchtvervuiling en het opvangen van de gevolgen van de energiecrisis.

Een derde belangrijke reden om Rand voor deze studie uit te nodigen was dat de beleids-

analyse kon plaatsvinden onder supervisie van dr. J. J. Leendertse, wiens groep binnen de Rand Corporation al een groot aantal jaren met de Rijkswaterstaat samenwerkt voor het ontwikkelen van wiskundige getijmodellen en computerberekeningen die een onmisbaar hulpmiddel zijn geworden bij het bestuderen van de getijbeweging in de Delta. (Zie Bericht 54, november 1970, p. 208, en Bericht 72, mei 1975, p. 91.)

In de eerste vijf maanden van het onderzoek dat tot de beleidsanalyse moet leiden werd een groot deel van de tijd besteed aan het bijeenbrengen van de noodzakelijke gegevens. Daarnaast werd gewerkt aan een kostenmodel voor de stormvloedkering. Het is de bedoeling ook computermodellen

te bouwen waarin de veiligheid die de verschillende alternatieven bieden, de economische consequenties, en als dat mogelijk is die voor de ecologie en het aquatisch milieu kwantitatief kunnen worden benaderd. Naarmate de studie van de stormvloedkering en zijn gevolgen verder is gevorderd zal ook het materiaal met behulp waarvan de beleidsanalyse moet worden uitgevoerd, vollediger worden. Over het succes van deze methode bij de keuze van het meest gewenste alternatief voor de stormvloedkering valt weinig te voorspellen. Het lijkt echter zeker dat de omvang en complexiteit van de studies die voor de Oosterschelde worden uitgevoerd een zorgvuldige begeleidende analyse ten volle rechtvaardigen.

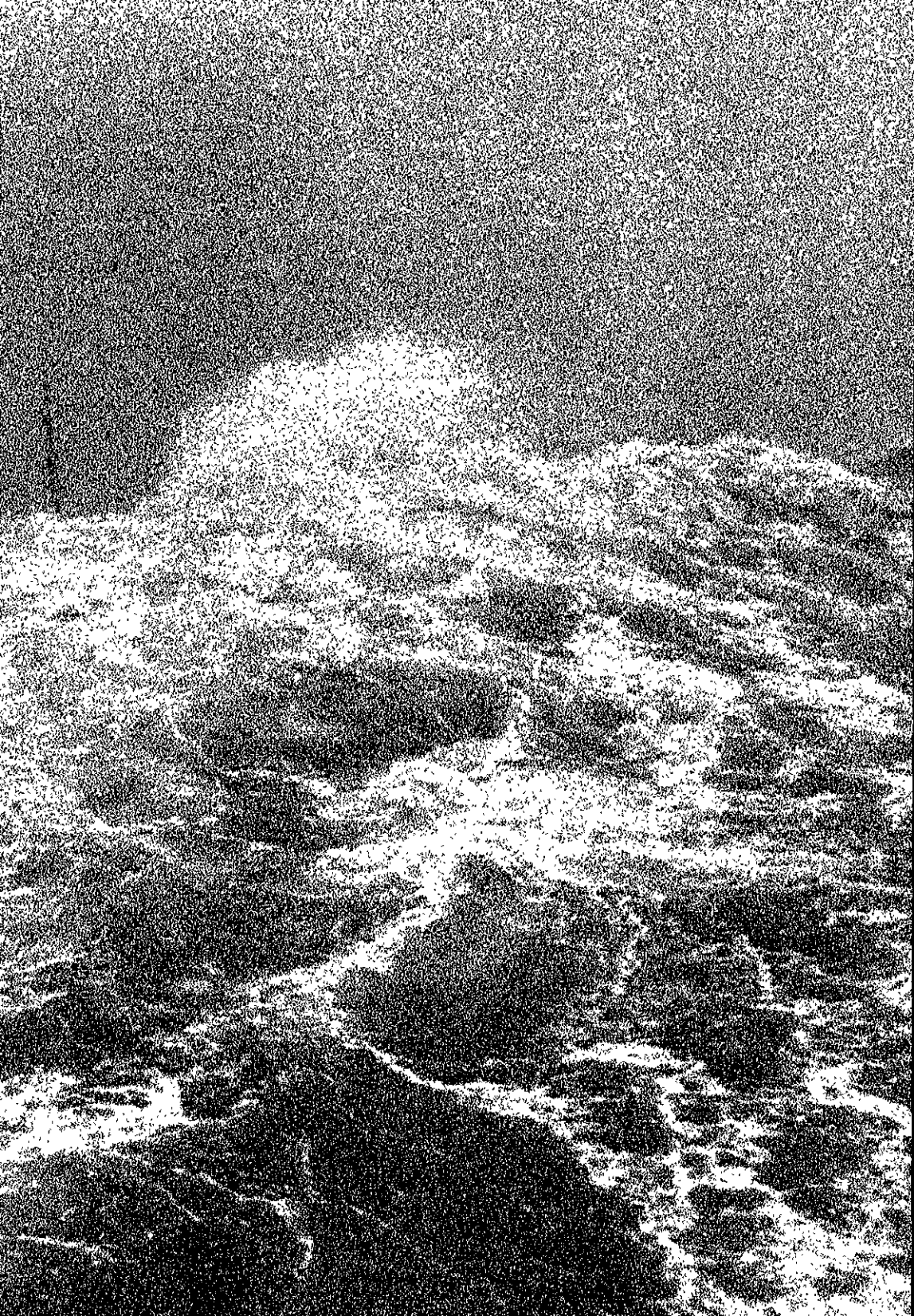
In Bericht 72 (mei 1975) is reeds in het kort gewezen op de vraagstukken die zich voordoen bij het bepalen van de criteria voor het tijdstip van sluiting van de stormvloedkering, *indien de situatie bij zware storm daartoe noopt*. Hoewel het onderzoek terzake nog niet is afgerond, kan hier toch al iets nader op deze complexe problematiek worden ingegaan.

Allereerst staan we dan voor de vraag wanneer men er zeker van kan zijn dat de stormvloedkering moet worden gesloten. Met andere woorden, wanneer verwacht men tijdens een storm een zodanige verdere meteorologische ontwikkeling dat de waterstand in het Oosterscheldebekken tot onaanvaardbare hoogten zal kunnen oplopen. Reeds dadelijk moet hierbij worden aangekend, dat het ons nu niet mogelijk is en dat het wellicht nooit mogelijk zal zijn met volkomen zekerheid te voorspellen, hoe het weer zich tijdens een storm zal ontwikkelen. Zal de wind blijven doorstaan en misschien nog verder aanwakkeren, zal hij uit dezelfde hoek blijven waaien, of van richting veranderen? Hoewel de techniek van de weersvoorspellingen – de meteoroloog vermijdt het woord *voorspellingen* en spreekt liever van *verwachtingen* – een betrekkelijk hoge graad van perfectie heeft bereikt, blijft de weersvoorspelling een zeer grillige materie, waarbij verrassingen niet uitgesloten zijn. We hebben in het Deltagebied echter niet alleen te maken met een meteorologisch vraagstuk, maar bovendien met de invloed die dit meteorologisch gebeuren op de getij- en golfbeweging heeft. De getijbeweging wordt door de meteorologische omstandigheden sterk beïnvloed. Niet alleen dat de waterstanden op zee en in de meegaten door windinvloed in belangrijke mate kunnen worden verhoogd of verlaagd, ook de voortplanting van het getij wordt door deze waterstandsveranderingen beïnvloed, en daarmee de vorm van de getijkromme. Het zal duidelijk zijn dat, zo de voorspelling van de ontwikkeling van een storm al moeilijk is, de voorspelling van het gedrag van het getij onder invloed van die

Het criterium voor het sluiten van de stormvloedkering bij storm

storm een nog *veel gecompliceerdere zaak* is zowel wat betreft de uiteindelijke stormvloedhoogte als de vorm van de getijkromme, en met name de snelheid waarmee de waterstand gedurende de storm zal kunnen oplopen.

Bij het doen van uitspraken over stormvloedverwachtingen dient men dan ook de grootste voorzichtigheid in acht te nemen. Toch zijn zulke uitspraken onmisbaar bij het ontwerp van zeewaterkeringen. Om te kunnen bepalen welk waterpeil op het Oosterscheldebekken uit veiligheidsoogpunt 'ontoelaatbaar' moet worden genoemd, hebben we voorts met het probleem te maken bij welke waterstand en welke golfbeweging de dijken daar gevaar lopen. De golfoploop is een maatgevende factor, vooral wanneer de wind loodrecht op de dijk staat, want de golfoploop tegen het dijktaalud is dan het grootst. Om te kunnen beoordelen of een dijkvak veilig is moeten we weten, of er bij de maximaal toe te laten waterstand geen te grote golfoploop op kan worden verwacht. *Daartoe zouden we de windrichting, de windkracht en de duur daarvan moeten kunnen voorspellen*; het resulterende golfbeeld zou dan bepaald moeten kunnen worden, zij het slechts in een vrij ruwe benadering. Dit geldt tenslotte ook ten aanzien van de vraag, tegen welke golfaanval een dijk bestand is. De Werkgroep voor het Onderzoek naar de Spanningsstoestand in Zeedijken kwam destijds in haar rapport, dat is opgenomen in deel 6 van het rapport van de Deltacommissie, tot de conclusie, dat het optreden van wateroverslag als de belangrijkste oorzaak moet worden aangemerkt van het bezwijken der dijken tijdens de stormvloed van 1 februari 1953, en zij wijst er dan ook



met nadruk op, dat de veiligheid van een dijk belangrijk kan worden verhoogd door water-overslag zoveel mogelijk te beperken. Geen opzienbarende uitspraak, want reeds de bekende 16e eeuwse waterbouwkundige Andries Vierlingh schreef: 'De meeste saligheyt van een dijk ligt in sijne hoogte'. Hiermede is het probleem wel gesteld doch niet opgelost, want, in de woorden van de Werkgroep, de mogelijkheden om de wateroverslag te beperken zijn 'gelegen in de keuze van helling en vorm van het buitenbeloop en de hoogteligging van de kruin' en die kunnen 'wellicht nimmer zo volledig worden benut, dat water-overslag nooit zal optreden'. Enige water-overslag zal men bij extreme stormen dus moeten accepteren; de vraag is maar: hoeveel? De toelaatbare overslag kan helaas nog niet worden berekend, mede omdat dit van geval tot geval in hoge mate afhangt van de kwaliteit van de dijk en met name van de toestand waarin het binnenbeloop vlak onder de kruin verkeert. Men heeft hiervoor bij gebrek aan rekenkundige zekerheid een voorlopig criterium gekozen, dat waarschijnlijk binnen de marge van het toelaatbare blijft: de zogenaamde 2%-regel. Die regel houdt in dat men het – ongeacht het type dijk – toelaatbaar acht dat tijdens de voor die dijk maatgevende omstandigheden van getijden golfbeweging 2% van de tegen het buiten-talud oplopende golven de kruin bereikt of er over heen loopt.

Het zal duidelijk zijn dat de hoogte van de golfoploop afhangt van de hoogte van de golven die op de dijk aan kunnen lopen. Naar het verband tussen golfoploop en golfhoogte is al veel onderzoek verricht, zowel in de natuur als in waterloopkundige modellen. In de natuur wordt de golfoploop afgeleid uit de ligging van de zogenaamde veekrand, dat zijn de aanspoelsels die na een storm op het dijkbeloop achterblijven, zoals stukken hout, stro en planteresten. Uitgaande van het criterium van de toelaatbare golfoverslag kan nu voor ieder dijkvak worden berekend welke waterstand er toelaatbaar is, althans wanneer we de golfbeweging en met name de golfhoogte kunnen berekenen die ter plaatse zal optreden. Ook daarvoor bestaan empirische relaties, waarin het verband is vastgelegd tussen de windkracht, de windduur, de breedte van het water voor de dijk die aan die windkracht is blootgesteld en die we strijklengte noemen, alsmede de diepte van het water voor de dijk, eveneens gerekend over de strijklengte. De waterdiepte, die in deze relatie voorkomt, kunnen we berekenen omdat we de hydrografie van het bekken kennen,

waarbij natuurlijk enigszins moet worden gemiddeld omdat de diepte niet overal gelijk is. Hiermede is echter al wel voldoende ervaring opgedaan. De windsnelheid is de maximale windsnelheid bij de maatgevende frequentie van $\frac{1}{4000}$; ze kan statistisch globaal worden bepaald op 40 m/sec, waarbij wordt afgezien van kortdurende windstoten.

We zijn daarmee echter nog niet klaar met ons probleem, want al kennen we nu de voor een bepaald dijkvak toelaatbare waterstand, we weten daarmee nog niet genoeg omtrent de waterstanden die op het Oosterscheldebekken als geheel toelaatbaar zijn. Men moet zich voorstellen, dat de waterstand op één bepaalde plaats niet gelijk is aan de waterstand elders in het Oosterscheldebekken, doch dat het water in zekere mate zal zijn opgestuwd in de richting van de heersende wind. We noemen dit verschijnsel opwaaiing. Het kost enige tijd voordat de opwaaiing, waarbij de waterstand in het bekken een flauwe helling gaat aannemen, zich zal hebben ingesteld. Immers, daarvoor is verplaatsing van watermassa's nodig en dat vraagt tijd. Voor de berekening van de opwaaiing moet men dan ook niet uitgaan van de maximale windkracht die hierboven werd genoemd, maar van een gemiddelde windsterkte waarvan mag worden aangenomen dat zij lang genoeg doorstaat om de opwaaiing te effectueren. Die gemiddelde windkracht van wat langere duur is bepaald op ongeveer 30 m/sec. Rekening houdende met deze opwaaiing moet nu worden berekend, welke waterstand bij een dergelijke superstorm maximaal op de Oosterschelde mag worden toegelaten om ieder dijkvak voldoende veilig te weten.

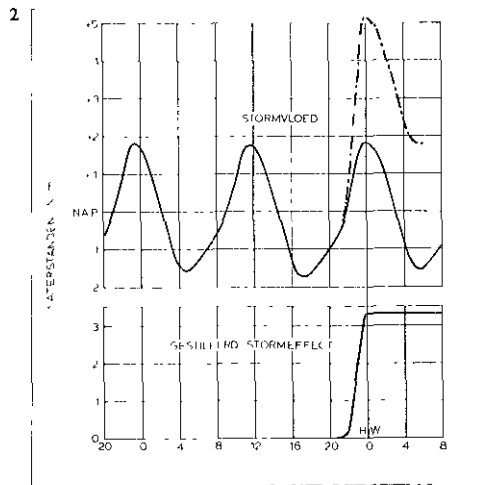
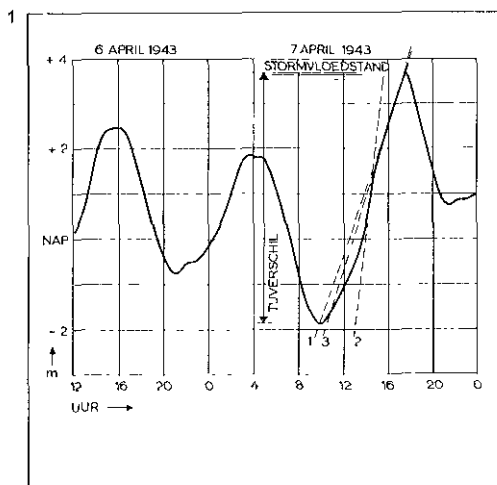
Het moge uit het voorgaande zijn gebleken, dat aan het resultaat van een dergelijke berekening geen grote precisie mag worden toegekend. Het blijft een betrekkelijk globale benadering.

Nu is in het voorgaande een rekenmethode beschreven waarbij getijbeweging en opwaaiing afzonderlijk in rekening worden gebracht. Er bestaat echter ook een methode van getijberekeningen waarin het effect van de opwaaiing direct verrekend wordt (zie Bericht 71, februari 1975, blz. 50). Met die methode kunnen betere resultaten worden bereikt, maar ook dan moet de invloed van de golven nog apart worden bepaald. Het onderzoek is thans nog niet afgesloten, zodat het nog niet mogelijk is om het toelaatbare maximale peil op de Oosterschelde te noemen. Bij dit onderzoek wordt er overigens van uitgegaan dat de dijken langs de Oosterschelde inmiddels door tijdelijke maatregelen

zullen zijn aangepast aan de overgangssituatie. Na de bouw van de stormvloedkering moeten we rekening houden met nog zwaardere stormen. In fig. 4 wordt toegelicht dat dan zowel de opwaaiing als de golfoploop toenemen, zodat de toelaatbare waterstand minder wordt. Nog steeds rest de vraag, wanneer men de kering tijdens een gevaarlijke storm op zijn laatst moet sluiten, opdat het maximaal toelaatbare peil nog juist niet zal worden overschreden. Hierbij stuit men dan tenslotte weer op de eerder vermelde moeilijkheid, dat het verdere verloop van een storm nooit exact te voorspellen is, en nog minder het zich daarbij ontwikkelende getij. In dit geval gaat het speciaal om de onzekerheid die bestaat omtrent de snelheid waarmee het water buiten de kering nog zal stijgen als de sluitingsmanoeuvre in gang is gezet. Daar-

van het maximaal toelaatbare peil, en zo kunnen we dan de waterstand aan de zeezijde van de stormvloedkering bepalen waarbij de stormvloedkering in ieder geval zal moeten worden gesloten wanneer men verwacht dat het buitenwatergetij nog aanzienlijk verder zal stijgen.

Met het vrij ingewikkelde onderzoek inzake deze problematiek worden thans wel zulke vorderingen gemaakt dat mogelijk binnen enkele maanden een redelijk nauwkeurige schatting kan worden gegeven van het peil waarop tot sluiting van de stormvloedkering moet worden besloten. Vermoedelijk zal dit liggen in de buurt van N.A.P. + 3 m. Laten wij tenslotte trachten te overzien welke consequenties een sluitingsmanoeuvre die inzet bij een waterstand van ongeveer N.A.P. + 3 m in de opgaande tak van een stormvloed



van hangt immers af welk verval er zal ontstaan tussen buiten- en binnenwaterstand tijdens de sluitingsmanoeuvre, die om de gedachten te bepalen op $\frac{3}{4}$ à 1 uur kan worden gesteld. En van dit verval hangt de hoeveelheid water af die tijdens de sluiting nog het Oosterscheldebekken zal binnenstromen. Op dit vraagstuk, dat ook – en vooral – van belang is voor de berekening van de stromingskrachten op de schuiven, gaan we hieronder nog nader in.

Ondanks alle moeilijkheden willen we hier toch een eerste benadering geven van het uiterste tijdstip waarop de sluiting zal moeten worden ingezet. We stellen dan dat het peil op het Oosterscheldebekken vanaf de inzet van de sluitingsmanoeuvre tot aan de volledige sluiting van alle schuiven nog een halve meter zal kunnen stijgen. Dat trekken we af

heeft voor de stormvloedkering. Er is ook al in Bericht 72 (mei 1975) op gewezen dat de stormvloedkering gesloten moet kunnen worden in stromend water. Thans willen we nagaan welke stroomsnelheden er in zo'n geval tijdens de sluiting, dus gedurende ongeveer een uur, in de sluisopeningen kunnen optreden.

Kennis van die snelheden is immers van belang voor de berekening van de krachten die op de afsluitmiddelen zullen worden uitgeoefend. Men zou dus wel graag willen weten hoe het getij precies verloopt vanaf het moment dat men met de sluitingsmanoeuvre begint. Stijgt het water daarna nog zeer snel verder, dan zullen grotere vervallen tussen de binnen- en buitenwateren optreden dan wanneer die stijging verder nog maar een flauw verloop heeft. Het verloop van de getij-

kromme bij storm echter, we zeiden het al eerder, is niet te voorspellen. Niettemin is het noodzakelijk om te beschikken over het verloop van een zeer zelden voorkomende getijlijn waarop de afsluitmid-delen gedimensioneerd moeten worden. Een eerste indruk van de grootte van de krachten zou misschien kunnen worden verkregen uit de maximale stijgsnelheid, anders gezegd de maximale helling van de getijkromme waarop men bij de constructie van de schuiven zal hebben te rekenen.

Het probleem ligt echter gecompliceerder. Om de gedachten te bepalen zijn in fig. 1 als voorbeeld 3 rijzingen aangegeven. De 'gemiddelde rijzing' wordt verkregen door het getijverschil te delen door de tijdsduur tussen hoog- en laagwater. Verder zijn er twee rijzingen aangegeven door raaklijnen met een

verschillende helling. Voor ons is de gemiddelde rijzing niet van belang omdat die altijd kleiner is dan rijzingen die halverwege de kromme optreden. Hier blijkt opnieuw dat het geheel nieuwe probleem van een beweegbare stormvloedkering ook geheel nieuwe gegevens als randvoorwaarden behoeft. Het is namelijk nog niet duidelijk wat het ongunstigste is: een kort durende zeer sterke rijzing als voorgesteld door lijn 2 of een langere durende minder sterke rijzing volgens lijn 3.

Uitgaande van één bepaalde sluitingsduur zou een 'maatgevende rijzingsduur' bepaald kunnen worden, als ook de mate van rijzing, dus de helling van de raaklijn vastligt.

Echter, de sluitingsduur moet nu juist bepaald worden ten behoeve van de detaillering van de bewegingsconstructie. Zeker op zo'n korte termijn als nu nog voor ons ligt is een uitgebreid, overigens nog onduidelijk, statistisch onderzoek niet uitvoerbaar. In eerste instantie wordt nu dan ook gewerkt vanuit de vraag:

Wat is de sterkst mogelijke rijzing en hoe lang kan die aanhouden? De beantwoording van deze vragen ligt vooral op het meteorologische vlak, omdat de grootte en de baan van de bijbehorende depressie de bepalende factoren zijn. Zeer voorlopige onderzoeken van het K.N.M.I. hebben aangetoond, dat een stormeffect van 3 m dat in drie uur tijd tot stand komt, wellicht tot de mogelijkheden behoort. Tellen we hierbij dan een gemiddeld astronomisch springtij van N.A.P. + 1,8 m op, plus een verhoging van de gemiddelde zee-stand tijdens storm met 0,3 m, dan kan in de buitenmond van de Oosterschelde een stormvloedstand bereikt worden van N.A.P. + 5,2 m, indien de rijzing 3 uur voor H.W. aanvangt: de beginstand is dan N.A.P. - 0,4 m, uitgaand van een gemiddeld springtij als astronomisch getij. Andere onderzoeken hebben aangetoond, dat er statistisch gezien een even grote kans is op het samenvallen van maximum stormeffect met hoogwater, ook springhoogwater, als met elke andere fase van het getij. Is deze stijging echter de maximaal mogelijke, en wat zijn de bijzondere windvel-den? Op deze vragen is niet zonder meer een antwoord te geven. Onderzocht wordt bijvoorbeeld of een rijzing zoals getekend in figuur 2 wel betekenis heeft op onze breedtegraden.

Deze rijzing is in 1943 éénmaal voorgekomen, echter slechts gedurende ongeveer een kwartier. Het is zeer wel mogelijk dat het getekende stormeffect bereikt wordt bij barometrische drukvervallen die slechts voorkomen in tropische cyclonen met een omvang van de gehele Noordzee. Dan weten we in

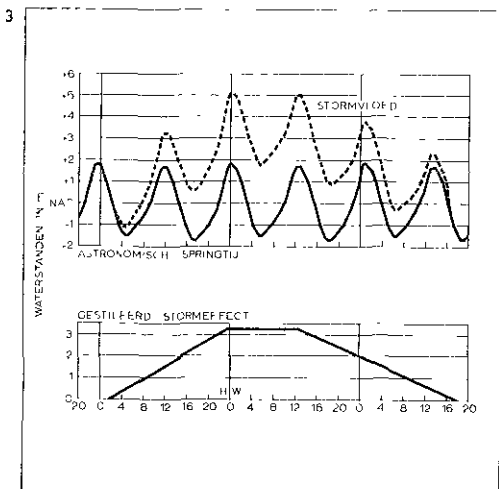


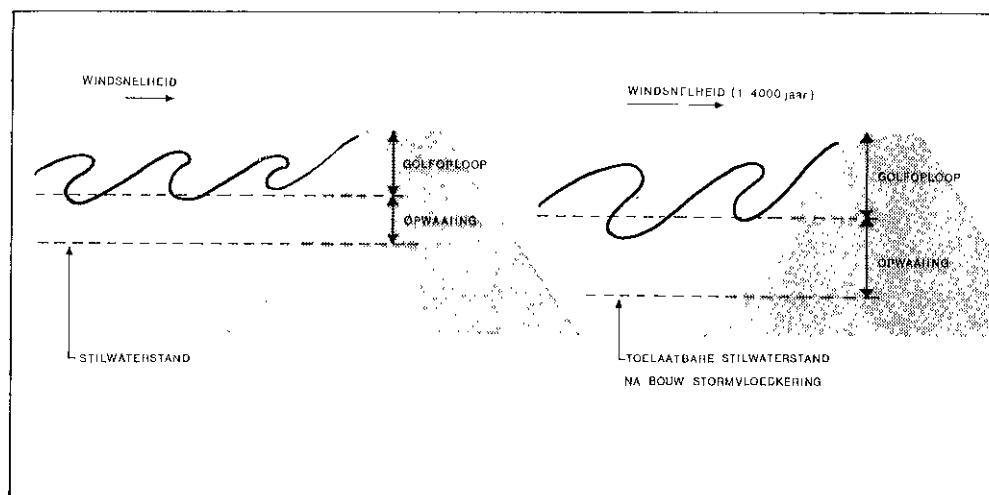
Fig. 1. Stormvloedkromme van 6-7 april 1943, met raaklijnen aan verschillende punten van de kromme

Fig. 2. Geconstrueerde storm van het 'stormtype' 6-7 april 1943

Fig. 3. Geconstrueerde storm van het 'stormtype' 1 febr. 1953

Ieder geval dat dit nooit zal voorkomen omdat tropische cyclonen op de Noordzee fysisch onmogelijk zijn en cyclonen bovendien nooit deze omvang kunnen hebben. Voor ons doel is het echter belangrijk dat men op deze wijze een aantal stormvloed en construeren die ieder gekenmerkt worden door een vrijwel constant, specifiek stormeffect. Met recht kunnen we dit geconstrueerde stormvloed noemen. (Zie ook figuur 3). Over de kans van optreden weten we echter nog niets. Een eerste inzicht hierin tracht men te verkrijgen door de statistiek toe te passen op de in het verleden opgetreden windvelden. De uitkomsten hiervan hebben echter meer kwalitatieve dan kwantitatieve waarde. Behalve het verloop van de buitenwaterstand is het voor ons probleem ook van belang,

schijnsel gepaard met een waterstandsverlaging en aan de buitenzijde met een waterstandsverhoging. De vergroting van de vervallen over de stormvloedkering die daaruit resulteert kan naar voorlopige schatting wel tot omstreeks 2 m oplopen. Bij het onderzoek hiernaar moet er rekening mee worden gehouden dat niet alleen de maximale getijrijzing, maar ook de vorm van de stormvloedkromme in de tijd voorafgaand aan en tijdens de sluiting van belang zijn. Voorlopig wordt uitgegaan van een maximaal verval tijdens de sluitingsmanoeuvre van 3 tot 4 m. Samenvattend kan gesteld worden dat op dit moment nog slechts een eerste benadering beschikbaar is van de grootte van de te verwachten maximale vervallen over de stormvloedkering – en dus van de stroomsnelheden – tijdens de sluitingsmanoeuvre. Om



hoe de waterstand aan de binnenzijde van de stormvloedkering zal verlopen. Daarbij spelen de windvelden boven het Oosterschelde-gebied een grote rol.

Zeere sterke noordwestelijke winden kunnen afwaaiingen en dus waterstandsverlagingen veroorzaken aan de binnenzijde van de stormvloedkering. Het verval over de stormvloedkering wordt diensengevolge groter. Ook de in Bericht 72 reeds beschreven 'translatiegolven' hebben een verval-vergroterend effect. Indien de kering gesloten wordt tijdens een stormvloed waarbij het buitenwater de stand N.A.P. + 3 m bereikt heeft, dan kunnen er translatiegolven ontstaan die veel groter zullen zijn dan afgebeeld in Bericht 72. Of dit zal gebeuren hangt vooral af van de stijgsnelheid van de stormvloed. Aan de binnenzijde van de stormvloedkering gaat dit ver-

Fig. 4. De toelaatbare waterstand is afhankelijk van opwaaiing en golfploep

een betere benadering te bereiken worden thans berekeningen uitgevoerd uitgaande van 'geconstrueerde stormvloed en'. Daarnaast is een statistisch onderzoek aan de gang om tot een betere en meer nauwkeurige bepaling te komen van het waterstandverloop tijdens de maatgevende stormvloed.

Het onderzoek naar de caissons in de stormvloedkering van de Oosterschelde en naar de daarin op te nemen beweegbare afsluitmiddelen is, zoals in het vorige Bericht vermeld werd, in eerste aanleg uitzonderlijk breed opgezet. Alle denkbare oplossingen werden in de eerste studieperiode snel verkend; al spoedig bleven drie typen caissons en drie typen schuiven over als opvallend veelbelovender dan de overige.

De ontwikkelingen in het ontwerp van de caissons en hun afsluitmiddelen zijn echter nog niet afgesloten, en tot een bepaalde keuze is het nog niet gekomen. Het is in dit stadium zelfs niet uitgesloten dat er alsnog oplossingen van een ander type in aanmerking komen voor nader onderzoek. De problemen die zich bij het verdere onderzoek met de drie typen caissons – de open bak, de halve bak en de venturivorm – en drie typen schuiven – roosterschuif, hefschuif en tolkleppen – en hun verschillende mogelijke combinaties nog zullen voordoen, zouden inderdaad kunnen leiden tot het zoeken naar nog andere varianten. Dat zou vooral kunnen gebeuren wanneer de onderzochte typen grote moeilijkheden zouden gaan opleveren bij bijvoorbeeld de vormgeving van de sluitgaten, de stromingen over de drempel zowel tijdens als na het plaatsen, of het plaatsen zelf en de daarbij voorkomende manoeuvres. Voorspeld is het verder onderzoek echter beperkt tot de hier genoemde typen. In dit artikel zullen uitgaand van deze varianten nadere mededelingen worden gedaan over de verschillende mogelijkheden die bestaan voor de vormgeving van de sluitgaten en in verband daarmee van de vorm en de afmetingen van de caissons en het type afsluitmiddelen.

Enige maanden geleden zijn, om een inzicht te krijgen in de kostengevoeligheid en de planningsproblemen, binnen dit raam zeer globaal een zeer groot aantal ontwerpvarianten bekeken. Hierbij werd uitgegaan van drie verschillende wintersluitgatvormen, die alle kleinere of grotere inbaggeringen in de huidige sluitgaten vergden. In deze profielen konden drie verschillende

De verdere ontwikkelingen in het ontwerp van de caissons en hun afsluitmiddelen

caissontypen geplaatst worden, terwijl de sluitgaten tevens door middel van tunnels, blokkendammen of tijdelijke caissons horizontaal vernauwd konden worden.

Als afsluitmiddelen in de caissons werden de drie eerdergenoemde typen beproefd, alle zowel enkel als dubbel uitgevoerd. Het werd dus een globaal onderzoek van niet minder dan 360 varianten. Dit onderzoek gaf enige aanwijzingen betreffende het verband tussen het doorstroomprofiel en de kosten van de verschillende onderdelen, zoals het beton, de bewegingswerken, de natte werken en dergelijke, en leverde dus ook inzichten op inzake het verband tussen het doorstroomprofiel en de totale kosten van de afsluiting. Deze gegevens waren nodig om het ontwerp een bepaalde richting uit te sturen.

Zo bleek het gebruik van hefschuiven een aantrekkelijk alternatief, zeker als een dubbele kering toegepast moet worden. Ook bleek, wat trouwens voor de hand ligt, dat de kosten toenemen naarmate het uiteindelijk doorstroomprofiel toeneemt. De studie was zo opgezet dat in één variant alle drie de in beschouwing genomen afsluitmiddelen geplaatst konden worden. Als er roosterschuiven werden toegepast, resulteerde dat in vermindering van de effectieve doorstroomopening met 50%; hefschuiven hadden daarentegen geen vernauwing van de doorstroomopeningen tot gevolg.

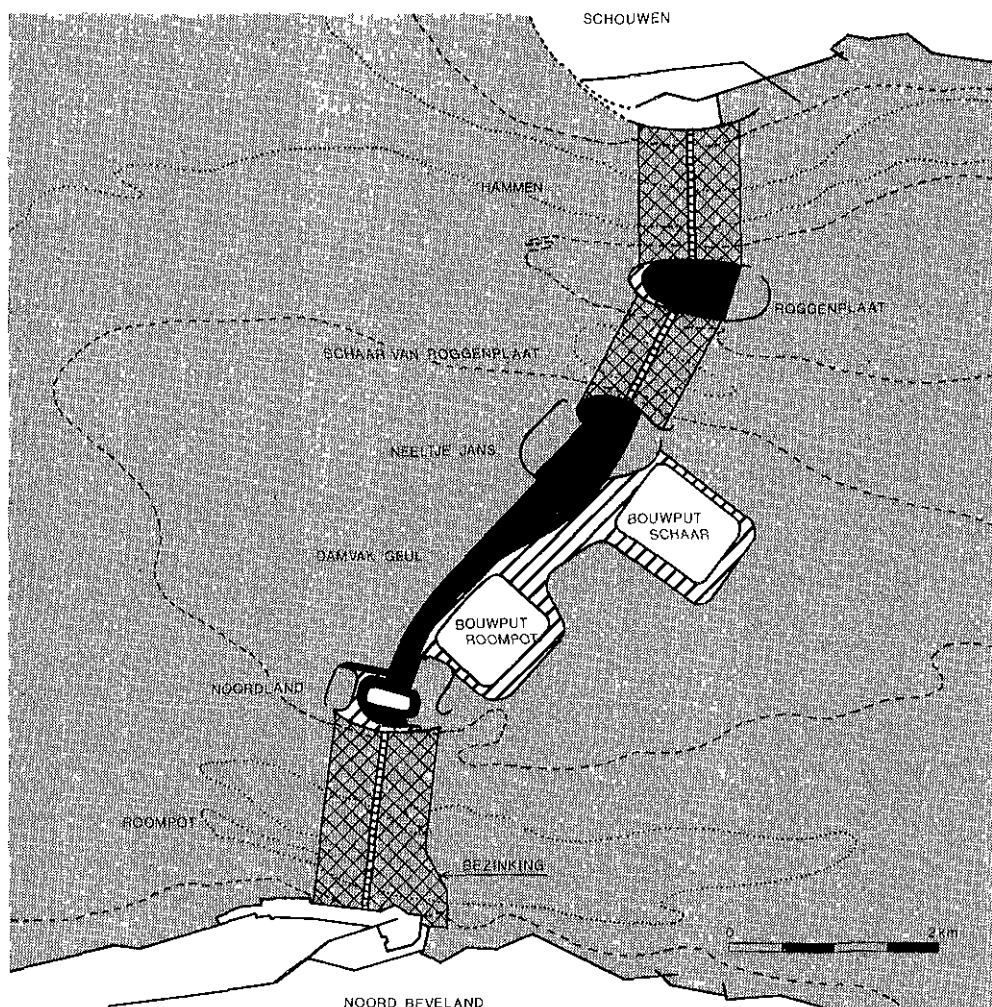
Eén variant is onderzocht op zijn mogelijkheden bij het minimale profiel dat nodig is om te Yerseke een tijverschil te behouden van 2,30 m, bij compartimenteringsmodel C3. Omdat deze oplossing aantrekkelijk leek, besloot men de studie voortaan vooral op deze situatie te richten.

Het minimale profiel kan op twee extreme manieren worden bereikt, namelijk door het sluitgat zo breed mogelijk te houden en de sluitgaten in verticale zin te vernauwen, of door de sluitgatbreedte juist zo klein mogelijk te kiezen en het benodigde oppervlak zoveel mogelijk in de diepte van de sluitgaten te zoeken.

De eerste manier, waarbij caissons worden geplaatst over vrijwel de volledige sluitgatbreedte van 3500 m, noemt men de 'brievenbus', vanwege de vormovereenkomst; de tweede oplossing, waarbij de caissons over een zo gering mogelijke sluitgatbreedte worden geplaatst – ongeveer 1300 m – noemt men enigszins arbitrair de 'spleet'.

Van deze beide extreme oplossingen en van een tussenoplossing zijn zeer globaal de kosten bepaald. Hieruit bleek dat er in eerste

Fig. 1. Overzicht van de afsluiting en de bodembescherming volgens het beginsel van de 'brievenbus' (links) en de 'spleet'



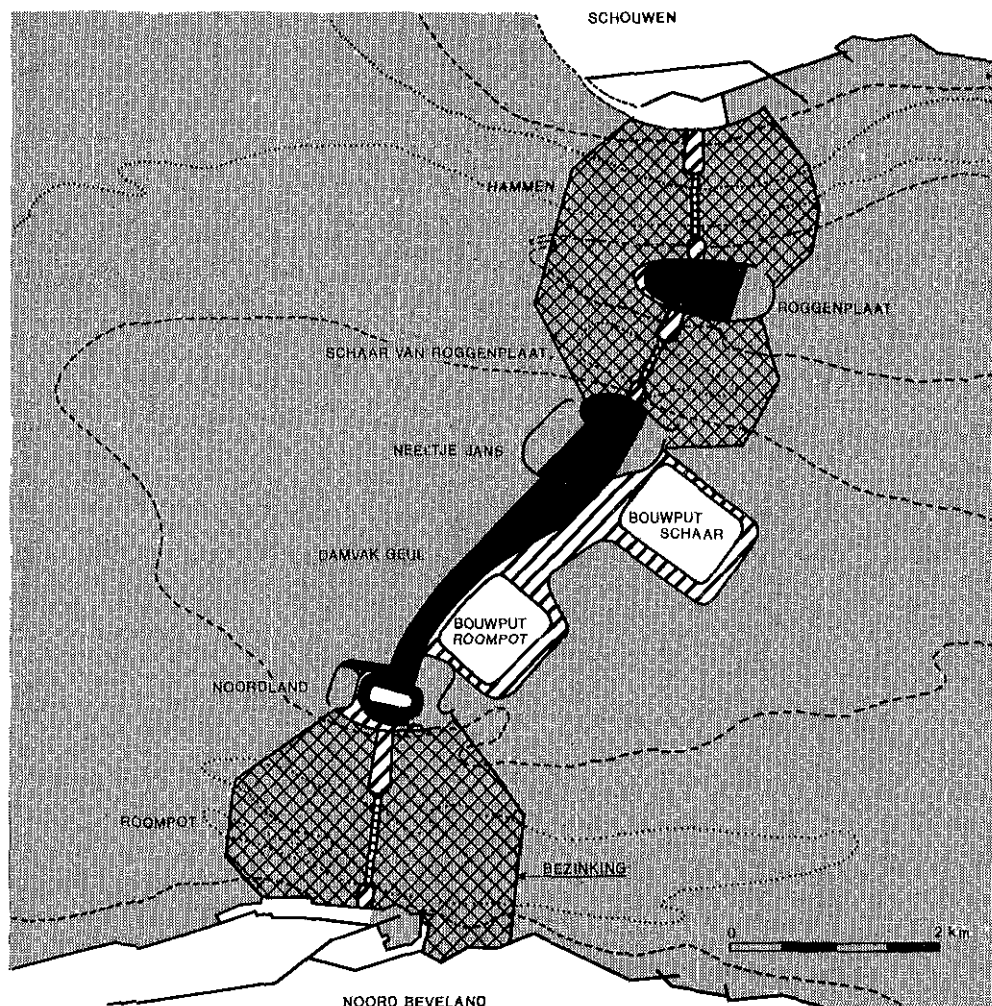
Instantie geen significant kostenverschil optreedt.

De twee minimum-oplossingen die we zojuist bespraken werden onderzocht voor een fundering op staal. Om echter ook reeds andere varianten door te berekenen, werd daarnaast een proefontwerp gemaakt voor een fundering op palen of putten. In het hierna volgende zullen we nu achtereenvolgens enigszins meer en détail de brievenbusoplossing, de spleetoplossing en de ontwerpen met een fundering op palen of putten behandelen.

De brievenbus

Bij de brievenbusoplossing is ernaar gestreefd de debietverdeling per sluitgat en over de sluitgaten gezamenlijk zowel in de bouwfase als in de eindfase zoveel mogelijk gelijk te houden aan de huidige.

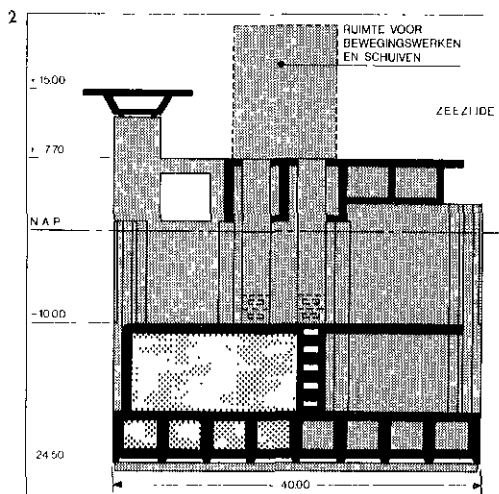
In de bouwfase wordt dit doel bereikt door de wintersluitgaten de juiste vorm te geven. Om te weten wat de juiste vorm is, moet men echter inzicht hebben in de bepalende factoren. In de eerste plaats mogen de kenteringen niet te kort duren om het plaatsen van de laatste caissons mogelijk te maken. Enigszins arbitrair is daarom gesteld dat het doorstroomprofiel bij het plaatsen van de laatste caisson minimaal 30 000 m² moet bedragen. Dit houdt in dat het doorstroomprofiel van het wintersluitgat 60 000 m² moet zijn. Om dit te bereiken zijn vrij omvangrijke baggerwerken nodig. Verder blijkt dat de bovenkant van de drempel met het oog op de diepgang van de caissons niet ondieper mag liggen dan N.A.P. - 13 m. Om de oorspronkelijke sluitgatvorm enigszins te kunnen behouden zijn in het wintersluitgatprofiel



voorts hellingen opgenomen van 1 : 25. Met deze voorwaarden zijn de wintersluitgaten vastgelegd. Na het plaatsen van de caissons blijft van dit profiel dan nog 30 000 m² over. Hoe wordt dit plaatsingsprofiel van 30 000 m² nu verder verkleind tot het minimale eindprofiel van 12 500 m², dat nodig is om te Yerseke een tij-verschil van omstreeks 2,30 m te bereiken en zekere reserves in te bouwen voor onderhoud en reparatie van een deel van de stormvloedkering? De oplossing wordt gezocht in de constructie van de caisson zelf. Na het plaatsen zou bijvoorbeeld het onderste deel van de doorstroomopeningen van de caissons afgesloten kunnen worden met zeer zware schotbalken aan beide zijden van de caisson. Van onderen naar boven gezien bestaat een caisson dan allereerst uit een onderkoker die nodig is om de buigende en wringende momenten ten gevolge van ongelijke oplegging tijdens het plaatsen van de caissons op te nemen. Boven deze koker bevinden zich de schotbalken, waartussen ballast kan worden geplaatst, evenals trouwens in de onderkoker. Deze ballastruimte wordt aan de bovenzijde afgesloten door een vloer, die de ballast vasthoudt ook wanneer die uit korrelige materialen bestaat. Deze vloer stempelt bovendien de caissonwanden tegen elkaar af, waardoor ze lichter kunnen worden uitgevoerd en op onderlinge afstanden kunnen worden gezet van 14 à 15 m. Boven de ballastruimte ligt de definitieve doorstroomopening. Boven over de caisson loopt een werkweg en een eenvoudige verkeersweg. Daar bevinden zich ook de ruimten voor de bewegingswerken van de schuiven.

Door de ballast kan de breedte van de caissons, die in oudere ontwerpen nog 55 m bedroeg, teruggebracht worden tot 40 m, en deze reductie in de breedte heeft weer tot gevolg dat de lengte vergroot kan worden tot 70 m.

In grote trekken zijn er voor de brievenbus-oplossing drie typen caissons nodig: diepe, ondiepe en overgangscissons. De diepe caissons staan op een drempel waarvan de bovenkant ligt op N.A.P. - 25 m en - 19 m. De ondiepe caissons staan op een drempel waarvan de bovenkant gelegen is op N.A.P. - 13 m. Deze ondiepe caissons zijn het moeilijkst drijvend te krijgen. Indien ze bij L.W. geplaatst worden mag de diepgang slechts 8,5 m bedragen om de caissons nog op de drempel te kunnen plaatsen. Bij plaatsen op H.W. mogen ze 10 m diep steken. Men hoopte dat deze laatste diepgang door betonbesparing haalbaar zou blijken, maar helaas was dat niet het geval. Deze caissons hebben een



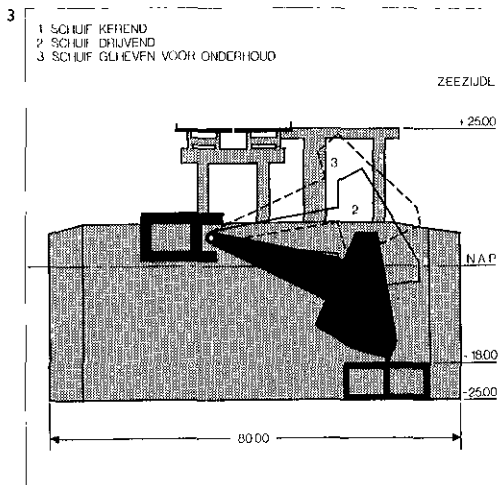
extra opdrijvend vermogen nodig van 2,5 m. De extra-opdrijving kan wel worden ontleend aan drijflichamen, echter tot een maximum van 3 m. Het blijft dus noodzakelijk, ze op de hoogwaterkering in te varen en af te zinken. Als bijbehorende afsluitingsmiddel is bij de 'brievenbus' gekozen voor hefschuiven, omdat die goed passen in deze conceptie. De schuiven worden bewogen door hydraulische bewegingswerken met een maximale slag van 8,5 m. De hefhoogte is dus ook 8,5 m. Doordat bij deze oplossing een gunstige stromingstoestand ontstaat, kan misschien met een enkele kering worden volstaan, omdat het weigeren van een schuif wellicht niet catastrofaal voor de stabiliteit van de bodembescherming hoeft te zijn. Voordelig is ook dat de onderzijde van de schuiven zich in geheven toestand bevindt op N.A.P. + 1,50 m, zodat inspectie van de onderaanslag mogelijk moet zijn.

Dit ontwerp van de 'brievenbus' is zo flexibel dat het mogelijk is het doorstroomprofiel later te vergroten van 12 500 m² tot 20 000 m². Daartoe moet de ballastruimte worden verlaagd, dus ook de tussenvloer. Op deze vloer kunnen dan weer schotbalken geplaatst worden waarop de schuiven in gesloten toestand rusten. Door het verwijderen van de schotbalken en het vergroten van de schuiven zou men later een groter tijverschil op het bekken kunnen instellen, tot ongeveer 3 m. Deze oplossing vergt een verhoudingsgewijs geringe bodembescherming, die zich echter toch nog altijd uitstrekt tot 450 m uit de as van de stormvloedkering.

De fundering bestaat in dit ontwerp uit de verdichte ondergrond met daarop een filterconstructie als drempel. Er wordt van uit-

Fig. 2. Diepe caisson met schotbalk en tussenvloer behorende bij een 'brievenbus'-afsluiting

Fig. 3. Doorsnede van een op putten gefundeerde stormvloedkering; een met water te vullen bak dient als afsluitlemiddel



gegaan dat elk onderdeel van de drempel wordt verdicht, zelfs de toplaag, die bestaat uit steen 60/300 kg. Of een en ander uitvoerbaar is moet nog nader worden bepaald. De aansluitingen van de caissondam op de oevers zullen de vorm hebben van damaanzetten en geleidedammen. Bij de werkeilanden Noordland en Neeltje Jans kunnen die gecombineerd worden met buitenhavens ten dienste van de onderhoudswerkzaamheden aan de dam. Bij de damaanzet aan de zijde van Noord-Beveland gaan de gedachten uit naar een geleidedam om daar de ongunstige stromingstoestand te verbeteren.

De spleet

Bij de spleetoplossing worden zo weinig mogelijk permanente caissons gebruikt. Het aantal plaatsingen kan dan tot een minimum beperkt worden. De aansluitingen van de oevers op de caissons worden gevormd door al of niet in zand ingepakte blokkendammen of door in zand ingepakte caissondammen. De uitvoering van de sluiting denkt men zich als volgt. Eerst worden de zuidelijke delen van de sluitgaten afgesloten door stortsteendammen van de oevers uit te bouwen. Deze dammen eindigen in dichte caissons. Nadat de uitbouwen zijn aangebracht, zal er nog een doorstroomprofiel over zijn van 45 000 m². Nu worden de caissons geplaatst. Daarna resteert er nog een doorstroomprofiel van 30 000 m². Dan worden de noordelijke delen van de sluitgaten gesloten met behulp van kabelbanen. Om dit mogelijk te maken moeten de noordelijke dichte caissons echter al enkele jaren vóór de sluiting geplaatst wor-

den, want op deze caissons wordt de eindverankering van de kabelbanen geplaatst. In de uiteindelijke toestand resteert dan een doorstroomprofiel van 14 000 m², waarvan 2500 m² nodig is voor controle en onderhoudswerkzaamheden. Bij deze oplossing ontstaat in de eindfase een sterk geknepen stroombeeld, hetgeen een zeer uitgebreide bodembescherming noodzakelijk maakt. Niettemin zal ze mogelijk een grote verandering in de huidige morfologie bewerkstelligen. De mogelijkheid bestaat dat het stroombeeld instabiel is en dat de stroom gaat kwispelen. Hierdoor kan de stabiliteit van de oevers in gevaar komen. Voorlopig is er van uitgegaan dat een bodembescherming nodig is tot 1200 m uit de as van de caissondam. Maar gedegen onderzoek naar de benodigde lengte bodembescherming en naar de morfologische ontwikkeling kan voorlopig niet plaatsvinden omdat hiervoor geen modellen beschikbaar zijn. De bodembescherming moet bij deze oplossing veel zwaarder afgestort worden. De fundering, dus de drempelconstructie, is niet wezenlijk anders als bij de brievenbus. Als caissons worden halve bak- of venturi-caissons toegepast. Als afsluitlemiddelen wordt ook hier gedacht aan stalen schuiven; in dat geval zou men ze echter willen bewegen met een palsysteem. Een dubbele kering is hier wel noodzakelijk, omdat de bodembescherming bij weigering van een schuif niet stabiel is en ook niet stabiel te maken. De constructie van de overgangsdammen is nog niet geheel duidelijk. Ook aan deze dammen zullen zeer zware eisen gesteld moeten worden, niet alleen vanwege de golf- en vervalbelasting, maar ook met het oog op de zettingen.

Over de dammen zijn namelijk een verkeersweg en een werkweg geprojecteerd.

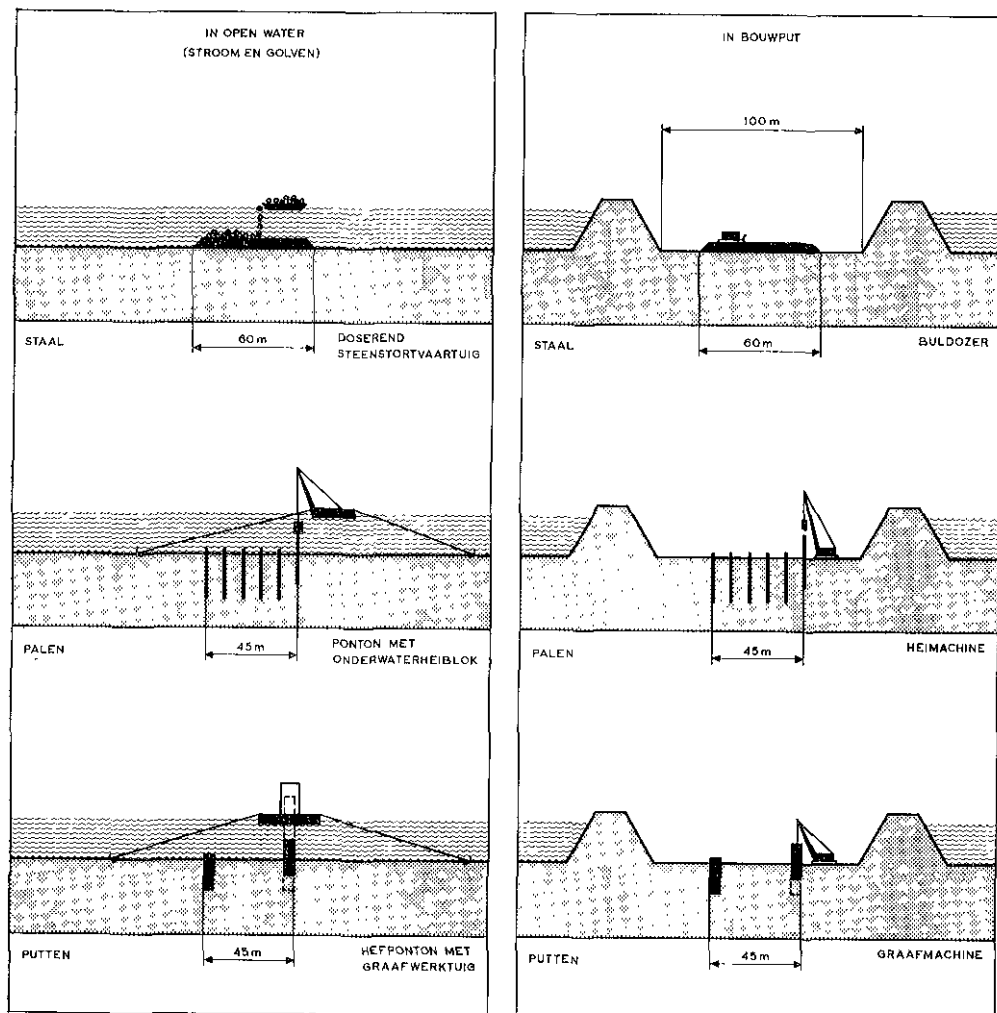
Een voordeel van deze oplossing is dat er slechts twee typen caissons worden toegepast; beide staan op een rechte drempel, gelegen op N.A.P. – 18 à 19 m en op N.A.P. – 25 m. Schuine overgangscaissons hoeven niet te worden toegepast.

Voornamelijk omdat de hydraulische eindsituatie slechter zal zijn en ook wel door de moeilijkheid dat goed onderzoek naar de hydraulische en morfologische aspecten binnen de studieperiode nauwelijks mogelijk is, gaat de voorkeur voorlopig nog wel uit naar de brievenbus, althans wanneer een fundering op staal mogelijk blijkt.

Oplossingen met een fundering

Indien dit niet het geval is, moet er een

Fig. 4. Fundering op staal, op palen en op putten, uitgevoerd in een bouwput (rechts) en in open water



geheel nieuw ontwerp worden gemaakt, waarin een fundering op palen of putten is voorzien. Ook daarnaar werd dus een onderzoek ingesteld. Allereerst enkele opmerkingen over de fundamentele verschillen tussen een fundering op staal en een fundering op palen of putten. Een fundering op staal wordt aangebracht op de oppervlakte van de ter plaatse aanwezige grondslag of, met enige ingraving, vlak daaronder. Vele gebouwen worden indien de grond draagkrachtig genoeg is, — op zandgrond is dat vaak het geval — op deze eenvoudige wijze gefundeerd. Waar de bovengrond echter niet draagkrachtig genoeg is, omdat hij uit slappe klei of uit veenlagen bestaat, zal het gebouw op een dieper gelegen laag moeten komen te steunen; ligt deze laag zo diep dat het economisch onverantwoord zou zijn de bovengrond tot op die diepte te ontgraven en dan op die grotere diepte toch op staal te funderen, dan zal men zijn toevlucht moeten nemen tot het inheien van palen, die hun steun vinden in de vaste diepere lagen; het gebouw komt dan daarop te rusten. Ook deze wijze van fundering wordt in ons land veelvuldig toegepast. Een paalfundering bestaat meestal uit tamelijk dunne palen, waarvan er vaak een betrèkkelijk groot aantal moet worden ingeheid, soms ook van een vrij grote lengte. Ook de Haringvlietsluizen rusten op palen, ruim 21 000 stuks, in lengte variërend van 6,30 tot 24 m. (Zie Bericht 17, augustus 1961).

Het spreekt vanzelf dat zo'n gigantisch heilwerk veel gemakkelijker in een bouwput kan worden uitgevoerd, zoals bij de Haringvlietsluizen het geval kon zijn, dan vrijwel onbeschermd in open water, blootgesteld aan sterke stromen en zware golfslag. Zou een dergelijke paalfundering toch in het 'opene' goed kunnen worden gemaakt, dan is het eindresultaat nagenoeg even betrouwbaar als wanneer ze in een bouwput was uitgevoerd. De vaste laag waarop de paalfundering steunt blijft immers ook bij uitvoering in open water onberoerd door erosie en andere oppervlakte-invloeden. Zij ligt daartoe voldoende diep onder de oppervlakte. Het probleem ligt dus vrijwel geheel bij de uitvoering.

Het kan zijn, dat men vanwege uitvoeringsmoeilijkheden tot een wat andere opzet van de paalfundering komt, en liever het aantal steunpunten waarop de sluizen moeten komen te rusten vermindert; dit zou kunnen worden bereikt door de palen als het ware te bundelen tot een veel geringer aantal dikke peilers. Men spreekt dan wel van een

puttenfundering, omdat deze peilers niet worden ingeheid maar worden ingegraven; eerst brengt men een holle mantel tot op voldoende diepte in de grond; dat is de zogenaamde put. Later vult men die op met beton. Een dergelijke puttenfundering is in de Oosterschelde reeds uitgevoerd bij de bouw van de Oosterscheldebrug. Dat dit kon op het open water tussen Colijnsplaat en Zierikzee betekent echter nog niet dat succes is verzekerd in het tracé van de afsluiting, dat een meer geëxposeerde ligging heeft, ook al omdat het hier waarschijnlijk om veel zwaardere constructies zal gaan. Nader onderzoek zal hier pas uitsluitsel over kunnen geven.

Wat nu de stand van het onderzoek naar deze afwijkende funderingsmethoden betreft kan tenslotte het volgende worden medegedeeld. Er is een aantal globale schetsontwerpen gemaakt, waarvan een deel wellicht om redenen van uitvoerbaarheid of kosten weer zal moeten vervallen.

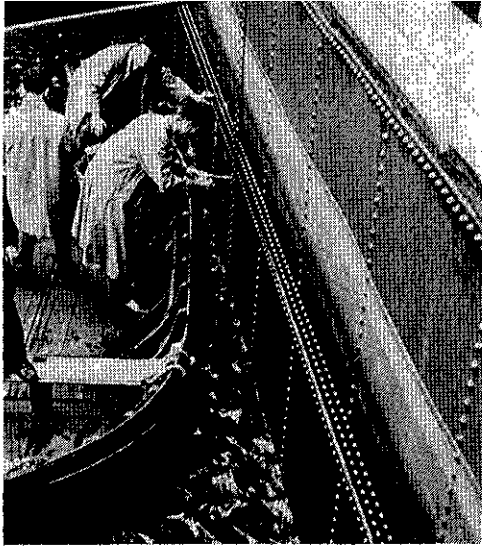
Het eerste ontwerp bestaat uit een caisson gefundeerd op palen. Er wordt gedacht aan palen met diameters van 3 à 5 m, die door de drempel in de grond geheid worden. Als alternatief is een caisson ontworpen dat gefundeerd is op putten. Elke caisson van 50 x 50 m komt dan te rusten op vier zware putten, die door ontgraving op hun plaats gebracht worden. Tenslotte is gedacht aan een gelede constructie op putten. De constructie zou tot stand komen door lange pijlers te plaatsen op putten met een zeer grote onderlinge afstand. Tussen deze pijlers wordt dan een afsluitingsmiddel aangebracht, bijvoorbeeld in de vorm van een drijvende bak, die neergelaten kan worden door hem vol te laten lopen met water. Tussen de pijlers en onder het afsluitingsmiddel wordt een aanslag aangebracht, bijvoorbeeld een betonnen element, gefundeerd op een drempel. De hiervoor besproken ontwerpen zullen alle nog nader op hun realiseerbaarheid worden getoetst en verder worden ontwikkeld, vooral ook omdat er nog geen zekerheid bestaat dat fundering van de stormvloedkering op staal mogelijk is.

Onderzoekmethoden met betrekking tot krachten en trillingen bij de schuiven van de stormvloedkering

De stormvloedkering in de Oosterschelde heeft als doel de veiligheid van het achterliggende gebied te verzekeren. De beweegbare schuiven van de constructie moeten bij opkomend buitenwater gesloten kunnen worden en ze moeten dan in staat zijn de maximaal te verwachten waterstand met bijbehorende golfbelasting te keren. Bij de technische en economische evaluatie van de schuiftypen die voor de kering in aanmerking komen bleken behalve de klassieke hefdeur nog twee typen schuif aantrekkelijk te zijn. Deze laatste typen, de roosterschuij en de tolklepkering, zijn nog niet eerder of nog niet in deze afmetingen toegepast. In dit artikel worden nu de onderzoeksmethoden besproken die ter beschikking staan om nieuwe schuiftypen vooraf te toetsen op belasting en mogelijke trillingen, twee verschijnselen die maatgevend zijn voor de vormgeving en de sterkteberekening. Hoewel op het gebied van waterkerende schuiven een zeer grote ervaring is opgebouwd, zowel in ons land als in vele andere landen, is het dynamisch gedrag van schuiven nog steeds niet voorspelbaar; dit geeft aanleiding tot een voortdurende stroom van publicaties omtrent theorie en onderzoekresultaten. Inderdaad zijn de verschijnselen die samenhangen met trillingen en dynamische belasting vrij complex. Daar komt bij dat de oorzaken van trillingen veelsoortig kunnen zijn. We geven enkele voorbeelden. Wordt een schuif onder- en overstroomd dan ontstaan in het zog alternerende wervels in een regelmatig patroon, die in vakkringen bekend staan als de Van Karmanwervelstraat. Dit zog geeft een dynamische belasting op de schuif. Ligt de resonantietrilling van de

schuif in de buurt van de wervelfrequentie, dan kan het wervelpatroon bijgestuurd worden, waardoor de aanstoting puur periodiek wordt en synchroon plaatsvindt over de gehele constructie. Niet alleen de schuif maar ook de onderdelen kunnen zo in trilling geraken.

Het kan ook voorkomen dat bij een overstortende schuif luchtinsluiting optreedt. De straal kan dan sterk gaan klapperen (fig. 1) en de combinatie verend luchtkussen/straal kan gaan rondzingen, net als bij een microfoon/versterker/luidsprekercombinatie het geval is. Men spreekt dan van zelf-exciterende of teruggekoppelde trillingen. Is de schuif ook enigszins elastisch, dan wordt dit verschijnsel versterkt; in sommige gevallen kan het verende medium lucht zelfs afwezig zijn. Hoewel bij zelfexcitatie de groei van de amplituden altijd wel aan een grens is gebonden kunnen toch grote krachten optreden, genoeg om als vuistregel te stellen dat zelf-exciterende trillingen altijd vermeden moeten worden. Zelf-excitatie kan ook voorkomen bij lekstroming door kleine spleten (foto 1). Dit verschijnsel is al lang bekend. Toch is pas zeer onlangs een enigszins volledige verklaring van het mechanisme gevonden. Op het ogenblik loopt er in het Waterloopkundig Laboratorium een onderzoek naar deze zaken als onderdeel van het pakket Toegepast Wetenschappelijk Onderzoek van de Rijkswaterstaat. Soms ziet men stootbelastingen optreden als het wateroppervlak steil tegen de constructie slaat, zodat het water zeer plotseling afgeremd moet worden. Dit verschijnsel kan ontstaan bij golven, maar ook wanneer een watersprong tegen een schuif aanloopt, of als bij momentaan zeer lage waterdrukken



1. Meting van trillingen ten gevolge van lekstroming aan de benedendeur van de schutsluis te Lith, na de revisie in 1958

2. Trillingen bij overstromend water

dampbellen ontstaan die vervolgens weer imploderen.

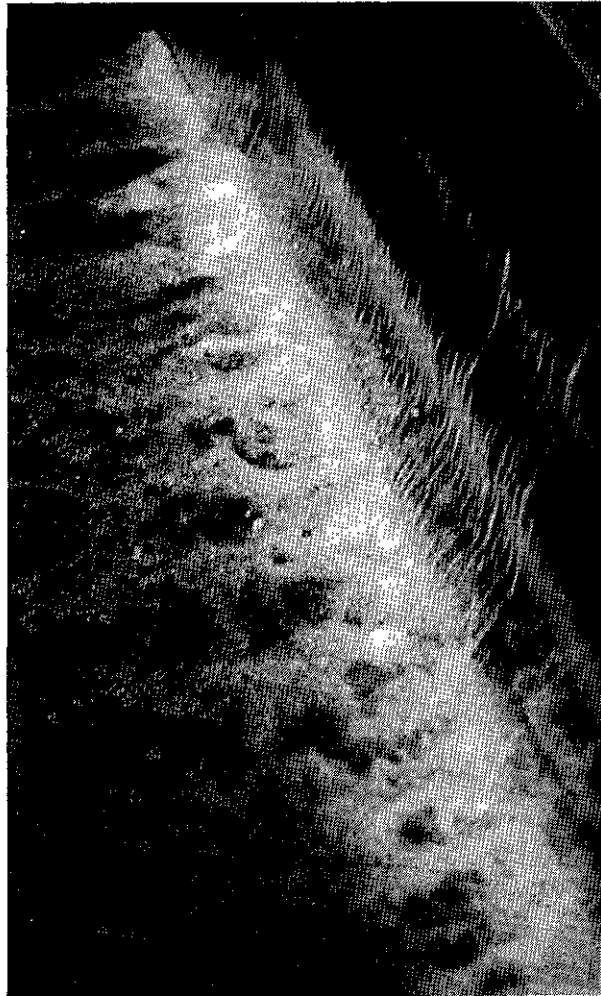
Onderdelen van schuiven kunnen zelf-exciterende trillingen opwekken doordat de stroming door de trilling zelf een variërende invalshoek krijgt; bij een kritieke invalshoek kan deze variatie een grote krachtsverandering tengevolge hebben.

Als laatste voorbeeld geven we het geval dat de turbulentie, die voor een groot deel door de schuif zelf wordt opgewekt, de schuif dynamisch belast. Door het brede frequentiespectrum worden altijd één of meer resonantiefrequenties van de schuif bereikt, waardoor extra opslingering ontstaat.

Op de problematiek van stootbelastingen kunnen we in dit artikel slechts summier ingaan.

Voorzover de trillingsmechanismen bekend

zijn kan een zorgvuldige analyse van het stroombeeld al vaak aangeven welke punten in het ontwerp kritiek kunnen zijn, gegeven een volledig inzicht in de consequenties van alle combinaties van schuif- en waterstanden. De vormgeving van en het stroombeeld in de lekspleten is namelijk juist bij de tussenposities van de schuif vaak gecompliceerd doordat de afdichtstrippen vrijkomen van de aanslag, en er water onder, boven en zijdelings langs de schuif stroomt. Bovendien treden in de sponningen in het algemeen belangrijke stromingen op als gevolg van drukverschillen boven en onder de schuif. De trillingen die kunnen ontstaan geven vaak aanleiding tot lawaai, tot verhoogde slijtage van wielen en afdichtstrips en dus tot veel onderhoud en tijdelijke buitenbedrijfstelling; behalve dat leiden ze tot schade aan de



opleggingen en in sommige gevallen tot vermoeidheid en breuk van het materiaal. Dit laatste kan alleen voorkomen bij schuiven die lange tijd achtereen staan te trillen. Maar dat kan in de Oosterscheldekering gemakkelijk gebeuren. Bij deze stormvloedkering moet dan ook speciaal gelet worden op die onderdelen die ook in normale, geopende toestand steeds in de stroming staan en zo doende langdurig dynamisch belast kunnen worden.

Het is mogelijk een aantal eisen te formuleren waaraan een schuif trillingstechnisch moet voldoen in verband met de bedrijfszekerheid en de levensduur. Het zijn de volgende.

Allereerst moeten eventuele trillingen beperkt in amplitude zijn. Dit betekent dat de wederzijdse beïnvloeding van constructie en stro-

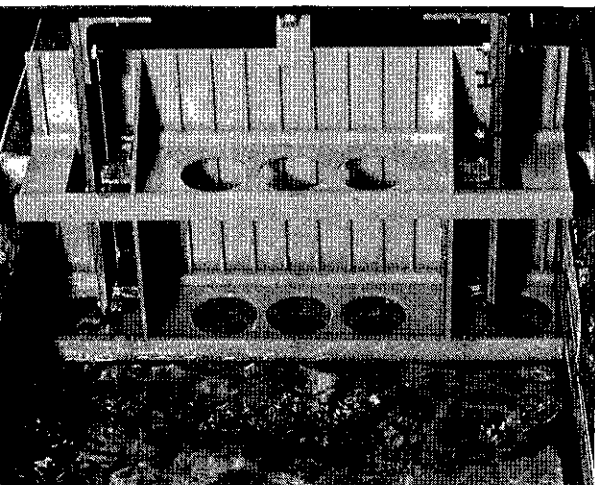
ming niet tot instabiele verschijnselen aanleiding mag geven.

Als tweede eis geldt dat stootbelastingen zoveel mogelijk vermeden moeten worden, en dat de vormgeving liefst zodanig moet zijn, dat geen instabiel wateroppervlak ontstaat door de stroming en dat er geen golven tot de schuif kunnen doordringen. Is dit niet te vermijden, dan moet een gladde vorm gekozen worden waarbij het opspattende water, dat altijd ontstaat wanneer men de snelheid van water plotseling vertraagt, zoveel mogelijk ongehinderd weg kan lopen.

In de turbulentie van de stroming, aldus de derde eis, mogen eventuele regelmatige drukpulsaties geen resonantietrillingen van de schuif kunnen aanstoten. Dit betekent in de praktijk dat de schuif zo stijf moet zijn dat de resonantiefrequentie twee tot drie keer hoger ligt dan de hoogste dominante frequentie die in de turbulentie voorkomt. De invloed van de turbulentie wordt dan gereduceerd tot een quasi-statische belasting, waarbij de materiaalspanningen in dezelfde verhouding tot de belasting staan als bij statische belastingen. Er is alleen nog een zekere invloed van de 'staart' van het spectrum, waarbij de resonantietrillingen aangestoten kunnen worden.

Tenslotte moeten de stationaire krachten tengevolge van eigen gewicht plus stroming en de niet-stationaire krachten tengevolge van turbulentie resulterend één richting op werken, zodat alle aanwezige speling in het hefwerk en in de schuifgeleiding naar één kant getrokken wordt. Indien dit niet het geval is blijkt steeds weer dat in de indifferente toestand instabiele trillingen optreden. Dat de schuif en het hefwerk gedimensioneerd moeten zijn op de voorkomende belastingen, mag als een vanzelfsprekende eis worden beschouwd.

Met deze vijf eisen ligt dan tevens vast welke gegevens nodig zijn voor het ontwerp. Men verkrijgt deze gegevens deels door extrapolatie van ervaring, maar voor een belangrijk deel ook door experimenteel en soms door theoretisch onderzoek. Omvangrijke ervaring is in deze richting reeds opgebouwd door modelonderzoekingen voor de schuiven van de Rijnstuw bij Hagestein, van de spuisluizen in het Haringvliet en van de inlaat-sluizen in de Volkerakdam. Vooral het feit dat de ontwerpen Hagestein en Haringvliet later getoetst zijn aan de werkelijkheid en voor wat betreft het Haringvliet nog steeds getoetst worden heeft, behalve voor directe toetsing van de modeltechniek, ook grote



3. Vooronderzoek naar de vormgeving van de inlaatsluizen in het Volkerak; voorbeeld van een enkelvoudig massaveersysteem

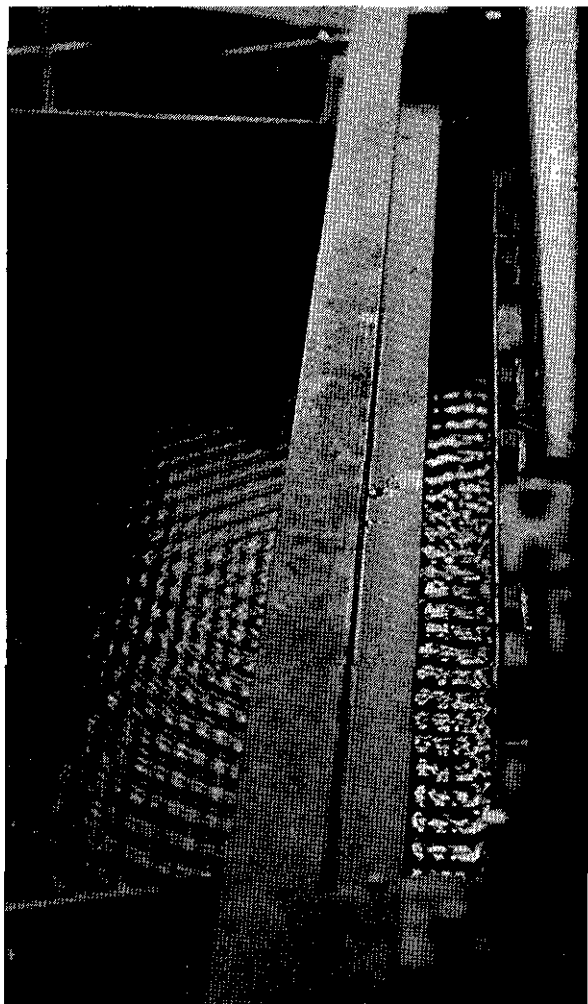
betekenis gehad voor de terugkoppeling naar de ontwerpmethodieken en de gestelde randvoorwaarden.

Om aan de genoemde eisen te voldoen moeten de mogelijke zelf-exciterende trillingen en de verschijnselen die tot ontoelaatbare stootbelasting aanleiding geven opgespoord worden, en moeten er maatregelen genomen worden om ze te onderdrukken; vaak komt dit neer op een wijziging in de vormgeving. Vervolgens moeten de stationaire en de niet-stationaire hydrodynamische belasting worden vastgesteld, alsook de verdeling ervan over de onderdelen. Van de niet-stationaire belasting moet het zogenaamde energiedichtheidspectrum of wel de energie-verdeling over de frequentieband worden bepaald om de responsie van de constructie te kunnen berekenen. Natuurlijk zijn voor de berekening van de responsie van het systeem gegevens nodig over massa, demping en stijfheid van de constructie. Het water geeft aan de twee eerste factoren echter een belangrijke vergroting. De waterdeeltjes in de buurt van de constructie moeten namelijk ook versneld of vertraagd worden en dit maakt dat men de massa van de schuiven moet vermeerderen met de hydrodynamische of wel toegevoegde watermassa. De waterdemping hangt weer in belangrijke mate af van de stroomsnelheid en dus van het verval over de constructie. Ook hier moeten de waarden van de toegevoegde watermassa en de waterdemping bepaald worden.

Mogelijkheden van onderzoek

De mogelijkheden om de benodigde gegevens langs theoretische weg te verkrijgen zijn thans nog niet groot. Wel kunnen kritieke punten ten aanzien van zelf-exciterende trillingen thans beter onderkend worden en ook theoretisch globaal geanalyseerd worden, maar toch blijken bij onderzoeken ook op dit punt nog steeds nieuwe aspecten naar voren te komen. Ook ten aanzien van de toegevoegde watermassa kan thans langs theoretische weg het een en ander berekend worden. Voor het overige zal steeds modelonderzoek nodig zijn om de gegevens met enige nauwkeurigheid te verkrijgen. In de waterbouwkunde is modelonderzoek al lange tijd een veel gebruikt hulpmiddel om aan ontwerpgegevens te komen. De modeltechniek is erop gebaseerd dat het stroombeeld op verkleinde schaal min of meer tot in details wordt gereproduceerd en dat alle gegevens die uit metingen verkregen worden via omrekeningsfactoren, de zogenaamde

4. Trillingen in een elastisch gelijkvormig model van de inlaatsluis in het Volkerak



schaalregels, naar de werkelijkheid kunnen worden vertaald. Voorzover toch nog afwijkingen voorkomen, de zogenaamde schaal-effecten, worden deze uit gegevens van soortgelijke maar schematisch opgezette proeven op verschillende schaal gekwantificeerd. Iets anders geformuleerd: afhankelijk van welke aspecten het stroombeeld bepalen, moeten bepaalde kentallen in het model op de juiste waarde worden gereproduceerd. Wanneer de zwaartekracht domineert zoals meestal het geval is bij een vrij wateroppervlak, dan moet het Froudegetal worden gereproduceerd. De watersnelheid wordt dan verkleind volgens de wortel uit de lengteschaal van het model. Als de viscositeitsinvloed domineert, moet het Reynoldsgetal gereproduceerd worden en moet de watersnelheid vergroot worden met de lengteschaal, en zo zijn er meer kentallen te noemen. Kenmerkend is dat ze alle strijdige voorwaarden voor de watersnelheid opleveren. Reproduceert men één kental, dan liggen wel de schaalregels vast, maar de andere, onjuist gereproduceerde, kentallen geven aanleiding tot schaal-effecten. Voor schuiven gelden als dominerende aspecten de zwaartekracht, de viscositeit, met name bij gestroomlijnde of afgeronde vormen, de atmosferische druk en de compressibiliteit van lucht, wanneer luchtballen of luchtzakken worden ingesloten. Andere aspecten, zoals de oppervlaktetension en de compressibiliteit van water spelen meestal een ondergeschikte rol.

Bij ronde vormen zal de stroming in het model te vroeg loslaten door de te grote viscositeit, en het zog dat achter deze vormen ontstaat zal te breed worden. Het gevolg is dat voor de schuiven in het model te grote krachten gemeten worden. Bovendien zijn de loslatende wervels te groot en de werveltrein die met een snelheid evenredig met die van de hoofdstroom van de constructie af komt, geeft te lage frequenties; er passeren per tijdseenheid minder wervels dan in een overeenkomstige werkelijke situatie.

Spelen zwaartekracht en viscositeit beide een rol, dan zijn minstens twee modellen nodig, één volgens de Froudeschaal, inclusief de reproductie van het vrije wateroppervlak, en een tweede model van dat deel van de constructie waar de viscositeitsinvloed domineert, en dat geplaatst wordt in een watertunnel zonder vrij oppervlak. Hierin kan de snelheid opgejaagd worden; het macrostroombeeld blijft gelijk en wordt bepaald door de geometrie van de tunnel, maar de turbulentie past zich aan aan de ingestelde

waarde van het Reynoldsgetal. Een dergelijk tunnelmodel kan ook met lucht stromen; zolang de luchtsnelheden ver afblijven van de geluidssnelheid gedraagt de stroming zich analoog aan die van homogeen water, dat wil dus zeggen water zonder luchtinsluiting of dampbellen of zonder verschillen in zoutgehalte. De afwijkende viscositeit kan door een extra hoge luchtsnelheid gecompenseerd worden. Ook een extra drukverhoging in de tunnel resulteert in vermindering van de viscositeitsinvloed. De gemeten luchtdruk is weer via een schaalregel vertaalbaar naar werkelijke waterdrukken, zowel voor wat betreft amplituden als frequenties.

Dynamische modellen

De hiervoor beschreven modellen, waarin snelheden, drukken en krachten kunnen worden gemeten, vallen in de categorie starre modellen; zij leveren slechts enkele van de gegevens die voor een schuifontwerp nodig zijn, namelijk de uitwendige belasting voorzover die niet door een eventuele doorbuiging of trilling beïnvloed wordt.

Om de hydrodynamische massa en demping te bepalen en ook om zelf-excitatie te kunnen onderzoeken zijn echter trillingsmodellen of dynamische modellen nodig. De trillingsamplitude moet op lengteschaal gereduceerd zijn en de frequenties moeten overeenkomen met de frequentieschaalregel zoals die voor turbulentie geldt. Er zijn verschillende typen dynamische modellen mogelijk.

Allereerst de modellen die zijn uitgevoerd als enkelvoudige massa-veersysteem met één graad van vrijheid. Ze worden toegepast als ook voor het prototype slechts een enkelvoudige trillingsvorm verwacht wordt, maar eveneens ter bepaling van de hydrodynamische massa en demping en om deelaspecten te onderzoeken. Vaak lenen dergelijke modellen zich het beste voor een studie waarin bijvoorbeeld een schuifsectie met enkele of dubbele beplating en daarbij weer verschillende vormen van bijvoorbeeld een onderrand onderzocht kunnen worden. Het model kan zo worden ingericht dat of een verticale of een horizontale trillingsrichting wordt vrijgegeven. Dit type modellen, waarvan de schaal nog geheel vrij gekozen kan worden, leent er zich toe om globale ontwerpgegevens te bepalen en ook om teruggekoppelde trillingen met één vrijheidsgraad te onderzoeken. Deze grootheden kunnen slechts op globale wijze worden vertaald naar de werkelijke schuif met drie-dimensionale geometrie en bijbehorend stroombeeld en complexe trillingsvormen.

Daarnaast heeft men modellen die kunstmatig in trilling gebracht worden en waarbij de krachten gemeten worden die het water uitoefent. Dit type heeft het voordeel dat snel een heel frequentiegebied doorgemeten kan worden bij gevarieerde amplitude. Moeilijker is het de trillingsrichting te wijzigen. Door de energie-overdracht vanuit de stroming naar de constructie te beschrijven als functie van de amplitude is vertaling naar het drie-dimensionale prototype mogelijk, wanneer men stelt dat de energie-overdracht bij de evenwichtsamplitude altijd gelijk moet zijn aan nul.

Overigens wordt dit soort modellen weinig toegepast; doordat de gemeten krachten gecompenseerd moeten worden met de traagheidskrachten van het model is de nauwkeurigheid minder groot; ook worden hoge eisen gesteld aan de stijfheid van het systeem ter voorkoming van parasitaire trillingen.

Een derde belangrijk type model is het elastisch gelijkvormige model. De constructie wordt bij deze modellen geheel nagebouwd maar niet altijd van hetzelfde materiaal als het prototype. De bedoeling is dat in een dergelijk model de relatieve vervorming van het materiaal gereproduceerd wordt. Dit type model is het eerst toegepast in de luchtvaarttechniek bij het flutteronderzoek aan vleugels. Bij deze toepassing is het modelmateriaal gelijk aan dat van het prototype. Om dezelfde vervormingen te krijgen wordt de schaal van de belasting aangepast aan de snelheidsschaal. Die kan namelijk, omdat het een tunnelonderzoek betreft, nog vrij worden gekozen. De stroomsnelheid moet in deze modellen gelijk zijn aan die in het prototype.

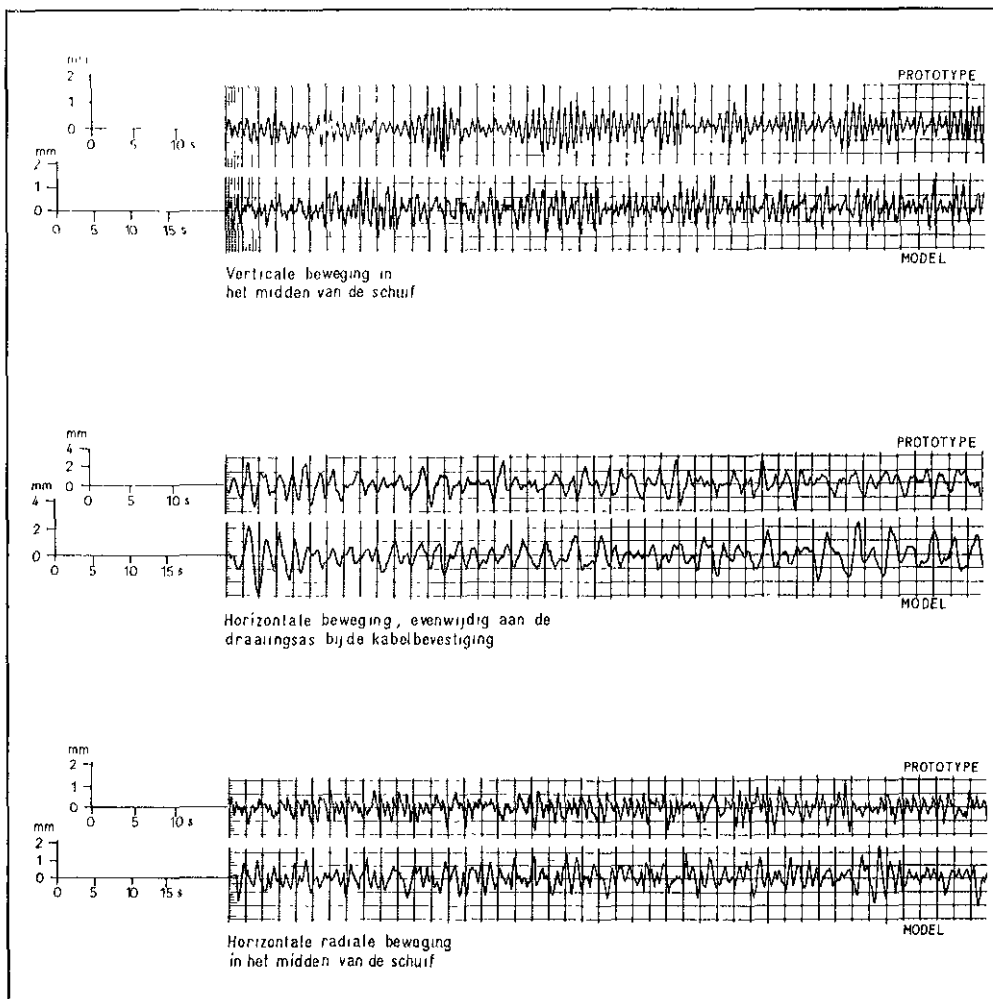
Bij trillingen speelt de massa van de constructie een rol; ze moet in een dynamisch model in overeenstemming zijn met de traagheidskrachten in de vloeistof bij niet-stationaire stroming. De soortelijke massa van het modelmateriaal moet daarom de juiste verhouding hebben tot die van de vloeistof: vliegtuigen moeten in luchtmodellen bekeken worden en schuiven die in het water staan kunnen alleen in watermodellen worden onderzocht. Omdat het stroombeeld bij schuiven sterk wordt bepaald door de vrije waterspiegel moet weer aan de schaalwet van Froude voldaan worden; de watersnelheden in het model zijn in dit geval veel geringer dan die in het prototype. Om aan de vervormingsels te voldoen moet in het model een weker materiaal worden toegepast dan in het prototype. De beperkte keuze van beschikbare

materialen en de noodzaak om tot bruikbare modelschalen te komen leidt ertoe, dat men in dergelijke modellen bij te stijve materialen zoals metalen de wanddikte moet verkleinen of bij te weke materialen zoals plastics de wanddikte vergroten ten opzichte van de geometrisch juiste waarde. De massa wordt dan bijvoorbeeld met lood aangepast aan de vereiste waarde. Bij dit type model kan men tengevolge van de materiaalkeuze de schaal niet vrij kiezen; hij ligt tussen 1 : 2 à 1 : 6 voor reproductie van stalen schuiven in een metalen model (staal, messing of aluminium), terwijl een plastic model moet worden gemaakt op schaal 1 : 15 à 1 : 60. Bij 1 : 15 moet al een 4x te dik materiaal worden toegepast, waardoor de geometrie van de constructie in gevaar kan komen.

Elastisch gelijkvormige modellen hebben ten opzichte van andere dynamische modellen het voordeel van een volledige drie-dimensionale reproductie van zowel het stroombeeld als de mechanische eigenschappen. Ook als de trillingsvormen niet uit berekening bekend zijn, komen ze in het model tot uiting. Dit is van groot belang bij het onderzoek aan nieuwe constructies, waarin bijvoorbeeld nog onverwachte instabiele trillingen kunnen voorkomen.

Het model dient vooral als laatste controle op het ontwerp; voordat het model gebouwd kan worden moet de geometrie en de stijfheid van de constructie in onderdelen vast liggen. Figuur 5 laat zien dat het trillingsgedrag, ook bij een zeer complexe trillingsvorm, behoorlijk wordt gereproduceerd.

Bij het modelonderzoek naar de schuiven in de uitwateringssluizen in het Haringvliet is de toepassing van een elastisch model niet beperkt gebleven tot het trillingsonderzoek; het diende daar ook als controle op rekenmethodieken en elektrische simulatietechnieken voor het golfbelastingsonderzoek. Proeven waarbij in een later stadium de gereedgekomen constructie periodiek is geëxciteerd hebben aangetoond dat deze modeltechniek, hoewel het ontwerp op een aantal punten in de laatste fase nog gewijzigd is zonder dat dit in het modelonderzoek kon worden ingepast, betrouwbare resultaten geeft, ook voor complexe trillingsvormen. De trillingsvormen en de bijbehorende frequenties kunnen er goed in worden gereproduceerd. De drie typen modellen hebben duidelijk elk hun mogelijkheden, maar ook dikwijls belangrijke beperkingen. Daarom is vaak bij één schuifonderzoek een aantal modellen noodzakelijk. Dit kan worden geïllustreerd aan



het onderzoeksprogramma dat is opgezet voor het trillingsgedrag van de roosterschuiven, als één van de varianten die mogelijk in de stormstuw Oosterschelde zal worden toegepast. Hierbij zij opgemerkt dat de vorm van de roosterbalken zo is gekozen, dat de weerstand bij geopende schuiven vrij gering is. Juist deze stroomlijnvorm doet echter verwachten dat de viscositeitsinvloed in de modellen verstoring kan werken. Een maat hiervoor is de mate waarin het Reynoldsgetal in het model afwijkt van de waarde in werkelijkheid.

De roosterschuiven zullen bij benadering een overspanning hebben van 10 m, terwijl de roosterbalken ruim 60 cm hoog zijn en de tussenruimte ook 60 cm. Ze reiken tot aan de waterspiegel. Daarboven wordt een hefschuif geplaatst voor de doorlaat van ijs.

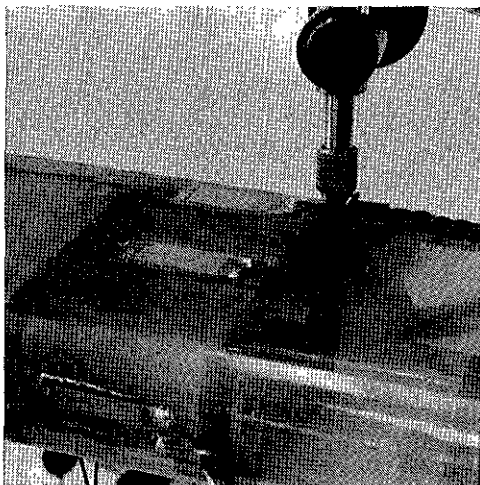
5. Vergelijking van de trillingregistraties tussen model en werkelijkheid; vizerschuiven van de stuw bij Hagestein

De bodemhoogte is variabel; er zullen 10 à 15 roosterbalken boven elkaar liggen. Door twee roosters ten opzichte van elkaar te verschuiven worden ze geopend of gesloten. In geopende stand hebben twee balken samen een zo goed mogelijk gestroomlijnde vorm. Het onderzoek naar de mogelijke vormgeving geschiedt in vier modellen in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft, hier verder aan te duiden als model A t/m D. In model A wordt een onderzoek gedaan op schaal 1 : 5 van een mootje van de schuif met twee roosterbalken in geopende of bijna geopende stand. De stroomlijnvorm wordt gevarieerd om mogelijke verbeteringen te onderzoeken en de gevoeligheid te bekijken voor onregelmatigheden ten gevolge van fabricage of aangroei. Alleen de weerstand van de balk op de stroming is onderzocht. Hoewel het model in principe een model is zonder vrije waterspiegel en vrij te kiezen watersnelheid, kon het plafond achterwege blijven wanneer er maar langzaam gestroomd werd. De nagenoeg horizontale waterspiegel vormt de stroombegrenzing. Het voordeel is dat wijzigingen in dit model snel aangebracht en onderzocht kunnen worden.

Model B stelt een mootje voor van de schuif met 2 balken, schaal 1 : 2,75; het is geplaatst in een tunnel. Hierin kan met verschillende snelheden gestroomd worden. Bij de maximale snelheid wordt 1/8 van het gewenste Reynoldsgetal bereikt. Op die manier kan een indruk verkregen worden van de grootte en de frequenties van de drukfluctuaties over de gehele omtrek van de balken. Bij de proeven in model C wordt in dezelfde tunnel een mootje van de schuif met 5 balken



6. Model C, met vijf balken



7. Model D, het plastic elastisch gelijkvormige model, tijdens het ijken van een der roosterbalken

geplaatst, schaal 1 : 6,9 (foto 6). Door het groter aantal balken kan de schuif in alle standen, van open tot gesloten, onderzocht worden en kunnen hefkrachten uit drukmetingen bepaald worden alsmede, op een enkel punt, de dynamische drukken op de beplating.

Model D is een uit plastic vervaardigd elastisch gelijkvormig model, schaal 1 : 21 (foto 7). Dit model omvat één gehele schuif, zodat ook de invloed van de vrije water-spiegel in het onderzoek kan worden betrokken. Omdat het een dynamisch model betreft zullen ook zelf-exciterende trillingen erin naar voren kunnen komen. Uit de gegevens uit B en C zijn zoveel mogelijk conclusies getrokken om te zorgen dat het ontwerp van D zoveel mogelijk lijkt op het eindontwerp. Het getal van Reynolds is slechts 1/200 van de prototype-waarde.

Een vijfde model vindt men in het Nationaal Lucht en Ruimtevaart Laboratorium. Ter verificatie van model B worden hier soortgelijke metingen gedaan als in B, in een model met schaal 1 : 1,9. Het getal van Reynolds kan gelijk gemaakt worden aan dat in het prototype.

Bovendien zullen de dynamische drukken, die op 24 punten simultaan gemeten worden, worden gesommeerd, en elk zodanig met een eigen gewichtfactor vermenigvuldigd dat uit de sommatie de dynamische totaalcrachten volgen. Dit model zou model B overbodig

kunnen maken, maar het kon daarvoor niet tijdig genoeg gereed zijn.

Als eindcontrole zal tenslotte een metalen elastisch gelijkvormig model gebouwd worden, schaal 1 : 3,1 met een Reynoldsgetal van 1/5 van de prototype-waarde. Een dergelijk groot model maakt men meestal niet, maar in dit geval wel, omdat de balken per stuk in verhouding tot de gehele schuif klein zijn en de vorm gevoelig is voor de viscositeits-invloed van water. Het belang dat gemeend is met de bouw van ongeveer tweehonderd schuiven is groot genoeg om deze controle te rechtvaardigen. Omdat geen andere faciliteit beschikbaar is zal voor deze proeven de schutsluis te Lith gebruikt worden, aangepast aan speciale eisen. In één of meer weekeinden kunnen hier de metingen plaatsvinden, zonder dat de scheepvaart meer dan een minimum aan hinder ondervindt. Gebruik wordt gemaakt van het beschikbare verval; ook de benodigde hoeveelheid water is in het waterseizoen beschikbaar.

De conclusie van de bovenstaande overwegingen kan zijn dat het dynamisch gedrag van schuiven vrij behoorlijk vooraf voorspeld kan worden, al is de problematiek dan ook ingewikkeld. De toepassing van modeltechniek biedt ook hier vele mogelijkheden, maar de beperkingen die elk type heeft ten aanzien van volledige reproductie van de verschijnselen moeten wel goed onderkend worden.

Wanneer de Oosterschelde over een aantal jaren zal worden afgesloten met caissons waarin beweegbare schuiven zijn opgenomen, zijn daar jaren van voorbereidende werkzaamheden aan voorafgegaan. Men kan caissons immers niet zomaar neerzetten. Er moet eerst een sluitgat geformeerd worden. Maar wat voor sluitgat?

Het is de bedoeling in dit artikel de relatie te bespreken die er bestaat tussen de vorm van het sluitgat en de ingewikkelde operatie van de caissonsluiting.

In de eerste plaats moet worden opgemerkt dat het woord 'sluitgat' hier eigenlijk niet toepasselijk is. Het is alleen bij echte afsluitingen op zijn plaats. Een nieuw woord is echter nog niet gevonden. Wanneer we voor het begrip waarover we spreken dicht bij huis een vergelijking zoeken, dan kunnen we de schuiven van de caissons vergelijken met deuren, en de caissons met de kozijnen. Het 'sluitgat' komt dan overeen met het gat dat in de muur wordt uitgespaard om de kozijnen te plaatsen. Maar daarvoor bestaat ook in de bouw geen afzonderlijk woord, zodat de vergelijking ons weinig verder brengt.

Niettemin begrijpt men elkaar in het werkoverleg best. In de loop van de laatste paar maanden zijn de volgende werkdefinities gegroeid: de toestand met damvakken en drempels wordt wintersluitgat genoemd, evenals dat bij vroegere sluitingen het geval was, omdat deze situatie altijd in de winter vóór de sluiting gereed placht te zijn. Als alle caissons geplaatst zijn, noemt men het resultaat 'zomersluitgat', omdat deze toestand voor de zomer gepland is. Over het zomersluitgat handelt dit artikel.

Bij de dimensionering van het zomersluitgatprofiel spelen een aantal tegenstrijdige overwegingen een rol. Om een minimaal getijverschil van 2,3 m bij Yerseke te realiseren is een profiel van 10 tot 12 000 m² nodig, dat veel te klein is als zomersluitgat. In Bericht 72 en 73 werd al uitgelegd, waarom er een aanzienlijk verschil moet zijn tussen het eindprofiel en het profiel bij plaatsing. We vermeldde daar ook dat men met de DOS-Caisson dit probleem oploste door de caissons geheel open in te varen en af te zinken en ze na plaatsing van de laatste te voor-

Het sluitgatprofiel en de caissonplaatsing

zien van betonnen roosters die een groot deel van het doorstroomprofiel wegnamen.

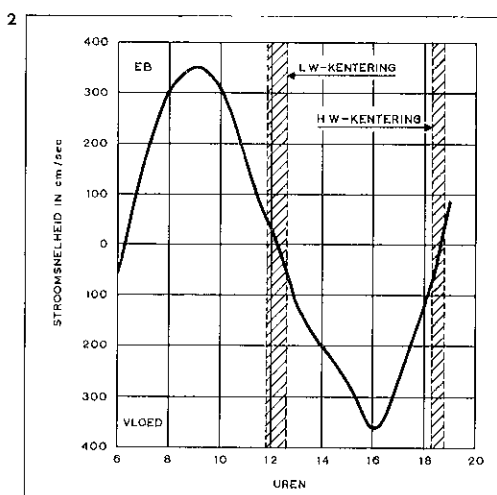
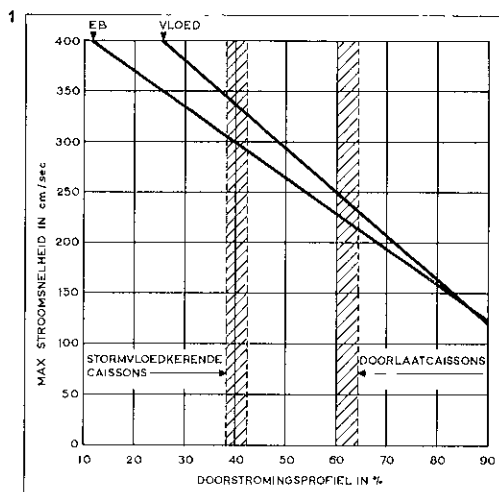
Welke factoren zijn dan wel bepalend voor de grootte van het zomersluitgat?

In de eerste plaats de krachten die nodig zijn om de caissons op hun plaats te slepen. In de tweede plaats de stabiliteit van de steen op de drempel. De bovenste laag van de drempel mag onder geen beding door de stroom worden aangetast, noch tijdens, noch na de caissonplaatsing. Tenslotte spelen ook de ontgrondingen tijdens het plaatsen van de caissons een belangrijke rol. Dat deze drie factoren alle pleiten voor een ruim zomersluitgat zal niemand bevreemden. Er zijn echter ook enkele overwegingen die tot een tegenovergestelde oplossing leiden. De kunst is nu, al die elkaar kruisende belangen te verzoenen.

Factoren die de grootte van het sluitgat beperken zijn de drempelhoogte, die in verband met de fundering en de onderloopsheidbestrijding een minimale dikte van enkele meters moet hebben, en het feit dat de caissons in verband met de op te nemen krachten van aanzienlijke afmetingen zullen zijn. Wil men de gevolgen van de twee vorige factoren beperken door in te baggeren, dan zit men met de ervaring dat dit niet te diep kan, omdat men anders ontoelaatbare aanzandingen oproept tijdens de bouw. In figuur 1 is het verband getekend tussen het zomersluitgatprofiel en de maximale vloedsnelheid ter plaatse van de laatste te plaatsen caisson in De Roompot onder gemiddelde getijomstandigheden. Ter vergelijking is daar naast de toestand bij de huidige ontwerpen ook die bij het ontwerp van de caissons ten behoeve van de volledige

Oosterscheldeafsluiting getekend, waarvoor immers ook een caissonsluiting bestudeerd is, maar nimmer gerealiseerd. Door de veel geringere belastingen op de caissons kon men toen een zeer open constructie ontwerpen. Dat was ook wel nodig in verband met de grote lengte van 100 m die men aan de caissons gegeven had om het aantal beperkt te houden. De vernauwing van het oorspronkelijke doorstroombroef bedroeg toen slechts 35%. De vernauwing bij de caissons van de stormvloedkering bedraagt 60%, hetgeen de caissonplaatsing tot een aanzienlijk zwaarder karwei maakt. Wanneer we nu kijken naar vroegere caissonplaatsingen zoals die in het Veerse Gat, het Volkerak, de Lauwerszee en het Brouwershavense Gat, dan zien wij dat de vernauwingen toen ook 60 tot 65% bedroegen, hetgeen dus overeenkomt met de

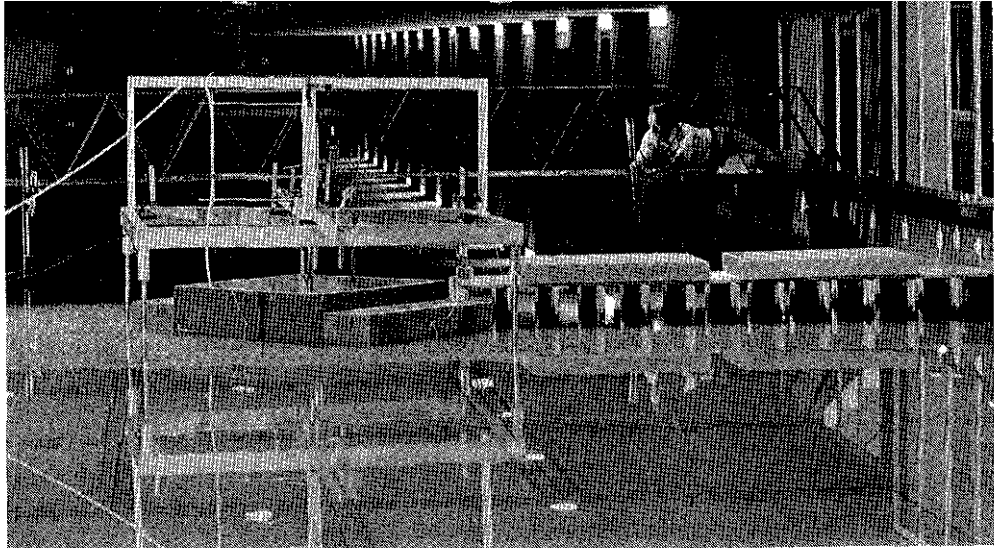
ondiepe delen van het sluitgat, doordat de caissons daar dieper drijven dan de kruin van de drempel. Dit betekent dat de caissons opgetild moeten worden met behulp van drijflichamen. Een andere mogelijkheid is de caissons op de hoogwaterkentering te plaatsen. Die duurt echter korter dan de laagwaterkentering, zoals blijkt uit de getijkromme van figuur 2; bovendien is de golfdoordringing vanuit zee tijdens de hoogwaterkentering natuurlijk groter dan tijdens de andere kentering. Bij een aantal ontwerpen is zelfs een combinatie van drijflichamen en hoogwaterplaatsing nodig. Ten derde moet bij de afsluiting van de Oosterschelde ondanks ongeveer dezelfde vernauwingspercentages gerekend worden op hogere snelheden dan bij vroegere sluitingen. In figuur 3 is de gemeten snelheidskromme in het laatste gat



situatie die we nu hebben. De plaatsing van stormvloedcaissons in de Oosterschelde lijkt zo gezien niets nieuws: we kunnen terugvallen op ervaring uit het verleden. Toch is de gelijkenis slechts oppervlakkig; wanneer we beter kijken zijn er duidelijke verschillen aan te wijzen.

In de eerste plaats worden thans aan de vlakheid van de drempel hogere eisen gesteld dan bij vroegere sluitingen het geval was. Over de aansluiting van de caissons op de drempel is in het vorige Bericht reeds het een en ander geschreven. Voor de stenen op de drempel komt het erop neer dat ze tijdens het plaatsen van de caissons in elk geval geen stabiliteitsverlies mogen lijden. In de tweede plaats is de diepgang van de caissons tengevolge van hun zwaardere constructie veel groter, hetgeen moeilijkheden geeft bij de

van een aantal caissonsluitingen getekend. De snelheden zijn nergens hoger dan 2,5 m per seconde, behalve dan in het Brouwershavense Gat, waar de snelheden hoger op liepen door de aanwezigheid van een blokkendam in het zuidelijk sluitgat. Men kon de snelheden zo laag houden omdat men de laatste caissonplaatsing steeds rond dooftij plande. Bij het maken van de stormvloedkering is dat waarschijnlijk niet mogelijk, omdat er drie gaten zijn, waarin afwisselend een caisson geplaatst wordt. De tijd die nodig is voor het plaatsen van de laatste caissons is zo lang, dat er zeker een gemiddeld getij in valt en waarschijnlijk ook nog een springtij. Men zou de remedie natuurlijk kunnen zoeken in zodanige inbaggeringen van de profielen, dat in de laatste fase van de sluiting weer een groot zomersluitgat verkregen wordt.



3

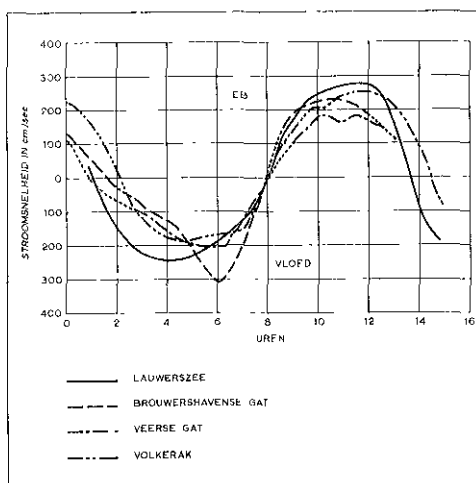


Fig. 1. Maximale eb- en vloodsnelheden bij toenemende vernauwing van het sluitgat Roompot in de Oosterschelde door plaatsing van doorlaatcaissons dan wel stormvloedkerende caissons

Fig. 2. Vorm van de getijkromme ter plaatse van de laatste af te zinken caisson

Fig. 3. Maximale stroomsnelheden bij verscheidene plaatsingen van laatste caissons

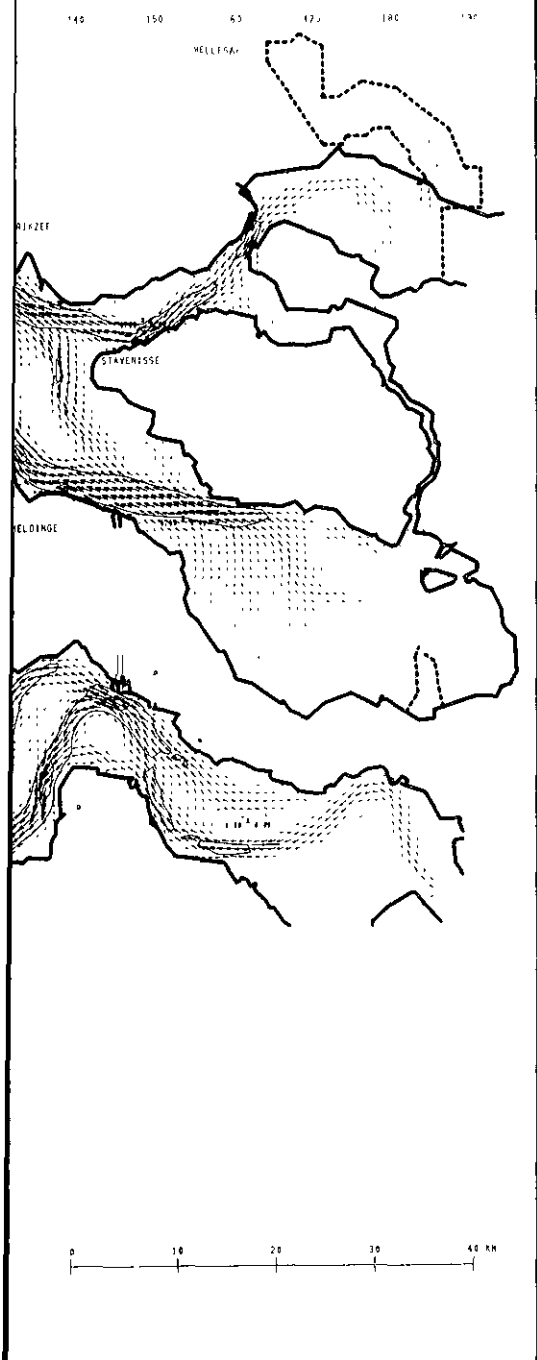
Invaarproeven met een caisson met drijflichamen

Deze mogelijkheid is echter, zoals reeds eerder gezegd, begrensd door het probleem van de ongewenste aanzandingen in de bouw-fase. Elke kunstmatige kuil in een beweeglijke zandbodem onder water zandt onmiddellijk weer aan. Het toegevoerde zand zou in dit geval de filterconstructie van de drempel aanzienlijk kunnen verstoren.

In eerste instantie wordt derhalve getracht de ontstane problemen per stuk op te lossen. De ontgravingen bestrijdt men met behulp van een langere bodembescherming. Ten behoeve van de stabiliteit van de drempel wordt momenteel onderzoek gedaan naar de stroombestendigheid van de stortsteen. Blijkt die onvoldoende dan kan een oplossing gevonden worden door de steen vast te leggen met asfalt of met een matconstructie of iets dergelijks. Het gebruik van zwaardere en dus grotere steen is minder raadzaam in verband met de vlakheid van de drempel. Het gebruik van stenen of slakken met een hoger soortelijk gewicht kan ook een oplossing zijn; maar die wordt misschien weer erg duur. Ook hier zal nog geruime tijd gewikt en gewogen moeten worden, voordat een voor iedereen aanvaardbare oplossing gevonden is.

[illegible]

Natuurmetingen ten behoeve van het nieuwe getijmodel RD-II



Ten behoeve van het Oosterscheldeonderzoek zijn twee geheel nieuwe tweedimensionale wiskundige modellen ontworpen, die bekend staan als model RD-II en het Scheldes-model. Men vindt er al iets over vermeld in Bericht 72 (mei 1975).

Behalve de eigenlijke waterbeweging kan ook de verspreiding van opgeloste stoffen met behulp van deze modellen worden nagegaan, wat van groot belang kan zijn bij het bestuderen van waterkwaliteitsproblemen. Inmiddels is een eerste aanzet gemaakt met het instellen en afregelen van deze modellen met behulp van in de natuur gemeten randvoorwaarden. Alhoewel er nog een aantal problemen zijn te overwinnen, die te maken hebben met de rekenstabiliteit van het model, geven de voorlopige resultaten toch wel reden tot optimisme. Het rekenprogramma produceert onder andere kaartjes van het beschouwde gebied met daarin stroomvectoren en lijnen van gelijke snelheid op een bepaald tijdstip. Een voorbeeld hiervan treft men aan in figuur 1.

Meer en meer echter ervaart men het als onbevredigend, dat men voor de randvoorwaarden bij deze berekening praktisch uitsluitend is aangewezen op de resultaten van één meting, en wel die van 27/28 juni 1967. Met behulp van deze meting zijn in het bestaande Randdeltamodel zeer bevredigende resultaten verkregen, maar de beide nieuwe modellen omvatten ook de Ooster- en Wester-

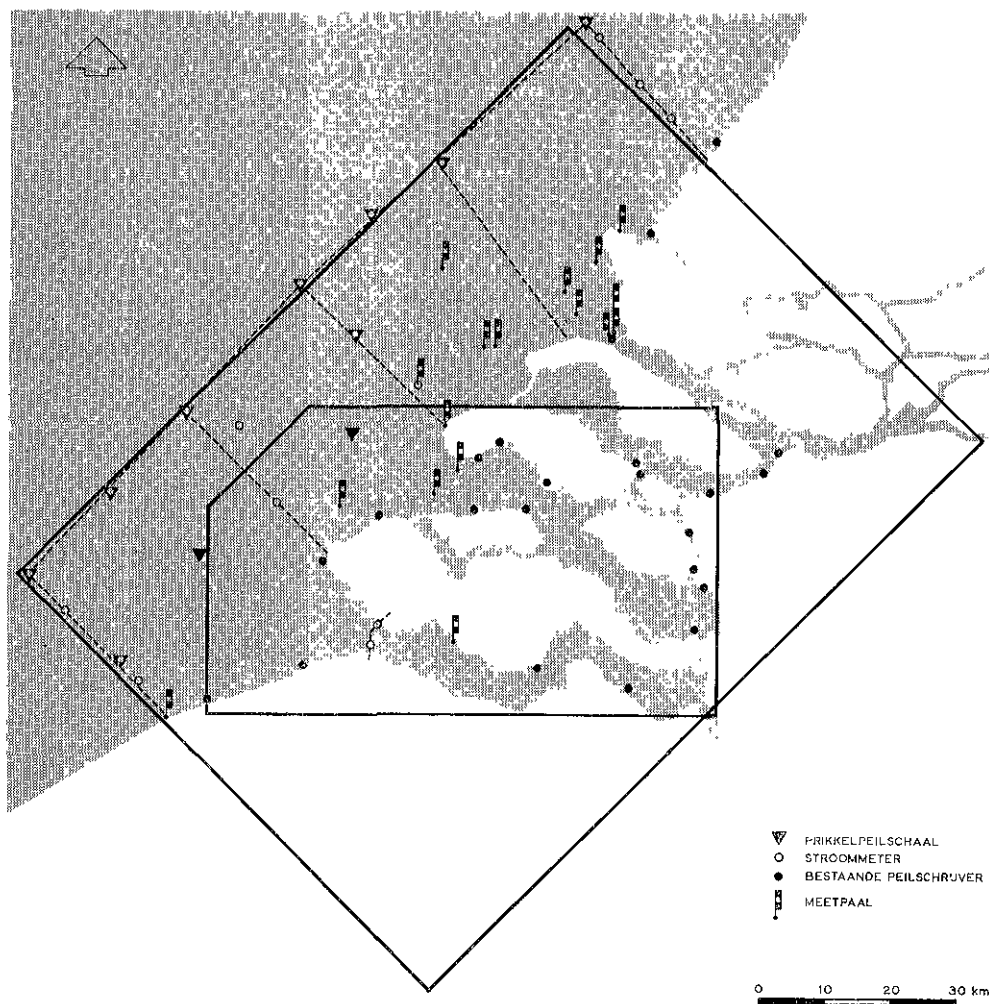
Fig. 1. Voorbeeld van de output van het mathematisch model RD-II

scheide zelf, terwijl het Randdeltamodel alleen het zeegebied omvatte.

Er bestaat voor de afregeling van de nieuwe modellen dus thans ook behoefte aan uitgebreide metingen in het binnengebied. Daarnaast is het ook prettig te kunnen beschikken over de resultaten van een meetperiode van langere duur, zeg een dag of dertig, die zowel doortij, springtij als normaal tij omvat. Een langere periode biedt ook de mogelijkheid van een intensieve statistische analyse van de resultaten met behulp van het FRANOM-programma (FRANOM: Frequency Response Analysis and Noise Model), dat in samenwerking tussen Rijkswaterstaat en de Rand Corporation in Santa Monica (U.S.A.) is ontwikkeld.

Tenslotte zal men bij nieuwe metingen ook een aantal zaken meer in detail kunnen meten

Fig. 2. Overzichtskaart van de modellen RD-II en Scheldes met de instrumentatie voor de natuurmetingen



op die plaatsen waar de waterbeweging bij de vorige metingen het meest ingewikkeld bleek te zijn.

Het doel van een meting als deze is het verkrijgen van informatie met betrekking tot de waterstanden ofwel het verticaal getij, de stroomsnelheden en -richtingen, ook wel het horizontaal getij genoemd, en met betrekking tot de afvoeren.

De waterstanden zijn van direct belang voor het verkrijgen van randvoorwaarden in de modellen, terwijl de beide andere grootheden onmisbaar zijn als controlegegevens bij hetijken en afregelen.

Het verticaal getij wordt gemeten met prikkerpeilschalen die op de zeebodem worden neergelaten, met elektrische stappenbaken en vlotterpeilschalen die aan meetpalen en -stellingen bevestigd zijn, en met langs de oevers aanwezige getijschrijvers.

Het horizontaal getij wordt gemeten met zelfregistrerende Flachsee-stroommeetinstrumenten of vanaf boten met Ottmolens, Elmar-stroommeters, Jacobson-stroomrichtingmeters en stokdrijvers.

Flachsee-stroommeters registreren een maand lang iedere 5 minuten de stroomsnelheid en -richting met behulp van een ingebouwde smalfilmcamera. Een propeller en een bijbehorende omwentelingenteller meten de snelheid van de stroom, en de stroomrichting wordt bepaald door een ingebouwd kompas. De Flachsee-stroommeter drijft uit zichzelf op en wordt daarom met een staaldraad of scheepsketting en een betonblok op de bodem verankerd. De lengte van staaldraad of ketting wordt zodanig gekozen, dat het instrument op dat punt van de verticaal komt te hangen, waar de gemeten snelheid praktisch overeenkomt met de gemiddelde snelheid over de gehele diepte ter plaatse.

Om de instrumenten terug te kunnen vinden en ze tegen beschadiging door ankeren van schepen of vissen met sleepnetten te beschermen, wordt het verankeringsblok van het instrument doorverbonden met een tweede betonblok, waaraan een lichtboei verankerd is. De prikkerpeilschalen registreren de waterstand door de druk te meten van de waterkolom boven het instrument; zij worden *eveneens door boeien gemarkeerd*.

De Flachsee-stroommeetapparatuur en de prikkerpeilschalen werden uitgezet door betonningsvaartuigen van het loodswezen; de coördinatie berustte bij de directeur van het loodswezen, district Scheldemonden te Vlissingen.

In totaal werden 41 zelfregistrerende instrumenten op zee geplaatst, en wel 21 Flachsee-stroommeetinstrumenten en 20 prikkerpeilschalen. De posities van alle meetpunten zijn in figuur 2 weergegeven.

De meetperiode liep van 25 augustus t/m 20 september 1975. In deze periode werden door alle zelfregistrerende instrumenten de snelheden en waterstanden gemeten. De peilschrijvers aan de wal werden regelmatig nagezien en bovendien werd ter controle op gezette tijden een peilschaal vlakbij visueel afgelezen. Ook de Flachsee-instrumenten werden gecontroleerd. Daarvoor gingen bij de instrumenten meetboten voor anker, die de stroomsnelheid controleerden met Ottstroomsnelheidsmeters, de stroomrichting met Jacobson-stroomrichtingmeters, of beide tegelijk met Elmar-stroommeters. Deze controlemetingen werden over de hele verticaal uitgevoerd, zodat er gedetailleerde stroomsnelheids- en richtinggegevens over de verticaal uit resulteerden; op die manier werd het mogelijk de betrekking vast te stellen tussen de werkelijke gemiddelde snelheid in de verticaal en de snelheid die gemeten werd met de Flachsee-stroommeters.

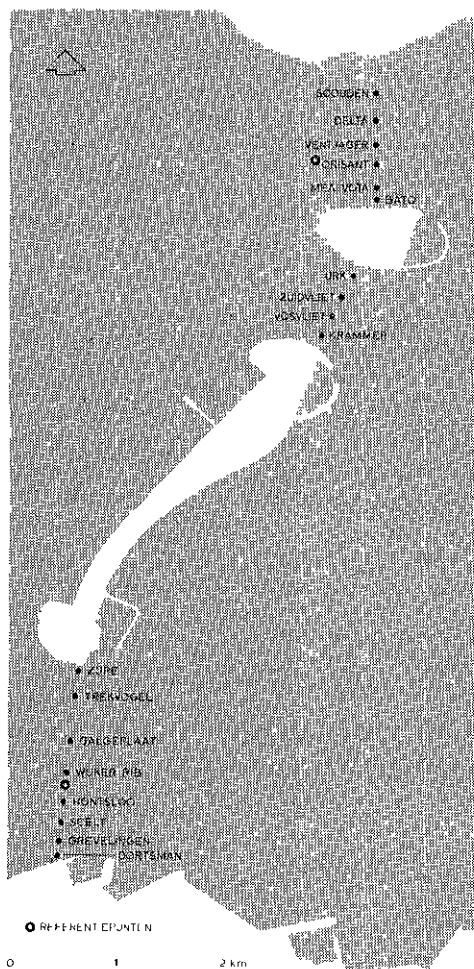
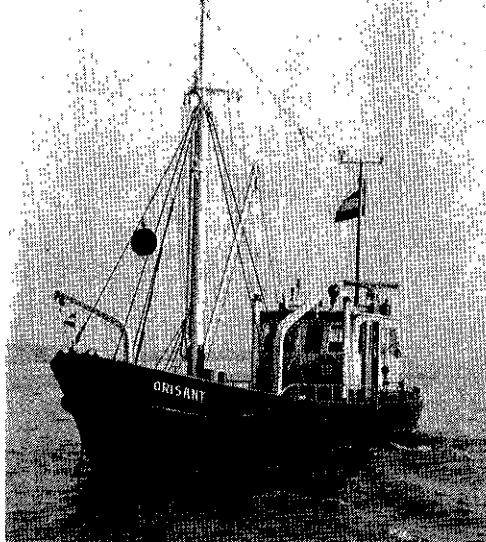
Bij de prikkers was rechtstreekse controle van de waterstanden niet mogelijk; wel moesten op gezette tijden de watertemperatuur en het zoutgehalte in de buurt van de instrumenten worden gemeten alsmede de barometerstand. Deze drie grootheden beïnvloeden zoals men zich kan voorstellen de registratie van de prikker.

In de planning werd een hele week uitgetrokken om de Flachsee-instrumenten en de prikkers te plaatsen. Deze werkzaamheden zijn namelijk sterk afhankelijk van het weer en de beschikbare capaciteit van het loodswezen, en men moet dus wat tijd reserveren om tegenslag op te vangen. Beide factoren werkten in dit geval zeer mee aan een vlot verloop. De weersomstandigheden waren goed, terwijl de door het loodswezen ingezette capaciteit zo hoog lag, dat alle instrumenten binnen enkele dagen geplaatst konden worden.

De blokkade van de Nieuwe Waterweg door actie-voerende binnenvaartschippers dreigde op het kritieke ogenblik een vitaal onderdeel van de meting, de straks nader te beschrijven detailmeting, te doen mislukken, maar uiteindelijk werd er alleen een vertraging van twee dagen door veroorzaakt.

We merkten al op, dat naast de waterstanden en snelheden ook de afvoeren een belangrijk gegeven vormen. Het verkrijgen van dit gegeven zal op zee in het algemeen weinig

Fig. 3. Overzicht van de situatie ring der meetboten in de mond van de Oosterschelde tijdens de detailmeting



problemen opleveren, omdat de snelheden tussen twee stroommeetpunten slechts geleidelijk verlopen en ook de bodemligging geen al te grote sprongen vertoont. Men kan de gemiddelde snelheid en het doorstroomprofiel eenvoudig met elkaar vermenigvuldigen om een vrij nauwkeurige voorstelling te krijgen van de afvoer.

In de monden van de zeegaten en in de Schelde nabij de Belgisch/Nederlandse grens is de situatie echter volkomen anders. Doordat hier een ingewikkeld geulenpatroon ligt, kunnen over relatief korte afstanden grote variaties in diepte en snelheid voorkomen. Er is daar dan ook een veel kortere afstand tussen de meetpunten noodzakelijk, zo kort dat het aantal zelfregistrerende instrumenten nodig voor een volledige meting de aanwezige capaciteit verre overschrijdt. Dit is een veelvoorkomend probleem en de oplossing ervan, die ook hier gevolgd werd, is dan ook, dat in zo'n geval de betrokken raai of raaien gedurende één of twee dagen tijdens de meetperiode zeer intensief bemeten worden met behulp van een uitgebreide vloot meetboten. Gedurende de rest van de meetperiode kan dan worden volstaan met een kleiner aantal meetpunten, de zogenaamde referentiepunten.

Vervolgens wordt namelijk getracht op grond van de intensieve meting gedurende twee dagen een vaste correlatie te ontdekken tussen de meting in de detailpunten en die in de referentiepunten, zodat men vanuit de meetresultaten in de referentiepunten de waarden kan schatten voor de andere, niet bemeten punten. Op die manier kan men het gedetailleerde verloop tijdens de gehele meetperiode toch vrij goed benaderen. Vooral

bij deze berekeningen zal het reeds eerder genoemde FRANOM-programma belangrijke diensten kunnen bewijzen.

De detailmetingen zijn gehouden op 4 en 5 september. In totaal waren daar 40 boten bij betrokken, waarvan 13 in de raai in de mond van de Westerschelde, 8 achterin de Westerschelde bij de Belgisch-Nederlandse grens, 18 in de Oosterscheldemond en 1 in de mond van de Rotterdamse Waterweg. De meetposities in de raai Oosterschelde zijn in figuur 3 als voorbeeld gegeven.

De weersomstandigheden tijdens de detailmeting waren uitermate gunstig. Dit betekende een grote meevaller voor de bemanning van het grote aantal ingezette boten en voor de leiding. Het aantal dagen met

verzet. Men zou zelfs kunnen spreken van de top van de Ijsberg, als men de feitelijke meetinspanningen vergelijkt met alles wat komt kijken bij de maandenlange voorbereiding en vooral bij de uitwerking van de verzamelde gegevens. De zelfregistrerende instrumenten leveren meestal een strook papier met daarop een getekende getijlijn, of in het geval van de prikkerpeilschaal een getijlijn die bestaat uit een reeks in het papier geprikte gaatjes. De Flachsee-instrumenten produceren een film met daarop de registraties van richting en grootte van de stroom.

De resultaten van de niet-zelfregistrerende instrumenten komen op met de hand ingevulde formulieren. Weliswaar wordt er al geruime tijd gewerkt aan het automatisch



weinig golfslag op de Noordzee is namelijk zeer klein. Indien men op beter weer moet wachten kan daarmee geruime tijd heengaan. Doordat bij de nu vereiste omvang van de meetvloot een groot aantal organisatorische voorzieningen nodig waren, kon men onmogelijk bijvoorbeeld gedurende enkele weken op gunstig weer wachten. Men moest het weer daarom maar nemen zoals het viel. De bemanning van de meetschepen is er aan gewend, dat de weersomstandigheden bij dergelijke operaties verre van gunstig kunnen zijn en dat ze soms halverwege moeten worden afgebroken. Dit keer kon de meetserie worden afgewerkt onder optimale weersomstandigheden.

Maar met het eigenlijke meetwerk is nog maar een klein deel verricht van de arbeid die bij een grote meetcampagne moet worden

verwerken van al deze gegevens, maar vooral bij grote, niet regelmatig voorkomende meetcampagnes moet een belangrijk gedeelte van het materiaal nog met de hand worden omgezet in voor de computer leesbare gegevens. Daarnaast dienen ook wel eens correcties te worden aangebracht, bijvoorbeeld in verband met kleine afwijkingen in de uurwerken van de instrumenten, die soms vier weken lang niet gecontroleerd kunnen worden. De prikkerpeilschaalresultaten zullen nog gecorrigeerd moeten worden op temperatuur, zoutgehalte en barometerstand. We hopen echter dat eind november al zoveel van de resultaten beschikbaar is, dat ze bruikbare informatie kunnen verschaffen voor de modelberekeningen. Het volledig verwerken en controleren van de meetgegevens zal nog vele maanden vergen.

In Bericht 72 (mei 1975) werd uitgebreid aandacht besteed aan het waterloopkundig onderzoek. Het ging er toen voornamelijk om, welke problemen er speelden bij het ontwerp en hoe ze onderzocht moesten worden. Inmiddels is het onderzoek een eind gevorderd en kunnen er enkele resultaten gemeld worden, met name voor wat betreft het onderzoek naar de totale golfkrachten op de caissons, het ontgrondingsonderzoek en de morfologie van het bekken. Verder wordt aandacht besteed aan enkele onderzoeken die sinds het vorige Bericht begonnen zijn, te weten het golfklappenonderzoek en de proeven met scheve golfaanval.

Er bestaat een nauwe relatie tussen de te verwachten golfbelasting en het caisson-ontwerp. De totale golfbelasting en de vervalbelasting samen bepalen in belangrijke mate hoe breed en zwaar de constructie moet zijn. Deze belasting kan in feite beter de quasi-statische golfbelasting genoemd worden, omdat de caisson als geheel deze belasting als statisch ervaart. Dit komt omdat deze belastingfluctuaties veel langzamer verloopt dan de eigen trillingsperiode van de gehele constructie; er is dan geen sprake van een zogenaamde dynamische respons. In de maanden januari tot mei van dit jaar is een groot aantal ontwerpvarianten op quasi-statische belasting onderzocht. De variabelen bij deze ontwerpen waren de plaats en de grootte van de onder- en bovenkokers, en de plaats en de hoogte van de schuiven. Ook werd het effect nagegaan van golfdempende constructies als bijvoorbeeld roosters, terwijl voor diverse types bovendien de aanlegdiepte en de vorm van het golfspectrum gevarieerd werden.

Om de golfbelasting te meten werd de te beproeven caisson in een frame gehangen met behulp van stijve veren. De vervorming van de veren, die gemeten wordt met zogenaamde rekstrookjes, is een maat voor de krachten. Op deze manier werd de totale horizontale en verticale kracht gemeten, en ook het moment. De golfbeweging in de modelgoot werd opgewekt door middel van een bewegend schot. De bewegingen van dit schot werden zo geprogrammeerd dat de resulterende waterbeweging in de goot overeenkwam met de in werkelijkheid optredende onregelmatige golfbeweging. Uit het onderzoek zijn een aantal belang-

De voortgang van het waterloopkundig en morfologisch onderzoek

wekkende conclusies naar voren gekomen. Allereerst kwam vast te staan dat verhoging van de kerende hoogte van N.A.P. + 5,3 m, de maatgevende waterstand, tot N.A.P. + 10 m de horizontale golfbelasting met 25% doet toenemen. Verder bleek dat verplaatsing van de schuif van de voorkant van de caisson naar het midden en naar de achterkant bij een bovenkoker over de volle breedte de verticale golfkrachten met resp. 100% en 200% doet toenemen.

De resultaten van dit golfkrachtenonderzoek hebben, samen met tal van andere factoren, geleid tot de keuze van drie hoofdtypen caissons, de halve bakcaisson, de open bak en de venturi. Deze drie typen zijn in het vorige Bericht reeds uitgebreid besproken.

Bij de bepaling van de totale golfkrachten op de caisson werd uitgegaan van loodrechte golfaanval, omdat dat de maatgevende toestand is. Het is echter niet ondenkbaar dat de golven onder een andere hoek met het tracé van de dam invallen, waarbij dan met name de wanden van de caissons belast worden. Aangezien deze krachten mede de dikte van de wanden bepalen en daardoor weer van invloed zijn op het doorstroomprofiel, is ook modelonderzoek ondernomen naar deze vorm van belasting. Deze proeven worden gedaan in een 11 m brede golfbak, omdat een dergelijk onderzoek uiteraard niet in een smalle goot kan plaatsvinden. Het systeem van golfopwekking en krachtenmeting is verder vrijwel hetzelfde als bij het onderzoek naar de totale golfkrachten.

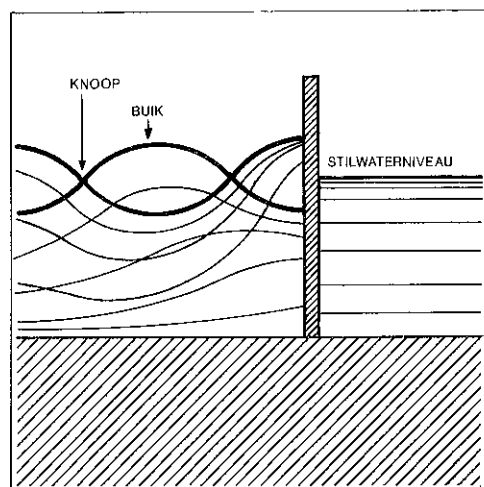
Bij dit onderzoek werd de configuratie van de wanden bij de drie overgebleven caisson-

types gevarieerd, teneinde een oplossing te vinden waarbij de krachten op de wanden zo gering mogelijk zijn.

Golfklappen

Hoewel de term golfklappen vaak ten onrechte gebruikt wordt als men de totale golfbelasting op een constructie bedoelt, is het toch lang niet hetzelfde. Maar wat is het verschil?

In figuur 1 is het wateroppervlak getekend dat behoort bij een quasi-statische golfbelasting. De wand reflecteert de inkomende golf, zodat een zogenaamde staande golf met buiken en knopen ontstaat; de waterspiegel ter plaatse van de wand rijst en daalt alleen maar, de golf komt echter niet los van de wand. Door de waterspiegelstijging en -daling



ontstaan drukverhogingen en drukverlagingen tegen de wand die gesommeerd over de hoogte de totale quasi-statische golfbelasting opleveren.

In figuur 2 ziet men daarentegen een golfklap. Het golf front is losgekomen van de wand en botst er tegen aan. Deze botsing gaat gepaard met grote plaatselijke drukken. Als de quasi-statische belasting vergeleken wordt met het leunen op een plank, dan komt de golfklap overeen met een karateslag. Wie het precies wil weten, kan het verschil aan den lijve voelen in een zwembad. Als men zich onder water begeeft en langzaam stijgt en daalt dan voelt men op de trommelvliezen een quasi-statische belastingsfluctuatie. Wie zich vervolgens plat op de buik van de hoge duikplank laat vallen, vergeet het verschil daarna nooit meer.

Golfklappen zijn meestal niet gevaarlijk voor de stabiliteit van de constructie als geheel. Bij de quasi-statische golfbelasting is de golfperiode veel groter dan de eigen trillingsperiode van de caisson plus de ondergrond. Bij golfklappen is het andersom: ze verlopen zo snel, dat de constructie als geheel ze nauwelijks voelt. In figuur 4 is getracht dit uit te beelden door de zogenaamde dynamische respons van een caisson op belastingen met verschillende perioden te tekenen. Delen van de constructie, met name rond de waterlijn, kunnen er echter zeer zwaar door belast worden.

Dat is des te sterker het geval als de eigen trillingsperiode van zo'n onderdeel in de buurt ligt van de duur van de golfklap. Het blijkt dat dit met name nogal eens voorkomt bij de schuiven.

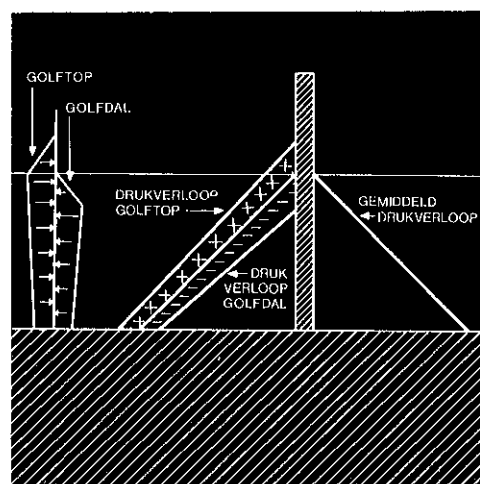
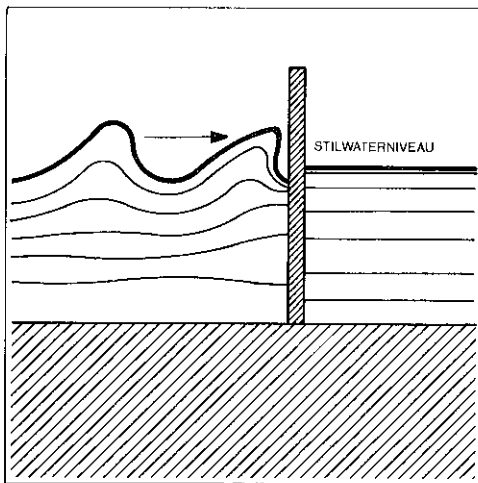


Fig 1. Golfbeweging tegen een wand en het daarmee samengangende drukverloop

Golfklappen kunnen vooral ontstaan wanneer de golven bijna breken en daardoor steil zijn. Dit komt met name voor in ondiep water. Wat dat betreft is de situatie in de Oosterschelde voorlopig gunstig, daar het water steeds vrij diep is in verhouding tot de golfhoogte. Toch kunnen als gevolg van de vormgeving ook dan golfklappen optreden. Van de duikplank af kan iemand immers ook een goede of een slechte sprong maken, en dientengevolge wel of niet een golfklap voelen. Een voorbeeld van een hydraulisch ongunstige vorm leveren de schuiven van de uitwateringssluizen in het Haringvliet (fig. 4). Om tal van redenen is daar gekozen voor een segmentschijf met het draaipunt boven water. Een onvermijdelijk gevolg daarvan is dat de schuif in gesloten stand golfklappen te verduren krijgt. Ook bij de stormvloedkerende



caissons treden bij sommige ontwerpen klappen op. Dit is bijvoorbeeld het geval wanneer de bovenkoker voor de schuif uitsteekt en wanneer de onderkant van de koker bovendien boven L.W. ligt. Bij de bespreking van de quasi-statische golfbelasting werd al gezegd dat een koker voor de schuif de verticale krachten verhoogde. Om die reden werd de koker bij de halve bak-caisson dan ook achter de schuif gesitueerd. Het lijkt echter constructief noodzakelijk hoe dan ook een wand te hebben vóór de schuif. Door de vormgeving van deze wand te variëren wordt getracht de golfklappen op de schuif zo klein mogelijk te houden. Het verschil tussen de quasi-statische golfbelasting en de golfklappen blijkt ook in het onderzoek. Bij de proeven naar de totale golfbelasting treden de golfklappen wel op,

maar ze worden niet goed geregistreerd omdat de eigen trillingsperiode van de meetveren te hoog ligt om de klap te kunnen volgen. Op de registratie is een klap weliswaar duidelijk te zien (fig. 6) maar de grootte wordt niet op betrouwbare wijze weergegeven. Om golfklappen te kunnen meten is een zeer stijf model nodig met drukopnemers die de klap in de tijd kunnen volgen. Dit stelt hoge eisen aan deze instrumenten, omdat een enkele klap zich in een fractie van een seconde afspeelt.

De stormvloedkering is in het model geschematiseerd nagebouwd uit enkele centimeters dik plaatstaal, wat een zeer stijf geheel oplevert. Het model is geplaatst in een zogenaamde windgoot, waar, behalve de normale golf die wordt opgewekt door middel van een schot, wind over het water blaast,

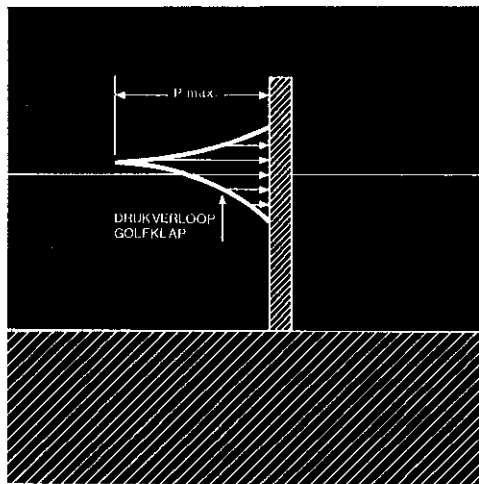


Fig. 2. Golfklap en het daarmee samengaan de drukverloop

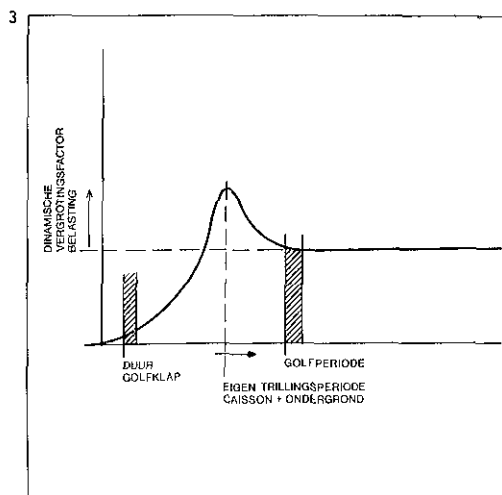
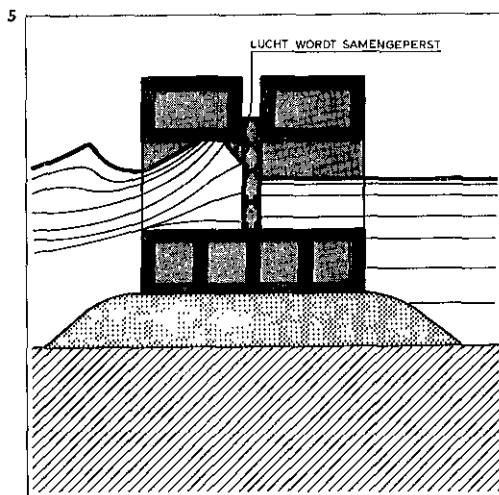
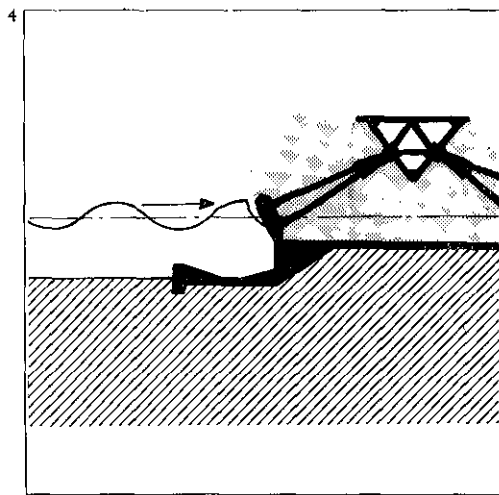
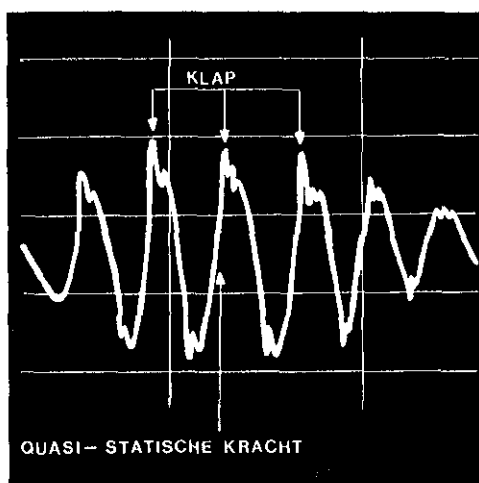


Fig. 3. Dynamische respons

Fig. 4. Optreden van een golfklap ten gevolge van de vormgeving der schuiven in de Haringvlietsluizen

Fig. 5. Samenpersing van lucht in een hoek van de caisson

Fig. 6. Registratie van golfklappen



die veroorzaakt dat de golfvorm meer in overeenstemming is met de werkelijkheid. Dit kan belangrijk zijn bij het mechanisme van de klappen. Er is nog geen bevredigend antwoord gevonden op de vraag, welke schaalregels men moet hanteren om het effect van golfklappen in het model te vertalen naar de werkelijkheid.

Bij normale golf- en stromingsmodellen is het omrekenen naar de werkelijkheid vrij eenvoudig. In het geval van golfklappen ligt de zaak echter veel gecompliceerder, omdat er, naast de elementen water en constructie, nog een factor bijkomt, de lucht. Sterk vereenvoudigend zou men kunnen zeggen dat de lucht als een soort veer werkt tussen het water en de constructie. De klap is dan enigszins te vergelijken met een gewicht dat op een zuiger valt.

Toch is dit een te verregaande simplificering. In veel gevallen speelt bijvoorbeeld ook de hoeveelheid luchtbellen in het water zelf een rol. In feite bestaat er nog geen volledig inzicht in de fysica van de golfklappen, zodat het omrekenen van modelresultaten naar de werkelijkheid een netelig karwei blijft. De in het model gevonden waarden liggen echter aan de ongunstige kant, omdat de lucht in het model relatief te stijf is. Het gevaar dat men te optimistisch zou worden op grond van de modelresultaten en daardoor een onveilige constructie zou bouwen is dus gering. Om economische redenen is meer inzicht in deze materie echter gewenst.

In de afgelopen periode is een groot aantal varianten onderzocht ten behoeve van het ontwerp van de kering. De beschreven onderzoeken zijn voor het merendeel gedaan bij één randvoorwaarde, en wel de ontwerp-waterstand met de daarbij horende golf; op die manier werd het mogelijk een vergelijking te maken tussen de diverse ontwerpen. Naarmate het ontwerp convergeert naar een beperkt aantal oplossingen, worden er per variant meer toestanden onderzocht. Uiteindelijk worden dan bij het definitieve ontwerp zoveel mogelijk toestanden onderzocht die gedurende de levensduur van de constructie kunnen optreden: alle denkbare combinaties van golfhoogten, golfspectrumvormen, golf-richtingen, waterstanden buiten, waterstanden binnen, en dus ook van vervallen over de kering. Ook de situaties waarin de schuiven zich kunnen bevinden – open, gesloten, half gesloten met weigerende schuif en dergelijke – komen één voor één aan bod. Verwacht mag worden dat dit toegespitste onderzoek geruime tijd zal duren voordat de stormvloedkering in alle details gedimensioneerd kan worden.

Het ontgrondingsonderzoek

Het doel van het ontgrondingsonderzoek is de bepaling van de benodigde hoeveelheid bodembescherming. Dit is echter niet alleen een hydraulisch probleem. De criteria bij de bepaling van de lengte zijn van grond-mechanische aard. Voorlopig uitgangspunt is dat er geen afschuivingen en zettingsvloeiingen mogen optreden aan de rand. Ter voorkoming hiervan wordt het zand ter plaatse van de rand van de bodembescherming verdicht op dezelfde manier als onder de caissons, en wordt de kuilhelling bestort. Het verdichten moet vooraf gebeuren, maar het bestorten kan waarschijnlijk alleen tijdens het ontgronden gedaan worden.

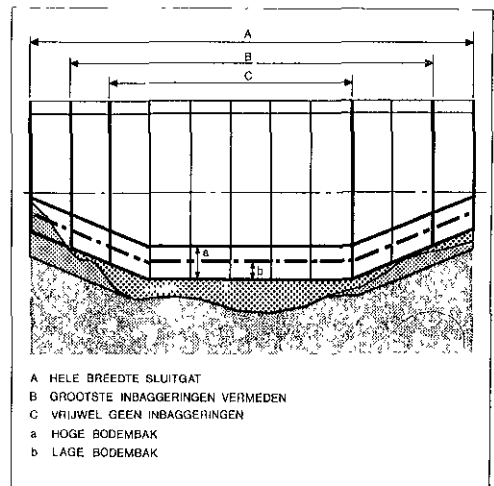


Fig. 7. Hoofdvarianten in de mogelijke vormgeving van het wintersluitgat

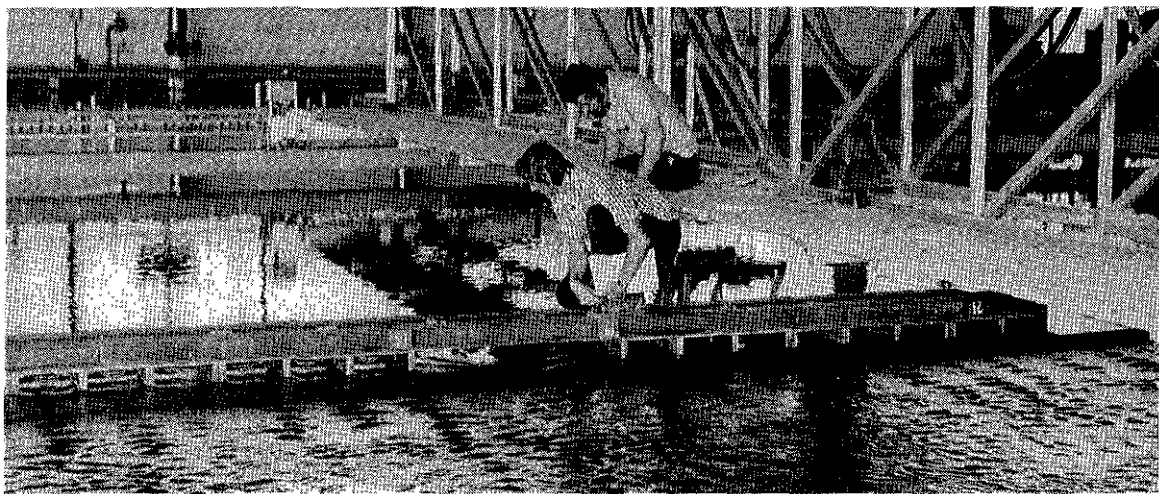
Waterloopkundig modelonderzoek in Model 1001 te De Voorst

De lengte van de bodembescherming wordt door twee factoren bepaald. Ten eerste mag de kuil niet dieper worden dan de maximale diepte waarover verdicht kan worden, dat is ongeveer 15–25 m, en ten tweede mag de ontgroning niet zo snel verlopen dat de hellingen niet bijgestort kunnen worden. In de afgelopen maanden werd een aantal combinaties van sluitgat- en caissonvormen onderzocht. In feite geldt hier hetzelfde als wat gezegd is bij het golfonderzoek. Voor een relatief groot aantal varianten werd onderzoek gedaan bij een beperkt aantal randvoorwaarden, namelijk de drempelfase, de toestand met alle caissons geplaatst en de eindtoestand. Inmiddels is ook globaal onderzoek gedaan naar de caissonplaatsingen en de plaatsing van eventuele roosters. Bij een meer definitief ontwerp moeten alle

bouwfasen onderzocht worden. Tot nu toe is het onderzoek steeds gedaan met de bodembescherming die ontworpen was voor de blokkendamsluiting van de Oosterschelde, die reikt van 200 tot 250 m aan weerszijden van de as. Om te bepalen hoever de bodembescherming moet worden verlengd, is zowel gebruik gemaakt van in het verleden uitgevoerd systematisch onderzoek als van de resultaten van het tweedimensionale ontgrondingsonderzoek voor de stormvloedkering. Voor een aantal varianten betekent dit echter een zeer grote extrapolatie, zodat de getallen slechts kunnen gelden als een eerste schatting. In Bericht 72 werd gesteld dat een zo goed mogelijke spreiding van het energieverlies de kleinste ontgrondingen oplevert en dus de geringste hoeveelheid bodembescherming vergt. Dit is bij het onder-

belangrijke rol. Duidelijk is wel dat ook bij een 'mooie' eindoplossing 200-250 m bodembescherming niet voldoende is. Men moet zeker denken aan het dubbele van die lengte.

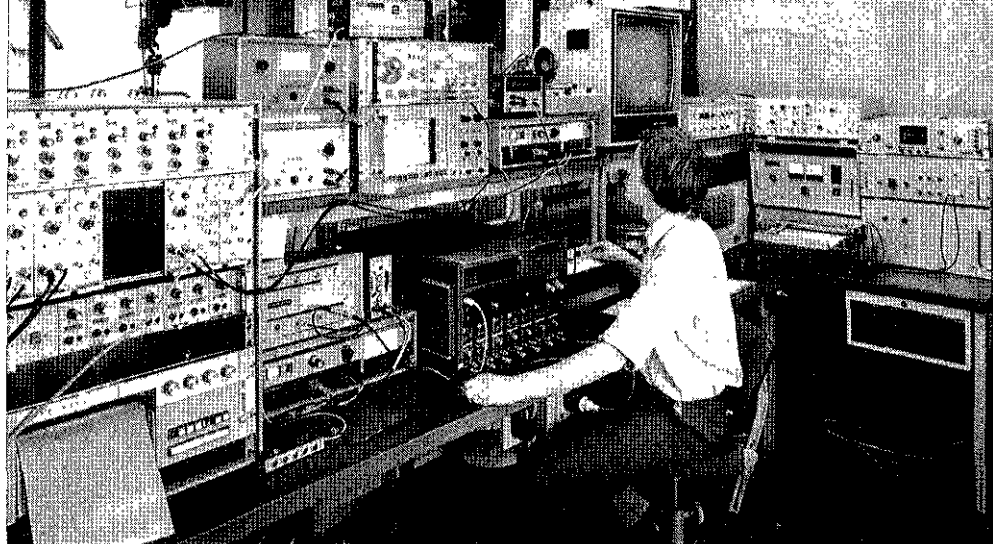
Een praktisch probleem waar men bij zeer lange bodembeschermingen op stuit is dat het ontgrondingsmodel van de sluitgaten in de huidige vorm niet geschikt is om daar onderzoek naar te doen. Het model is destijds ontworpen met het oog op de totale afsluiting van de Oosterschelde waarbij de bodembescherming maximaal 250 m lang zou behoeven te zijn. Door een kleine verbouwing is het nu wel mogelijk lengtes tot 550 m te onderzoeken, maar voor nog grotere lengtes zal het model ingrijpend verbouwd moeten worden, wat vele maanden zal duren. En dan nog geeft een dergelijk onderzoek alleen



zoek ook duidelijk gebleken. Bij toepassing van roosters over de volle sluitgatbreedte, wat spreiding betekent van het energieverlies zowel in horizontale als in verticale zin, blijkt een bodembescherming van 200-250 m in de eindfase voldoende. Wordt in de eindfase alleen het diepe deel van het sluitgat gebruikt, bij een overigens even groot doorstroombrofiel, dan is de verwachting dat een lengte van 1500 m aan weerszijden van de as nodig zal zijn. Dit geldt slechts voor de eindfase, wanneer alle caissons en schuiven geplaatst zijn.

Het beeld kan echter ongunstiger zijn tijdens de bouwfasen. Het plaatsen van de roosters zou grote ontgrondingen kunnen veroorzaken, wanneer het gebeurde door ze één voor één te plaatsen vanuit de oever. De tijd die met zo'n plaatsing gemoeid is, speelt een zeer

maar inzicht in de erosie in de nabije omgeving van de kering. Over de gevolgen van een dergelijke vernauwing voor de morfologie van de geulen en de aanval op de oevers op grotere afstand is bij de huidige stand van kennis op grond van hydraulisch modelonderzoek vrijwel niets te zeggen. Niettemin is de te verwachten morfologie van het bekken en de zeemond in de eindtoestand van het grootste belang voor het ontwerp. Hoe snel de eindtoestand bereikt zal worden en op welke plaatsen de morfologische veranderingen zich het eerst zullen voltrekken, is afhankelijk van de optredende getijstroomsnelheden op het bekken tijdens en na de uitvoering van de werken en tevens van het aanbod van sediment uit zee. De te verwachten stroomsnelheden op het bekken kunnen worden bepaald met behulp



van getijberekeningen en hydraulisch modelonderzoek. De sedimentaanvoer uit zee kan uit sediment-gehaltemetingen in de huidige toestand worden geschat, wanneer men aanneemt dat de sedimentconcentratie in het water niet ingrijpend zal veranderen tengevolge van de werken. Voor de slibtransporten in het gebied zal dit vermoedelijk wel een redelijke benadering zijn.

Wat betreft het zandtransport moet men echter wel rekening houden met invloed van de werken. Door toeneming van de stroomsnelheden in de omgeving van de stormvloedkering zal aan weerszijden van de bodembescherming zand van de bodem worden geërodeerd, dat bij vloed naar binnen wordt getransporteerd en bij vermindering van de snelheden in het binnengebied tot bezinking komt.

De grootte van het zandtransport in het buiten- zowel als het binnengebied kan geschat worden met behulp van bekende rekentechnieken, als functie van de optredende stroomsnelheden. Uit de getijberekening kan de stroomsnelheidsverdeling bepaald worden, en hieruit vervolgens het verloop van het zandtransport en de plaatsen van erosie en sedimentatie.

Teneinde het aanbod van slib uit zee te kunnen bepalen dienen de sedimentconcentraties van het water onder verschillende omstandigheden gemeten te worden. Tijdens de natuurmetingen ten behoeve van het tweedimensionale model RD-II is daar al een begin mee gemaakt.

In drie punten in de as van het damtracé werden watermonsters genomen, waaruit de sedimentconcentraties bepaald zullen worden. De omstandigheden waren toen echter erg

Meet- en registratieapparatuur voor de golfgoot in het Waterloopkundig Laboratorium te De Voorst

rustig. Uit sedimentconcentratiemetingen op zee is gebleken, dat de sedimentgehalten onder stormcondities zeer sterk kunnen toenemen, mede door opwerveling van de bodem onder invloed van de golfbeweging. Om hier meer inzicht in te verkrijgen zullen ook onder ruwere weersomstandigheden sedimentgehalten gemeten worden, waarna getracht zal worden correlaties te bepalen tussen stroom-, golf- en windgegevens enerzijds en sedimentgehalten anderzijds.

Teneinde na te gaan waar en onder welke omstandigheden slib tot bezinking komt dienen simultane sedimentgehaltemetingen te worden uitgevoerd in een aantal raaien in de Oosterschelde, waarbij tevens de hydraulische factoren stroom, golf en wind gemeten worden. Aan de opzet van deze metingen wordt thans gewerkt.

De voorgenomen sluiting van de Oosterschelde met een stormvloedkering bestaande uit caissons heeft een veelheid van activiteiten ontketend, ook in de wereld der grondmechanica.

De activiteiten hebben onder meer betrekking op een aantal nieuwe aspecten van het grondmechanisch onderzoek die eerst sinds korte tijd de aandacht trekken. Daarbij denken we voornamelijk aan cyclische verschijnselen ten gevolge van de golfbelasting die, zij het in wat andere vorm, ook optreden bij aardbevingen en bij de grote betonnen zwaartekrachtconstructies die in de Noordzee worden geplaatst voor de olie- en gaswinning.

Het grondmechanisch onderzoek omvat in de eerste plaats het terreinonderzoek, waarbij onder vrij moeilijke omstandigheden ter eerste verkenning van de ondergrond enige honderden sonderingen zijn gemaakt. Deze sonderingen zullen worden gevolgd door boringen, waaruit monsters worden gewonnen die in het laboratorium zullen worden beproefd. Tevens zullen in het terrein verschillende grondmechanische parameters worden gemeten, zoals dichtheid, doorlatendheid, horizontale terreinspanning en spanning-rekrelaties van de ondergrond.

Daarnaast verricht men laboratoriumonderzoek waarbij ook weer parameters worden vastgesteld als doorlatendheid, maximum- en minimumdichtheid, kritieke dichtheid, korrelverdeling, spreiding van de korrelgrootte, korrelvorm en vooral spannings- en vormingsrelaties. Voor het vaststellen van deze laatste relaties wordt onder andere gebruik gemaakt van cyclische triaxiaalproeven, cyclische plane strain proeven en cyclische simple shear proeven.

Al deze parameters vormen de bouwstenen bij de bestudering van de specifieke problematiek van de Oosterscheldesluiting, voorzover die ligt op het terrein van de grondmechanica. Er zijn inderdaad vele deelproblemen met een grondmechanisch aspect, zoals de stabiliteit van de rand van de bodembescherming en van de aansluitende oevers, de algemene funderingswijze van de caissons, de verdichting van zowel de ondergrond als de drempel, verwekingsverschijnselen die in de ondergrond kunnen optreden, de penetratieweerstand van de ribben die mogelijk onder de caissons worden aangebracht, de wrijvingscoëfficiënt tussen de

Deformatiegedrag en stabiliteit van de caissons

onderkant der caissons en de bovenkant van de drempel, de verdeling van de contactdruk onder tegen de caissons en de invloed van de variërende waterspiegel rondom de caissons op de wateroverspanningen in de ondergrond.

De stabiliteit van de caissons en de verplaatsingen van de caissons ten gevolge van deformaties in de ondergrond behoren mede tot deze problematiek, maar zij nemen daarin een bijzondere plaats in, reden waarom we ons in dit artikel zullen beperken tot deze twee punten en ons in het bijzonder bezig zullen houden met de proeven die in dit kader worden gedaan met een Lauwerszeecaïsson in de werkhaven Neeltje Jans.

Op korte termijn kunnen vragen op het gebied van deformatiegedrag en stabiliteit van de caissons worden beantwoord met behulp van min of meer gebruikelijke methoden. Hierbij moet vaak vanuit de huidige ervaring worden geëxtrapoleerd. Het is duidelijk dat deze extrapolaties over het algemeen leiden tot een conservatieve interpretatie der verschijnselen. Het belang en ook de omvang van de te bouwen constructie rechtvaardigen na de inleidende fase een meer gedetailleerd en een meer diepgaand voortgezet onderzoek. Kenmerkend voor dit geavanceerd onderzoek is dat een aantal concurrerende methoden van onderzoek op het probleem kunnen worden toegepast, zonder dat reeds duidelijk is welke methodiek de voorkeur geniet. Daarom worden door een aantal onafhankelijk van elkaar en langs verschillende lijnen werkende experts een aantal berekeningsmethoden verder ontwikkeld. Daarbij kunnen in hoofdzaak twee rekenmodellen worden

onderscheiden. Volgens de eerste methode voert men stabiliteitsberekeningen uit met behulp van de plasticiteitstheorie. Bij de beschikbare methoden van dit type verkrijgt men alleen informatie over het al of niet stabiel zijn van de constructie. Het deformatiegedrag komt niet ter sprake. Getracht wordt de bestaande methoden zo aan te vullen dat ook het deformatiegedrag kan worden voorspeld.

De andere methode voert deformatieberekeningen uit met behulp van de eindige-elementen-methode. Bij deze berekeningen kunnen nog een drietal aanpakken worden onderscheiden. Bij de eerste aanpak wordt gebruik gemaakt van een bestaand, betrekkelijk eenvoudig eindige-elementen-programma, waarbij veel aandacht wordt besteed aan de in te voeren grondparameters. Bij de tweede aanpak worden in twee bestaande consolidatieprogramma's de dilatantie, dat zijn de volumeveranderingen die optreden ten gevolge van schuifspanningen, en de plasticiteit ingebouwd, terwijl relatief veel aandacht aan het rekenmodel wordt besteed, terwijl bij de derde aanpak in een bestaand plasticiteitsprogramma het effect van de generatie en diffusie van wateroverspanningen wordt opgenomen. Ook bij deze aanpak wordt relatief veel aandacht besteed aan het rekenmodel.

Behalve van rekenmodellen wordt er ook nog gebruik gemaakt van twee modeltechnieken, te weten 1 g en n g -modelproeven. 1-g-Modelproeven worden gedaan in een bak van 1,60 meter diep met een oppervlakte van 2,5 x 4 m, gevuld met verzadigd zand. Om de generatie en dissipatie van de wateroverspanningen in het poriënwater op schaal na te bootsen wordt het poriënwater dat normaliter in het zand aanwezig is, vervangen door een meer visceuze vloeistof, melasse. Omdat deze proeven worden gedaan bij de normale zwaartekracht, hebben ze de naam 1-g-modelproeven gekregen. Dit in tegenstelling tot de n-g-modelproeven, waarbij de atmosferische druk onder laboratorium-omstandigheden wordt opgevoerd. Het grondgedrag blijkt namelijk sterk afhankelijk van het spanningsniveau. Deze proeven worden gedaan in een centrifuge waarbij de op het model werkende zwaartekracht volgens de lengteschaal wordt verhoogd. Voor het proefcaisson is deze schaal 1 : 33, voor de werkelijke caissons 1 : 110. Hiermee bereikt men dat het spanningsniveau op overeenkomstige punten in het model en in het terrein gelijk ligt.

Gezien het gebrek aan ervaring met deze soorten van belasting, is het beslist noodzakelijk om de resultaten van de genoemde voorspellingsmethoden te toetsen aan proeven in het terrein, zoals ook al werd aangekondigd in Bericht 72 (mei 1975).

Daarom is besloten op een tweetal lokaties een caisson te onderwerpen aan een belastingprogramma dat zoveel mogelijk de belasting op de werkelijke caissons nabootst. Op de eerste lokatie is de ondergrond niet verdicht. De caisson wordt onmiddellijk op de ondergrond geplaatst. De uit grondmechanisch oogpunt interessante verschijnselen, zoals deformaties, generatie en dissipatie van wateroverspanningen en eventuele verwekingsverschijnselen zullen zich hier het duidelijkst manifesteren. Het aksent ligt bij deze proef op de toetsing van de voorspellingsmethodieken.

Op de tweede lokatie is de ondergrond verdicht met kifpalen. De caisson wordt hier geplaatst op een 1 meter hoge drempel van hoogovenslakken. Bij deze proef is gestreefd naar een modelproef van de werkelijke situatie. De resultaten van deze proeven zullen met alle genoemde methoden worden voorspeld. Een commissie zal de verschillende voorspellingsmethoden evalueren voornamelijk aan de hand van de resultaten van deze caissonproeven. Op basis daarvan kan ze vervolgens aanbevelingen doen met betrekking tot de onderzoeken voor en de berekeningen van het definitieve ontwerp van de stormvloedkering.

Keuze van een proefcaisson

Als proefcaisson had de Rijkswaterstaat drie caissons beschikbaar van verschillend type, te weten

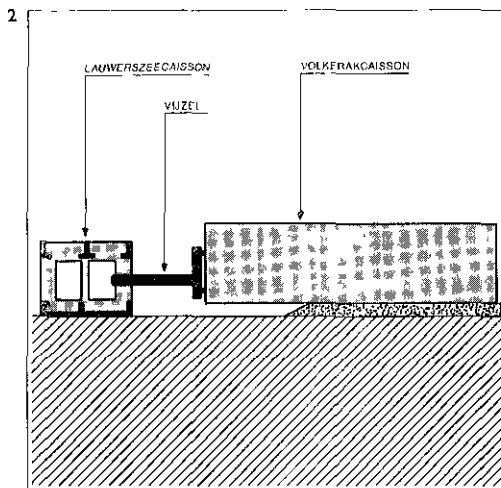
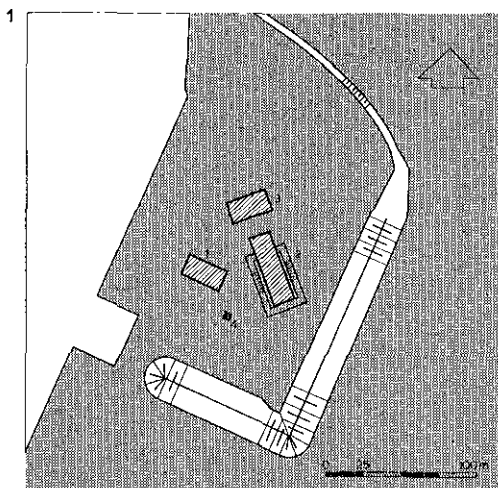
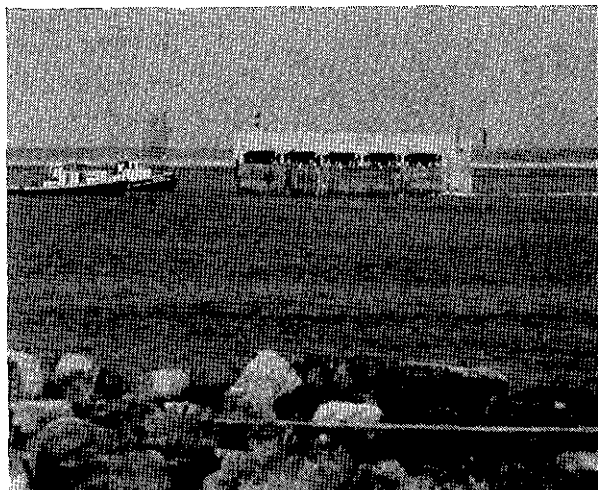
	oppervlak	diepgang	gewicht boven water in tonnen
Phoenix	62 x 13,4 m ²	5,0 m	4150
Volkerak	43 x 15 m ²	4,8 m	3250
Lauwerszee	27,7 x 15 m ²	3,6 m	1535

Een vergelijkende evaluatie van de drie caissons leverde het volgende op. Het bodemoppervlak van de *Phoenixcaisson* is praktisch gelijk aan dat van de *Volkerakcaisson*, maar in langsdoorsnede gezien heeft de *Phoenixcaisson* afgeschuinde hoeken, zodat de bodemoppervlakte ervan bij zakking

Voor proefnemingen wordt een overgebleven Lauwerszee-caisson versleept naar de werkhaven Neeltje Jans

Fig. 1. Opstelling van de caissons in de werkhaven Neeltje Jans. 1: Eerste positie van de Lauwerszeecaïsson; 2: Volkerak-caïsson; 3. Tweede positie van de Lauwerszee-caïsson; 4 Tussenstation

Fig. 2. Schematisch aanzicht van proefcaïsson, vijzel en reactie-caïsson



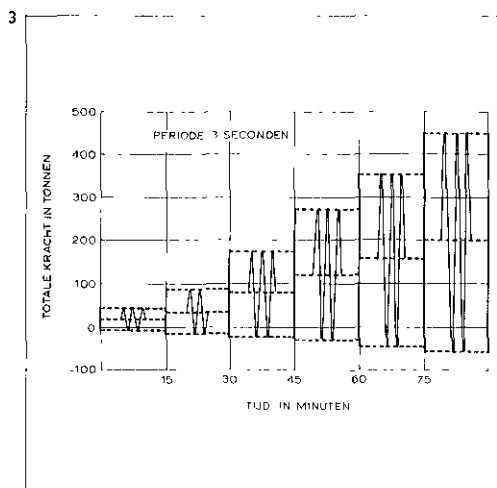
toeneemt. De plaats en de afmetingen van de wapening van de Phoenixcaïsson zijn onbekend. Berekeningen om na te gaan of deze caïsson bestand is tegen de aan te brengen krachten, zouden pas kunnen worden gemaakt na een uitgebreid Röntgen-onderzoek. Dat zijn allemaal nadelen. Bovendien is de Phoenixcaïsson te zwaar. De lengte/breedte-verhouding van de Volkerakcaïsson bootst de gewenste vlakke vervormingstoestand beter na dan de lengte/breedte-verhouding van de Lauwerszeecaïsson. Vanwege de lengte zou bij deze caïsson echter een zware constructie nodig zijn om de krachten gelijkmatig te verdelen. Ook deze caïsson is te zwaar. De uit te oefenen horizontale krachten zouden in de buurt van 1200 à 1500 ton liggen. Er kon geen fabrikant worden gevonden die binnen de beschikbare

tijd een dergelijke belastingsinstallatie kan leveren.

Overwogen is of het mogelijk is het caïsson-gewicht te verminderen. Dit bleek op allerlei praktische bezwaren te stuiten. De Volkerakcaïsson komt dus evenmin als de Phoenixcaïsson in aanmerking als meetcaïsson. Wel kan hij bij de proef betrokken worden als zogenaamde reactie-caïsson.

Gezien de bezwaren tegen de beide andere caïssons is tenslotte de Lauwerszeecaïsson verkozen, voornamelijk vanwege zijn handelbaar gewicht. De lengte/breedte-verhouding is niet zo gunstig als bij de andere caïssons; in principe heeft het overspannen poriënwater gelegenheid om ook in lengterichting af te stromen. Maar omdat wordt verwacht dat de belangrijkste fenomenen zich zullen afspelen in de bovenste 5 à 7 meter van

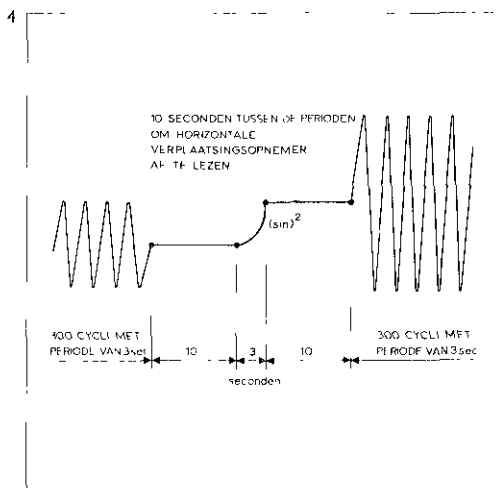
de ondergrond, zijn de afmetingen van deze proefcaisson toch aanvaardbaar bevonden. Wel ligt de contactdruk van deze caisson aan de lage kant. De onderzijde is glad. Om het gewichtsverschil door de getijbeweging tijdens de proef zo klein mogelijk te houden, zal de caisson gedurende de proeven aan de zijkanten open zijn. Om de aan te brengen krachten te kunnen opnemen, moet hij bovendien nog worden versterkt. Voor de proeflokatie is gezocht naar een plaats waar de grondopbouw in wezen dezelfde is als ter plaatse van het afsluittracé, waar bovendien weinig stroming is en die beschut ligt, terwijl er ook voldoende diepte moet zijn om de caisson te kunnen invaren. De lokatie moet goed bereikbaar zijn, en op de bodem mag geen slib liggen, omdat de hele caisson over zo'n sliblaag kan wegglij-



den en het slib bovendien de drainage belemmert.

Deze eisen bleken dermate tegenstrijdig dat er op korte termijn geen plaats kon worden gevonden die aan alle eisen voldeed. Tenslotte werd besloten de proeven te doen in de werkhaven Neeltje Jans, aan de noordelijke zijde van het reeds voltooide damvak in het midden van de Oosterschelde. Deze keuze werd gedaan hoewel bekend was dat een sliblaag van een meter dik in het aan weinig stroming onderhevige water was neergeslagen. Verwijdering van dit slib zonder meer zou weinig zin hebben, omdat het in de kortst mogelijke tijd zou zijn teruggekeerd. Daarom werd een gedeelte van de werkhaven afgesloten met een ringdijk, om te verhinderen dat er in het afgesloten gedeelte

opnieuw slib zou neerslaan. Het aanwezige slib werd vervolgens weggebaggerd. De Volkerakcaisson, die dienst doet als reactie-caisson, werd op een drempel geplaatst zodat hij aan de kant van de proefcaisson kon overkragen. Door dit te doen werd de afstand tussen de funderingsvlakken van de beide caissons zo groot mogelijk gemaakt. Uit berekeningen volgde dat de reactie-caisson de spanningen onder de proefcaisson op deze manier slechts minimaal zou beïnvloeden. Tijdens het plaatsen van de reactie-caisson in de eerste week van september bleken de grondrukopnemers en de waterspanningsmeters onder de proefcaisson in het geheel niet te reageren, zodat de aangehouden afstand kennelijk inderdaad voldoende is.



De horizontale belasting op de caissons zal in werkelijkheid bestaan uit een vervalkracht ingevolge het verschil in waterniveau tussen de Noordzee en de Oosterschelde, plus een cyclische belasting door de golven. Voor de proef moest nu een belastingsmechanisme worden ontworpen dat deze belastingen op de proefcaisson zou kunnen nabootsen. Verschillende wijzen van aandrijving werden overwogen, zoals een excitator op het caisson, rubber-fenders die met lucht zouden worden opgeblazen, elektro-magnetische systemen, schroefvijzels en tenslotte olie-vijzels. Deze laatste oplossing is verkozen omdat olie-vijzels gemakkelijk kunnen worden geprogrammeerd om iedere gewenste belasting te leveren. Voor de sturing van de vijzels is een eenheid

gebouwd met 12 funktiegeneratoren, waarmee het statische en het cyclische gedeelte van de kracht met *bijbehorende frequentie* en het aantal cycli kan worden ingesteld. Met behulp van een patch-board kan de volgorde waarin de funktie-generatoren in werking moeten komen, eenvoudig worden aangegeven.

Belastingsschema

Reeds in een vroeg stadium moest een beslissing worden genomen over het op te leggen belastingsprogramma. De verschillende experts moesten de resultaten van de proef immers vooraf gaan berekenen. Er werden laboratoriumproeven gedaan waarbij de aan de monsters op te leggen spanningen afgestemd waren op bepaalde, in het terrein te verwachten spanningsniveaus.

Fig. 3. Tijdschema voor de belastingsstappen

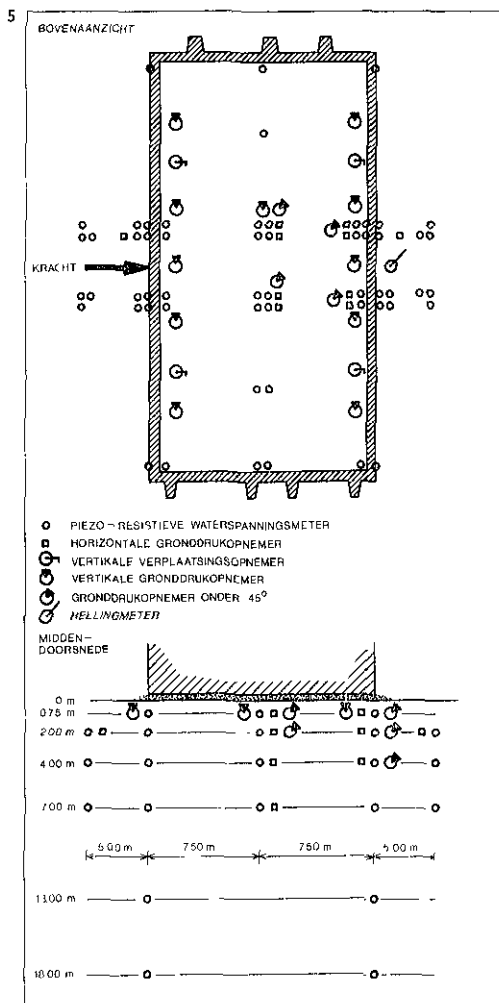
Fig. 4. Schakeling naar een volgende belastingsstap

Fig. 5. Instrumentatie onder en naast de proefcaisson

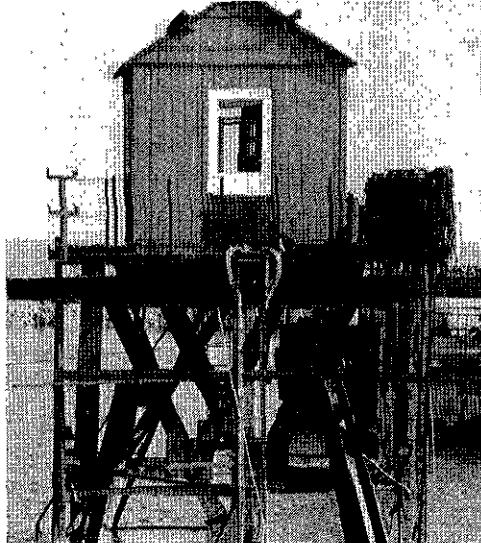
Het belastingsprogramma is erop gebaseerd een situatie na te bootsen waarin het gemiddeld zeeniveau langzaam stijgt van N.A.P. naar N.A.P. + 5 meter, waarbij de golfkrachten overeenkomstig groter worden. Omdat de lengteschaal van de proef 15 : 50 bedraagt, zijnde de verhoudingen van de breedten van de Lauwerszeecaïsson en de vermoedelijke lengte van de caïsson waaruit de stormvloedkering zal zijn opgebouwd, moet de tijd waarin de wateroverspanningen worden opgebouwd en weer afstromen, worden voorgesteld op schaal 1 : $(15/50)^2$, dus ongeveer op schaal 1 : 10.

Aannemende dat het oplopen van de waterpiegel aan de Noordzee-zijde tot N.A.P. + 5 meter in het allerergste geval 12 uur duurt, komen we dan op een belastingsprogramma dat 1,2 uur in beslag neemt.

Aanvankelijk werden vijf belastingsstappen gekozen, ieder van 15 minuten. In iedere belastingsstap is zowel het statische als het cyclische deel van de belasting hoger dan bij de voorgaande belastingsstap. De periode van de golven op de werkelijk te bouwen caïsson bedraagt 10 seconden, hetgeen betekent dat de periode van de belasting op de proefcaïsson bij een tijdschaal van 1 : 10, 1 seconde zou moeten zijn. Omdat gevreesd werd dat de vijzels zo'n hoge frequentie niet zouden kunnen halen, werd de periode vastgesteld op 3 seconden. In een later stadium is gebleken dat de belastingsinstallatie bij vijzelverplaatsingen van 2,5 cm een periode van 1,5 seconden kan halen. Het ligt in de bedoeling in een vervolg-proef het effect van deze hogere frequentie te bestuderen. De periode van



Het tussenstation van buiten.
De kabels van de meetinstrumenten komen langs de ladder naar boven



3 seconden zal echter gedurende het gehele eerste belastingsprogramma worden aangehouden.

Aan het einde van iedere belastingstrap wordt de kracht gedurende 10 seconden constant gehouden om gelegenheid te geven de hellingmeters in de horizontale verplaatsingsopnemer af te lezen. Daarna gaat het statische gedeelte van de kracht volgens een quadratische sinusfunctie naar een hogere waarde, wordt daarop weer 10 seconden constant gehouden en begint dan met het cyclische belasten.

Ter plaatse van lokatie I werd een uitgebreid grondonderzoek gedaan. De verschillende voorspellingsmethodieken vragen immers om verschillende soorten onderzoek, terwijl ook rekening moest worden gehouden met de ervaring die de verschillende experts hadden met bepaalde terreinmetingen. Uitgevoerd werden sonderingen, SPT-metingen, dichtheidsmetingen, doorlatendheidsmetingen, pressiometermetingen en boringen. Monsters uit de boringen werden in diverse laboratoria beproefd, waarbij de parameters werden bepaald die in de inleiding zijn vermeld.

Instrumentatie

In de grond onder en naast de proefcaisson is, na voltooiing van het grondonderzoek, een groot aantal meetinstrumenten aangebracht. Er worden waterspanningen, grondspanningen en verplaatsingen gemeten. Geen van de voorhanden zijnde instrumenten bleek in staat om met de vereiste nauwkeurigheid dynamische verschijnselen te meten. Daarom moesten er nieuwe opnemers

worden ontwikkeld en vervaardigd. Vooral het meten van cyclische verplaatsingen in de ondergrond bleek daarbij een probleem. Het lag aanvankelijk in de bedoeling om de waterspanningsmeters uit te rusten met een onderdeel waarmee de diepte van de opnemers zou kunnen worden bepaald. Zodoende zouden ook de verticale grondbewegingen kunnen worden getraceerd. Het bleek echter niet mogelijk deze apparatuur voldoende nauwkeurig te maken om er bruikbare resultaten van te kunnen verwachten.

De verticale gronddrukken moesten worden gemeten met horizontaal liggende grond-drukdozen. Hiervoor moet een gat in de ondergrond worden geboord, waarin dan een drukdoos horizontaal op de bodem wordt geplaatst; vervolgens moet het gat weer worden aangevuld. Het bleek onmogelijk het gat zo aan te vullen dat de aanvulling even stijf is als de naastliggende grond. Dat resulteert altijd in een zekere vertekening van de werkelijke drukken. Bij een lossere aanvulling krijgt de drukopnemer nauwelijks belasting, bij een vastere aanvulling trekt de drukopnemer belasting naar zich toe. Besloten is daarom, deze metingen van de verticale grondspanning te vervangen door de meting van grondspanningen met een drukopnemer die onder een hoek van 45° in de grond staat.

In combinatie met een verticaal weggedrukte gronddrukopnemer kunnen dan in elk geval gronddrukken in twee onafhankelijke richtingen worden gemeten, waaraan de door de experts berekende waarden kunnen worden getoetst.

De meetinstrumenten staan voornamelijk geconcentreerd in twee identieke raaien in

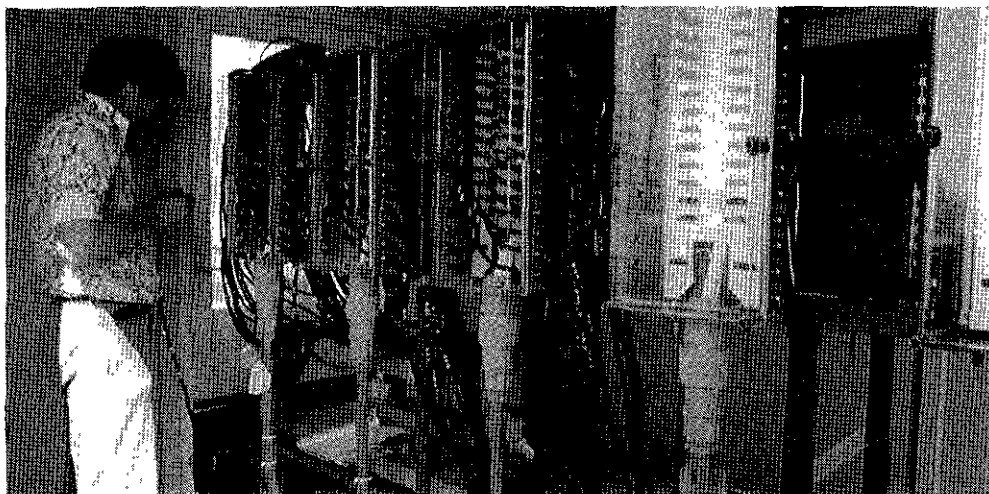
het midden van de caisson, omdat de vlakke vervormingstoestand op deze plaats het best wordt benaderd. Gemeten wordt in principe op 0,75, 2, 4 en 7 meter beneden de bodem. Enige waterspanningsmeters zijn geplaatst op 13 en 18 meter diepte.

Op de lokatie van proef 1 zijn thans 56 waterspanningsmeters en 20 grondrukopnemers geplaatst. Van deze laatste opnemers zijn er 10 verticaal geplaatst om de horizontale gronddruk te meten; 10 stuks staan onder een hoek van 45° .

Al deze opnemers zijn geplaatst met behulp van een speciaal voor dit doel gebouwde kooi-achtige constructie, 10 meter hoog, die op de bodem werd neergezet en dan verscheidene opnemers tegelijk kon wegdrukken. Om de vele kabels te beschermen tegen

mechanische beschadigingen zijn ze afgedekt met ongeveer 30 cm zand. Van deze gelegenheid werd tevens gebruik gemaakt om 12 grondrukopnemers neer te leggen op de oorspronkelijke bodem, waarmee de contactdrukken onder de caissonbodem kunnen worden gemeten.

Er zullen verder nog 4 verticale verplaatsingsopnemers worden geplaatst, die bestaan uit 16 meter lange strengen waarmee op 5 niveaus, te weten op 0,75, 2, 4, 7 en 11 m diepte, de verticale grondverplaatsing wordt opgemeten met behulp van inductieve verplaatsingsopnemers. Een punt op 16 meter diepte dient daarbij als referentiepunt. Jammer genoeg bleek het onmogelijk om deze verplaatsingsopnemers gereed te hebben en in de ondergrond aan te brengen voordat de caisson werd afgezonken.



Ze worden nu door gaten in de caissonbodem in de ondergrond gebracht.

Tenslotte moest nog een horizontale verplaatsingsopnemer worden geplaatst die de horizontale grondverplaatsingen in een verticaal meet met behulp van een aantal torsievrij onder elkaar geplaatste hellingmeters. De horizontale verplaatsingen volgen uit integratie van de gemeten hellingen. Deze verplaatsingsopnemer staat naast de caisson, opdat de top kan worden ingemeten. Deze apparatuur is niet geschikt voor het meten van cyclische verschijnselen omdat de daarbij optredende versnellingskrachten de aflezingen beïnvloeden.

Om plaatselijke verwekingen voor de caisson te kunnen constateren, werden er gewichten op de bodem geplaatst die bij plaatselijke verweking in de bodem wegzakken.

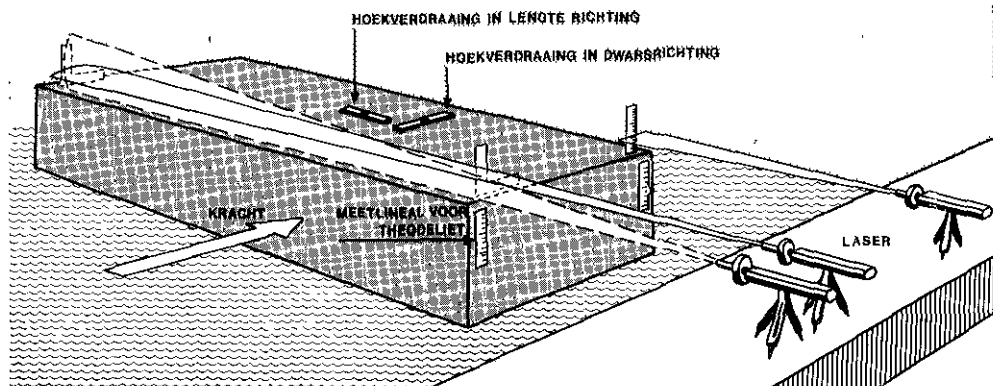


Fig. 6. Laseropstelling voor het volgen van de bewegingen van de proefcaisson

Van de caisson zelf zullen de verplaatsingen en de rotaties gemeten worden met behulp van laserstralen op de wal, die zijn gericht op een aan de caisson bevestigd fotodiode-ontvangstelsysteem. De meetnauwkeurigheid is afhankelijk van de weersomstandigheden, maar ze ligt in elk geval in de orde van 1 mm. De uitvoer van dit systeem bestaat uit analoge signalen.

De fotodiodeën voor het meten van de zakkings zijn 20 cm lang, terwijl die voor het meten van de horizontale verplaatsingen 40 cm lang zijn. Parallel aan deze automatische metingen worden visuele waarnemingen uitgevoerd. Tenslotte wordt de getij-beweging geregistreerd, evenals de vijzelkrachten.

In het tijdschema bleek er helaas praktisch geen tijd beschikbaar om het geheel van de

instrumentatie en de aandrijving in samen-gebouwde toestand te beproeven en uit te proberen. Vooral omdat hier nieuw ontwikkelde apparatuur in het geding is, is zoveel mogelijk getracht de diverse onderdelen afzonderlijk wél te beproeven. Onverwachte ernstige tegenslagen zijn in dit opzicht tot op heden niet voorgekomen.

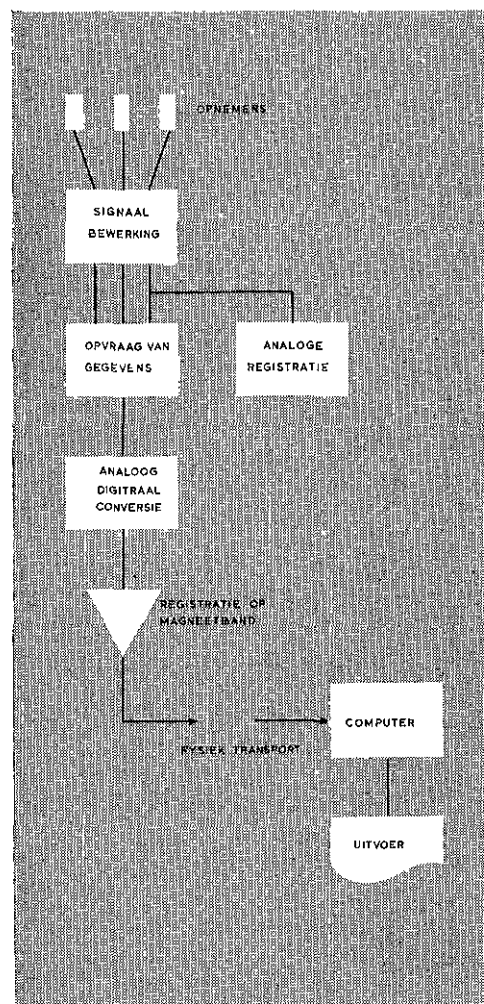
Tussenstation

Om het op- en afrijgen van de buizen waarmee een opnemer wordt weggedrukt over de kabel die de signalen van die opnemer moet overbrengen, te beperken is het gewenst dat er aan iedere opnemer een zo gering mogelijke lengte kabel zit. Anderzijds is het ook niet prettig om onder water kabels te moeten lassen.

Iedere opnemer is daarom voorzien van 100 meter 4-aderige kabel. Deze lengte is voldoende om het in het water staande tussenstation te bereiken. Daar worden de kabels opgevangen in kasten. Iedere kast biedt plaats aan 24 kabels. Dikkere verzamelkabels, bestaande uit 27×4 aders, brengen de signalen verder naar de wal.

Door de verzamelkabels aan te sluiten op andere kasten kan eenvoudig worden omgeschakeld van de ene lokatie naar de andere. In de meetkeet op de wal worden de verzamelkabels ook weer in kasten opgevangen en vandaar naar de gegevens-inwinningsinstallatie gevoerd. Verondersteld mag worden dat de meeste van de te meten verschijnselen dezelfde frequentie hebben als de opgelegde kracht. Alle meetinstrumenten, behalve de 12 hellingmeters in de horizontale verplaatsingsopnemer, worden dan ook tienmaal per belastingscyclus van 3 seconden

Fig. 7. Schema van de informatie-inwinning



afgelezen. Omdat er 128 meetkanalen zijn betekent dit $3600/3 \times 10 \times 128 =$ circa 1,3 miljoen waarnemingen per uur. Automatisering is hierbij wel op zijn plaats. Digitale registratie van de waarnemingen heeft de voorkeur gekregen boven alleen maar analoge registratie, omdat het in dit laatste geval onmogelijk is de waarnemingen verder te bewerken. De gegevens-inwinningsinstallatie in de meetkeet op de wal bewerkt de binnenkomende signalen zodat ze op een magneetband kunnen worden opgeslagen. Een magneetband kan de gegevens van ongeveer één uur bevatten. Om te voorkomen dat er een magneetband moet worden gewisseld juist wanneer de proef een kritiek stadium bereikt, wordt er met twee recorders gewerkt. De eerste recorder start een half uur voor de proef aanvangt, de tweede recorder bij het begin van de proef. Op deze manier overlappen de banden elkaar steeds half.

De meetkeet is voorzien van een klimaatregeling om vooral de gevoelige magneetband optimaal te beschermen.

Voor de verwerking van deze magneetbanden op een computer zijn inmiddels programma's gemaakt die het mogelijk maken binnen enkele dagen de miljoenen waarnemingen in een handzame vorm beschikbaar te hebben. Gezien de korte tijd die beschikbaar is voor de evaluatie van de proeven, is dit zonder meer een noodzaak.

Naast de registratie op de magneetband kunnen de signalen van 18 opnemers op analoge recorders worden geschreven, zodat tijdens de proef een visuele controle van het gebeuren mogelijk is. De uitlezingen van de horizontale verplaatsingsopnemer worden vastgelegd door een printer.

Vorderingen

1 juli-1 oktober 1975

A. De werken van het Deltaplan

Volkerak

Derde schutsluis, inlaatsluis en jachtensluis

Alle werkzaamheden aan de voorhavens van de derde schutsluis zijn gereedgekomen.

Aan de Hollands-Diepzijde werden al vier puntdeuren ingehangen.

De inlaatsluis is, voor wat betreft het betonwerk, helemaal klaar. Ook de bedieningshuisjes voor de jachtensluis naderen hun voltooiing. De overbrugging van de sluisen is inmiddels zover gevorderd dat een begin kon worden gemaakt met het aanbrengen van asfaltbeton op het brugdek, en met het stellen

van vangrails en leuningen. Gebouw K is voor 80% gereed.

Verkeerskokers op het Hellegatplein

De verkeerskokers zijn in deze periode klaargekomen en opgeleverd.

Geleidedammen, voorhavens, toeleidingsgeulen en stortebedden voor de inlaatsluis en de jachtensluis

Uit de toeleidingsgeulen en de voorhavens is thans in totaal ruim 3 miljoen m³ specie gebaggerd. De stortebedden van de inlaat- en jachtensluis zijn gereed, evenals de glooiingen in de bouwput. De uitkomende specie is, voorzover ze bruikbaar was, verwerkt in een aantal ophogingen op het Hellegatplein. De bouwput voor de inlaat- en jachtensluis werd geïnundeerd.

Damaanzet aan de kant van Schouwen, d.d. 18 aug. 1975

Brouwershavense Gat

Bouw van de doorlaatsluis

Op 16 mei vond de aanbesteding plaats van het betonwerk voor de doorlaatsluis in de Brouwersdam. Het werk werd gegund aan de aannemerscombinatie Dirk Verstoep B.V. te Gouderak en Van Hattum en Blankevoort B.V. te Beverwijk. De aannemingssom bedraagt f 11 303 000,-. Met de uitvoering werd op 23 juni een begin gemaakt. Onder de sluis is een grondverbetering aangebracht, en met de ontgraving voor de bouw van de sluisvleugels aan de zeezijde is een begin gemaakt. Tegelijk is de aanleg van een kraanbaan ter hand genomen. Aan de Grevelingenzijde van de bouwput werd de bronbemaling in het belang van de grondverbetering met een drietal bronnen uitgebreid. Men heeft ook een aanvang gemaakt met het heien van kwelschermen en damwandvleugels langs het stortebed aan de zeezijde. Voor de vloer van het schuivengebouw werd beton gestort.



Oosterschelde

Damaanzet op het elland Schouwen

Grote gedeelten van het werk aan de damaanzet op Schouwen – die technisch werd beschreven in Bericht 73 (augustus 1975), p. 159 v. – kwamen in de verslagperiode gereed. Onder meer kwam men klaar met al het mijnsteen- en zandklapwerk. In het gedeelte tussen de onderwaterkaden en de bestaande zeewering werd zand geklapt tot ongeveer N.A.P. + 3 m.

De mijnsteenkade, die moet reiken tot een hoogte van N.A.P. + 2,50 m, werd vanaf de aanzet bij het bestaande duin in oostelijke richting voortgezet. De kade aan de oostzijde van het werkterrein werd opgebouwd uit fosforslakken. Eind juli was men zover dat kon worden begonnen met het zandpersbedrijf. Ook daarbij werkte men van west naar oost. In de teen van het waterbeloop werd steen 60/300 kg verwerkt, en ingegoten met gietasfalt. De mijnsteen van het waterbeloop werd tot op N.A.P. + 4 m afgewerkt, en vervolgens afgedekt met gepenetreerde steen 10/60 kg. Het zandbeloop dat daarop aansluit werd tot op N.A.P. + 6 m onder profiel afgewerkt, en afgedekt met een asfaltbekleding. Aanvankelijk moesten de asfaltprodukten worden aangevoerd vanuit Goes. Begin augustus kwam een asfaltmolen in bedrijf op het werkterrein bij de damaanzet. Half augustus kon worden begonnen aan de duinverzwaring. Er werd vanaf de duinaanzet in westelijke richting voortgewerkt. Het zand werd onder profiel afgewerkt en afgedekt, tot een niveau van N.A.P. + 2,50 m, met gepenetreerde steen 10/60 kg, daarboven, tot N.A.P. + 6 m, met asfaltbeton. Vóór de teen van het beloop werd een gietasfaltslab gelegd.

De geleidedam ten oosten van de werkhaven werd verder opgebouwd met geklapt zand. Vóór de teen van het waterbeloop van de damaanzet en ook op het onderwaterbeloop zelve werden steenasfaltmatten gelegd door het omgebouwde

asfaltschip Jan Heymans. Dit werk heeft geduurd van begin augustus tot eind september. In de werkhaven Schelphoek werden de voor deze bodembescherming nodige wapeningsnetten gemaakt.

In verscheidene havens werd ondertussen onderhoudsbaggerwerk uitgevoerd. Begin september was men daarmee klaar. In grote hoeveelheden werden fosforslakken, steenslag, mijnsteen en stortsteen aangevoerd ten behoeve van de werken in de Oosterschelde. Grotendeels werden de aangevoerde materialen in depot opgeslagen voor later gebruik. Bij de werkhaven Schelphoek werd voor dit doel een gebaggerde put in gebruik genomen.

Bouwputten

De aanleg van de twee bouwputten waarin de caissons van de stormvloedkering zullen worden geconstrueerd, werd in de verslagperiode voortgezet.

De noordelijke bouwput, die grenst aan de Schaar van Roggenplaat, werd vooral aan de noord- en oostzijde verder afgewerkt. Over een lengte van 1150 meter werden kraagstukken en glooiingen van steenasfalt aangebracht, tot het niveau van N.A.P. + 2,50 m.

Er werd 1400 meter mijnsteenkade gebouwd, waarachter zand werd geklapt. Aan de noordelijke dijk werd het zand al gedeeltelijk op N.A.P. + 9 m gebracht.

De zuidelijke bouwput grenst aan de Roompot. De noordelijke en een gedeelte van de zuidelijke dijk werden met zand opgespoten. Aan de zuidelijke dijk worden thans kraagstukken en glooiingen van steenasfalt aangebracht, ook hier tot N.A.P. + 2,50 m. Een groot gedeelte van deze bouwput is reeds tot op de vereiste diepte gecuterd.

Dijkverhogingen

Als complement van haar besluit om de Oosterschelde af te sluiten met een beweegbare stormvloedkering nam de regering de beslissing dat de bestaande waterkeringen langs de Oosterschelde *partieel* zullen worden aangepast aan de gewijzigde

situatie. Deze aanpassing, zo preciseerde de minister later, zal moeten worden gerealiseerd in zo'n tempo dat nog vóór 1980 voldoende veiligheid is verkregen om het uitstel van de Oosterschelde-afsluiting tot ongeveer 1985 met een gerust hart te kunnen aanvaarden. Als ontwerpcriterium geldt een storm met een kans van voorkomen van eens in enkele honderden jaren. Bepalend voor de kruinhoogte van elk dijkgedeelte zullen verder de gebruikelijke factoren zijn, zoals de stormstreek en de breedte van het voorland.

Om de uitvoering van de werken binnen het tijdschema mogelijk te maken werd het Bouwbureau Dijkversterkingen Oosterschelde opgericht. Het bureau wordt bijgestaan door een stuurgroep en twee technische adviesgroepen, een Zeeuwse en een Noordbrabantse. De taak van de stuurgroep is, het gehele project op bestuurlijk niveau te begeleiden en de voortgang ervan op de voet te volgen en zonodig te stimuleren.

Begonnen werd met een inventarisatie van de toestand van de hoogwaterkeringen in het betreffende gebied. Op een paar detailkwesties na is deze inventarisatie klaar. Verwacht wordt dat de thans ter beschikking staande gegevens voldoende nauwkeurig zijn om er bestekken voor dijkverzwaringen op te kunnen baseren.

De bestekken worden in overleg met de betrokken waterschappen opgemaakt door het Bouwbureau. De aanbesteding en gunning van de bestekken geschiedt door het hoofd van het bureau. De grondverwerving en de daarbij te pas komende schadeloosstellingen en ont-eigeningen verlopen volgens een speciale procedure. Het Rijk belast zich met deze taak, en draagt het aangekochte na voltooiing der werken tegen de formele koopsom van f 1,- over aan de waterschappen.

Het grondmechanisch onderzoek voor de werken die nog in 1975 worden uitgevoerd, is gereed. Op het ogenblik is onderzoek gaande voor die dijkvakken die in 1976 zullen worden verhoogd. We geven een opsomming van

die werkgedeelten die op 1 september 1975 al in uitvoering waren, of wel in zo'n staat van voorbereiding, dat er al gedetailleerde omschrijvingen van beschikbaar zijn.

Provincie Zeeland

Op 14 mei 1975 werd het verhogen en verzwaren gegund van gedeelten van de zeedijken van de calamiteuze Jonkvrouw Annapolder, de Katspolder en de calamiteuze Leendert Abrahamspolder langs de Oosterschelde, alle behorende tot het waterschap Noord-Beveland. Dit werk moet worden opgeleverd op 15 november 1975 uiterlijk. Op 28 augustus werd aanbesteed het verhogen en verzwaren van de zeedijk van de polder Borrendamme, district Schouwen langs de Oosterschelde en het verbeteren van de Levensstrijddijk, een binnendijk tussen de Westhavendijk en de Miereweg/Weldamseweg. Dit werk moet uiterlijk worden opgeleverd op 15 juni 1976. Er is al een begin mee gemaakt, maar tijdens de uitvoering ontstonden enige grondmechanische problemen. In het zanddepot deden zich namelijk vier verzakkingen voor. Door grote voorzichtigheid in de uitvoering van het verdere werk hoopt men de schade tot een minimum te beperken.

Ook op Tholen werd een dijkversterking aanbesteed. Het betreft hier het verhogen en verzwaren van de zeedijken van de Muyepolder, de Oudelandpolder en de Noordpolder te Sint-Maartensdijk. De uitvoering van dit werk zal vrijwel geheel vallen in 1976. Op 15 juni van dat jaar moet het worden opgeleverd.

Een plan werd opgesteld voor het herstel van de schutsluis bij Goese Sas. Dit plan omvat vernieuwing van de binnen-ebdeuren, bestrijding van de onder- en achterloopsheid, het aanbrengen van bestortingen ter herstel van de stortebedden, herstel van de overige sluisdeuren, voornamelijk de buiten-vloeddeuren, en het maken van een noodkering van stalen damplanken tegen het buitenhoofd.

De nieuwe ebdeuren zijn inmiddels ingehangen, en de storte-

bedden zijn aangevuld met 100 ton fosforslakken. De gaten die de onder- en achterloopsheid veroorzaken zullen in eerste aanleg met beton worden gedicht. Daarna zal men beoordelen of er nog verdere maatregelen nodig zijn. In overleg met een ingenieursbureau wordt een plan gemaakt voor de constructie van een noodkering die bij hoge stormvloedstanden snel en met grote bedrijfszekerheid moet kunnen worden geplaatst op een onder water te maken drempel van stalen damplanken en beton.

Onmiddellijke voorziening vereiste een gedeelte van de onderzeese vooroever aan de zuidkant van het eiland Schouwen. Peilingen wijzen uit dat de stroomgeul zich daar nog steeds verder naar de oever dringt. Er wordt nergens aanzanding geconstateerd, terwijl er op lange termijn gesproken kan worden van aanzienlijke achteruitgang. Plaatselijk ontbreken zinkstukken en bestortingen, of ze zijn te gering geworden. De vooroever bestaat voor een deel uit kleiachtig materiaal. Tengevolge van de gewijzigde inzichten met betrekking tot de afsluiting van de Oosterschelde zal de stroomaanval op deze oever ook na 1978 aanhouden. Het is dan ook gewenst, op enkele punten bestortingen aan te brengen. Het gaat hier allereerst om twee vakken in de vooroever van het district Flauwers, respectievelijk 200 en 300 meter lang, en beide gelegen in de buurt van het punt waar zich in 1974 een oeverafschuiving voerde, die ernstige schade toebracht aan de dijk ter plaatse. Om te weten welke hulpmiddelen gedurende het komende stormseizoen in geval van nood in Zeeland onmiddellijk ter beschikking staan, is geïnventariseerd wat de Deltadienst en wat de waterschappen zelf in voor-

raad hebben van materialen als stortsteen 10/60 kg, steen 60/300 kg, fosforslakken en staalslakken. Het blijkt dat van deze materialen vele honderdduizenden tonnen beschikbaar zijn, en dat er tevens voldoende transportmaterieel is om voor het vervoer zorg te dragen. In voorbereiding is thans een regeling die voorziet in het op afroep verkrijgen van materiaal en materieel, wanneer een dreigende calamiteit dat wenselijk maakt. De waterschappen langs Oosterschelde en Volkerak blijken te beschikken over grote hoeveelheden zandzakken, dijkeilen en dergelijke meer.

Provincie Noord-Brabant

Op 7 augustus werd de verhoging en verzwaring aanbesteed van gedeelten van de zeedijk langs de polders Drie Vrienden en Carolina, alsmede het slopen van twee uitwateringssluizen aan het Noord-Volkerak. Aangezien het bestek voorschrijft dat de kleibekledingen en de glooiingen van dit werk op 1 oktober 1975 voltooid moeten zijn, is de aannemer al, vooruitlopend op de officiële opdracht, begonnen met het maken van een tijdelijke waterkering rond de te slopen uitwateringssluizen. Als opleveringsdatum voor het gehele werk noemt het bestek 15 november 1975.

Ten zuiden van Bergen op Zoom moet een dijkvak worden verbeterd van de Augustapolder. In dit dijkvak ligt een groot aantal leidingen van derden, die niet zijn ontworpen op de randvoorwaarden van de dijkversterking. Om zeer kostbare en tijdrovende aanpassingen van deze leidingen te voorkomen, overweegt men buitendijks een geheel nieuw dijktracé te ontwerpen. Verder onderzoek, ook naar de milieu-aspecten van dit plan, is noodzakelijk alvorens een keuze kan worden gedaan.

Verantwoording van de foto's

Hofmeester 166 222
Cees v. d. Meulen 176
Waterlooppk. Laboratorium 199 210 212
Laboratorium voor
Grondmechanica 215 218 219

