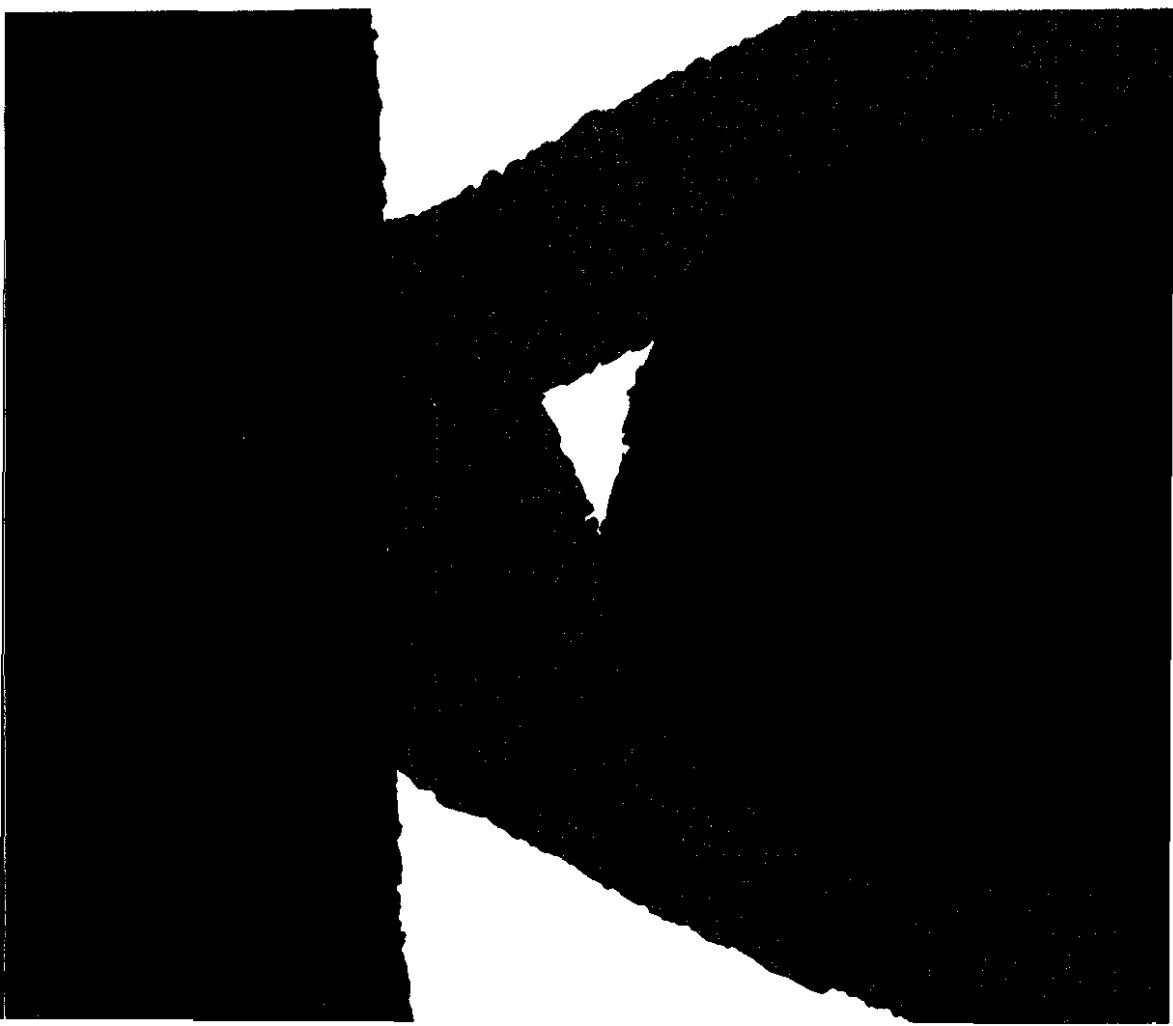


Driemaandelijks Bericht
nummer 58, november 1971

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1,
's-Gravenhage

De prijs bedraagt f 10,50 per jaar
of f 3,- per nummer

Inhoud

A. De werken van het Deltaplan

De ontwikkeling van de waterbouwkundige
techniek in verband met de afdamming van
getijgeulen 387

Caissonsluitingen en geleidelijke sluitingen
399

De bodembescherming van een sluitgat 413

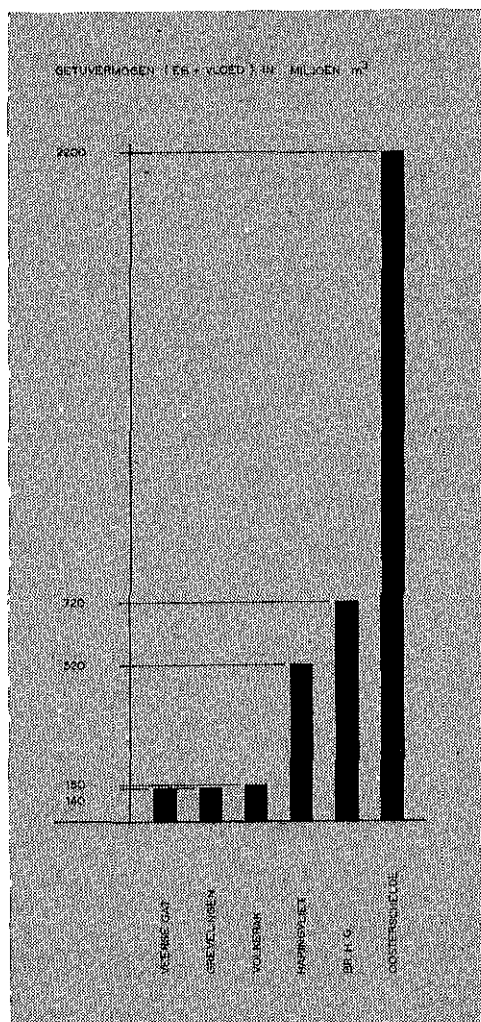
Begeleidend golfonderzoek bij de caisson-
sluiting van de Kous 419

Grondmechanische ervaringen bij de afsluiting
van het Brouwershavense Gat 424

Vorderingen 438

De ontwikkeling van de waterbouwkundige techniek in verband met de afdamming van getijgeulen

De afsluiting van de Oosterschelde is veruit het grootste waterbouwkundige werk in zijn soort dat ooit werd ondernomen. Een vergelijking met voorafgaande afsluitingswerken kan zich niet bepalen tot het simpelweg opnoemen van enkele verhoudingscijfers. Daarvoor verschillen tal van omstandigheden te zeer. De verschillen in omvang van de onderscheiden werken komen het beste naar voren bij vergelijking van het *getijvermogen* – dat is het totale watervolume van de eb- en vloedstromen die per getij door een geul trekken – van de af te sluiten zeearmen. De afsluiting van de stroomgeulen is immers steeds het kritieke onderdeel van de werken. Telt men de getijvermogens van alle afsluitingswerken die na de Tweede Wereldoorlog voltooid werden bij elkaar – dus vanaf het dijkherstel op Walcheren tot en met het Brouwershavense Gat – dan komt men op een totaal van 1800 miljoen m³; dat is nog ruim minder dan het getijvermogen van de Oosterschelde alleen, waarvan de drie geulen: de Hammen (500 miljoen m³), de Schaar van Roggenplaat (450 miljoen m³) en de Roompot (1250 miljoen m³), tezamen een vermogen hebben van 2200 miljoen m³. De twee sluitgaten van de Afsluitdijk (1932), haalden daar samen nog niet het vierde gedeelte van. Maar het verschil tussen de afsluiting van de Zuiderzee en die van de Oosterschelde is nog groter wanneer men ook het getijverschil in het ene en het andere gebied in rekening brengt; voor de Zuiderzee bedroeg dit gemiddeld 1,00 m, voor de Oosterschelde gemiddeld 2,80 m. De grootste afdamming tot nu toe, die van het Brouwershavense Gat, blokkeerde geulen met een gezamenlijk vermogen van 720 miljoen m³. De afsluiting van de Oosterschelde betekent



dus naar zijn omvang gezien een flinke sprong ten opzichte van alle voorgaande werken. Deze schaalvergroting heeft voor een groot aantal aspecten van ontwerp en uitvoering verreikende gevolgen. Gelukkig kon men daarbij toch voortbouwen op een schat van ervaring en lering die men bij voorgaande werken heeft kunnen opdoen. Alle hier genoemde werken zijn binnen een vrij kort tijdsbestek op elkaar gevolgd; die periode van nauwelijks 40 jaar kan thans nog voldoende duidelijk worden overzien; de ervaring van het ene werk kon betrekkelijk gemakkelijk, veelal door persoonlijke contacten, worden overgedragen aan de ontwerpers en uitvoerders van het volgende – en al die factoren dragen er toe bij dat de verkregen ervaring maximaal kan worden uitgebuit. De ingenieurs die de Zuiderzeewerken ontwierpen, hebben hun inzichten en ervaringen ter beschikking kunnen stellen van de droogmaking van Walcheren in 1945, de herstelwerken van de ramp van 1953 en daarna ook weer van de Deltawerken. In de Deltacommissie zaten enkele ingenieurs die hun sporen hadden verdiend bij de Zuiderzeewerken. En zulke verbanden lagen er niet alleen bij de directie, maar ook in de aannemerswereld. Hiermee vergeleken bevonden de waterstaatsingenieurs en de aannemers die destijds waren belast met het ontwerp en de uitvoering van de afsluiting van de Zuiderzee zich in een veel moeilijker positie. Zij konden niet teruggrijpen op ervaringen met soortgelijke werken in het nabije verleden. Het enige werk waaruit men voor de Zuiderzeewerken enige lering kon trekken, was de afsluiting van het Sloe in 1871.

Dit werk lag toen echter ruim 50 jaar terug, en de gegevens die er nog van konden worden achterhaald, waren naar moderne maatstaven gemeten slechts zeer summier. Daarbij komt dat het algemene peil van de waterbouwkundige wetenschappen in 1870 aanzienlijk lager lag dan in 1930, en dat de mogelijkheden van de toen gangbare constructies en van het aannemersmateriaal veel minder stoutmoedige uitvoeringswijzen toelieten. De ontwikkeling waar men thans dankbaar de vruchten van plukt, is eigenlijk pas door de Zuiderzeewerken ingeleid. Ir. V. I. P. de Block van Kuffelen, toenmalig hoofd der Zuiderzeewerken, sprak in 1930 ten besluite van een lezing over deze werken voor het Koninklijk Instituut van Ingenieurs: 'Bagger- en zinkwerken staan in het algemeen bij meer wetenschappelijk werkende ingenieurs niet in hoog aanzien. Wanneer echter, gelijk in het onderhavige geval, de omstandigheden er toe

leiden, dat het nodig is deze werken onder geheel bijzondere omstandigheden zodanig uit te voeren, dat zij veilig moeten zijn tegen stroomaanvallen die veel sterker zijn dan gebruikelijk is, en niet meer eenvoudig gesteund kan worden op een sedert lang verkregen ervaring, dan blijkt wel dat ook op dit gebied een wetenschappelijk onderzoek onontbeerlijk is'.

Het aanzien van bagger- en zinkwerken is bij de 'meer wetenschappelijk werkende ingenieurs' inmiddels flink gestegen. In de laatste halve eeuw is de natte waterbouwkunde meer en meer toegankelijk gemaakt voor een wetenschappelijke aanpak; de Zuiderzeewerken hebben daarbij een belangrijke pioniersrol vervuld. De ontwikkeling van de waterbouwkunde vertoont immers een sterke wisselwerking tussen praktijk en theorie; voor de vorming van wetenschappelijke theorieën blijft het een weerbarstige materie; het is zeer moeilijk de complexe en vaak uitgesproken grillige verschijnselen die de waterbouwkundige ingenieur in de natuur ontmoet, in formules op te vangen en aan schematisering te onderwerpen. Zoals men weet wordt bij dit werk gebruik gemaakt zowel van wiskundige benadering als van simulering der verschijnselen in hydraulische modellen. Hoewel men op beide wegen nog vele moeilijkheden ontmoet kan de ontwikkeling op deze terreinen sedert de uitvoering der Zuiderzeewerken spectaculair genoemd worden. Ook de vooruitgang van de technologie, zowel voor wat betreft nieuwe toepassingen van bouwmaterialen als wat de ontwikkeling van nieuw materieel aangaat, heeft sterk bijgedragen tot de verhoging van het waterbouwkundig peil. Men ziet ook hier een proces van wisselwerking: nieuwe, grotere werken waren aanleiding tot de ontwikkeling van nieuwe constructies en nieuw materieel, die dan op hun beurt weer hun stempel drukten op latere ontwerpen, waarin met de nieuwe mogelijkheden rekening kon worden gehouden.

In velerlei opzicht heeft de waterbouwkunde zo in de loop der laatste decennia een nieuw aanzien gekregen. Er is een zichtbaar verschil tussen de Afsluitdijk, die nog met een grasmat bedekt is, en de met asfalt beklede dam door het Brouwershavense Gat; een nog groter verschil bestaat tussen de manieren waarop de stroomgeulen in het tracé van beide dijken werden gedicht. In de Zuiderzee werd het beeld in sterke mate bepaald door grote keileemkranen, terwijl in het Brouwershavense Gat de silhouetten van kabelbaan en caissons overheersten.

Sluitgat bij De Vlieter in de
Afsluitdijk van de Zuiderzee,
een dag voor de sluiting

De techniek van het dichten van geulen heeft zich waarschijnlijk in nog sterkere mate ontwikkeld dan de dijkenbouw in het algemeen. Juist en vooral voor dit essentiële onderdeel van het afsluitingswerk in de Oosterschelde zal het nodig zijn een beroep te doen op de ervaring en kennis die vanaf de sluiting van de Zuiderzeedijk zijn bijeengegaan. Omdat we nu zijn aangekomen bij de moeilijkste fase van de Deltawerken, het ontwerp en de uitvoering van de drie getijgeulen in de Oosterschelde, zal aan dit aspect van het werk in dit nummer buitengewone aandacht worden besteed.



Afsluitingsmethoden

In beginsel worden voor de afsluiting van een getijgeul thans twee principieel verschillende methoden onderscheiden: de geleidelijke sluiting en de caissonsluiting. De eerstgenoemde methode is van oudere oorsprong, waarschijnlijk omdat zij bij niet te grote geulen al met eenvoudige hulpmiddelen kan worden verwerkelijkt. In 1871 werd deze methode toegepast bij de afsluiting van het Sloe, dat toen nog een open verbinding vormde tussen de Ooster- en Westerschelde. De toen reeds betrekkelijk ondiep geworden getijgeul werd gedicht door daarin over de volle breedte min of meer gelijktijdig enkele lagen zinkstukken op elkaar aan de grond te brengen.

Bij latere sluitingen werd veelvuldiger de

middelen en zo kwam het dat bij de dichting van dit gat de caisson zijn intrede deed. Zet men de eigenaardigheden van deze alternatieve sluitmethodes bij elkaar, dan ontstaat het volgende beeld:

Bij een geleidelijke sluiting wordt de getijgeul zoveel mogelijk gelijkmatig over de hele breedte verondiept, totdat de sluitdam boven water is gekomen. Tot het laatst toe trekt de stroom over de gehele breedte van de geul in en uit. Ofwel: men werkt van een of twee kanten de geul langzaam dicht. In de steeds nauwere opening met nagenoeg de diepte van de oorspronkelijke geul, concentreert zich de stroom meer en meer naarmate het werk vordert.

Sluit men daarentegen met caissons, dan plaatst men enkele zeer grote voorwerpen – caissons veelal, maar casco's van schepen

1



zogenaamde steigermethode toegepast.

Wanneer men in het dwarsprofiel van een geul een steigerwerk van palen heit, heeft men een brugconstructie waarvan de geul kan worden gedicht met eenvoudige materialen als klei, puin of zandzakken. Ook kan men, van beide uiteinden van het profiel af werkende, een kleine geul langzaamaan dichtgooien.

Het eind van de mogelijkheden met deze methode komt in zicht wanneer er bij geleidelijke vernauwing van het geulprofiel zo'n sterke getijstroom gaat optreden, dat het ingebrachte materiaal weer wordt uitgeschuurd. Met conservatieve methodes staat men dan verder machteloos, zoals bleek bij de dichting van de bres in de Nollledijk op Walcheren.

Daar lag, in de geschiedenis van de Nederlandse waterbouw, het keerpunt; vanaf dat ogenblik moest worden gezocht naar nieuwe

1 Sluiting van het stroomgat van de Kadijk op Zuid-Beveland, na de stormramp van 1953. Voorbeeld van de steigermethode

2 Opbouw van een steiger bij de afsluiting van het Dijkwater op Schouwen, zomer 1954

kan ook – in hoog tempo in het gat, en sluit daarmee het profiel in korte tijd geheel of vrijwel geheel af. Men kan in dat geval werken met geheel gesloten elementen of met doorlaatcaissons die, nadat zij zijn geplaatst, weer kunnen worden geopend, zodat het water er betrekkelijk ongehinderd door kan stromen. Ze worden pas gesloten wanneer alle caissons van de rij zijn geplaatst en hun positie voldoende is verankerd door eigen stabiliteit en lektheid ten opzichte van de ondergrond. Enige voorbeelden zullen de besproken methodieken nader kunnen toelichten. Het beginsel van geleidelijke sluiting waarbij gellijk wordt opgewerkt over de hele breedte van het sluitgat, werd voorafgaand aan de Delta-werken in Nederland vooral toegepast op plaatsen waar slechts een betrekkelijk zwakke stroom behoefde te worden overwonnen, en

Een enigszins afwijkend soort geleidelijke sluiting werd toegepast bij de dichting van de stroomgaten op St.-Philipsland. De dijkbressen waren daar betrekkelijk ondiep, omdat zich ter plaatse een tamelijk stroombestendige kleilaag bevond; de geulen konden door deze omstandigheid worden gesloten met kistdammen, een procédé waarbij de dam wordt gestort tussen twee tevoren geplaatste houten wanden. Deze sluitingen van het eerste uur hebben het optreden van grote en gevaarlijke bressen op St.-Philipsland op doeltreffende wijze verhinderd.

Tenslotte werd in 1954 de afdamming van het Dijkwater op Schouwen volgens de methode van de geleidelijke sluiting voltrokken. Een geleidelijke sluiting kan men ook uitvoeren door twee damkoppen door de geul naar elkaar toe te bouwen. De sluitgaten van

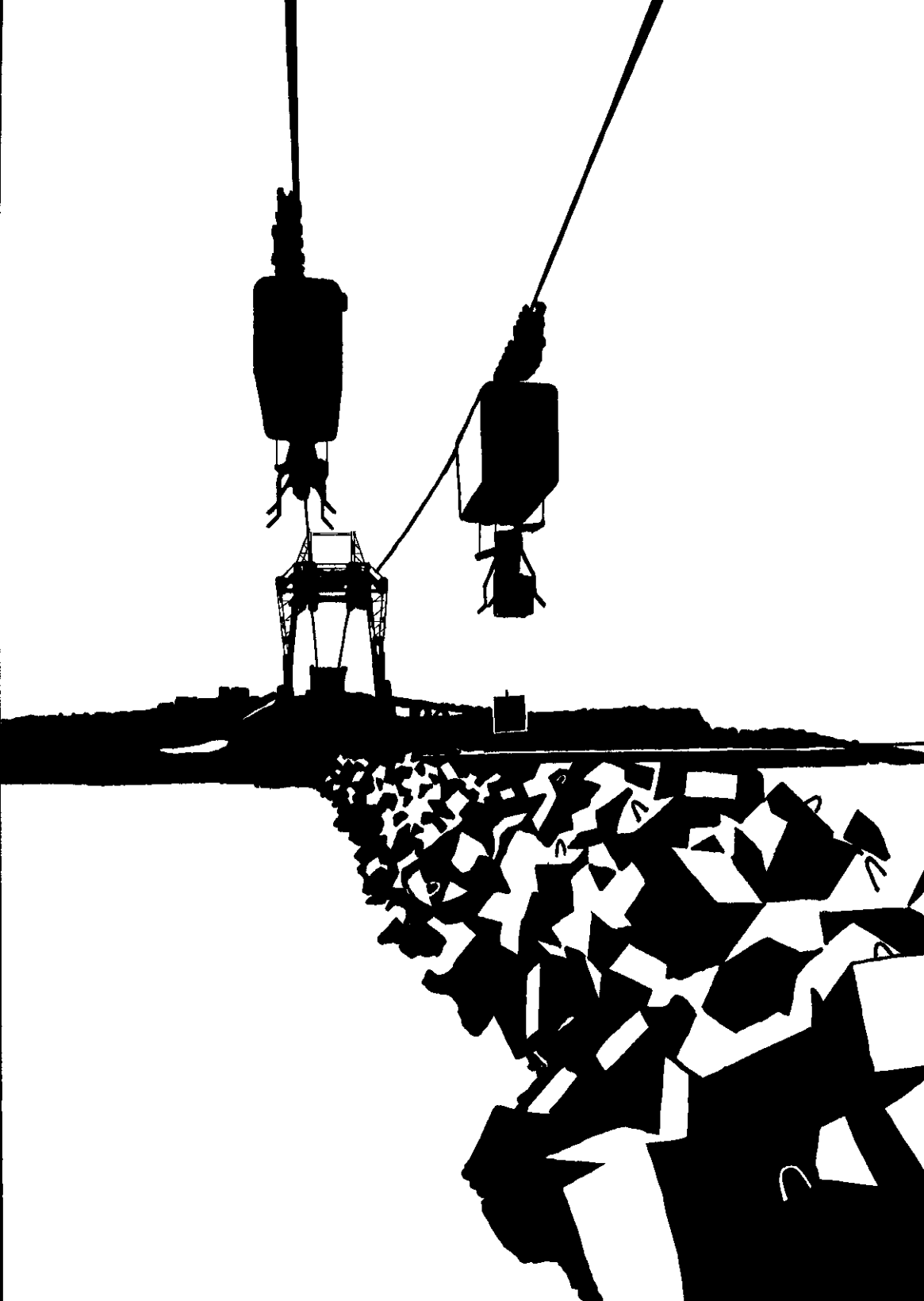
2



waar de geringe waterdiepte in de omgeving de inzet van groot drijvend materieel onmogelijk maakte. In onze tijd werd deze sluiting, en dan met name de steigermethode, voor het eerst toegepast bij de afsluiting van het Zuidsloot, in 1949. Sommigen zagen daarin na de spectaculaire caissonsluitwegen op Walcheren een technische 'terugval'. Na de stormramp van 1953 werd de geleidelijke sluiting nog enkele malen toegepast; allereerst in het stormgat van de Kadijk, tussen de waterschappen Waarden en Kruidingen op het eiland Zuid-Beveland. De beperkte waterdiepte in de omgeving liet geen andere methode toe, hoewel de sterke stroom een dichting met eenvoudige materialen zeer bemoeilijkte. Men gebruikte daar tenslotte zandzakken gevuld met stortsteen, die met de hand in de geul werden gegooid.

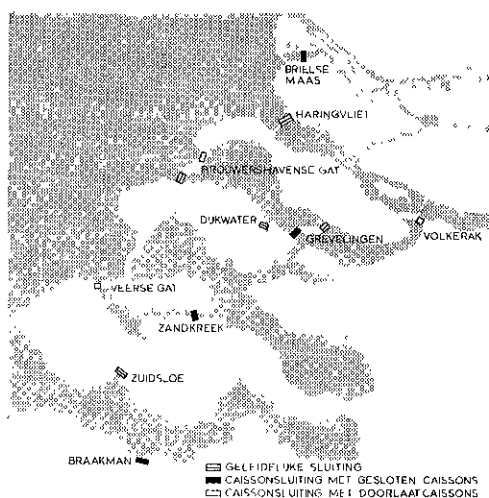
de Afsluitdijk bij de Vlieter en bij de Middelgronden zijn op die manier gedicht. Aanvankelijk had men hier een geleidelijke sluiting over de volle breedte voorzien. De beide geulen, respectievelijk 2800 m en 1650 m breed, zouden geleidelijk met keileem worden verondiept. De overweging echter dat de overigens betrekkelijk erosiebestendige keileem dan gedurende vrij lange tijd blootgesteld zou zijn aan de uitschurende werking van de stroom, heeft tenslotte doen besluiten deze methode te verlaten, en de gaten maar 'over de kop' te dichten. De keileem werd dan telkens alleen aan de kop en maar voor korte tijd aan de stroomaanval blootgesteld. Bij de bouw van de Afsluitdijk was keileem betrekkelijk goedkoop verkrijgbaar, aangezien het niet ver van de sluitgaten kon worden gewonnen. Toen men zich in 1945, twaalf jaar





na de afsluiting van de Zuiderzee, plotseling voor de taak gesteld zag de dijkbressen te dichten die in de Tweede Wereldoorlog op Walcheren waren geslagen, lag het voor de hand voort te gaan volgens de ervaringen met de Afsluitdijk. De grote keileemkranen die voor die grote afsluiting waren gebruikt, en die er speciaal voor waren ontwikkeld, stonden nog altijd ter beschikking. Helaas kon men op Walcheren niet aan de keileem komen die voor de Zuiderzeewerken zo'n uitkomst had gegeven. Transport over de grote afstand Zuiderzee-Walcheren was te duur, en bovendien in die vervoersarme tijd vlak na de oorlog niet te verwezenlijken bij gebrek aan transportbakken. Men trachtte zich dan ook te behelpen met een surrogaat: zware klei die in het Hollands Diep bij Klundert werd gevonden. Met dit materiaal ging men aan het

1



2



1 Overzicht van in het Delta-gebied toegepaste sluitingsmethoden

2 Dijkherstel op Walcheren in 1946. Het stroomgat bij fort Rammekens werd gedicht met behulp van Phoenix-caissons

3 Het eerste gebruik van caissons bij een afsluiting; beetles in het gat van de Nollédijk op Walcheren

heel ander waterbouwkundig principe dan de geleidelijke sluiting. In plaats van een sluiting met een continu verloop kwam nu een methode in zwang waarbij een groot deel van de dichting geschiedde met één klap. Daarbij werden bouwelementen geïntroduceerd van zodanige afmetingen dat de constructie ervan, de navigatie ermee in water en het afzinken ervan, de ontwikkeling vereisten van een geheel afzonderlijke techniek en kundigheid. Het manoeuvreren van grote caissons door een aantal sleepboten, waarbij van de kapitein een perfect samenspel en een slagvaardige stuurmanskunst wordt geëist, ontwikkelde zich op Walcheren tot een speciale kunst. Werden de caissons in 1945 in Veere nog geplaatst door uitvieren vanaf twee verankerde kranen, te Rammekens werden de manoeuvres al voornamelijk uitgevoerd met behulp van

werk om de bres bij de Nolle te dichten, onmiddellijk ten Westen van Vlissingen. De omstandigheden waren hier echter wel enigszins anders dan in de Zuiderzee. Door het veel grotere tijverschil traden grote verhangen en stroomsnelheden op, en waren de stroomkenteringen, waar men het bij de sluitingen juist van moet hebben, van bijzonder korte duur. Aanvankelijk werd nog goede voortgang gemaakt met de klei uit het Hollands Diep, maar naarmate het gat nauwer werd, namen de verliezen toe; tenslotte liep het werk vast. Er moest worden uitgezien naar een andere dichtingsmethode. De situatie werd gered door toepassing van betonelementen, zogenaamde beetles, die men van het Engelse leger kon overnemen. Deze betrekkelijk kleine betonnen dozen – 12,5 x 6 x 2,5 m – werden drijvend in het gat gebracht en daarna met behulp van explosieven tot zinken gebracht. Toen de Nollédijk kort daarop tengevolge van een zware zomerstorm opnieuw doorbrak, kon het gat wederom slechts met behulp van dit soort dichte caissons worden gedicht. De afmetingen van de caissons waren dit keer groter.

Daarmee was de caissonsluiting als sluitmethode ontdekt. Overal op Walcheren werd van toen af de caisson als hoofdmiddel voor de afdichting van bressen gebruikt. Zowel in Westkapelle als te Veere en Rammekens werden caissons gebruikt die nog afkomstig waren uit de Tweede Wereldoorlog. Wel zocht men caissons van steeds grotere afmetingen en bij Rammekens werd in dit opzicht een voorlopig hoogtepunt bereikt door het gebruik van zogenaamde Phoenixcaissons, met afmetingen van 62 bij 13,40 bij 12,20 m. De caissonsluiting maakt gebruik van een

3



sleepboten. Er was in dit sluitgat weinig tijd om de caissons op hun plaats te brengen, aangezien het moest gebeuren tijdens de korte stroomkenteringen. Men moest dan ook nogal eens risico's nemen.

Een tweede probleem, en een groter, bij deze eerste caissonsluitingen, was de achter- en onderloopsheid van de caissons. Die werd veroorzaakt door de onvolkomen aansluiting van de caissons aan de vooraf gemaakte drempels en randen van het sluitgat. Vooral bij die sluitgaten waar grote tijverschillen optraden, zoals op Walcheren en later bij de Braakman in Zeeuws-Vlaanderen, was de onderloopsheid een gevaarlijke factor. Enkele malen is door onderloopsheid een sluiting mislukt, zoals bij Rammekens in de periode van het dijkherstel op Walcheren, en bij Ouwkerk in de periode na februari 1953.

Deze ervaringen leidden tot het inzicht dat er meer aandacht moest worden besteed aan de opbouw en de afsluiting van de drempels in de sluitgaten. De techniek van het zinken, steenstorten en peilen van drempels diende te worden verbeterd. Bij de reeks van caisson-sluitingen die volgden op het dijkherstel van Walcheren – afsluiting van de Brielse Maas en van de Braakman, dichting, in 1953, van stroomgaten bij Stevensluys, Bath, Kruiningen, Schelphoek en Ouwerkerk – ontmoette men echter steeds weer dezelfde moeilijkheden, en bleef de sluitingsoperatie met caissons steeds zeer riskant; de risico's schenen met de methode te zijn gegeven. Toch zocht men naar verbetering, en wel in die zin dat het grote verval dat kort na de afsluiting van een getijgeul ten gevolge van de getijbeweging optreedt, geen invloed meer zou hebben op

1 De sluiting van de zeedijk bij Ouwerkerk op Walcheren gelukte pas in tweede instantie, en met behulp van Phoenix-caissons

2 In 1952, bij de afsluiting van de Braakman, werd voor het eerst gebruik gemaakt van een doorlaatcaisson



- 1 de stabiliteit van de caisson alvorens de aansluiting met de bodem en de randen van het sluitgat beter zou zijn verzekerd. Een eerste poging daartoe werd ondernomen bij de sluiting van de Braakman. In een van de beide Phoenix-caissons die men daar gebruikte, werden doorstroomopeningen gemaakt die men op het gewenste ogenblik zou kunnen afsluiten. Daarmee werd bereikt dat het getij onmiddellijk na de plaatsing van de caissons nog enigermate kon doordringen in het achterliggende gebied; het verval tussen binnen- en buitenwater bleef daardoor iets geringer. De schuiven zouden kunnen worden gesloten op een moment dat de caissons langs de bodem voldoende tegen onderloopsheid waren beveiligd. Bij de Braakman werd het geen succes; de openingen waren voor het beoogde doel te klein, en het zeer grote

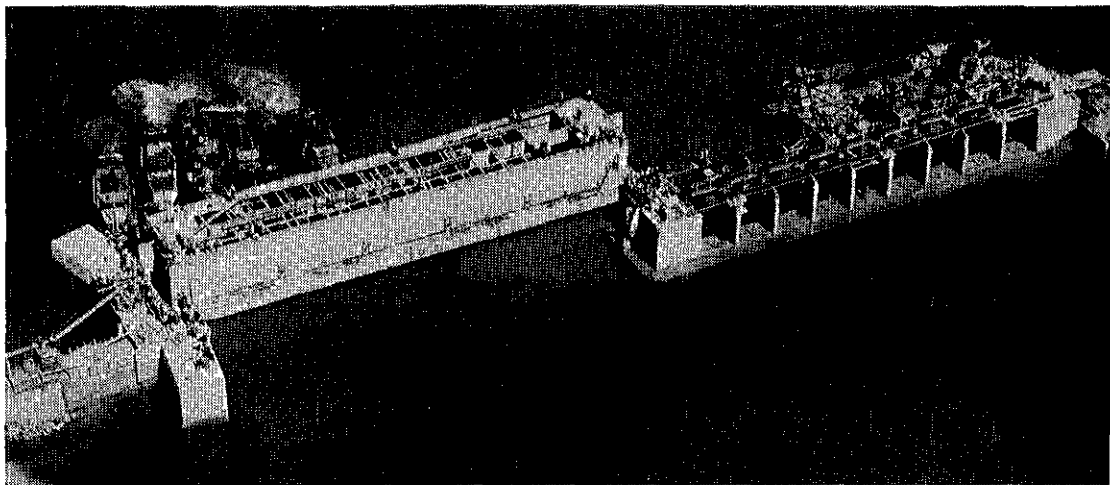
tijverskil op de Westerschelde zorgde toch nog voor aanzienlijke vervallen. De grote moeilijkheden die de onderloopsheid veroorzaakte is men bij de afsluiting van de Braakman dan ook niet gemakkelijk te boven gekomen. Maar de grondgedachte van deze nieuwe modificatie bleek vruchtbaar. Ze leidde uiteindelijk tot de constructie van de grote doorlaatcaissons die later met zoveel succes zouden worden toegepast bij de Delta-werken. Het sluitgat dat men dicht met behulp van gesloten caissons, kan een bepaalde breedte niet te boven gaan. De geulen in de bressen op Walcheren, en ook die na de ramp van 1953, waren nog gering van breedte, in de orde van grootte van 100 m. Zo'n gat zou men desnoods met één caisson kunnen dichtzetten. In sommige gevallen kon men een groter sluitgat bedwingen door enkele een-

heden na elkaar te plaatsen. Zo werd het laatste gat bij Veere gedicht door twee schepen, die tegelijkertijd in het gat werden geplaatst. Bij Rammekens plaatste men, met een getij tussenruimte, twee caissons. Zo werden ook de gaten bij Kruiningen en Schelphoek gedicht. Ouwerkerk spande voorlopig de kroon: daar werden vier grote Phoenix-caissons in het gat gevaren. Daarmee was de grens van de mogelijkheden met gesloten caissons wel bereikt.

Verdere ontwikkelingen bij de Deltawerken

Bij vergelijking van de werken van het Delta-plan met de hierboven beschreven kleinere werken vallen twee dingen op: allereerst de aanzienlijke schaalvergroting, maar dan ook de grote samenhang en de fasering der wer-

werk, waar ook ter wereld ontworpen en uitgevoerd. *De leiding van elk soort werk zou het zich tot een plicht moeten rekenen te zorgen dat de opgedane kennis en ervaring aan anderen kan worden overgedragen.* Meestal krijgt dit aspect bij een werk echter weinig aandacht. Men is zozeer in beslag genomen door de specifieke moeilijkheden *van het eigen werk, dat er weinig tijd of aandacht overblijft voor het verzamelen en doorgeven van gegevens in het algemeen belang.* Men mist meestentijds ook de medewerking van een uitgebreide meet- en studiedienst, wanneer die althans voor het eigen werk niet strikt noodzakelijk is. Bij een overheidsdienst als de Rijkswaterstaat kan het verlangen om een of ander werk in een algemene studie te betrekken, wel worden vervuld. Men kent hier, in het belang van het ontwerpen en de be-



ken. Ze worden immers over een lange tijd verspreid in opklimmende orde van grootte uitgevoerd. Ook bij de Zuiderzeewerken, op Walcheren en na de ramp van 1953 stond men voor een complex van moeilijke werken, maar die waren samengedrukt in een veel kortere periode, en van lering door het ene werk ten behoeve van het andere kon nauwelijks sprake zijn.

Bij de Deltawerken ligt dit geheel anders. De mogelijkheid is hier gegeven voor een planmatige evolutie van theorie en techniek, waar bij men ieder werk niet slechts beziet in het licht van zijn eigen problematiek, maar het ook plaatst in een groter verband. Men weet immers dat de gegevens en ervaringen die het ene werk oplevert, van eminent belang kunnen zijn voor het volgende werk. In wezen geldt dit natuurlijk voor ieder waterstaatkundig

geleiding van waterbouwkundige werken, dan ook reeds lang studiediensten. Het is echter niet steeds gemakkelijk, al van te voren verband te leggen tussen een bepaald werk en de toekomstige ontwikkelingen van de waterbouw, waarvan veelal de richting nog niet vaststaat. Hoewel men bij de Rijkswaterstaat in de loop van de tijd een schat van belangrijke gegevens heeft opgehoopt, blijft men zich ook daar veelal beperken tot de problemen van het éne, specifieke werk. Bij de Waterloopkundige Laboratoria kan men alle beschikbare inlichtingen over vroegere werken krijgen; maar ook daar komt van een doelgerichte ontwikkeling nog niet genoeg terecht. De Deltawerken nu, boden in veel sterkere mate dan voorheen de kans tot een dergelijke gerichte ontwikkeling te komen, eenvoudig omdat systematische ontwikkeling van kundig-

heden dringend geboden was. Om de omvangrijkste afsluitingswerken, die van het Brouwershavense Gat en de Oosterschelde, met een goede kans van slagen te kunnen ondernemen, was methodische opbouw van ervaring en kennis onontbeerlijk.

In de organisatie van de Deltadienst is dit opzettelijk studiedoel dan ook van de aanvang af bespeurbaar: er werd, op voorbeeld van de Dienst der Zuiderzeewerken, een Studiedienst aan de uitvoerende diensten toegevoegd.

Tevens werd, en dat was een volslagen nieuw onderdeel, een afdeling voor de Ontwikkeling van Nieuwe Werkmethoden in het leven geroepen. Nog meer dan de studiedienst op de praktijk van het werk gericht, heeft deze afdeling tot taak de ontwikkeling van nieuwe materialen en nieuw materieel te stimuleren en te begeleiden.

Het onderzoek van de genoemde begeleidende diensttakken was natuurlijk wel steeds in de eerste plaats betrokken op de werken die werden ontworpen of uitgevoerd. Maar steeds hielden zij daarbij het oog gericht op de verder in het verschiet liggende werken, en steeds ook op dat laatste grote werk — de Oosterschelde.

Hoewel de tactiek van de afsluiting van dit zeegat nog niet vaststond, was de strategie ervan in grote lijnen vanaf het begin wel duidelijk. Ze zou dezelfde zijn als die men gekozen had voor het bedwingen van de Zuiderzee. Nog altijd onderschreef men wat Ir. De Blok van Kuffelen in zijn eerder aangehaalde rede stelde: 'Bij den bouw van den afsluitdijk zit nu het grondbeginsel voor om zoo lang mogelijk belangrijke wijziging in het regime der waterbeweging te ontgaan en een zoo groot mogelijk deel van de afsluiting tot stand te brengen bij zoo gering mogelijke stroomsnelheden. In de eerste plaats worden dus gebouwd de dijkvakken op de platen, terwijl de sluiting geschiedt door de dichting der diepe geulen, waardoor het grootste deel van de waterbeweging plaats heeft'.

Wat de strategie betreft is er dus niets nieuws onder de zon. De verhouding tussen de getijvermogens van de drie getijgeulen in het afsluitingstracé van de Oosterschelde en de daartussen gelegen ondiepe platengebieden is voor het toepassen van deze strategie zelfs uitgesproken gunstig. Het vermogen van de getijgeulen overweegt zozeer, dat er nog maar weinig veranderingen in het stroombeeld zullen zijn opgetreden wanneer men alle ondiepe gedeelten heeft afgesloten. De werken die tot nu toe op deze ondiepe plekken zijn uitgevoerd, laten het getijsysteem van de Oosterschelde dan ook betrekkelijk onberoerd.

Op strategisch vlak is er geen twijfel mogelijk, hoe de Oosterschelde moet worden aangepakt.

Op tactisch, of zo men wil technisch niveau ligt dat geheel anders. De keuze van de middelen voor de afsluiting van de drie getijgeulen is een moeilijk beslissingsprobleem. De methoden en mogelijkheden waarover men beschikte op het ogenblik dat tot de uitvoering van het Deltaplan werd besloten, waren beslist ontoereikend. Noch de methode van geleidelijk sluiten over de kop, die in de Zuiderzee bij de afsluiting van de Vlieter en de Middeldgronden was gebruikt, noch een toepassing van grote gesloten caissons zou in aanmerking kunnen komen.

Zowel de sluitmethode met behulp van doorlaatcaissons als die met de kabelbaan zijn thans echter zover ontwikkeld en beproefd, dat ze in aanmerking kunnen komen voor de sluiting van de Oosterschelde. Tussen deze beide technieken zal thans een keuze moeten worden gemaakt. Het was voor het maken van deze keuze van belang de ontwikkeling van beide methodes en de meest recente ervaringen ermee in het Brouwershavense Gat, waar ze naast elkaar zijn toegepast, nogmaals in hoofdlijnen te overzien, en de voor- en nadelen van beide nog eens duidelijk voor ogen te halen. Dat overzicht vindt de lezer in het volgende artikel.

Maar niet alleen het sluitgatelement — caissons en kabelbaan — zal bij de afsluiting van de Oosterschelde een dominerende rol spelen; ook de materialen en technieken voor drempelopbouw en bodembescherming, die het veilig fundament voor de eigenlijke sluiting moeten vormen. Ook op dit gebied is in de loop der Deltawerken veel ontwikkelingswerk verricht, waarvan de uitkomst mede bepalend kan zijn voor keuze en ontwerp van de afsluitingen. Toepassing van nieuwe materialen en werkmethoden hebben tot welhaast revolutionaire ontwikkelingen geleid, en het lijkt nuttig ook de hoofdlijnen van deze ontwikkelingsgang nog eens te volgen.

In de periode die onmiddellijk voorafging aan de uitvoering der Deltawerken deden de caissons hun intrede als afsluitmiddel. Vervolgens kwamen ze meer en meer op de voorgrond, terwijl de geleidelijke sluiting nauwelijks tot verdere ontwikkeling werd gebracht. De caisson leek het ideale instrument voor een sluiting in getijwateren. Bij het transport, de navigatie, de plaatsing en het sluiten ervan maakte men steeds een listig gebruik van wat het tij te bieden had, hetzij stroom hetzij stroomloosheid.

Caissonsluitingen en geleidelijke sluitingen

De geleidelijke sluiting maakte veel minder gebruik van deze eigenaardigheden. Hoewel het dus eigenlijk voor de hand lag om voor de Delta-afsluitingen integraal over te gaan op caissons, achtte men zo'n definitieve keuze prematuur. Men had de geleidelijke sluiting immers nog niet de kans gegeven ook in andere dan betrekkelijk primitieve omstandigheden te bewijzen wat ze waard was. De krachtige ontwikkeling van nieuwe transportmethoden zou zeker enkele aantrekkelijke toepassingsmogelijkheden openen.

De Deltacommissie, overwegende of zij in haar advies eveneens aanbeveling zou moeten doen voor wat betreft de bij de afsluitingen van het Deltaplan aan te wenden technieken, heeft zich op dit punt daarom welbewust van advies onthouden; zij stelt:

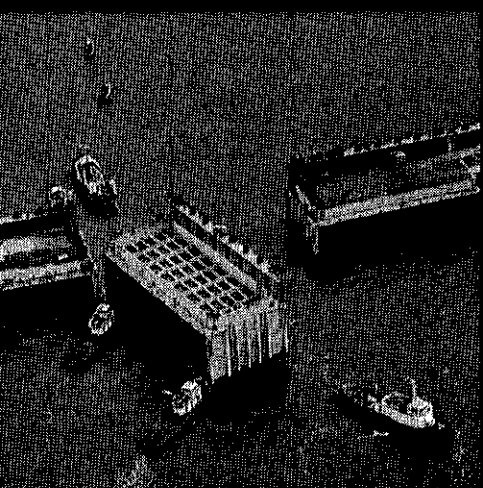
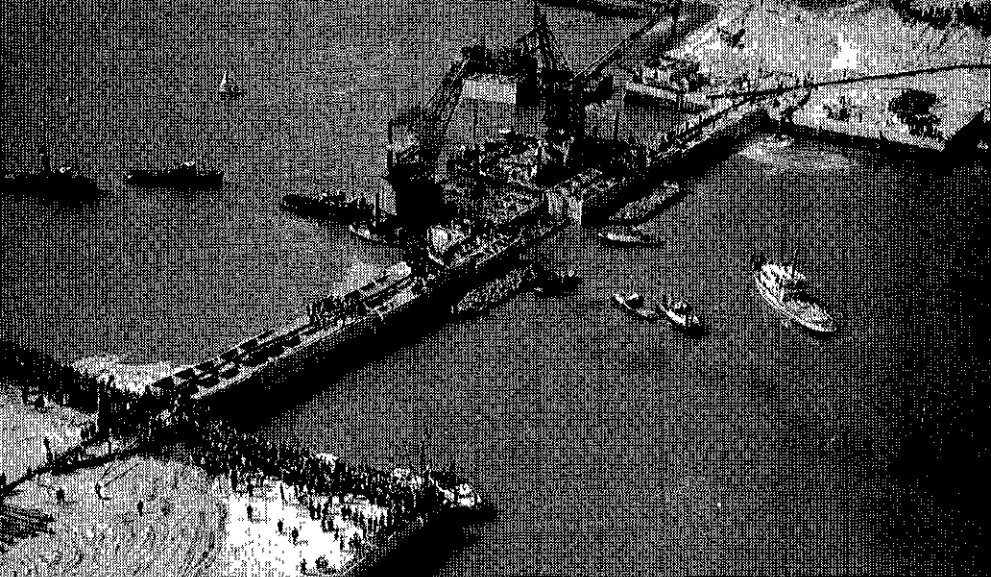
'De commissie wijst er echter op, dat zij een gelijkwaardige, volledige studie van de beide behandelde, in aanmerking komende constructies voor de sluitingsdammen — n.l. de geleidelijke opstorting en een sluiting door middel van caissons met afsluitbare doorlaatopeningen — nodig acht, omdat eerst daarna een verantwoorde keuze kan worden gedaan tussen de beide systemen voor de afsluiting.' Het was echter al spoedig duidelijk dat alleen studie over dit vraagstuk geen voldoende uitsluitsel zou kunnen geven. Het leek wenselijk, beide methoden ook in de praktijk van de Deltawerken te toetsen.

Dit is dan ook gebeurd: de caissonsluiting werd achtereenvolgens toegepast bij de sluiting van het Veerse Gat, het Volkerak en de noordelijke getijgeul van het Brouwershavense Gat, terwijl deze methode ook voor de afsluiting van de Lauwerszee werd gekozen. De geleidelijke sluiting werd aange-

wend bij de afsluiting van de Grevelingen, het Haringvliet en de zuidelijke geul van het Brouwershavense Gat. In deze reeks van toepassingen zijn beide methoden thans ontwikkeld tot praktisch gelijkwaardige mogelijkheden voor de afsluiting van de Oosterschelde. Van een duidelijk primaat, zoals de caisson dat aanvankelijk voor zich leek op te eisen, kan dus niet meer worden gesproken; er moet thans een keus tussen beide methoden worden gemaakt.

Caissonsluitingen

Bij een sluiting met behulp van caissons wordt de vraag of men gesloten eenheden kan gebruiken dan wel verplicht is te werken met doorlaatcaissons, voornamelijk bepaald door de grootte van het tijverschil en de afmetingen van het sluitgat. Het tijverschil bepaalt de maximale stroomsnelheden die bij vernauwing van het sluitgat kunnen worden verwacht. Wanneer, zoals bij de afsluiting van de Zuiderzee het geval was, het verschil tussen laag- en hoogwater bij gemiddeld getij niet meer bedraagt dan 1 m, kunnen de stroomsnelheden bij springtij oplopen tot ongeveer 4,5 m per seconde, en niet hoger, ongeacht de diepte of de breedte van het sluitgat. De gangbare drempel- en bodembeschermingsconstructies zijn tegen deze stroomsnelheid bestand, en er bestaat in deze situatie dan ook geen bezwaar tegen het gebruik van gesloten caissons, wanneer de tussenpozen tussen de plaatsingen niet te lang worden. Neemt het tijverschil toe tot 2,5 m à 3 m, zoals dat het geval is in het zuidwesten van ons land, dan kunnen de stroomsnelheden oplopen tot 6 à 7,5 m per seconde. Het is



Ontwikkeling van de caissonsluiting gedurende de Deltawerken; afsluiting van de Zandkreek in 1960 (boven), het Veerse Gat, 1961, (links) en het zuidelijke gedeelte van de Grevelingen, 1962



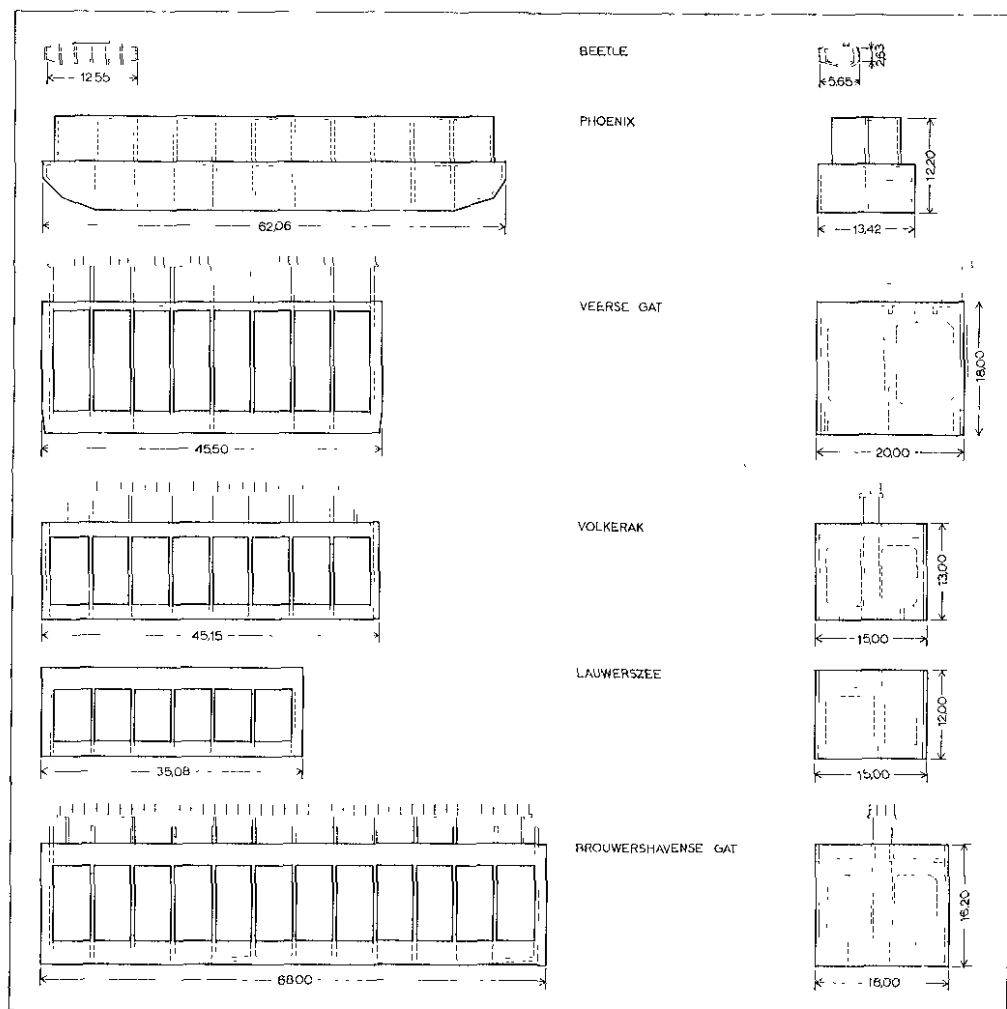
De grote afsluitingen van de laatste jaren:
het Volkerak (links) en de Lauwerszee
(beneden), beide in 1969; de afsluiting van
de Kous vond plaats in 1971



vrijwel onmogelijk om anders dan tegen buitensporig hoge kosten de drempel en de bodembescherming zo te construeren dat ze gedurende langere tijd tegen die snelheden bestand zijn. Onder deze omstandigheden is de toepassing van dichte caissons gebonden aan beperkingen in de afmetingen van het sluitgat. De beperking kan gezocht worden zowel in de breedte als in de diepte. Een smal sluitgat kan worden afgesloten met één element; men moet daarbij denken aan een breedte in de orde van grootte van 50 à 100 m. De toelaatbare drempeldiepte hangt af van de constructieve beperkingen van de caissons, en van de mogelijkheid de drempel vlak af te werken.

Een andere mogelijkheid om bij grote tijverschillen toch te werken met gesloten caissons wordt verkregen wanneer men erin slaagt

Lengte-aanzicht en dwarsprofiel van verschillende types caisson



de maximale stroomsnelheden niettemin te beperken. Men bereikt dit, door de drempel zo hoog te leggen, dat hij gaat werken als 'volkomen overlaat'. In de praktijk kan dit worden verwerkelijkt in brede en zeer ondiepe sluitgaten. Men spreekt dan van 'maaiveld-sluitingen'. Op het reeds hooggelegen maaiveld wordt een bescherming aangebracht waarop kleine dichte caissons kunnen worden geplaatst. De breedte van zo'n sluitgat is in principe niet aan beperkingen onderhevig. Dichte caissons kunnen dus zonder meer worden toegepast bij tijverschillen tot één meter. Bij grotere tijverschillen kunnen ze alleen worden gebruikt in sluitgaten van niet meer dan 100 m breed, behalve wanneer de drempel die als overlaat fungeert, zeer hoog ligt.

In de zee-armen die moeten worden afgesloten ingevolge het Deltaplan hebben we te doen met tijverschillen tussen 1,5 en 3 m; in alle gevallen dus meer dan de kritieke 1 m. Het Veerse Gat en de Oosterschelde hebben of hadden tijverschillen van 2,8 à 2,9 m, het Brouwershavense Gat 2,4 m en het Haringvliet 1,6 m. Door de grote diepte der geulen kan er niet gedacht worden aan hooggelegen drempels. De sluitgatbreedten variëren van 300 tot 2000 m. Het gebruik van gesloten caissons is hier uitgesloten.

Aangezien het hele probleem van deze afsluitingen ligt in het oplossen der stroomsnelheden ten gevolge van de vernauwing van het sluitgat, kan een oplossing worden gevonden in het gebruik van doorlaatcaissons. Dit type caisson veroorzaakt ook wel een zekere vernauwing, door de aanwezigheid van een bodembak, wanden en tralleverbanden, maar er blijven toch ruime doorstroomopeningen beschikbaar waardoor het water in en uit kan trekken. Welke afmetingen men het sluitgat in een bepaald geval zal geven, hangt af van de maximale stroomsnelheid die men wil toelaten tijdens de opbouw van de drempel en bij het plaatsen van de caissons. In het algemeen wordt in de eerste fase – het zogenaamde wintersluitgat – een stroomsnelheid van 2 m per seconde bij gemiddeld getij als grens genomen, terwijl tijdens de sluiting geen hogere snelheden mogen voorkomen dan 4 à 5 m per seconde. Bij hogere snelheden treden gevaarlijke wervelstraten op, waarvan het ongunstig effect alleen kan worden voorkomen door een zeer hoog tempo van caissonplaatsingen.

Een geheel ander criterium wordt gevormd door de kosten van drempel en caisson tezamen in vergelijking met de kosten van andere sluitingsmethoden.

Het principe van de doorlaatcaissons is al

naar aanleiding van de plannen tot afsluiting van de Zuiderzee naar voren gebracht door ir. J. de Booy jr. Hoewel het denkbeeld dus ten tijde van de bouw van de Afsluitdijk bekend was, is het toen niet toegepast, omdat het wegens het betrekkelijk geringe tijverschil mogelijk bleek de sluitgaten te dichten met in de nabijheid aanwezig keileem.

Na de stormramp in 1953 werd de caisson-sluiting opnieuw in studie genomen. Er werden talrijke ontwerpen voorgesteld, alle met hun constructieve en waterloopkundige voor- en nadelen. In hoofdlijnen is die ontwikkeling gevolgd in deze Berichten. Slechts op de meest essentiële en algemene punten gaan we nu nog in.

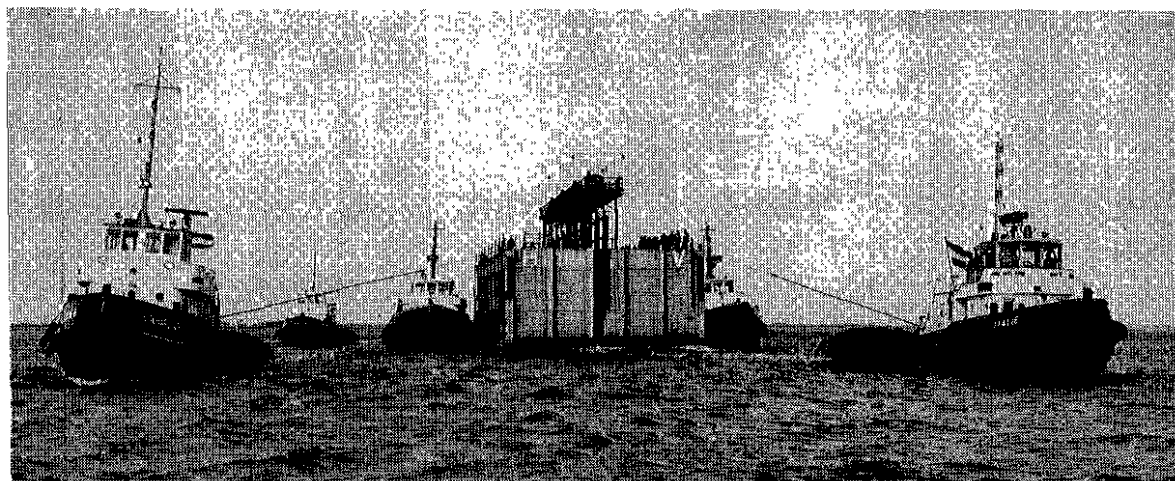
Een caisson moet zo geconstrueerd worden dat hij voldoende sterk is om over water te worden versleept van bouwdoek naar sluitgat en om daar te worden afgezonken. Daarna moet hij voldoende stabiel op de drempel staan. Doorgaans wordt een caisson neergezet op een drempel waarvan de bovenste laag bestaat uit zware stortsteen. Vanwege de grofheid van de steen komen er in het oppervlak van zo'n drempel altijd wel onregelmatigheden voor, zodat een caisson met vlakke bodem slechts plaatselijk zal worden ondersteund. Aangezien er vooraf geen zekerheid bestaat waar de caisson zal worden ondersteund en waar niet, wordt bij de sterkteberekening uitgegaan van de ongunstigst denkbare mogelijkheden, namelijk oplegging op de beide uiteinden, dan wel ondersteuning van alleen het midden. Deze veronderstellingen beperken de mogelijke lengte van een caisson om zowel constructieve als financiële redenen tot een zeker maximum. In de praktijk hield men een maximale lengte aan van ongeveer 50 m.

Aangezien het uitvoeringstechnisch aantrekkelijk is het aantal caissonplaatsingen bij een sluiting zoveel mogelijk te beperken, en het daarnaast op grond van nautische overwegingen gewenst moet worden geacht dat de verhouding tussen breedte en lengte van een caisson 1:3 of 1:4 bedraagt, gaat de voorkeur niettemin uit naar caissons van grotere lengte dan 50 m. Maar dan moet de onzekerheid omtrent de oplegging worden weggelaten. Dat bereikt men door de caissonbodem een gewelfde vorm te geven, waardoor de oplegging gefixeerd wordt op ongeveer 1/4 en 3/4 van de caissonlengte. Om onderloopsheid tegen te gaan worden er ribben onder de caisson aangebracht, die wel een afsluitende werking hebben, maar geen dragende functie, aangezien zij door hun geringe breedte gemakkelijk in de drempel dringen.

Nadat hij tot zinken is gebracht, moet de caisson gegarandeerd standvast zijn, ook bij vervaldrukken en golfklappen. Of dit zo is wordt bepaald door het gewicht van de caisson en van de wrijvingscoëfficiënt tussen drempel en caisson. Veelal wordt in de caisson een ballastbak opgenomen, die na het afzinken met zand wordt gevuld, teneinde de caisson extra zwaarte te geven. Proeven op ware grootte hebben inzicht verschaft in de wrijvingsverschijnselen tussen caisson en drempel. De wrijvingscoëfficiënt is bij een vlakke bodem minimaal 0,5, en bij een geribde bodem minimaal 0,6. Daarboven ligt dan nog een veiligheidsmarge voordat de caisson doorgaand verschuift.

Tijdens de overvaart en bij het afzinken is het gewenst dat de caissons rechtstandig blijven. Dat kan men het beste bereiken door ze

Een doorlaatcaisson omringd door sleepboten op weg naar het sluitgat. Foto genomen bij de afsluiting van het Volkerak, in 1969



symmetrisch te bouwen volgens de lengte-as. De caissons waarmee het Veerse Gat werd gesloten, misten deze symmetrie doordat er aan één zijde stalen schuiven in waren opgehangen, en aan de andere kant houten schotten. In het midden van de caissons was om de stabiliteit tijdens het zinken te bevorderen, een tijdelijk slingerschot aangebracht. Bij latere ontwerpen werden voor de tijdelijke afdichting aan beide zijden houten schotten gebruikt, terwijl de stalen schuiven voor de definitieve sluiting in het midden waren aangebracht. Tijdens het varen en afzinken dienden die tevens als slingerschot. De eisen van stevigheid en stabiliteit resulteren in relatief zwaar uitgevoerde vloeren, wanden en tralieverbanden. Dit is natuurlijk strijdig met de wens de caissons zo weinig mogelijk weerstand te laten bieden aan de

stroom.

Gebleken is dat de effectiviteit van doorlaatcaissons toeneemt naarmate ze op een dieper gelegen drempel worden geplaatst. Dit komt het beste uit, wanneer men de afvoercoëfficiënt beschouwt, een getal dat aangeeft welk deel van het totale doorstroomoppervlak ook effectief als zodanig werkt. Bij een drempeldiepte van N.A.P. - 6 tot 6,5 m, zoals in de Lauwerszee het geval was, bedraagt de afvoercoëfficiënt 0,6 tot 0,7. In het Volkerak, waar de drempel lag op N.A.P. - 7 m, bedroeg de afvoercoëfficiënt 0,75 tot 0,8 m, mede als gevolg overigens van een betere hydraulische vormgeving. In het Brouwershavense Gat lag de drempel op N.A.P. - 10 m; de afvoercoëfficiënt der caissons bedroeg er 0,80 tot 0,85. De groei in de afmetingen der caissons heeft ook gevolgen voor het slepen en afzinken.

De krachten die het stromende water op een caisson uitoefent, nemen toe naarmate die caisson langer en breder wordt, en dieper komt te liggen. De ervaring leert dat caissons het best kunnen worden gemanoeuvreed door sleepboten. Wanneer de caissons groter worden, moet er ook meer sleepbootkracht worden geleverd. Ter wille van de overzichtelijkheid en het samenspel kan het aantal sleepboten rondom een caisson echter niet onbeperkt worden uitgebreid. Daarom moet het vermogen per boot worden opgevoerd, terwijl de manoeuvreerbaarheid daar niet onder mag lijden. Zware zeeslepers kunnen voor dit werk bijvoorbeeld niet worden ingezet. Gelukkig zijn de tankers in de periode waarin de caissons al maar groter werden, nog veel harder gegroeid. De moderne grote tankers vragen bij het binnenlopen van havens eveneens zwaardere, zeer manoeuvreerbare sleepboten. Werd 10 tot 15 jaar geleden in hoofdzaak nog gewerkt met sleepboten van 600 tot 900 pk, thans wordt het merendeel van het werk verzet door boten van 2800 pk. Zulke zware sleepboten kunnen gemakkelijk het vermogen opbrengen om een zeer grote caisson te manoeuvreren.

Samenvattend kan gesteld worden: ook bij grote tijverschillen kan men een veilige afsluiting verwezenlijken met behulp van caissons. Caissons komen het best tot hun recht in diepe sluitgaten. Hun maximale lengte wordt hoofdzakelijk bepaald door constructieve en financiële overwegingen. Hoe diep de caissondrempel mag liggen, hangt af van de mogelijkheden om die drempel redelijk vlak af te werken.

Geleidelijke sluitingen

Wij zagen reeds dat bij de geleidelijke sluiting twee methodes kunnen worden onderscheiden: een geul wordt dichtgedrukt over de volle breedte, of men werkt van beide kanten naar het midden, 'over de kop'. Bij de afsluiting van de Zuiderzee werd aanvankelijk de eerste methode overwogen, maar uiteindelijk koos men de tweede, omdat het stortmateriaal, kelleem, niet tegen een langdurige stroomaanval bestand leek.

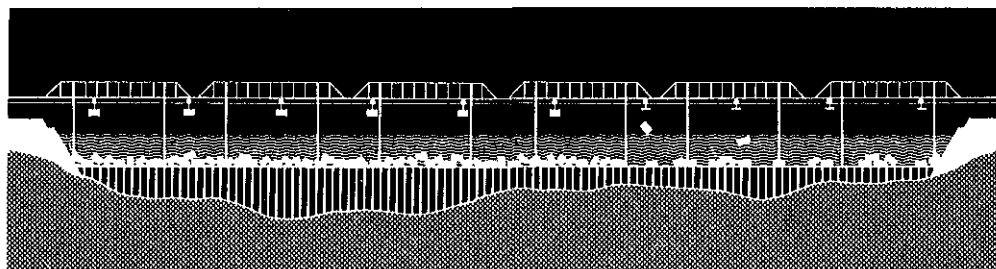
Dezelfde bezwaren tegen een geleidelijke sluiting over de volle breedte gelden ook bij de Deltawerken, maar dan nog in versterkte mate, omdat de vervallen groter zijn. Bij de geleidelijke sluiting in het Haringvliet en de Grevelingen waren de vervallen nog betrekkelijk gering: respectievelijk maximaal 60 en 90 cm. In verhouding tot de in deze wateren optredende getijverschillen waren de vervallen

klein: in de Grevelingen omdat het hier niet ging om een aan de achterzijde afgesloten gebied, in het Haringvliet omdat men daar de vervallen kon beperken door de sluisen open te zetten.

In het Brouwershavense Gat was het verval, en daarmee de stroomsnelheid, veel groter, aangezien het hier wel de afsluiting betrof van een achterwaarts geheel afgesloten gebied; er was om die reden een direct verband tussen het tijverschil en de vervallen. Deze waarde neemt in de Oosterschelde verder toe. Met name het ebval zal twee keer zo groot zijn als dat in het Brouwershavense Gat. Met dit gegeven moet uiteraard rekening worden gehouden bij de keuze van het stortmateriaal. In de Grevelingen kon worden volstaan met betrekkelijk lichte stortsteen; in het Brouwershavense Gat daarentegen was men genoodzaakt zware betonblokken te gebruiken om het verval te kunnen weerstaan, terwijl de stabiliteit van de dam anderzijds werd bedreigd door een krachtige golfaanval. Ook in de Oosterschelde zullen in geval van een geleidelijke sluiting betonblokken worden gebruikt, naar zich laat aanzien van nog groter stukgewicht.

Ondanks het feit dat bij een geleidelijke sluiting van een grote zeegaten in het Deltagebied grotere snelheden zouden zijn te verwachten dan bij een caissonsluiting, was er bij de uitwerking van het Deltaplan een goede reden om naast de caissonsluiting de geleidelijke afsluiting als mogelijkheid te blijven bestuderen.

Uit bodemonderzoek in het Brouwershavense Gat bleek namelijk dat daar plaatselijk zeer lage sondeerwaarden voorkwamen, hetgeen duidt op losse pakking van het bodemmateriaal. Bij wijzigingen in de belastingtoestand door bijvoorbeeld de aanleg van een drempel of het plaatsen van caissons zouden wateroverspanningen kunnen ontstaan, die in losgepakte zandlagen kans op zettingsvloeiing ten gevolge hebben. Bij een zettingsvloeiing verliest de bodem onder toenemende druk hoe langer hoe meer stabiliteit. Een zettingsvloeiing bij een caissonsluiting zou ernstige stagnaties opleveren, en caissons verloren doen gaan. Bij een geleidelijke sluiting zou ter plaatse van de zettingsvloeiing alleen extra materiaal moeten worden gestort. Overigens zou de kans op een zettingsvloeiing kleiner zijn doordat de belasting meer geleidelijk wordt opgevoerd. Daarbij komt dan het probleem van de wervelstraten. Bij een caissonsluiting met zijn landhoofden en kopwanden zullen sterke turbulenties optreden die plaat-



Schets van een ontwerp dat nooit werd uitgevoerd, een stalen brug, berijdbaar voor auto's, die tegelijk dienst doet als kabelbaan

selijk grote ontgrondingen kunnen veroorzaken. Bij een geleidelijke sluiting zou men de ontgrondingen wellicht beter kunnen beperken, ondanks de hogere stroomsnelheden. De onderzoeken in verband met de toepassing van een geleidelijke sluiting in het Deltagebied lopen al vanaf 1959. Steeds heeft men daarbij gesteld dat voorafgaand aan de beslissing over het al of niet toepassen van de geleidelijke methode in een der primaire sluitingen, een proef zou moeten worden genomen bij een secundaire sluiting. Voor een dergelijke proef leende zich goed de afsluiting van de noordelijke geulen van de Grevelingen, ook wat het tijdschema betreft. De afsluiting zou namelijk plaatsvinden in 1964. De resultaten van de proef zouden dan nog verwerkt kunnen worden in de beslissingen ten aanzien van de afsluiting van het Haringvliet (1970), het Brouwershavense Gat (1971), en uiteindelijk de Oosterschelde (1978).

Voortbouwend op de traditionele methode met een houten steiger door het sluitgat, dacht men voor de Deltawerken eerst aan een stalen brug op spudpalen, waarvan vrachtauto's materiaal zouden storten in het gat. De brug zou door een nogal groot aantal palen moeten worden ondersteund, en wanneer een paar spuds hun stabiliteit zouden verliezen door zettingsvloeiing of iets anders, zou hij als transportweg verloren zijn. Men liet daarom het denkbeeld van een brug varen, en richtte zijn gedachten op een kabelbaan. Ook dan zouden tussensteunpunten nodig zijn, maar niet meer dan één of twee. Door diep te funderen zou men de stabiliteit ervan wel kunnen verzekeren, zodat ze ook bij een zettingsvloeiing niet zouden bezwijken. Deze vaste hulp-

constructie loste heel wat problemen op die aan de stalen brug kleefden, maar de bewegende delen, bij de brugconstructie gewone vrachtauto's, waren bij de kabelbaan moeilijker te ontwerpen. De keus viel op een systeem waarbij elke gondel van de kabelbaan zijn eigen motor zou hebben, teneinde onafhankelijk van de andere te kunnen bewegen. Een motorstoring zou dan slechts een geringe vermindering van capaciteit tot gevolg hebben. Met de firma Neyrpic te Grenoble (Frankrijk) werd een studie-overeenkomst gesloten om een voorontwerp nader uit te werken; later werd met diezelfde firma de levering overeengekomen van een complete kabelbaaninstallatie.

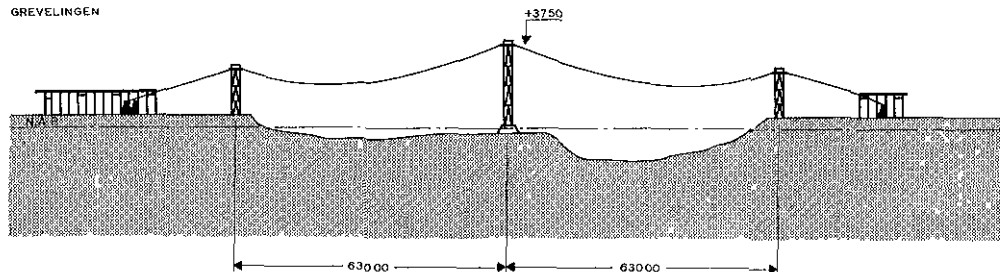
Voor de afsluiting van de noordelijke geulen van de Grevelingen werd voornamelijk stortsteen als materiaal gebruikt. Aanvankelijk stelde men zich voor een last van 10 ton in vier gelijke porties te laten vallen; later werd een stalen net ontworpen waar men de stortsteen geleidelijk uit kon gieten. Tegenover de nuttige last van 10 ton stak het uiteindelijk bereikte eigen gewicht van de gondels, niet minder dan 20 ton, ongunstig af. De ontwerptijd voor de gondels was te kort geweest, en dat uitte zich in een aantal moeilijkheden en storingen waarmee het kabelbaanbedrijf in de Grevelingen geteisterd werd. De sluiting verliep evenwel naar wens, en het experiment leek de moeite van het vervolgen waard. Met een telkens verbeterd instrument werden vervolgens zowel het Haringvliet als een der geulen van het Brouwershavense Gat afgesloten. Bij deze laatste sluiting was het gewicht van gondel en last gezamenlijk nog steeds 30 ton. Maar het eigen gewicht van de nieuwe gondels was nu slechts 15 ton, en

Vergelijking van de verschillende
kabelbaanopstellingen in het
Deltagebied

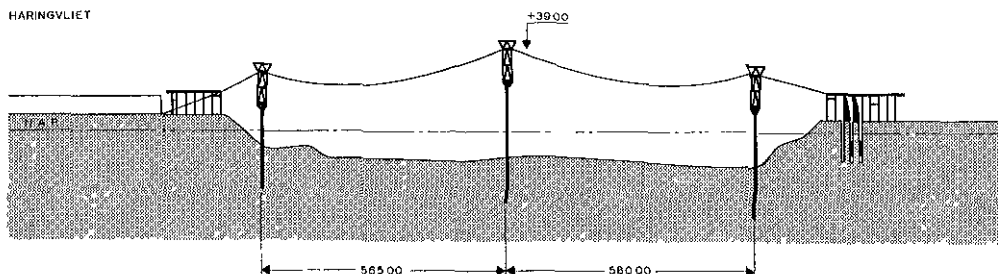
deze gondels namen telkens niet 10 maar
15 ton nuttige last mee.

Gaan we de ontwikkeling van het instrumen-
tarium waarmee men een geleidelijke sluiting
voltrekt, nog eens systematisch na. De kabel,
het belangrijkste vaste onderdeel van de
kabelbaan, heeft als constructie geen wijzi-
ging ondergaan. Slechts is een betrekkelijk
geringe wijziging aangebracht in de kabel-
doorsnee. Wel is verandering gekomen in de
manier waarop de kabels op spanning worden
gehouden. Bij de Grevelingensluiting zorgde
een scharnierend contra-gewicht met balans
voor een constante kabelspanning. Bij het
Haringvliet paste men drie in verticale schach-
ten vrijhangende gewichten toe. Men onder-
vond bij het plaatsen van die verticale schach-
ten veel moeilijkheden, en bij het Brouwers-
havense Gat keerde men daarom terug naar

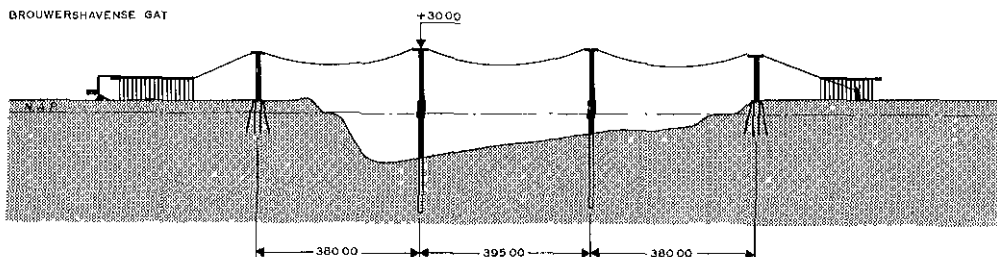
GREVELINGEN



HARINGVLIET



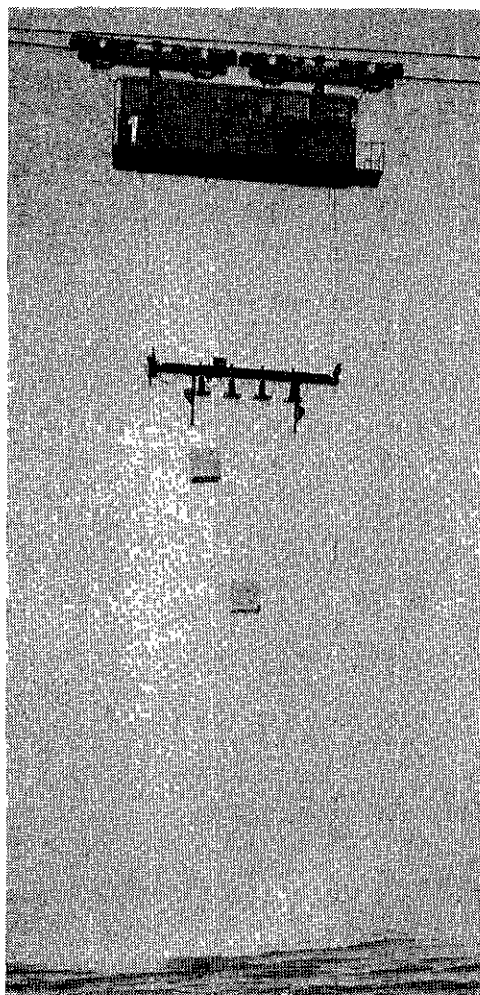
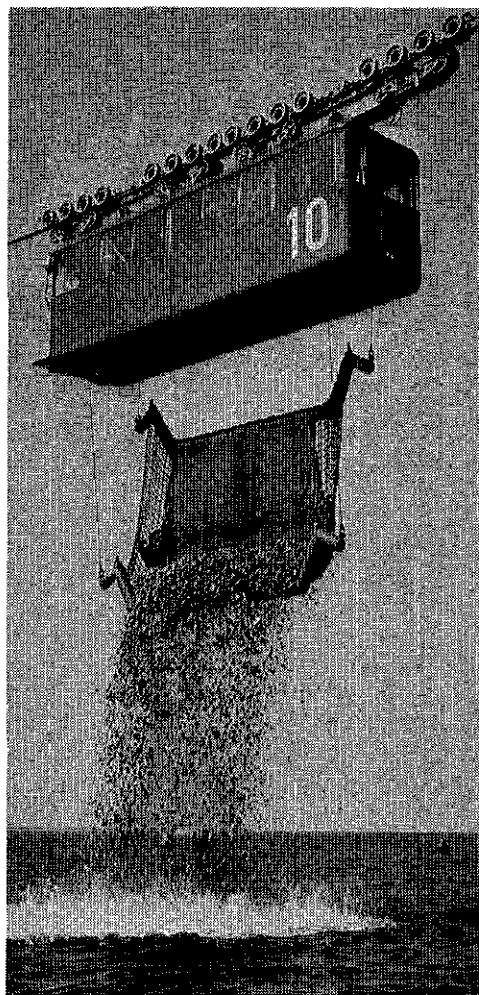
BROUWERSHAVENSE GAT



de eerstvermelde methode. De kabels werden ondersteund door de bovenbouw van een aantal draagtorens. Geleidelijk heeft men de onderlinge afstanden van deze torens steeds kleiner gekozen. Dat maakte snellere opeenvolging van de gondels mogelijk, en het verkleinde ook de doorhang van de kabels, wat weer resulteerde in een grotere gemiddelde snelheid van de gondels. Bij de Grevelingen waren de overspanningen 630 m lang, in het Haringvliet 580 m en 565 m, in het Brouwershavense Gat achtereenvolgens 380 m, 395 m en 380 m.

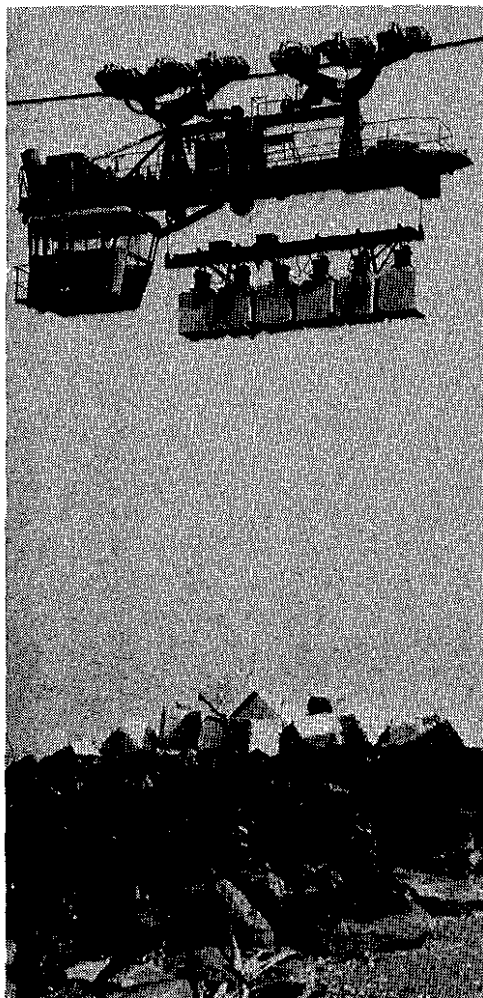
Bij de afsluiting van de Grevelingen waren de draagtorens uitgevoerd als een stalen vakwerk. Het bovenste deel was een portaal, waar de beide kabels en dus ook de gondels doorheen gevoerd werden. Bij het Haringvliet ging men over op een minder kwetsbare

Verschillende gondels en stortmaterialen, van links naar rechts: het bedrijf in de Grevelingen, het Haringvliet en het Brouwershavense Gat



constructie van beton, en bij het Brouwershavense Gat werd de portaalvorm verlaten. Een centrale toren werd daar bekrond met een betonnen juk, waar de draagkabels aan bevestigd werden. De gondels passeerden de toren daar aan twee kanten.

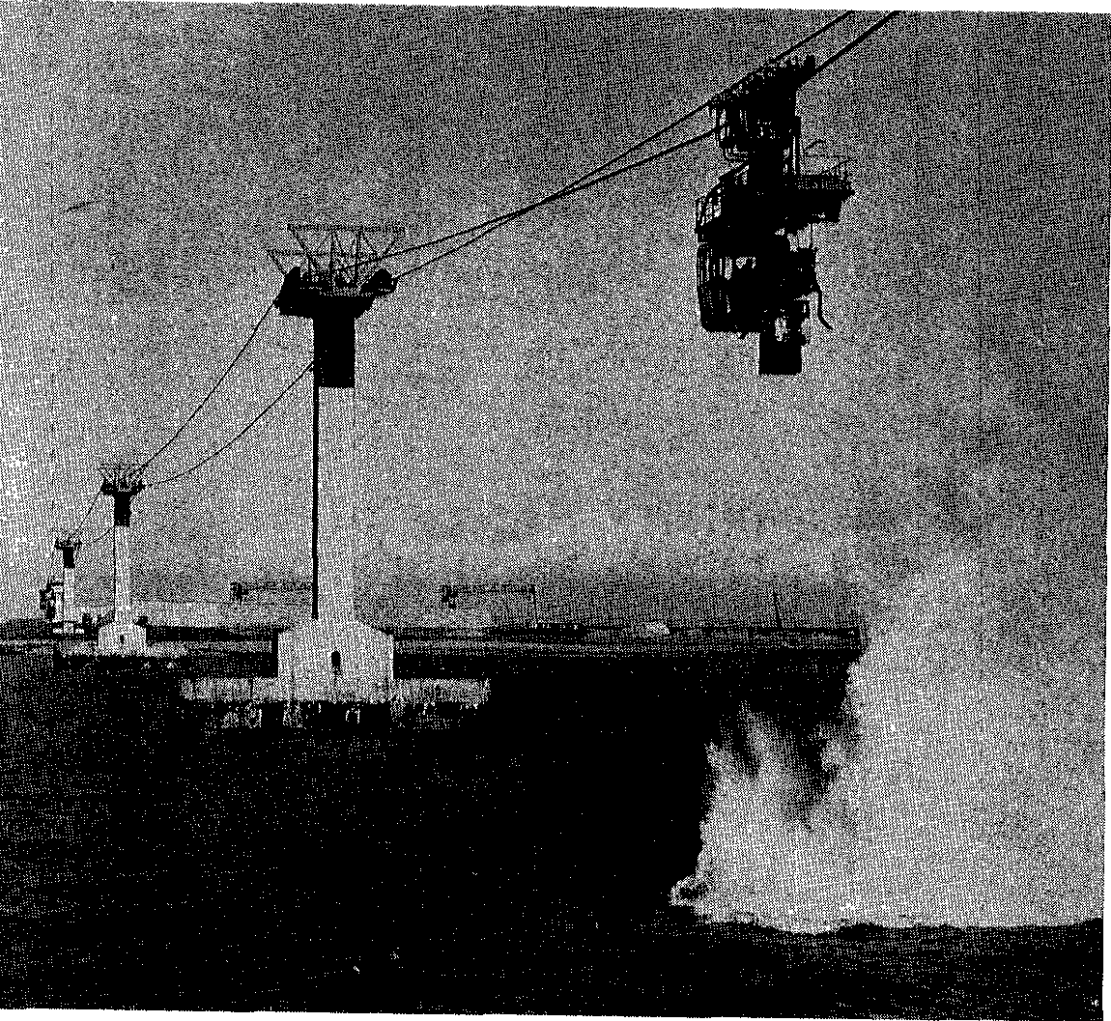
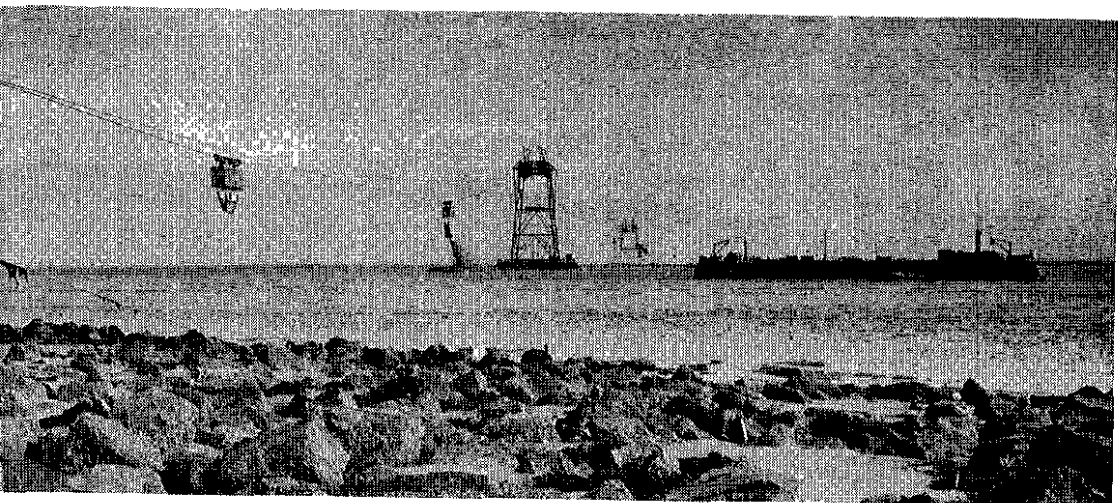
De middentoren van de kabelbaan over de Grevelingen was gefundeerd op vier eenheidscaissons. Het sluitgat was op die plek namelijk al van nature ondiep, waardoor er gemakkelijk een klein eiland kon worden gevormd. Bij het Haringvliet stonden alle drie de draagtorens in het water. Alleen al om hydraulische redenen was de vorming van drie kleine eilandjes in het sluitgat onmogelijk. Maar bovendien hadden de opgetreden wateroverspanningen onder het kunstmatige eilandje in de Grevelingen aangetoond, dat het zaak was de toren dieper te funderen. Men koos



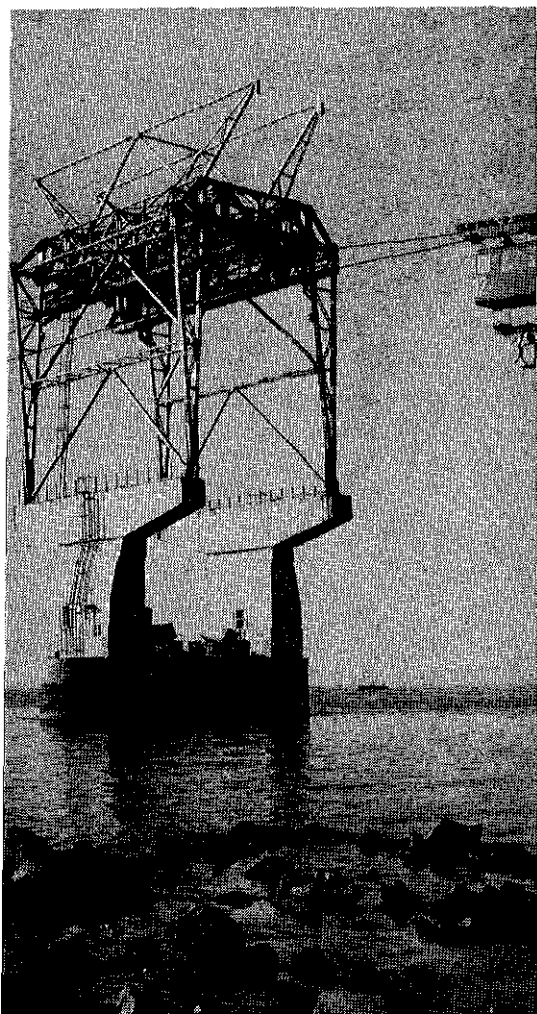
daartoe een puttenfundering van het type dat ook de Oosterscheldebrug draagt. Drie putten per toren bleken voldoende om ook de druk van eventuele ijsvelden te kunnen weerstaan. Deze betrekkelijk goedkope manier van funderen is ook bij het Brouwershavense Gat weer toegepast.

De grootste veranderingen, het werd boven al aangestipt, zijn aangebracht in de constructie van de motorgondels. De gondels van de Grevelingen werden na het aanbrengen van een aantal modificaties opnieuw gebruikt in het Haringvliet. Deze gondels hadden als krachtbron een dieselmotor, die via een stelsel van tandwielen 16 loopwielen aandreef; dit zware mechanisme was een van de oorzaken van het ongunstige eigen gewicht. Voor het Brouwershavense Gat werd een geheel nieuwe gondel ontworpen, ditmaal met behulp van plunjerpompen en hydromotoren aangedreven door een gasturbine. Behalve verschil in technische opzet vertoonden de nieuwe gondels ook een heel ander aanzicht. De zeer omvangrijke cabine van het Grevelingentype werd in het Brouwershavense Gat vervangen door een veel eenvoudiger gondel, waar alleen de bemanning en het besturingsmechanisme in een gesloten cabine waren ondergebracht; de motor stond op een open platform.

De beteugelingsdam door de Grevelingen werd opgestort met grind, stortsteen 10-300 kg en bij wijze van proef met enkele experimentele materialen zoals verpakt zand en verpakt en onverpakt zandaspalt. De veel grotere stroomaanval in het Haringvliet en het Brouwershavense Gat zou, naar de berekening leerde, zeker in de laatste fase een veel zwaardere steensortering vereisen, namelijk minstens 300-1000 kg en mogelijks zelfs 1000-2000 kg. Bij zulke hoge gewichten werd het met het oog op de gevoeligheid van de kabelbaan beter geoordeeld, op maat gegoten betonblokken te gebruiken, dan natuursteen van allerlei vorm en gewicht. Uitvoerig werd in het Waterloopkundig Laboratorium nagegaan of een dam van betonblokken onder de te verwachten omstandigheden voldoende stabiel zou zijn. Uit de proeven bleek dat met kubusvormige blokken van 2½ ton een stabiele beteugelingsdam kon worden gemaakt. Van dat soort blokken zijn er inmiddels 344.000 gemaakt, en 302.000 verwerkt in het Haringvliet en het Brouwershavense Gat. In het beton werd een eenvoudige haak ingegoten, en mede hierdoor konden de blokken met hun regelmatige vorm mechanisch worden getransporteerd, in depot opgeslagen en later uit het depot onder de gondels worden aangehaakt. In plaats van met een kettingnet



Constructie van de draagtorens
in de Grevelingen (links boven),
het Haringvliet (rechts beneden)
en het Brouwershavense Gat



waren de gondels bij de laatste twee geleidelijke sluitingen daarom uitgerust met een stortbalk waaraan 4, respectievelijk 6 blokken van 2½ ton konden hangen. Deze blokken werden dan door tussenkomst van een systeem van optische geleiding juist in het bedoelde baanvak gelost, één voor één en in een bepaald ritme, dat te grote opslinging van de baan moest voorkomen.

Bij een geleidelijke sluiting wordt doorgaans gestort in horizontale lagen dan wel in lagen die ongeveer evenwijdig lopen met het bodemoppervlak. Bij de zijanten van een sluitgat is het veelal mogelijk het stortverloop zo te kiezen, dat sterke wervelstraten worden vermeden. Daarmee voorkomt men al te diepe ontgrondingen nabij de oevers. Elke sluiting vertoont wat de oevers betreft weer andere specifieke trekken en van geval tot geval is dan ook gedetailleerd modelonderzoek nodig. In het Haringvliet werd op grond van zulk onderzoek nabij de oevers begonnen met het opstorten van een onderwaterkade met een flauw, onder een hoek van 1 : 50 verlopende kruin. In het Brouwershavense Gat werd nadat al in het wintersluitgat een laag blokken was gestort met een drijvende kraan, in de eerste fase van het kabelbaanbedrijf alleen gestort onder de Schouwense oever. Daardoor werd de stroom uit deze zwakke oever gedrukt. Een dam die is opgebouwd uit blokken van 1 m³ is niet bepaald waterdicht. Er blijft een poriëngehalte in over van 40 %, en tengevolge van het verval over de dam ontstaat er in de dam een zeer turbulente waterbeweging. Dit maakt het onmogelijk de dam zonder meer af te dichten met zand.

Op grond van uitvoerig modelonderzoek werd in het Haringvliet een afdichtingsconstructie beproefd bestaande uit een banket van grof grind tegen de beteugelingsdam, en daarbovenop een stroomafdichtende laag van warm zandasfalt. Terwille van het onderzoek werd deze afdichting enkele malen aangebracht bij een verval dat kunstmatig was opgevoerd door sluiting der uitwateringsluizen. De constructie bleek wel te voldoen, maar ze eiste enorme hoeveelheden grind en zandasfalt. De onderzoekingen in het Waterloopkundig Laboratorium richtten zich daarom op de mogelijkheid grind niet tegen de dam aan te brengen, maar erin. Het bleek dat met deze methode een snelle en niet te dure afdichting kon worden verkregen. Bij toepassing in het Brouwershavense Gat nam de stroom door de dam zo sterk af dat het tegen de blokkendom opgespoten zand niet meer uitspoelde. Deze methode biedt dus perspectief naar de toekomst.

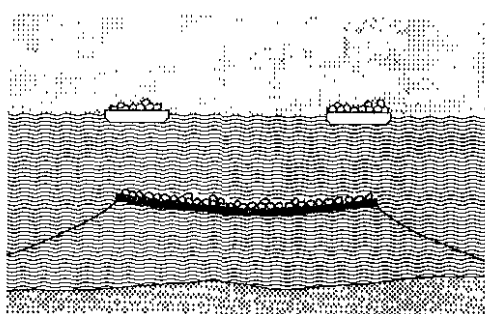
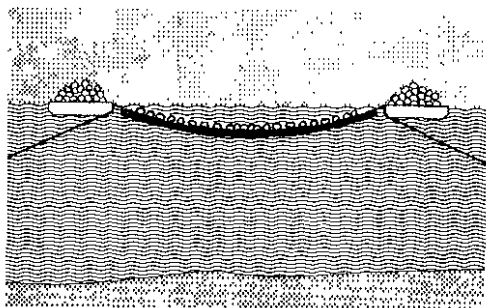


De bodembescherming van een sluitgat

Welke methode van afsluiting men ook kiest, het zal bij de beweeglijke zandbodem in onze zeegaten steeds geboden zijn op de plaats van de afsluiting voorzieningen te treffen tegen de stroomaanval. In de eerste plaats zal in het tracé van de afsluiting vaak een drempel moeten worden aangebracht die als fundament dient voor de afsluiting zelf. Dit is vooral belangrijk wanneer er caissons worden gebruikt. Tevens moet de naaste omgeving worden beschermd tegen uitschuring door de stroom, die tijdens de afsluiting ter plaatse soms vrij sterk zal kunnen toenemen, om te beginnen al onder invloed van de opbouw van de drempel. Aan weerszijden van de drempel moet daarom nog een bodembescherming worden aangebracht met een breedte die, afhankelijk van de omstandigheden, varieert van enkele tientallen tot een paar honderd meter.

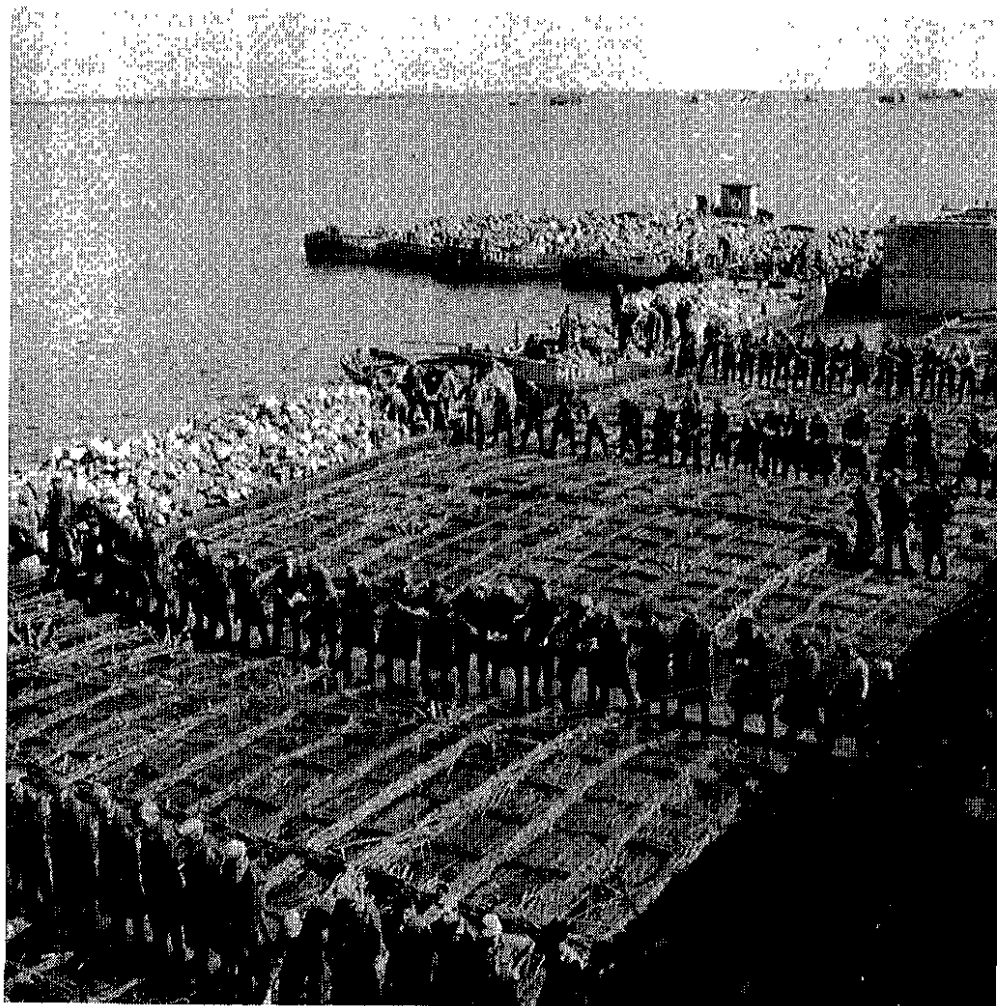
Het beschermen van oevers tegen uitschuring door getijstroom is in Nederland geen nieuw probleem. Reeds eeuwen zijn we daarmee geconfronteerd, en op basis van zeer lange ervaring ontwikkelde zich een beproefde methode die lange tijd nauwelijks aan wijzigingen onderhevig is geweest. Te verdedigen bodemgedeelten worden al eeuwen afgedekt met zogenaamde 'zinkstukken'. Een zinkstuk is een gevlochten rijzen matras, die wordt afgedekt met steen. De constructie en vooral de samenstelling van het zinkstuk zijn in hoge mate bepaald door de materialen die daarvoor van oudsher in eigen land beschikbaar waren: rijshout en riet, waarvan de matras werd vervaardigd, en klei en puin, waarmee de matras kon worden afgedekt. Pas in de loop van de vorige eeuw ging men er toe over zinkstukken af te

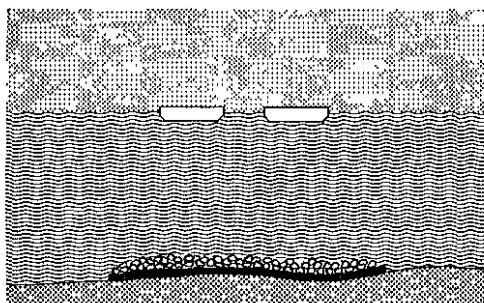
storten met uit het buitenland – vooral België – ingevoerde natuursteen. Vele hectaren oeververdediging van dat type kan men in onze kustgebieden vinden, met name in Zeeland; veel van die bodemverdedigingen bieden nu al meer dan een eeuw weerstand aan de stroom. Soms liet men het zinkstuk zelf uit de verdediging weg, en beperkte men zich tot steenbestortingen, die afhankelijk van de ondergrond, soms ook voldoende weerstand konden bieden. Was dat niet het geval, dan was men later genoodzaakt steen bij te storten. Het lag dus wel voor de hand dat de ontwerpers van de Zuiderzee-afsluiting op nieuw hun toevlucht namen tot deze beproefde verdedigingstactieken. De stroom waartegen men de bodem beschermen moest, was echter veel sterker dan langs dijke oevers wordt aangetroffen. Onder buitengewone omstandigheden kon hij aanzienlijk zijn, en zelfs oplopen tot meer dan 5 m/sec. Men trad dus wat dit betreft bij de zinkstukken in de sluitgaten buiten de ervaring. Met name bestond onzekerheid omtrent de weerstand die een stuk kan ontleen aan zwaardere steenbestorting. De schaalvergroting leidde wellicht tot kwalitatieve veranderingen. De enige ervaring waar men op kon terugvallen was die met de sluiting van het Sloe in 1871; voorts waren er buitenlandse publikaties aangaande de stroombestendigheid van steen in berg-rivieren. De steun van modelonderzoek was onontbeerlijk om een extrapolatie van de bestaande toestand te verkrijgen. Dit onderzoek leidde tot een constructieverzwaring in de richting dwars op de stroom; de wiepen in deze richting werden uitgebreid tot een dikte van 40 cm. Men achtte het evenwel gevaarlijk, zonder meer op de modelproef te vertrouwen



Traditionele methode van af-
zinken van een klassiek zinkstuk

Het traditionele afzinken is een
bijzonder arbeidsintensief karwei





en zocht naar een mogelijkheid het nieuwe zinkstuk te beproeven op ware grootte. De gelegenheid tot zo'n proef deed zich voor in de stortkom van de Maasstuw bij Roermond. De uitkomsten van de proeven op ware grootte lagen nog iets gunstiger dan die van de modelproef, en in de praktijk waren de ervaringen met deze constructieverbetering van het zinkstuk zo goed dat de dikke wiepen later weer werden toegepast bij de dichting van de stroomgaten op Walcheren en daarna nog bij de afsluiting van de Brielse Maas. De verbetering was overigens maar betrekkelijk. Veel bezwaren die aan het klassieke zinkstuk kleven voor het gebruik op grote schaal en onder extreme omstandigheden, waren er nog niet door verholpen. Het vervaardigen van een klassiek zinkstuk is tijdrovend werk, evenals het bestorten ervan, waarvoor bovendien grote hoeveelheden steen benodigd zijn. De dichtheid van een klassiek stuk onder zware stroom is namelijk voor een belangrijk deel afhankelijk van de steenbestorting; op de steenlaag bij sterke stroom zou kunnen worden bezuinigd als het zinkstuk zelf van een dichtere constructie was. Voorts is de manier waarop een klassiek zinkstuk aan de grond wordt gebracht, erg tijdrovend. Dat kan namelijk alleen geschieden bij geringe stroom, dat wil in tijwateren zeggen op of omstreeks de kenteringen. In enkele belangrijke opzichten was er dus, bij al die afsluitingen in de eerste helft van deze eeuw, nog niet veel aan het aloude zinkstuk veranderd. Het bleef een sterk in de traditie geworteld ambachtelijk werkstuk, waarop de moderne technologische ontwikkelingen nog geen vat hadden kunnen krijgen. Een principiële wending, zoals die in de sluitingsmethodieken tot stand kwam

sinds de dichting van het stroomgat bij de Nolle, kon voorts nog in de ontwikkeling van de bodembescherming niet worden ge-forceerd. Pas met de uitvoering van de Deltawerken werden nieuwe wegen gebaad. Vanaf de aanvang van de Deltawerken was het duidelijk dat met de bestaande bodembeschermingsconstructies en werkmethode(n) niet kon worden volstaan, zowel vanwege de zwaardere eisen die werden gesteld als vanwege de grote hoeveelheden die bij de Deltawerken nodig zouden zijn. Er is dan ook onmiddellijk een begin gemaakt met de ontwikkeling van nieuwe materialen en werkmethode(n), waarbij de uitvoering van elk volgend werk werd gebruikt om nieuwe mogelijkheden in de praktijk te onderzoeken. Deze ontwikkeling heeft ertoe geleid dat er thans drie typen bodembescherming ter beschikking staan, die ieder voor zich aan hoge eisen voldoen, en die als gevolg van hun specifieke eigenschappen in één of meer dan één onderdeel van een sluitgat kunnen worden toegepast. Deze drie typen zijn: gemoderniseerde zinkstukken, gegradeerde steenbestortingen en asfaltmastiëkbekledingen.

Over het klassieke zinkstuk nog een paar opmerkingen. Is bij een niet-turbulente overtrekkende stroom nog zanddichtheid te bereiken bij stroomsnelheden tot 4 à 4,5 m/sec., zodra er wervelstraten optreden, die opgewekt kunnen worden bijvoorbeeld door de landhoofden van een sluitgat, gaat er al bij stroom van 2 à 3 m per seconde zand door de mat heenlopen. Bij toepassing van een zinkstuk onder een caisson of sluitkade is de stroming door het zinkstuk als gevolg van het verval over de drempel maatgevend. Al bij kleine verhangen, in de orde van grootte van 4 ‰, begint zand tussen de wiepen van het onderwaterwerk op te warrelen, en daarna wordt het door het hele rijshoutpakket heen meegevoerd. De kritieke waarden die hier werden genoemd in verband met overtrekkende stroom en verhangen kunnen in het Delta-gebied in sluitgaten plaatselijk worden overschreden. Als het niet lukte het zinkstuk zanddichter te maken, zou het voor de Deltawerken slechts in zeer beperkte mate bruikbaar kunnen zijn. Op uitgebreide schaal is getracht de zanddichtheid te vergroten door kunststofweefsels in het rijshouten pakket op te nemen. Het lag voor de hand om weefsels te kiezen met een maaswijdte kleiner dan de korrel-diameter van het zand dat men wilde tegenhouden. Dergelijke weefsels bleken echter al bij aanwezigheid van heel kleine percentages slib in de bodem verstoep te raken, en praktisch ondoorlatend te worden, niet alleen voor

zand, maar ook voor water. Onder het weefsel ontstond dan een water-overdruk, die een uitweg zocht bij de naden in het weefsel en daar waar de zinkstukken elkaar overlappen. Op zulke plaatsen vond sterke afstroming van het water plaats en daarmee gepaard aanzienlijke erosie. Gebruikte men een meer open weefsel, dan vond behalve het water ook het zand vrijwel ongehinderd doorgang. Na de teleurstellende proeven met betrekkelijk dunne weefsels is men overgestapt op weefsels met een meer samengestelde structuur, die uiterlijk doen denken aan kokosmatten. Door toepassing van verschillende weefseltechnieken is een matstructuur ontwikkeld die een zeer kleine kans op verstopping combineert met de daaraan tegengestelde eigenschap van maximale zanddichtheid. Dat op deze kunststofmat toch nog een, zij het aanmerkelijk geringere, hoeveelheid rijshout wordt aangebracht, hangt daarmee samen dat men de mat voldoende stijfheid en drijfvermogen wil geven om hem vlak te kunnen verslepen en zinken. De rijshoutlaag vangt ook de beschadiging op die onvermijdelijk wordt veroorzaakt door de bestorting met steen. Verschillende typen zinkstuk zijn op ware grootte beproefd, waarvoor men in een bij Lith gelegen stuw van de Maaskanalisatie gelegenheid vond.

Ook de methode van aan de grondbrengen is fundamenteel gewijzigd. Het nieuwe procédé werkt sneller, en veel nauwkeuriger. Het zinkstuk-nieuwe-stijl wordt aan kop en staart ingespannen tussen bakken of zinkpontons. Een kopbuis met zinkgewicht aan de ene zijde drukt de kop van het stuk naar de bodem. Dan wordt er een steenstort boven het stuk gelegd, die zijdelings stortsteen overboord begint te werken. Zo wordt de rest van het stuk naar beneden gedrukt. Deze werkwijze kan zonder stroom of met stroom worden uitgevoerd, zij het dat de stroomsnelheden niet te zeer mogen oplopen.

De trekkrachten in de kunststofzool kunnen tijdens het afzinken hoog oplopen. Berekent men het weefsel op een breekkracht van 30 ton per strekkende meter, dan is men altijd aan de veilige kant. Vergelijk daarmee eens de breekkracht van het klassieke zinkstuk: 2 ton per strekkende meter!

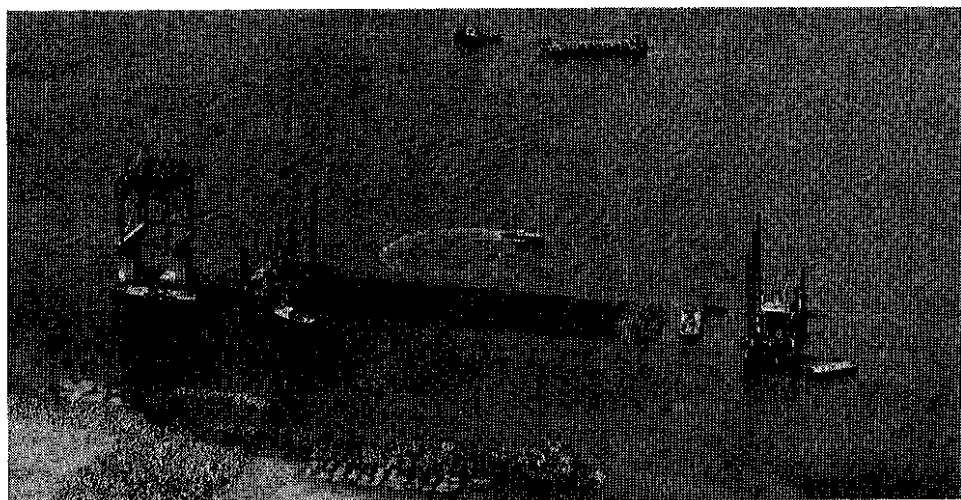
De randen van deze zinkstukken worden tegen omklappen onder invloed van de stroom beveiligd door gestroomlijnde betonbalken die aan de uitstekende zool zijn bevestigd. Deze extra gewichten van 1,2 ton per stuk zijn 1,5 m lang; ze voegen aan de rand van het zinkstuk dus een gewicht toe van 800 kg per strekkende meter. Onderling grijpen ze in elkaar met een visbekconstructie, waardoor het stuk

1 Gestrekt zinken met behulp van spudpontons

2 Schematische voorstelling van het zinken

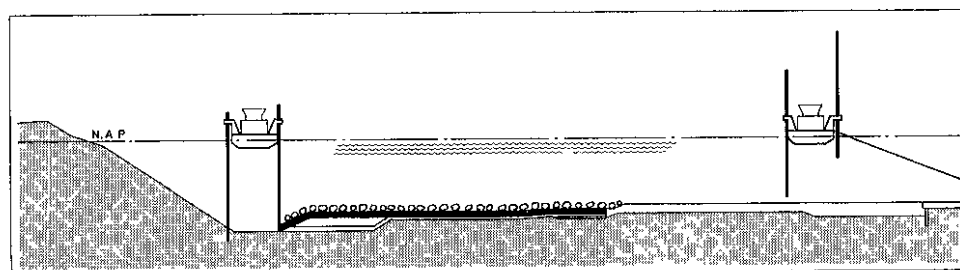
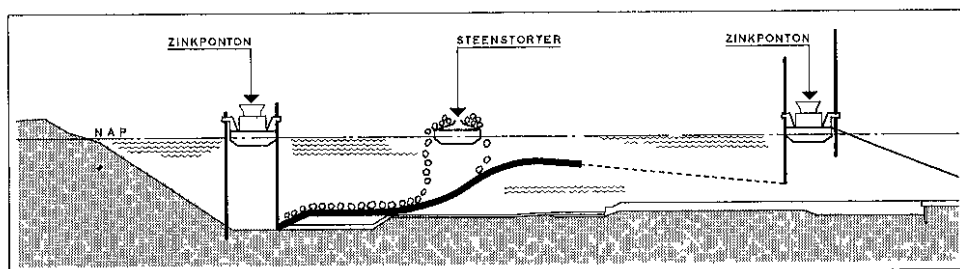
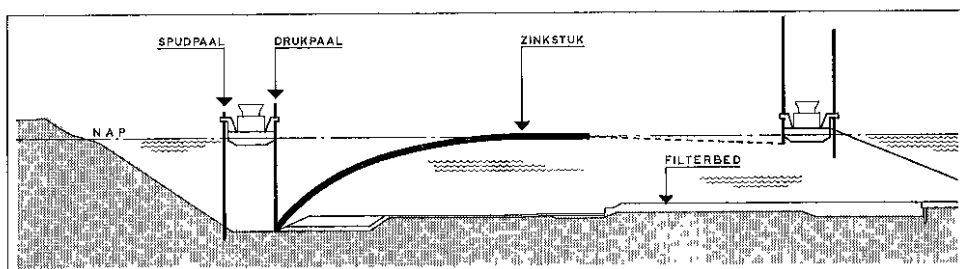
over de volle 30 m breedte soepel genoeg blijft om zich aan de bodem aan te passen. Gegradeerde steenbestortingen zijn net zo opgebouwd als filterconstructies bij de waterzuivering. Ze bestaan uit een aantal opeenvolgende lagen loskorrelig materiaal van opwaarts toenemende diameter. Het water dat men er door voert, passeert de steenlagen onder een rechte hoek. Gebruikt men zo'n constructie als bodembescherming dan gaat het erom het bodemmateriaal op zijn plaats te houden, maar het water zo vrij mogelijk te laten passeren, zulks ter voorkoming van de stabiliteit bedreigende drukverschillen. Elke laag moet de eronder liggende tegen uitspoeling beschermen. De bovenste laag moet bestand zijn tegen de overtrekkende stroom. Binnen de gegradeerde steenbestorting kunnen ook horizontaal stromingen optreden; dat doet zich vaak voor in een drempel waar caissons op staan.

De voorwaarde dat de bovenste laag de overtrekkende stroom in een sluitgat moet kunnen weerstaan, heeft geleid tot gebruik van stortsteen van gemiddeld 200 kg stukgewicht. Zulke grote steenbrokken waren bij de opbouw van waterfilters nooit gebruikt, en weer moest men ten opzichte van bekende gegevens extrapoleren. Nu bleek dat gegradeerde steenbestortingen in de bovenste lagen niet aan de berekeningen beantwoordden. Laboratoriumproeven wezen naderhand uit dat de stroming in de gegradeerde steenlagen bij toenemende korreldiameter van karakter verandert. In zand en in de fijnere filterlagen heeft de stroming een laminair karakter: de waterdeeltjes bewegen zich evenwijdig aan elkaar. In de grovere bovenlagen echter treedt turbulentie op. Terwijl in de fijnere lagen elke



1

2



opvolgende laag kan zijn samengesteld uit korrels met een 80 tot 150 x zo grote diameter als in de voorgaande, is die verhouding in de bovenste, grove lagen heel wat ongunstiger; hier mag de diameter maar toenemen met een factor 8 tot 15.

Als bescherming van een zandbodem zijn gegradeerde steenbestortingen in beginsel universeel bruikbaar. Aan randen waar ontgroningen kunnen optreden, zijn ze echter zonder nadere maatregelen zeer kwetsbaar. Wegens het ontbreken van inwendige samenhang brokkelen ze aan de rand gemakkelijk af, waardoor terugschrijdende erosie kan optreden. Het is daarom gebruikelijk een gegradeerde steenbestorting op te sluiten tussen zinkstukken of asfaltbekledingen, die wél samenhang vertonen. Aan de andere kant heeft een steenbestorting het voordeel dat er geen naden in voorkomen – en het zijn altijd de naden of overlappingsen waar de beide andere typen bodembescherming het eerst zullen bezwijken.

Bij opbouw in den droge kan men een gegradeerde steenbestorting zo nauwkeurig maken als men wil. In den natte is betrouwbare en economisch verantwoorde opbouw slechts mogelijk bij volledige mechanisering, dus bij inzet van mechanische steenstorters. Ook dan wordt geen volledige nauwkeurigheid bereikt. Bij het bepalen van de dikte der onderscheiden lagen moet men daar rekening mee houden.

Al geruime tijd gebruikt men in de waterbouw asfaltmastiek om er stenen mee vast te leggen die zonder die bescherming gevaar zouden lopen door de golfslag of de stroom te worden verplaatst. Sinds 1956 is er een door de Rijkswaterstaat in samenwerking met aannemers bekostigd onderzoek gaande naar de mogelijkheid bodembeschermingen aan te leggen van warme, vloeibare asfaltmastiek. De vervaardiging van een bodembescherming direct ter plaatse heeft het grote voordeel dat de bekleding bij goede uitvoering onverbeterbaar aansluit op de onderliggende bodem. Het is een ingewikkelde technische opgave gebleken, een apparaat te construeren dat onder allerlei omstandigheden een gelijkmatig dik aaneensluitend mastiekdek kan neerleggen op soms tamelijk grote diepten onder water. Na een uitgebreide reeks proefnemingen waarbij de stortapparatuur steeds verder werd geperfectioneerd, en de kennis van de eigenschappen van mastiek en zijn verwerking steeds toenam, heeft men alle verworven kennis en ervaring verwerkt in het ontwerp van een asfaltschip, de 'Jan Heijmans' (zie Bericht nr. 43, februari 1968). Het schip

beschikte over een asfaltdroog- en menginstallatie met een maximale capaciteit van 250 ton per uur. Met behulp van een stortpijp met verdeelmond waarin het asfalt verwarmd bleef, legde het asfaltschip ter breedte van 5 m. In het Brouwershavense Gat legde het schip asfaltbanen van 8 cm dik, die elkaar voor 2/3 overlappen, zodat na afloop van het karwei een aaneengesloten bekleding werd verkregen van 24 cm dikte.

De materiaaleigenschappen van asfaltmastiek, dat een mengsel is van zand, vuilstof en bitumen, hangen af van de visco-elastische eigenschappen van de bitumen en van de overvullingsgraad van de holle ruimten in het mengsel. Nadat het dikke vloeibare mengsel met een temperatuur van 130 tot 170° C op de bodem is aangebracht en is afgekoeld, gedraagt het zich onder snelle belastingvarianties als een stijf materiaal. Het is dan ook bijzonder stroom- en golfbestendig. Onder langdurige belastingen gedraagt het zich als een zware, taai vloeistof. Als aan de rand een ontgroning optreedt, kan het ook lang na afkoeling de verlagings van de bodem volgen zonder dat het scheurt of afbrokkelt. Een bekleding van asfaltmastiek is niet alleen zanddicht, maar ook volkomen ondoorlatend voor water. In sluitgaten, waar door de versnelling van het water snelle spiegelvalingen optreden, zal wateroverdruk optreden onder de asfaltlaag. Neemt die druk toe tot meer dan het eigen gewicht van de bekleding, dan wordt die van de bodem opgelicht, en als dat te dikwijls gebeurt, wordt de bekleding blijvend vervormd door de schuifkrachten die optreden onder invloed van het stromende water. Uit modelproeven blijkt dat de overdruk wordt bepaald door de drempelhoogte, de vervallen, de doorlatendheid van de ondergrond en de breedte van het asfaltdek. In de meeste gevallen is een mat van 25 cm dikte, dat is 500 kg/m² gewicht boven water, tezamen met een steenbestorting van 200 kg/m² voldoende zwaar om de overdrukken te kunnen weerstaan. De steenbestorting vervuurt tevens het oppervlak van de asfaltbekleding, waardoor de ontgroningen worden beperkt. Evenals bij zinkstukken moet de rand van de bekleding worden verzwaard om omklappen door de stroom te voorkomen. Daartoe brengt men op de rand een steenbestorting aan van 500 kg/m² die vervolgens met 300 kg/m² asfalt wordt gepenetreed.

Begeleidend golfonderzoek bij de caissonsluiting in de Kous

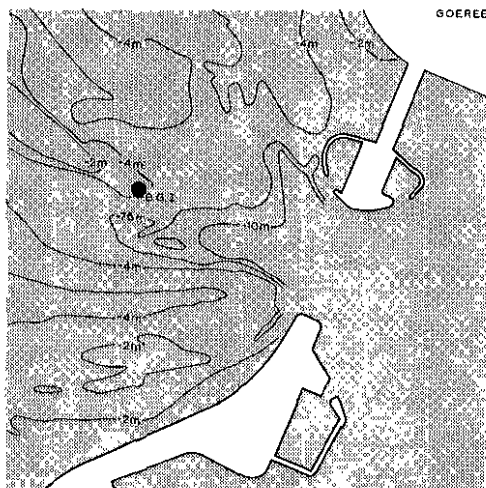
De afsluiting van de Oosterschelde onderscheidt zich van andere operaties niet alleen door haar grootte; ook de zeer aan golfaanval geëxposeerde ligging van het werkgebied maakt deze afsluiting bijzonder. Alleen de situatie van de sluitgaten in het Veerse Gat, in 1962, en de afgelopen zomer in het Brouwershavense Gat, zijn er enigszins mee te vergelijken. Om de sluiting van zulke sterk aan de golfaanval blootgestelde zeegaten veilig te kunnen uitvoeren dient men te beschikken over een zo grondig mogelijke kennis van de golfbeweging in het werkterrein, en over een zo diep mogelijk inzicht van de uitwerking van de golfaanval op de bouwconstructies en de werkbaarheid van het bouw materiaal. Het golfonderzoek dient dan vroeg te beginnen, omdat een lange registratieperiode de betrouwbaarheid van de algemene conclusies die men eruit trekt, sterk verhoogt. In de betreffende gebieden zijn dan ook al jaren terug de nodige golfmeetpalen geplaatst, uitgerust met registrerende instrumenten. (Bericht nr. 55, februari 1971). Studies en berekeningen moeten uiteindelijk aan een praktisch geval worden getoetst, en de ervaring die men daarmee opdoet, dient nauwkeurig te worden geregistreerd.

Bij iedere afsluiting hoopt men natuurlijk op goed weer, omdat dat het werk ten goede komt. Anderzijds is een ervaring met slecht weer toch ook van groot belang, omdat men er lering uit kan trekken voor toekomstige werken. Achteraf gezien kan men het daarom bijna betreuren dat de weersomstandigheden zowel tijdens de sluitingswerkzaamheden in het Veerse Gat in 1962 als onlangs bij het Brouwershavense Gat zo gunstig zijn geweest. Enige praktische ervaring met zware golfgang

vooral in het Brouwershavense Gat zou nuttige gegevens hebben opgeleverd voor de verdere voorbereiding van de Oosterschelde-sluiting. Wat de golfaanval betreft zijn twee aspecten van bijzonder belang: de weerstand van een blokkendam tegen golfaanval, en de gevoeligheid van doorlaatcaissons voor golfslag tijdens manoeuvres en gedurende het afzinken. Het begeleidend golfonderzoek in de Kous heeft voor de caissonsluiting wel een aantal nuttige inzichten opgeleverd, vooral wat betreft de meettechnieken en het meetprogramma.

De golfbeweging in de Kous bleek bij onderzoek een heel grillig karakter te vertonen. Ze werd bepaald niet alleen door de ter plaatse heersende wind, maar ook door de waterstand, de getijstroom, en de deining die het gebied binnenkwam vanuit zee. Bovendien werden de golven in sterke mate beïnvloed door de in dit gebied voorkomende ondiepten. Dat alles maakte het golfpatroon bijzonder gecompliceerd. Men kan zulke samengestelde golven echter beschouwen als het resultaat van een groot aantal onafhankelijke sinusoiden met verschillende amplitude, periode en fasehoek. Met behulp van een Fourier-analyse is het mogelijk om voor verschillende periode-intervallen de bijbehorende energie van de samenstellende sinusoiden te bepalen. Wanneer de gesommeerde energie per frequentie wordt uitgezet tegen de bijbehorende periode, ontstaat een energie-spectrum.

Vooral van de hoge en lange golven die in de Kous werden waargenomen, werd verwacht dat ze in belangrijke mate verstoring zouden werken op de navigatie en de afzinkmanoeuvres met de caissons. Om dienaan-



1 Plaats van de golfmeetpaal B.G.I., één kilometer zeewaarts van het sluitgat in de Kous

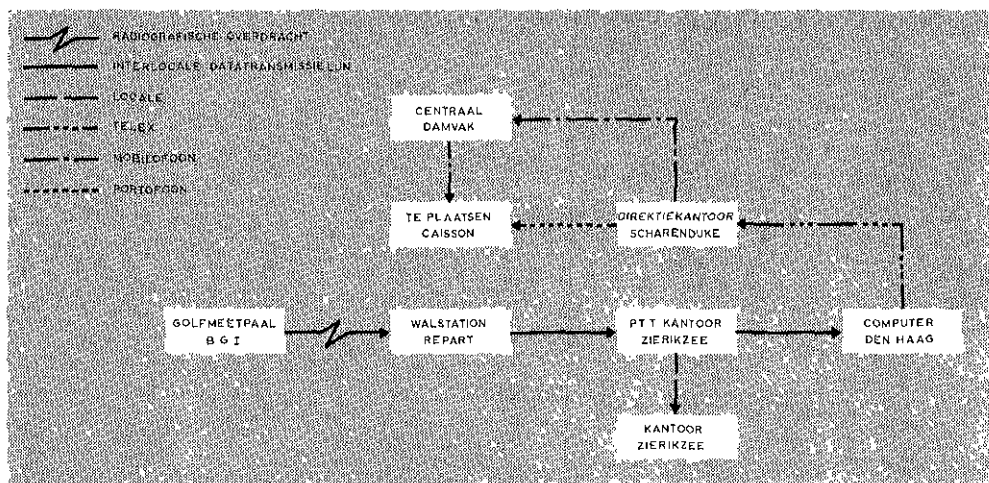
2 Communicatieschema voor de golfwaarnemingen en -berekeningen bij de sluiting van de Kous

gaande prognoses te kunnen opstellen, werd een modelonderzoek ondernomen. Allereerst werden in het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen de nautische eigenschappen van varende caissons onderzocht. Men kwam tot de conclusie dat de caissons voor de Kous een slingerperiode bezaten van 18,1 sec. en een stamperperiode van 9,6 sec. Toen bleek dat in de golfbeweging harmonische componenten voorkwamen met een zelfde periode als de stamperperiode van de caissons, werd vervolgens een modelonderzoek ingesteld naar de invloed van de golfbeweging op de nautische eigenschappen van de caissons, met name bij gelegenheid van hun plaatsing in het sluitgat. Een eerste serie van deze modelproeven die werden uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft, richtte zich op de meting van de krachten en puntbelastingen die een drijvende caisson in verschillende posities uitoefent op een al geplaatste caisson. Aan de hand van de resultaten van de eerste serie werd vervolgens een meer gericht onderzoek ingesteld naar de horizontale bewegingen en naar de golfklappen die een drijvende caisson vlak voor hij wordt afgezonden veroorzaakt tegen een geplaatste caisson waar hij tegenaan moet komen te staan.

Met behulp van de genoemde proeven kon een overdrachtsfunctie worden opgesteld tussen het energiedichtheidsspectrum van de golven en het krachtspectrum van de golfklappen tussen een drijvende en een op de drempel staande caisson. Het kennen van dit verband maakt de prognose mogelijk van golfklappen bij de afzinkmanoeuvres op grond van

waarneming van de golfbeweging in het tracé van de sluiting.

Uitgaande van de overdrachtsfunctie en van de statistische verdeling van krachten kon bij variërende golfomstandigheden de kans van optreden worden berekend van een golfklapkracht van meer dan 20 ton. Deze zwaarte werd kritiek geacht, omdat de drijvende caisson bij grotere krachten zou kunnen losraken van de geplaatste waarmee hij voor het afzinken was verbonden. Deed dat zich voor, dan zouden door de beschadiging van de ribben voortijdig een of meer drijfschotten kunnen losraken, hetgeen de caisson op een ongewenste plaats zou doen zinken, of anderszware slagzij zou veroorzaken. Kennis van de golfbeweging in het sluitgat ten tijde van de plaatsing was dus een eerste vereiste om de kans op het optreden van een 20-tons-klap te kunnen vaststellen. Maar het is technisch zeer bezwaarlijk een golfwaarnemingsstation op te stellen in het sluitgat zelf, of in de onmiddellijke omgeving. Toch moest met behulp van een meetstation een zo zuiver mogelijk beeld van de golfbeweging in het sluitgat kunnen worden afgeleid. Men heeft onder deze overwegingen een golfmeetpaal opgesteld op één km zeewaarts van het tracé van de afsluiting. De codenaam is B.G.I. Deze golfmeetpaal, die is uitgerust met een elektrische stappenbaak, staat nu op een bodemdpte van N.A.P. - 4 m. In de loop der jaren is van B.G.I. al een groot aantal waarnemingen verzameld. Een deel ervan is verwerkt tot frequentieverdelingen van significante golfhoogten. Een ander deel is gebruikt voor een onderzoek naar de invloed van waterstandsschommelingen op de golfbeweging. Dit onderzoek leverde de vaststelling op van een empirische relatie tussen



2

de golfhoopte op de L.W.- en H.W.-kentering en de significante golfhoopte bij andere waterstanden.

Vaststelling van het verband tussen verticaal getij en golfbeweging was noodzakelijk om tijdig prognoses te kunnen verstrekken over de golfgang in het sluitgat. De leiding van de sluitingsoperaties wilde namelijk al 8 tot 9 uur vóór elke plaatsing kunnen beslissen of die plaatsing gezien de golfgang kon doorgaan. Het bouwdoek van waaruit de caissons moesten worden overgebracht lag ongeveer zes uur vóór van het sluitgat, en de beslissing moest vallen vóór de caisson het dok zou verlaten. Met behulp van de vastgestelde relatie tussen waterstand en golfhoopte, de weersvoorspelling en een golfwaarneming van meetpaal B.G.I. kon de golfbeweging op het moment van plaatsing 9 uur van te voren worden voorspeld. Golfwaarnemingen in hetzelfde punt op ogenblikken dichtbij het moment van plaatsing, dienden om deze eerste prognose vervolgens te verfijnen.

Aan de golffrequenties van de meetpaal kan zonder nadere analyse geen uitspraak worden ontleend over de golfomstandigheden tijdens een caissonplaatsing enige uren later. Uit modelproeven bleek dat van de registratie een aantal parameters vooral van belang waren: voornamelijk de significante golfhoopte, de gemiddelde periode en de periode uit het energiedichtheidspectrum met de grootste energiedichtheid. Deze parameters vond men door wiskundige analyse per computer. Elke registratie moest derhalve worden opgestuurd naar het rekencentrum in Den Haag. De procedure voor deze handelingen verliep als volgt. De registraties van de elektronische stappenbaak op golfmeetpaal B.G.I. werden radio-

grafisch overgeseind naar het walstation in de directiekeet te West-Repart. Dit walstation bracht de binnengekomen signalen via een vaste lijn over naar het P.T.T.-kantoor te Zierikzee, vanwaar de registraties gelijktijdig werden overgeseind naar het kantoor van de Deltadienst te Zierikzee en naar de computer van de Dienst Informatieverwerking van de Rijkswaterstaat in Den Haag. Het signaal werd in Den Haag omgezet in digitale informatie, met een analoge registratie gecontroleerd, en vervolgens gereedgemaakt voor bewerking door de computer. De resultaten van de bewerking werden beoordeeld en per telex overgebracht naar het directiekantoor te Scharendijke, waar een rekengroep zich verder met de binnengekomen meldingen bezighield. Commentaar werd uitgewisseld langs een telefoonverbinding Scharendijke-Den Haag. In Scharendijke werden de resultaten van de analyse omgewerkt tot een prognose van de golfparameters tijdens de sluiting. Per mobilfooninstallatie werd de prognose overgebracht naar het damvak Middelplaat, de centrale post van de sluitingsoperatie.

Vandaar, of onmiddellijk van Scharendijke als daar noodzaak toe bestond, werden de relevante gegevens doorgeseind naar de caisson in kwestie.

De golfwaarnemingsperiode duurde steeds ongeveer 20 minuten; experimenteel was komen vast te staan dat men bij deze duur van de registratie een representatief beeld krijgt van de golfbeweging in een bepaalde getijfase. De rest van de procedure tot aan de ontvangst in het kantoor te Scharendijke nam nog 30 minuten in beslag. Meestal kon men te Scharendijke dan ook 50 minuten na

het begin van een golfregistratie over de analyse ervan beschikken. De tijd werd aldus verdeeld:

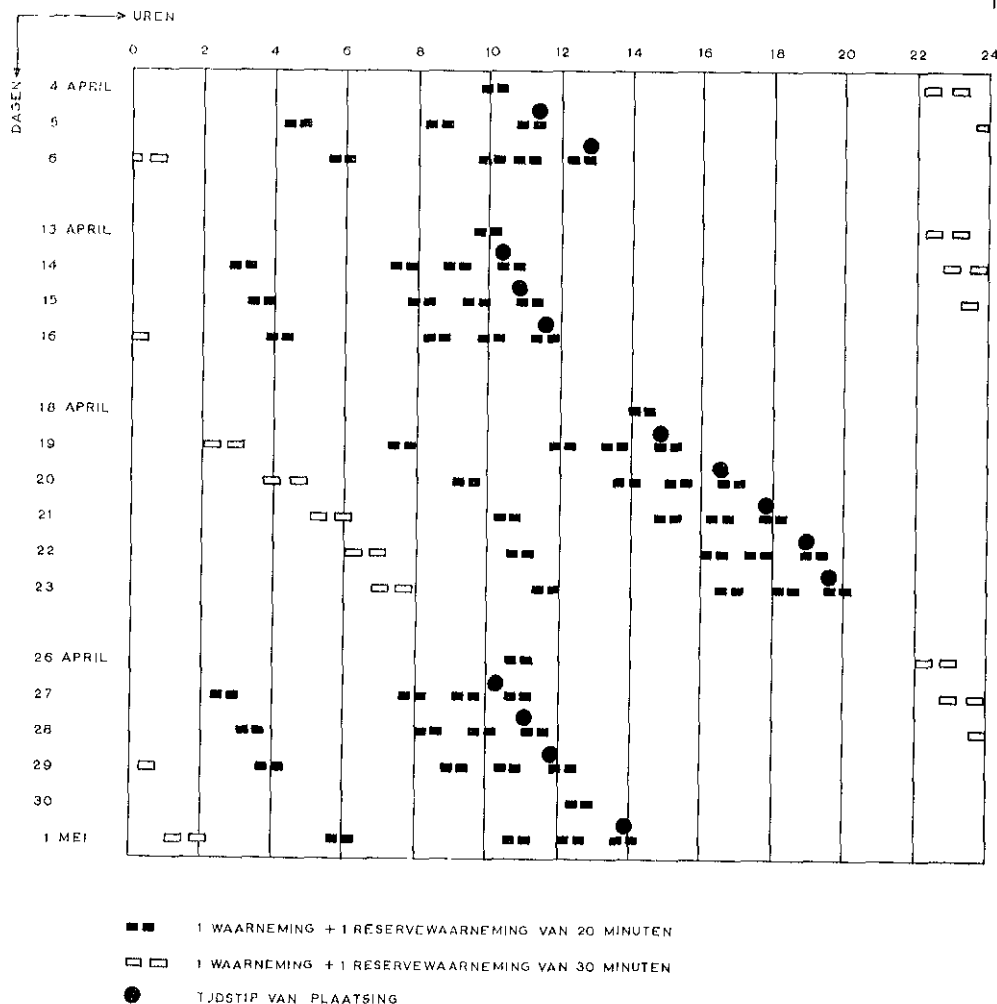
- 0⁰⁰ - 0²⁰ golfwaarneming van de B.G.I.
- 0⁰³ - 0²³ kopiëren van de golfwaarneming
- 0²³ - 2²⁵ verzorgen van de invoergegevens voor de computer
- 0²⁵ - 0²⁶ brengen naar de computer
- 0²⁶ - 0³⁶ bewerken door de computer
- 0³⁶ - 0³⁸ beoordelen van de computerbewerking
- 0³⁸ - 0⁴⁸ verzenden via telex naar Scharendijke.

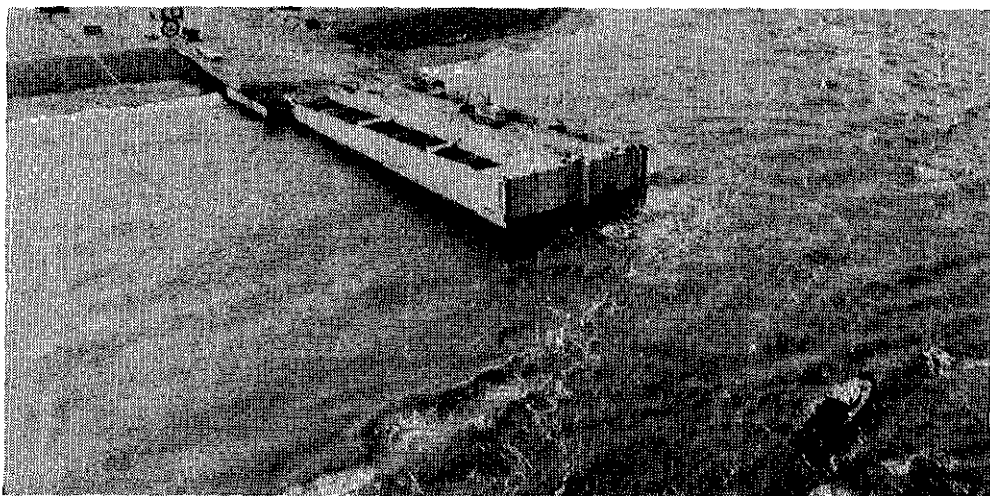
1 Tijdschema voor de golfwaarnemingen ten behoeve van de caissonsluiting

2 Meetboot in het sluitgat van de Kous, na plaatsing van een landhoofdcaisson

Van het plaatsingsschema voor de caissons liet zich nu aflezen wanneer men met golfregistraties moest beginnen. De eerste prognose berustte op golfwaarnemingen van twee

1





2

en één getijde voorafgaand aan de caisson-plaatsing. Ruim zes uur voor de plaatsing werd een eerste verfijning aangebracht, en twee en één uur ervoor nog twee nadere verfijningen. Een door toevallige omstandigheden onbetrouwbare golfwaarneming werd vervangen door een reserve-waarneming. Dat betekende een tijdverlies van 25 minuten. In een aantal gevallen werd tijdverlies geleden tengevolge van elektrische of mechanische storingen. De computer is tweemaal uitgevallen, wat eenmaal leidde tot een vertraging van twee uur. Maar de zwakste schakel in het hele proces bleek de ponser te zijn. Omdat die veelvuldig vastliep was men genooddaakt er niet alleen een eerste, maar ook een tweede reserve bij te zetten, om onaanvaardbare vertragingen te voorkomen.

De modelproeven gaven aan dat bij niet al te hoge en lange golven al golfklappen kunnen worden verwacht met een kracht boven 20 ton. Vóór de afsluiting kon men niet nagaan of dit wel beantwoordde aan de werkelijkheid.

Tijdens de afsluiting heeft men getracht vast te stellen of de modelproeven op een juiste schematisering berustten. Er werd een systeem ontworpen om de bewegingen van de caissons vlak voor het moment van afzinken fotografisch vast te leggen. Voor deze proef-op-de-som was het rustige weer tijdens de plaatsingen een tegenvaller: men kreeg te weinig informatie over de bewegingen van de caissons om de modelproeven er aan te kunnen toetsen. De caissonbewegingen tengevolge van de golfbeweging werden overheerst door die ten gevolge van de sleepbootkrachten. Alleen bij de plaatsing van de landhoofdcaisson aan de Kabbelaarsbank was er wat meer golfslag. Maar de modelproeven

hadden zich beperkt tot de doorlaatcaissons, zodat ook bij deze gelegenheid geen toetsing werd verkregen.

Uit visuele waarneming viel op te maken dat twee van de schematiseringen in de modelproef waarschijnlijk niet met de praktijk in overeenstemming waren. In beide gevallen leek het beeld in de werkelijkheid gunstiger. Een reeds geplaatste caisson gedroeg zich minder als een starre en vaste constructie dan was aangenomen, en de botsing van een drijvende tegen een geplaatste caisson vertoonde meer plastische dan elastische trekken.

Sterke uitschuringen bij of in een sluitgat kunnen de stabiliteit van de afsluitingswerken bedreigen. Evenwichtsverlies is een probleem van de grondmechanica. Bij de veilige dimensionering van sluitgaten komt dus ook die wetenschap te pas. Ook op grondmechanisch gebied moest een ontwikkeling worden door- gemaakt om voor de werken van de Oosterschelde tot een zo efficiënt, doch tevens zo veilig mogelijke constructie te komen. Vooral de ervaringen bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat waren daarvoor van belang.

In Bericht nr. 56 (mei 1971) werden enige vragen opgeworpen inzake de stabiliteit van de sluitkaden en de oevers van het Brouwershavense Gat en inzake de zettingen die daar- bij optreden. Nu de afsluiting achter de rug is, kunnen mededelingen worden gedaan omtrent de bij die gelegenheid verworven inzichten. Het meest leerzaam waren de ervaringen die men heeft opgedaan bij de taludbewaking, zowel in het noordelijke als in het zuidelijke sluitgat, in de slotfase van de sluiting. Bij beide in het Brouwershavense Gat toegepaste sluitmethoden bleek het mogelijk ontgroningen en hun schadelijke gevolgen tegen te gaan door de volgorde van de caissonplaatsingen te veranderen, of door de opbouw van de blokkendam zo te wijzigen dat de stroomaanval werd afgeleid. De afleiding van de stroomaanval op de Schouwenense oever, die men trachtte te bereiken door de dam vanuit die oever op te bouwen, slaagde bijvoorbeeld uitnemend, behalve in een korte periode, toen een sterke onregelmatigheid optrad in de oeveruitbouw. Zulke onregel- matigheden hebben hier en elders plaatselijk zeer snel toenemende ontgroningen ver- oorzaakt. Vanuit dit oogpunt interessant was het evenwichtsverlies dat zich tussen 3 en 5 mei heeft voorgedaan aan de rand van de bodembescherming van het zuidelijke sluitgat.

In dit artikel wordt uiteengezet in hoeverre men erin geslaagd is de taludhellingen te bewaken bij de rand van de bodembescher- ming en de oever, waaruit, indien ze te steil werden, schadelijke zettingsvloeiing gepaard gaande met terugschrijdende erosie zou kunnen ontstaan. Ook wordt toegelicht op welke punten de taludbewaking naar de

Grondmechanische ervaringen bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat

huidige inzichten zou kunnen worden ver- beterd.

Dat er in het Brouwershavense Gat uiteinde- lijk geen extra voorzieningen aan de randen zijn getroffen, zoals bestortingen van de taluds, komt voornamelijk daardoor dat de eerste afschuiving pas optrad toen de sluiting al praktisch voltooid was; ook bleek het niet mogelijk de taludhellingen achter de randen van de bodembeschermingen met voldoende nauwkeurigheid uit de peilingen af te leiden.

De eigenlijke sluitingsperiode duurde in het noordelijk sluitgat van 5 april tot 3 mei, in het zuidelijk sluitgat van 29 maart tot 8 mei. In beide sluitgaten zijn de ontgroningen ge- durende een lange periode niet van grote betekenis geweest. Pas na 20 april namen ze opmerkelijk toe. De peiling in het noordelijk sluitgat van 20 april gaf aan dat de ontgron- dingen slechts plaatselijk 1,5 m dieper waren geworden sedert het einde van de winter- periode, en 3 m sedert het begin van de winter, terwijl de taludhellingen overal flauw waren gebleven. Toch waren op dat ogenblik al 4 van de 12 caissons geplaatst, en was het profiel in het zuiden al voor meer dan de helft geblokkeerd. Na 20 april kreeg men echter te doen met een toeneming van de maximale snelheden in de beide sluitgaten: er kwam een springtij op. De 25e april werd in het open gat tussen de caissons een snelheid geregistreerd van 3,8 m/sec. Daarna liepen de hoogste snelheden weer terug, tot 3 m/sec. op 1 mei, de dag van de sluiting. De peiling van 27 april, toen 8 van de 12 caissons waren geplaatst, vertoonde als gevolg van de toe- genomen snelheden twee veranderingen: allereerst was, aan beide zijden van het sluit-

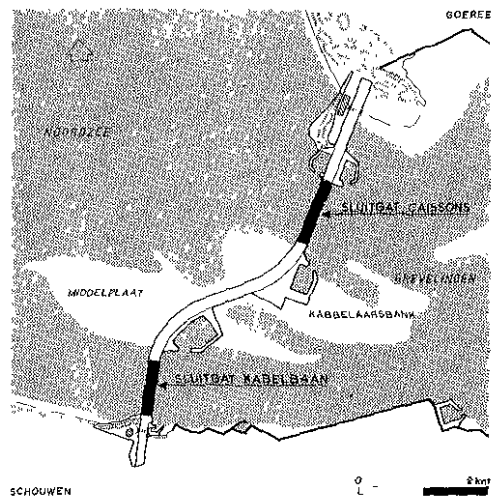
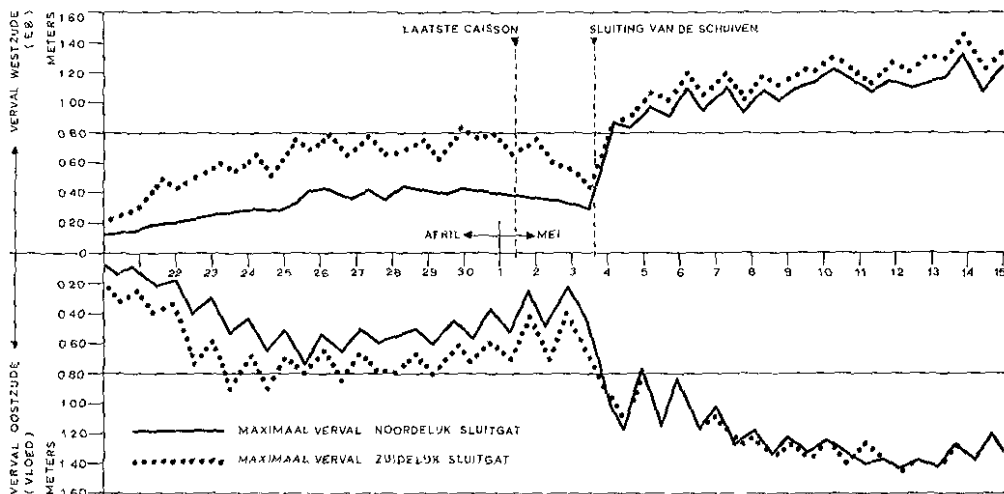


Fig. 1 Maximale vervallen bij eb en vloed als functie van de tijd in de slotfase van de sluiting

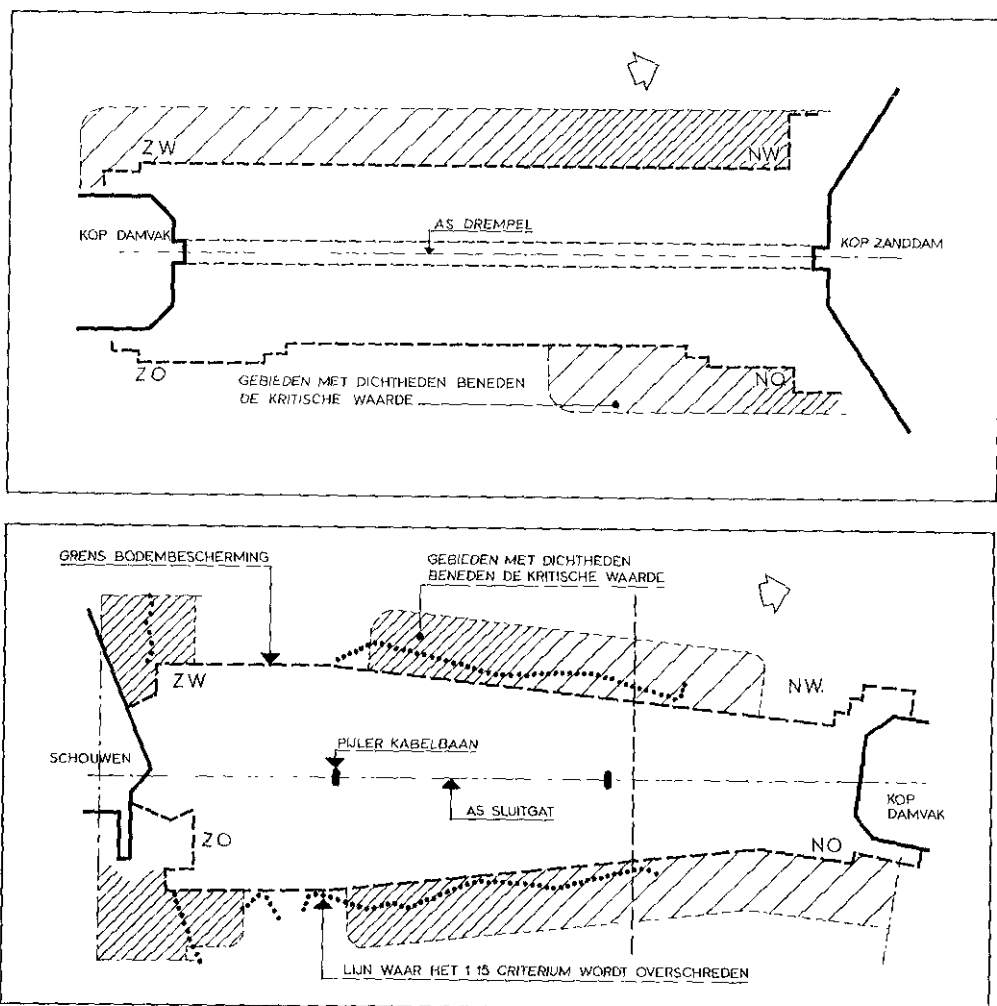
gat, een extra verdieping opgetreden van 1 tot 3 m ten opzichte van een week daarvoor; plaatselijk bij de wervelstraat was de totale ontgrondingsdiepte bij de zuidoostelijke zijde van het sluitgat daardoor opgelopen tot 6 m, en aan de noordwestelijke kant tot 4 m. Ten tweede was de taludhelling aan de zuidoostelijke kant toegenomen tot 1 : 2. Door de minder sterke stroomaanval bij eb was de ontgrondingskuil aan de noordwestkant wel 3 meter dieper geworden, maar niet zo steil. De ontgrondingskuil aan de noordoostelijke kant was met niet meer dan 1 m verdiept; maar ook daar bleek het talud te staan onder een helling van 1 : 2. Voor de stabiliteit van de rand van de bodembescherming werd de zuidoostelijke ontgrondingskuil dan ook de meest gevaarlijke geacht. De wervelstraat die de ontgraving had veroorzaakt, moest zo snel mogelijk noordwaarts worden verplaatst, hetgeen bereikt kon worden door de volgende caissons alle aan de zuidzijde te plaatsen. De peilingen van de volgende drie dagen lieten zien dat deze tactiek slaagde: de kuil schoof duidelijk op. Hoewel de vijf meter diepe ontgrondingskuil bij de eerste wervelstraat nog twee meter dieper is geworden, werd bij de andere ontgrondingskuilen geen verdergaande verdieping meer geconstateerd nadat men de wervelstraten had gedwongen zich te verplaatsen. In dat deel van het sluitgat waarin de caissons geplaatst waren, zijn geen verdere verdiepingen opgetreden, ondanks de toeneming van de snelheden door de open caissons. Die snelheden bereikten trouwens nooit meer de waarden van de stromen door het nog open gedeelte van het sluitgat.

Fig. 1

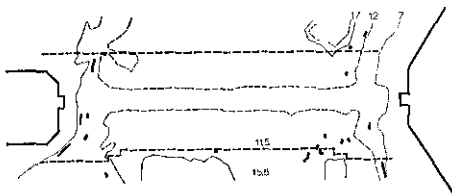


In het zuidelijk sluitgat gaf de peiling van 20 april nog slechts verdiepingen te zien van plaatselijk 4 m ten opzichte van het begin van de winterperiode, en 1,5 m ten opzichte van het einde ervan. Het springtij dat na 20 april inzette, deed de vervallen echter oplopen tot maximaal 80 cm bij vloed en 70 cm bij eb, terwijl de stroomsnelheid toenam tot maximaal 3,5 à 4 m/sec. Na 29 april liepen ze weer terug; op 3 mei kwam het verval niet hoger dan 60 cm; de stroomsnelheid bleef toen beperkt tot 3 m/sec. Onder invloed van deze ontwikkeling zag men op 29 april gemiddeld 1 tot 4 m diepere ontgrondingen dan op de 20e, en op 3 mei nog eens een verdieping van 1 tot 2 meter. De grootste verdiepingen traden op in vier putten rondom de noordelijke pyloon, en in een put bij de zuidelijke pyloon.

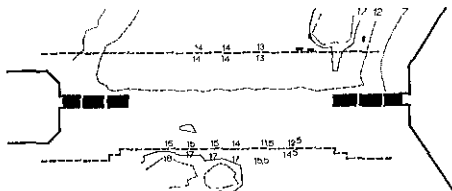
Fig. 2 Peilinterpretaties van ontgrondingen en taludhellingen in beide sluitgaten van het Brouwershavense Gat



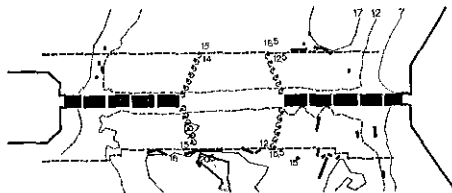
31 maart - 2 april 1971



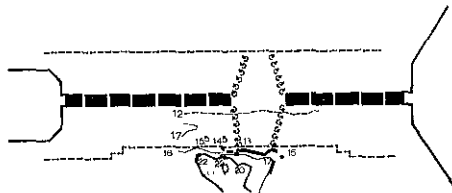
20 april 1971



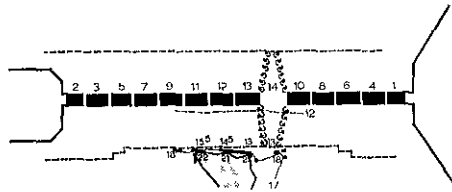
26-27 april 1971



26 april 1971



29 april 1971



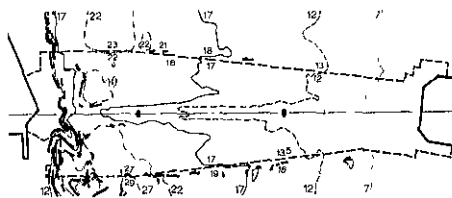
4-7 mei 1971



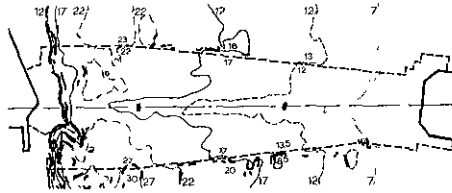
HELLING > 12
DIEPTEN IN m tov NAP

DIEPTEN DAN 20m

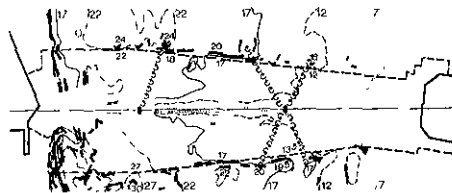
16-24 DECEMBER 1970



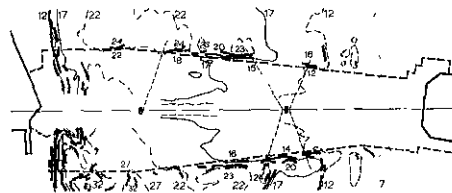
10-10 MAART 1971



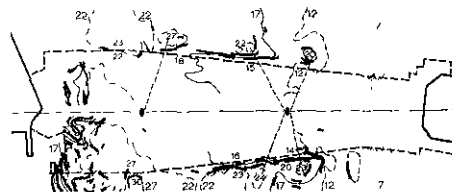
20-23 APRIL 1971



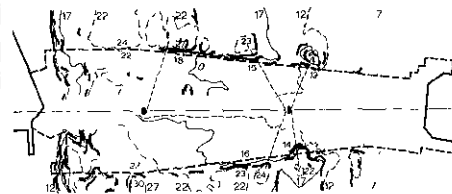
23-29 APRIL 1971



3-6 MEI 1971



10-13 MEI 1971



HELLING > 12
DIEPTEN IN m tov NAP

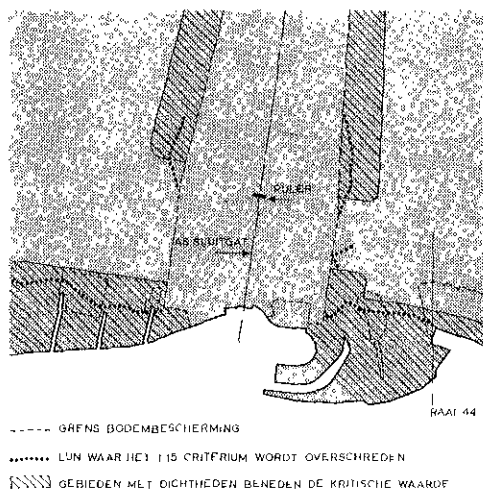


Fig. 3 Ontgrondingen en taludhellingen steiler dan 1 : 2 nabij de Schouwense oever. Gebieden met hellingen steiler dan 1 : 2 zijn zwart gemaakt

De maximale verdieping tussen 20 april en 3 mei bedroeg 9 m, de taludhelling 1 : 2. Toen de caissons werden gesloten, op 3 mei, en daarmee het grondwaterverhang toenam, is tijdens de vloedperiode van 4 of 5 mei bij de diepste ontgronding evenwichtsverlies opgetreden. Hoewel de snelheden en vervallen na de sluiting van de caissons verder toenamen, nam de aanval achter de bodembescherming niet meer toe, omdat de kade al te hoog was opgebouwd. De kruinlijnen van de blokkendam in figuur 4 laten zien hoezeer de hoogte van de aanstormingen begin april nabij de oever en eind april in de nabijheid van de pylonen afwijkt van de gemiddelde hoogte, en maken het begrijpelijk dat daar extra turbulenties optraden.

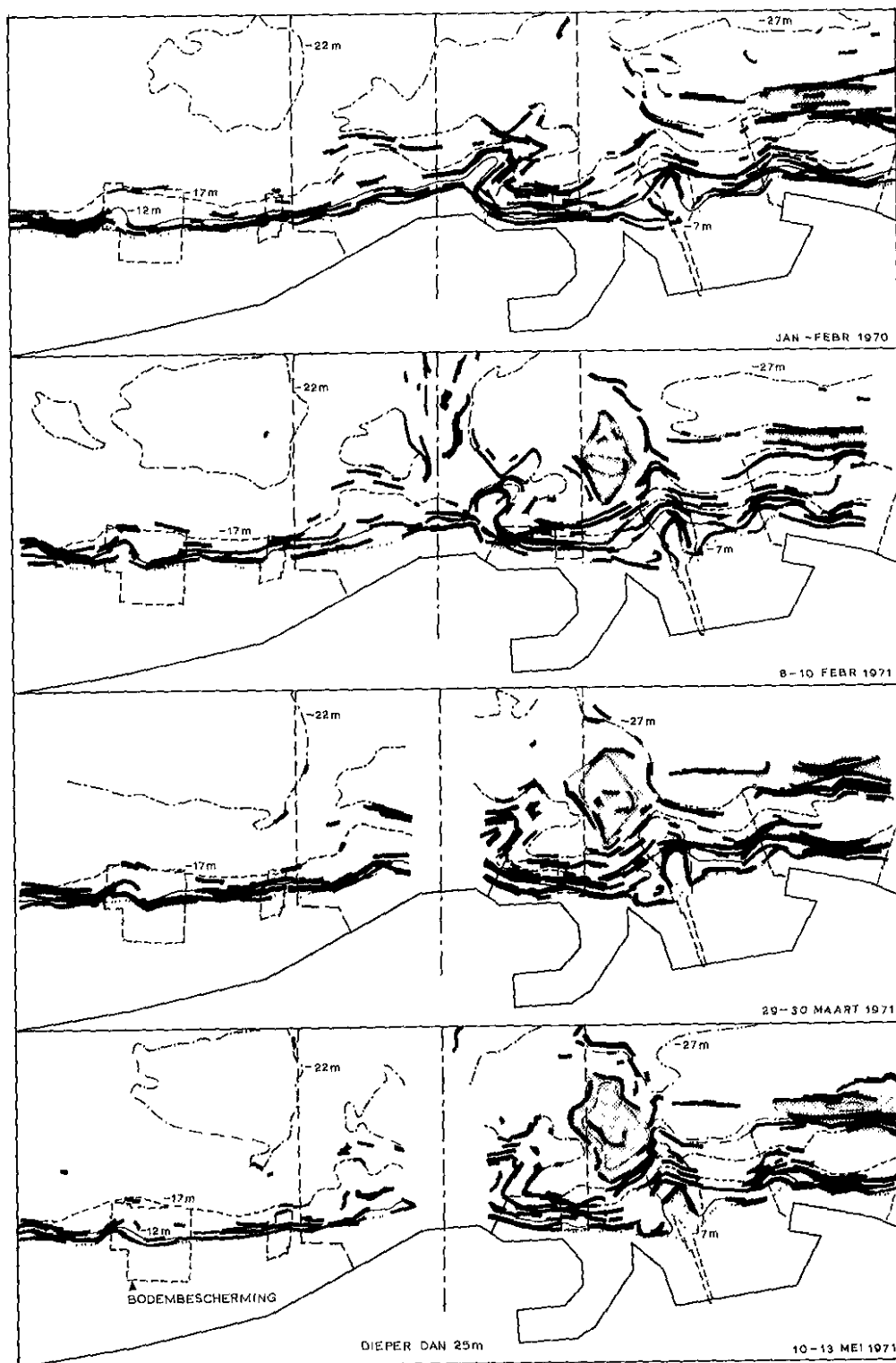
Nog iets nader over het evenwichtsverlies ten noordoosten van de noordelijke pyloon. In opvallend korte tijd had de bodem zich ter plaatse 9 meter verdiept. De toestand van de ontgrondingskuil onmiddellijk voor de val kan in de twee dagen na de peiling van 3 mei nog wel slechter geworden zijn dan de peiling aangeeft. Het talud van de put is nog op de middag van de 3e mei voor de val gepeild. De bodembescherming onmiddellijk ervoor is gepeild op 5 mei, na de val, zoals duidelijk in het dwarsprofiel te zien is (fig. 6). De toestand van de bodembescherming voor en na de val is daardoor goed te reconstrueren, maar de toestand van de ontgrondingskuil onmiddellijk na de val niet.

De steilste gemeten taludhelling vóór het evenwichtsverlies bedroeg 1 : 2,5 over 8 m hoogte. Tijdens de val is de diepte onder het zinkstuk gelegen grond onder een helling van 1 : 15 weggevloeid. Op 30 m binnen de rand van de bodembescherming is de vloeiing tot staan

gebracht. De resten van zinkstukken bleven daar ter plaatse onder een helling van 1 : 2,5 hoogte hangen; duikers hebben daar nog resten hout en doek aangetroffen. Een kleine hoeveelheid toegeschoven grond had de totale diepte van de val kunnen beperken tot 8 m in plaats van 10. De 30 meter teruggang resulteerde in een gemiddelde evenwichtshelling van 1 : 4. Vergelijking van de peilingen van 5 en 13 mei geven ook een teruggang van dit talud te zien over 5 meter. Of zulks representatief geacht mag worden voor terugschrijdende erosie, valt te betwijfelen; de stroomaanval was in die periode immers al sterk afgenomen.

Omdat alles zich afspeelde onder water, was men bij de taludbewaking geheel afhankelijk van peilingen. De frequentie van de peilingen, de snelheid waarmee ze werden geïnterpreteerd en de nauwkeurigheid van de interpretatie dienden aan hoge eisen te voldoen, met name op kritieke momenten.

De wekelijksse totaalpeilingen die tot 20 april in het gehele sluitgat werden verricht, bleken voldoende frequent om de veranderingen te kunnen volgen. De detailpeilingen die van 30 maart tot 2 april en die welke tussen 27 en 30 april in de overgebleven opening tussen de caissons werden verricht, gaven eveneens een voldoende beeld, dank zij het voor dit soort lodingen speciaal uitgeruste schip 'Krabbe'. De frequentie der peilingen in het zuidelijk sluitgat was echter te gering om de daar snel toenemende ontgrondingen tussen 23 april en 3 mei te volgen. De afschuiving tussen 3 en 5 mei kon daardoor onvoldoende worden opgemeten. Maar deze afschuiving kwam dan ook erg onverwacht.



Tot 23 april waren de ontgrondingen ver beneden het minimaal voorspelde gebleven, en het was dan ook een verrassing dat ze in de laatste fase, na sluiting van de caisson-schuiven, plaatselijk zo snel toenamen dat ze de maximaal voorspelde waarden teboven gingen. De afschuiving was daarvan een gevolg.

De nauwkeurigheid van de peilgegevens en de snelheid waarmee ze werden verkregen liet te wensen over vanwege de moeilijke omstandigheden bij de metingen in de laatste fase, die werden veroorzaakt door de grote stroomsnelheid en de sterke turbulentie van het water. De peilingen brachten meer informatie over de bodemtoestand bij elkaar dan ooit bij een dergelijke gelegenheid was verkregen, maar de peilfrequentie was zo hoog, dat grondmechanische interpretatie alleen met

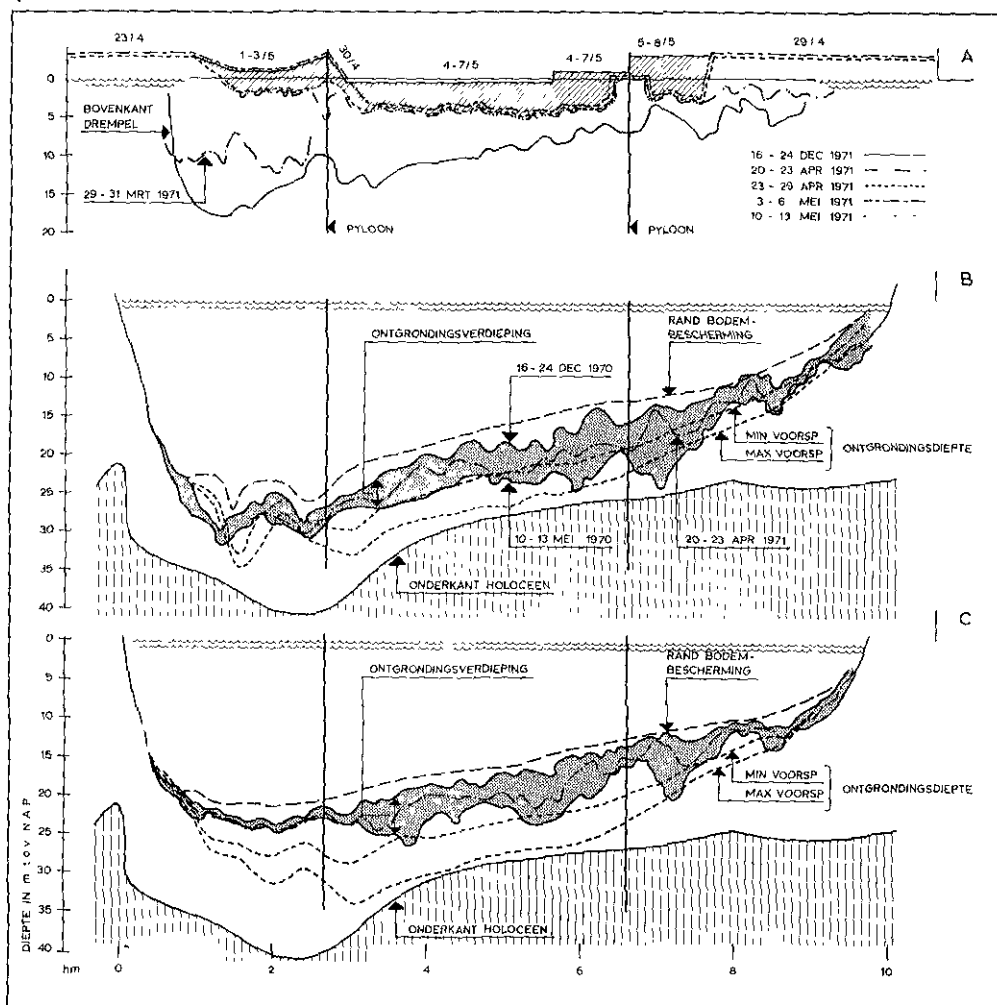
4

Fig. 4 Gemeten verdiepingen en gemeten en voorspelde ontgrondingsdieptes in het zuidelijk sluitgat

- A de opbouw van de blokken-dam
- B de ontwikkeling aan de oost-zijde van het sluitgat
- C de ontwikkeling aan de west-zijde van het sluitgat

Fig. 5 Gemeten verdiepingen en gemeten en voorspelde ontgrondingsdieptes in het noordelijk sluitgat

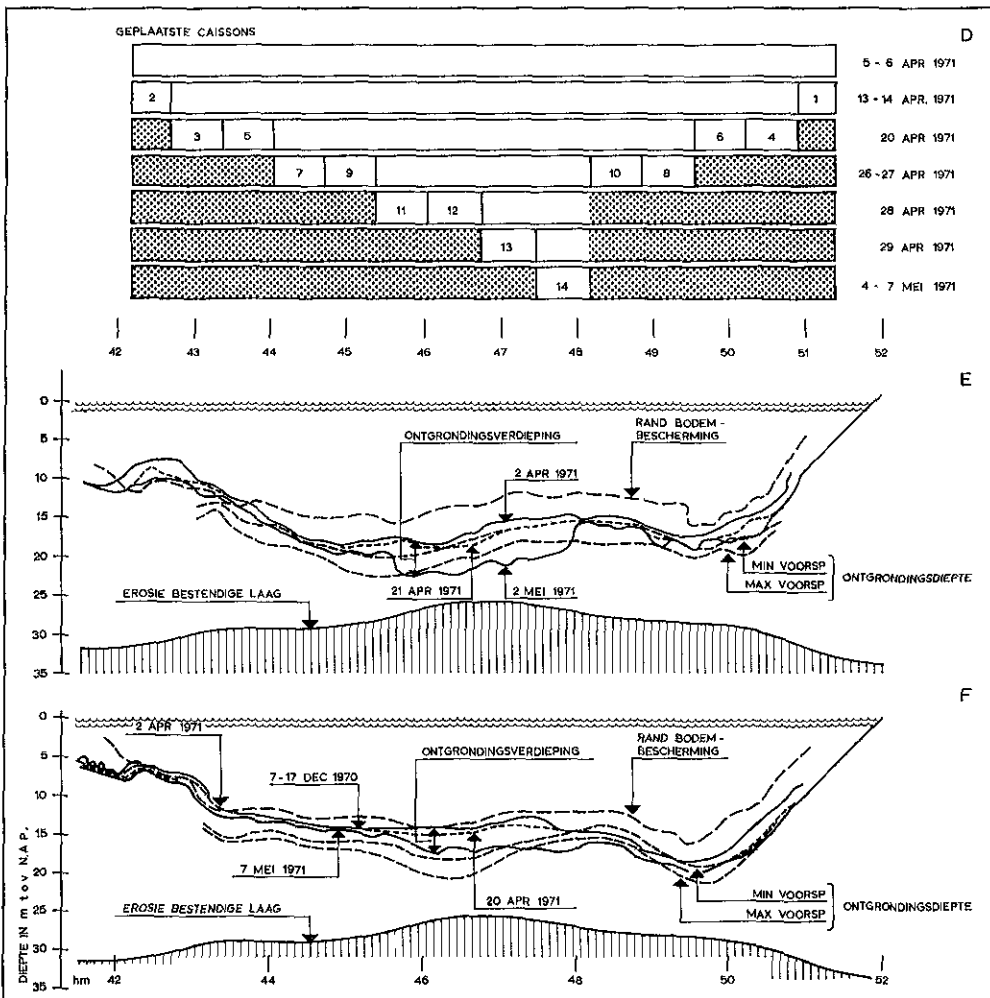
- D de uitbouw van de caisson-reeks
- E de ontwikkeling aan de oost-zijde van het sluitgat
- F de ontwikkeling aan de west-zijde van het sluitgat



behulp van een reken-automaat mogelijk zou zijn geweest.

Door de toegenomen snelheden bedroegen de plaatsbepalingsfouten soms vele meters, hetgeen bij hellingen van 1 : 4 onaanvaardbare fouten in de dieptebeplating tot gevolg heeft: soms meer dan 2 meter. In fig. 7 is een poging gedaan de peilingen steeds zo te verschuiven dat de stabiele steenglooiing telkens op dezelfde plaats kwam te liggen; daardoor werd een meer reële indruk verkregen van uitschuringen, aanzandingen en dergelijke. Omdat plaatsbepalingsfouten bij het peilen vrijwel onvermijdelijk zijn, is bij de interpretatie vanaf het begin een groot deel van de aandacht gericht geweest op het vaststellen van de aanzethellingen van ontgrondingskuilen. Plaatsbepalingsfouten binnen één peiling worden daarmee geëlimineerd. Hoewel

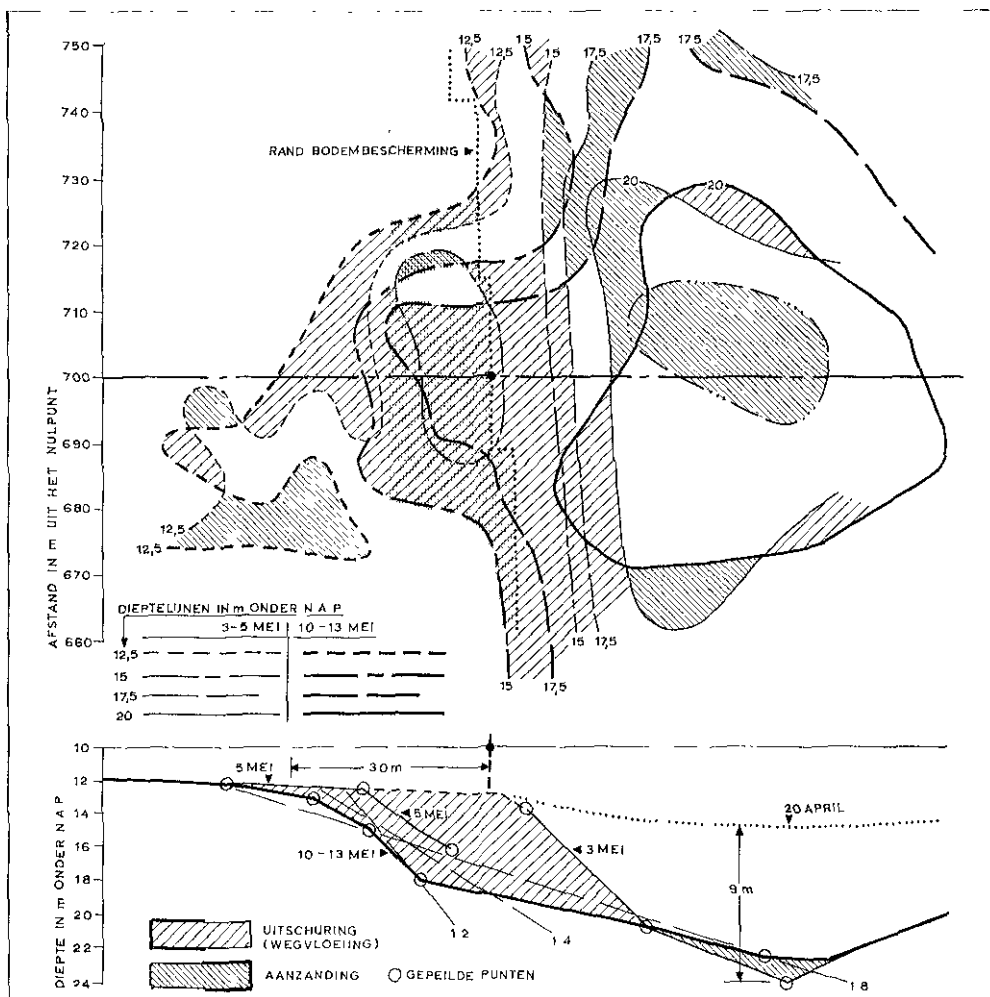
de peilpunten dicht bij elkaar lagen – men had bijvoorbeeld 4 punten op een talud van 10 m onder een helling van 1 : 4 – kon toch de plaats van de rand van de bodembescherming niet nauwkeurig worden vastgesteld. Met name de vaststelling van de aanzethelling tussen een punt op het talud en een punt op de bodembescherming had iets willekeurig. Figuur 8 geeft verschillende pogingen weer om de aanzethellingen uit te zetten als functie van de diepte van de ontgrondingskuil. Als men de oeverpeilingen in figuur 9 vergelijkt met de minder intensief gepeilde stukjes oever uit de serie peilingen van het zuidelijk sluitgat, ziet men wat een verbetering er optreedt in de interpretatie wanneer de peilpunten dichter opeen liggen. Verbetering van de interpretatie werd ook verkregen wanneer men de dieptelijnen om de 1 meter intekende,



in plaats van om de 2,5 meter (fig. 6). Dat vereist echter zoveel tekenwerk, dat geautomatiseerde interpretatie de enige weg lijkt naar effectieve taludbewaking.

Het evenwichtsverlies ten noordoosten van de noordelijke pyloon in het zuidelijk sluitgat moet veroorzaakt zijn door een combinatie van een steil talud, slechte dichtheid en toegenomen grondwaterverhang. De sterke verdieping werd veroorzaakt door een stroomcontractie met sterke turbulentie tengevolge van een onregelmatigheid in de blokkendam ter plaatse van een pyloon. De toeneming van het grondwaterverhang was te wijten aan de grotere vloedvervalen die over de blokkendam ontstonden na het sluiten van de caisson-schuiven. Dat even steile taluds elders, zoals aan de oostkant van de caissonrempel waar

Fig. 6 Het evenwichtsverlies van de rand van de bodembescherming in het zuidelijk sluitgat
links: gebaseerd op dieptelijnen om de 2,5 m
rechts: gebaseerd op dieptelijnen om de 1 m

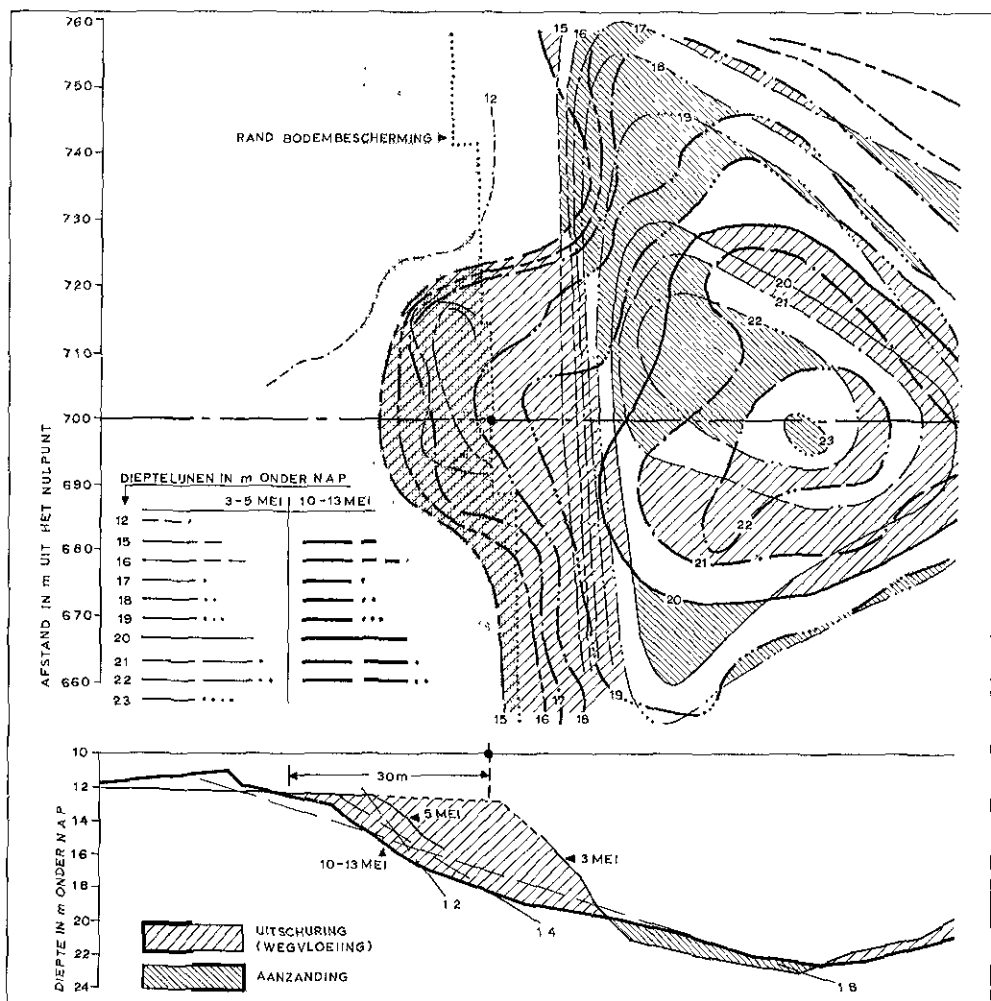


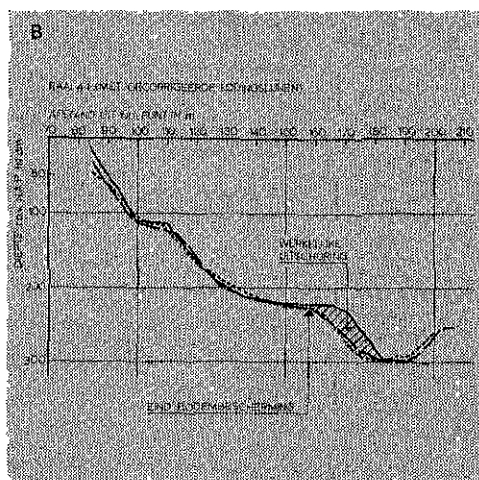
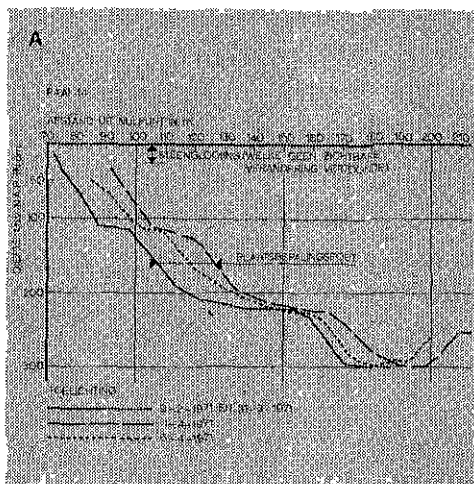
ze werden veroorzaakt door een wervelstraat, niet afschoven, had verschillende oorzaken. De bodem bij de caissons had een betere dichtheid. De steile taluds aan de westzijde van het zuidelijk sluitgat hadden ofwel een minder diepe ontgrondingskuil, ofwel er kwamen geringere grondwaterverhangen in voor. De dichtheid van de bodem was er even slecht als aan de oostzijde.

Uit het evenwichtsverlies bleek dat de bodembescherming in het voor zettingsvloeiing meest kritieke gedeelte van de sluitgaten Inderdaad kon voorkómen dat plaatselijk stabiliteitsverlies uitliep op een zettingsvloeiing; de schade bleef immers beperkt tot een gemiddelde evenwichtshelling onder de bezinking van 1 : 4 en daarachter van 1 : 15. Het in Bericht nr. 56 genoemde hellingscriterium van 1 : 15 als veilige grens voor

evenwichtshellingen van zettingsvloeiingen hoeft op de rand van met trekvaste bezinkingen beschermde drempels niet altijd te worden toegepast. Blijft de rand van de bodembescherming voldoende stabiel, dan kan men de grondmechanische veiligheid nog juist verzekerd achten, wanneer de lengte van de bodemverdediging viermaal zo groot is als de daarbij maximaal te verwachten ontgronding. Dit getal geldt daarom als de ondergrens bij ongunstige bodemgesteldheid. Wordt de lengte van een met een trekvaste rand uitgeruste bodemverdediging gelijk gemaakt aan 15 keer de daarbij maximaal te verwachten ontgrondingsdiepte, dan is de ingebouwde veiligheid ruim voldoende voor grondmechanische stabiliteit. Daar heeft men dus de bovengrens.

Over de snelheid waarmee een afschuiving





zich eventueel achterwaarts in de richting van de drempel kan voortplanten (zogenaamde terugschrijdende erosie), zijn in het Brouwershavense Gat geen inlichtingen verkregen. Een afschuiving zou een niet trekvraste bodemverdedigingsrand zo kunnen beschadigen dat er hernieuwde uitschuring optreedt in de richting van de dam, en het verschijnsel zich herhaalt. Dit wordt uitermate ongunstig geacht, omdat terugschrijdende erosie op de lange duur ook bij een brede bodemverdediging kan leiden tot ondermijning van de afsluitdam zelf, dan wel de stabiliteit van de caissons in gevaar brengt, of, aan de oever,

de afschuiving inleidt van een hoogwaterkering.

Bij de afsluiting van het Brouwershavense Gat is echter wel gebleken dat men in dezen niet machteloos staat. Bij toekomstige toepassingen van beide sluitingsmethoden kan de terugschrijdende erosie worden verzwakt, niet alleen door de rand van de bodembescherming zo sterk mogelijk te maken, maar ook door de stroomaanval af te leiden.

Nadere beschouwing van de grafiek van de aanzethellingen als functie van de ontgrondingsdiepte, als weergegeven in figuur 8, leidt nog tot de volgende algemene opmer-

Tabel 1. Overzicht gemeten en voorspelde ontgrondingsverdiepingsen en -dieptes

beschouwde traject	Oostzijde (vloed)			
	winter-diepte	zomer-verdieping	totale diepte	voorspelde diepte (minimaal)
<i>Zuidelijk sluitgat</i>				
Schouwense oever – 1e pyloon	3,5	1,5 (30 %) *	5 (100 %) *	5
1e pyloon – 2e pyloon	2,5	4,5 (70 %) *	7 (100 %) *	7
2e pyloon – Middelplaat	2	3 (60 %) *	5 (100 %) *	5
max. kuil 1e pyloon	—	—	—	—
max. kuil 2e pyloon	2	10 (150 %) *	12 (200 %) *	6
<i>Noordelijk sluitgat</i>				
Kabellaarsbank – 4e caisson	0-4■	1 (25 %) **	3 (60 %) **	5 (maximaal)
5e caisson – 8e caisson	2,5	5 (80 %) **	7,5 (120 %) **	6
8e caisson – Springersdiep	2■■	10 (20 %) **	3 (60 %) **	5

Fig. 7 De uitschuring onder de Schouwense oever werd pas zichtbaar toen een meting met plaatsbepalingsfouten (A), was gecorrigeerd (B)

kingen. Bij ontgrondingen vanaf 1 meter komen reeds hellingen voor van meer dan 1 : 4, en bij 5,5 meter ontgroning vindt men hellingen van 1 : 2. De meeste ontgrondingskuilen van meer dan 8 m diep stonden onder een helling steiler dan 1 : 2. In de diepste ontgrondingskuil, die 11 m mat, is evenwichtsverlies opgetreden. Er waren geen verschillen waarneembaar in het verband tussen ontgrondingsdiepte en helling bij vergelijking van het verschijnsel in het zuidelijke sluitgat en aan de oostzijde van de caissondrempel. De invloed van de aard van het bodemmateriaal kon niet worden vastgesteld, omdat alle taluds

voorkwamen in hetzelfde holocene zand, waarin sterke afwisseling optreedt van zandlagen en kleilagen. In de erosiebestendigheid van de lagen onder het holocene zand kon men derhalve ook geen inzicht krijgen. Figuur 4 geeft een beeld van de verdiepingen die in de sluitingsperiode optraden tussen de pylonen en de verdiepingen ter plaatse van de laatste caissons. De verdiepingen aan de westzijde van de caissons zijn iets minder groot dan die aan de westzijde van de sluitkade, aan de oostzijde zijn ze iets groter dan aan de overeenkomstige kant van de blokkenkade. De gemiddelde diepte van de ontgrondingen tussen de pylonen kwam aan de oostzijde overeen met de voorspelde minimale waarde; aan de westzijde bleef ze daar 30 % onder. Drie van de vier kuilen die rondom de noordelijke pyloon ontstonden ten gevolge van stroomcontracties werden daarentegen dieper dan zelfs de maximale voorspelling aangaf.

- * percentages ten opzichte van minimum voorspellingen
- ** percentages ten opzichte van maximum voorspellingen
- mede door aanzanding ontstaan
- mede door inbaggering ontstaan

Westzijde (eb)			
winter diepte	zomer verdieping	totale diepte	voorspelde diepte (minimaal)
2,0	0,5 (10 %)*	2,5 (40 %)*	6
2	4 (50 %)*	6 (75 %)*	8
2	2 (40 %)*	4 (80 %)*	5
1,5	6,5 (80 %)*	8 (100 %)*	8
1,5	7,5 (80 %)*	9 (130 %)*	7
(maximaal)			
1	0,5 (10 %)**	1,5 (30 %)**	4
0,5	3,5 (60 %)**	4 (67 %)**	6
3■	1 (20 %)**	4 (80 %)**	5

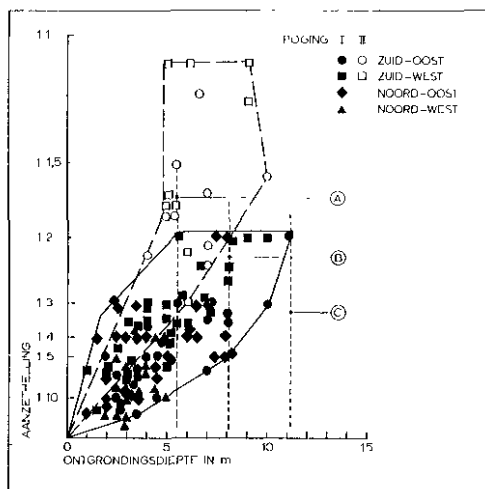


Fig. 8 Verband tussen ontgrondingsdiepte en aanzethelling volgens een gunstige (I) en een ongunstige interpretatie (II)
 A diepte waarboven een helling 1 : 2 kon voorkomen
 B diepte waarboven een helling 1 : 2 veelvuldig voorkwam
 C diepte waarboven afschuiving optrad

Fig. 9 Vergelijking van een peilinterpretatie op grond van een oeverpeiling met kleine afstanden tussen de peilpunten (links), en van een sluitgatpeiling met grote afstand tussen de peilpunten (rechts)

8

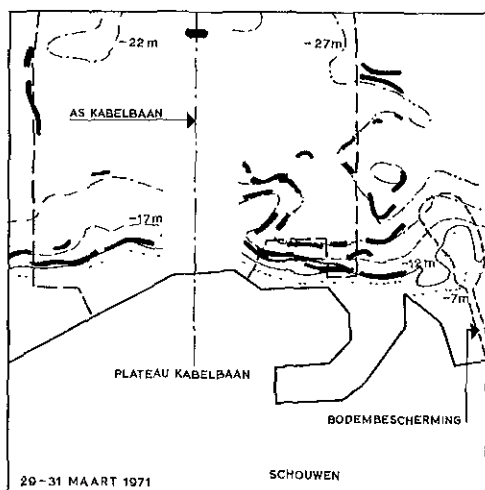
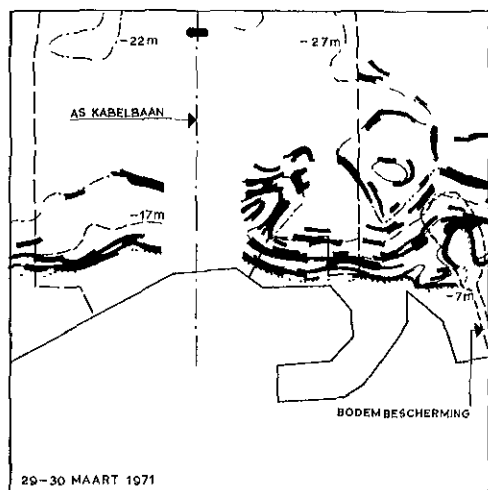
Bij de laatste caissons in het noordelijk sluitgat was de ontgrondingskuil aan de oostzijde iets dieper dan maximaal was voorspeld, aan de westzijde iets minder diep. De verdiepingen onder de Schouwense oever en onder de oevers van het noordelijk sluitgat zijn verwaarloosbaar klein gebleven ten opzichte van de ontgrondingen die waren voorspeld. Alle verdiepingen op deze plaatsen zijn opgetreden vóór de sluiting. De verdieping onder de Schouwense oever, die gemiddeld 3 meter bedroeg, is volledig ontstaan gedurende de winterperiode.

Tabel I, die de werkelijk opgetreden ontgrondingen vergelijkt met de voorspellingen, maakt onderscheid tussen ontgrondingsdieptes en ontgrondingsverdiepingen. Ontgrondingsdieptes worden gemeten ten opzichte van de rand van de bodembescherming, ontgrondingsverdiepingen stelt men vast door de diepteligging van een punt op twee tijdstippen te vergelijken. De voorspellingen betreffen alleen de totale ontgrondingsdiepte aan het einde van de sluitingsperiode. Ze worden samengesteld uit de verdiepingen die in het model in verschillende opbouwfasen voor en tijdens de sluiting zijn gemeten. In het model zijn twee bouwprogramma's vergeleken, waarvan het ene de minimale, het andere de maximale voorspelling opleverde. Achteraf is gebleken dat het werkelijke bouwprogramma in het zuidelijk sluitgat overeenstemde met een programma met minimale verdiepingen en het noordelijk sluitgat met een programma met maximale verdiepingen. Dat de ontgrondingen in het zuidelijk sluitgat in de laatste fase toch nog onverwachts snel toenamen, werd veroorzaakt deels door het springtij, deels door onregelmatigheden in de

damopbouw. Samenvattend kan men stellen dat de voorspelling, het bovenstaande in aanmerking genomen, ten aanzien van tendens van de ontgrondingen en taluds goed is geweest; alleen bij sterke turbulenties overschreden de werkelijke waarden de voorspelde. Bij de interpretatie en de opzet van voorspellingen dient men dus steeds rekening te houden met verschillen in gemeten en voorspelde ontgrondingen onder invloed van springtij of een andere oorzaak van groot verval, die in de modelproef niet voorzien was.

Ook de twee andere stabiliteitsproblemen in het Brouwershavense Gat, dat van de blokken-damfundering en dat van de fundering der kabelbaanpylonen zijn tot tevredenheid opgelost (tabel II). Peilbuismetingen tijdens het afzinken van de caissons met behulp van in de caissonbodem ingebetonnen buizen toonden aan dat de toevoer van water door de drempel niet werd belemmerd; er werd dientengevolge geen opwaartse kracht uitgeoefend op het drempelmateriaal. Metingen die bij maximaal verval werden uitgevoerd na de sluiting der schuiven lieten zien dat vrijwel het volledige verval werd gekeerd door de aanstorting aan de zeezijde. Daaruit bleek dat het probleem van de onderloopsheid voldoende is bedwongen door de aanstortingen, en dat de gelijkmatigheid van de drempel alleen bepaald hoeft te worden door eisen van de gelijkmatige oplegging der caissons.

De zettingen zowel als de zettingsverschillen van de pijlers der kabelbaanpylonen hebben niet meer bedragen dan 3 cm. De zettingen van de blokkendam konden tijdens de afsluiting niet worden gemeten. Voorspeld waren zettingen tot maximaal 60 cm. Meting



van de zetting en inklinking van naast de blokkendam opgesloten zandlichamen gaf de indruk dat *werkelijkheid en voorspelling goed* overeenkwamen.

De zettingen van de caissons bedroegen onder het aanbrengen van ballast hoogstens 14 cm. Tussen twee hoekpunten van een caisson kwamen daarbij zettingsverschillen voor van hooguit 6,2 cm. Deze waarden zijn klein in vergelijking met de laatst gepeilde hoogteverschillen in de drempel, die lagen in de orde van grootte van een halve meter. De bodem van de tot 1 oktober opgesloten damvakken bij de caissons heeft nergens meer zetting ondergaan dan 12 cm, terwijl 20 cm voorspeld was.

Tabel II. Maximale voorspelde en gemeten zettingen en zettingsverschillen

plaats	periode	gemeten totalen	gemeten zettings- verschillen	voorspelde zettings- verschillen	toelaatbare zettings- verschillen
pylonen	voor en tijdens afsluiting	0,5 cm betonkrimp + 2,5 cm puntzetting	geen	geen	enkele cm
blokkendam	tijdens en na afsluiting	40 cm extra klink + zetting bij ophoging van 8 naar 14 m	geen	60 cm totaal 30 cm verschil	geen eisen
caisson(dam)	voor ballasten na ballasten tijdens opspuiten	— 6 cm < 13 cm	3 cm 6 cm 5 cm	$\left. \begin{array}{l} 20 \text{ cm totaal} \\ 10 \text{ cm verschil} \end{array} \right\} 15 \text{ cm}$	

Vorderingen

A. De werken van het Deltaplan

Brouwershavense Gat

Sinds 3 mei, de dag dat men begon aan de opbouw van het zandlichaam van de dam door het Brouwershavense Gat, is 16,5 miljoen m³ zand in het werk gebracht; daardoor is het zandbedrijf nu vrijwel voltooid.

Ongeveer tot het begin van de bouwvakvakantie, op 10 juli, hebben zes zandzuigers continu, dat wil zeggen gedurende 168 uur per week, aan het aanvoeren van zand meegewerkt; twee profielperszuigers in het noordelijke sluitgat, twee profielperszuigers, een bakkenladende bodemzuiger en een sleephopperzuiger in het zuidelijke sluitgat. Alleen de sleephopperzuiger werkte aan de zeezijde van de dam. Na de bouwvakvakantie werd met drie profielperszuigers verder gewerkt. Twee daarvan werkten tot en met 6 augustus in dubbele dienst, 95 uur per week, en één in enkele dienst, 47,5 uur per week. De andere drie zuigers waren intussen afgevoerd. Van 6 augustus af zetten twee zuigers het werk voort in enkele dienst. Begin oktober zullen ook zij van het werk worden afgevoerd.

Voor de fabricage van 193 000 ton asfaltbeton - 88 000 ton voor de aanleg van wegen en 105 000 ton voor de opbouw van talud-

bekleding - en van 38 000 ton gietasfalt staan op de dam door het Brouwershavense Gat drie asfaltinstallaties opgebouwd, de grootste op het damvak Kabbelaarsbank, twee kleinere op de damvakken Middelpaalt en Springersdiep. Voorlopig moest het asfaltbedrijf op de taluds wachten op het zandbedrijf. Op de damvakken Middelpaalt en Kabbelaarsbank heeft men in die tijd de oostelijke rijbaan van de autosnelweg aangelegd over een lengte van 3 km. Na de bouwvakvakantie waren de werkzaamheden aan de opbouw van de damvakken in de sluitgaten zover gevorderd dat begonnen kon worden aan het aanbrengen van asfaltbekledingen aan de zeezijde. Eind september was de 16 m brede en 25 cm dikke slab gietasfalt die aan de zeezijde het talud moet beschermen, gereed. Ook de met gietasfalt gepetreeerde glooiing op het buitenbeloop is tot een hoogte van N.A.P. + 4 m gereed gekomen, evenals de tussen deze beide in gelegen buitenberm van 25 m breed, die ligt op N.A.P. + 5 m.

Aan de meerzijde van de damvakken in de sluitgaten is een houten teenschot gemaakt, en zijn kraagstukken aangebracht. Boven het teenschot zijn glooiingen vervaardigd van Portugees graniet en koperslakblokken. In de haven van West-Repart werd een keurwand geheel van stalen damwand.

Na de sluiting van het Brouwershavense Gat zijn ongeveer 50 000 betonblokken overgeschoten, die worden afgevoerd naar het werkeiland Neeltje Jans in de Oosterschelde, en daar opgeslagen in afwachting van gebruik bij de Oosterscheldesluiting. De kabelbaan is vrijwel geheel afgebroken. De nog bruikbare onderdelen zijn afgevoerd naar opslagruimten op het terrein van de werkhaven Schelphoek. De gewapend-betonnen pylonen en de verankeringsconstructies zijn met springstof opgeblazen; de resten zijn in het zandlichaam van de dam begraven.

Oosterschelde

Werkhaven Schelphoek

In daarvoor op het haventerrein opgestelde loodsen en op een gereserveerd gedeelte van het open terrein werden onderdelen opgeslagen van de gedemonsteerde kabelbaan over het Brouwershavense Gat. Vanuit deze haven werd in de verslagperiode de afvoer onderzocht van 50 000 stuks bij de sluiting van het Brouwershavense Gat niet verwerkte blokken beton van 2½ ton per stuk.

Werkhaven Sophiapolder

In de verslagperiode werden aangevoerd en in depot opge-

slagen, dan wel overgeslagen: voor verwerking in het werkeiland Noordland: 161 000 ton mijnsteen, 60 000 ton stortsteen en 80 000 bossen rijkshout.

Werkeland Neeltje Jans

De werkzaamheden aan het werkeiland Neeltje Jans kwamen gereed; het werk werd voor de eerste maal opgeleverd. 50 000 blokken beton van het Brouwershavense Gat werden er in depot opgestapeld.

Werkeland Noordland

De benodigde hoeveelheid zand van 1 800 000 m³ werd in de verslagperiode grotendeels aan-

gebracht. Daarenboven werd 45 000 m² zinkstuk gelegd en verwerkte men 120 000 ton mijnsteen. De taludverdediging van gepenetreerde stortsteen aan de zeezijde kwam voor driekwart gereed.

De betonglooiing aan de noordzijde van het eiland is bijna geheel en die aan de zuidzijde voor eenderde deel voltooid. Begonnen werd met de aanleg van een glooiing van asfaltbeton boven de betonblokkenglooiing. Een deel van de mijnsteenperskade aan de zeezijde werd bij wijze van proef in de tijzone vervangen door meer golfslagbestendig zandasfalt.

Op zondag 30 september kapselde het asfaltschip 'Jan Hey-

mans' in de werkhaven. Er waren geen persoonlijke ongelukken. Naar het zich laat aanzien zal er nagenoeg geen stagnatie in de voortgang van de werken optreden ten gevolge van dit ongeval.

De dam door het Brouwershavense Gat, gezien van zuid naar noord. Stand van het werk op 4 augustus 1970



Verantwoording van de foto's

Aero-Camera	400 (onder)	417				
Aerocarto	389	396	397	400 (boven)		
Aerophoto Eelde	401 (onder)					
Blazer	412					
de Feljter	391					
Hofmeester	401	411	439			
Mastboom	400 (midden)					
Nationaal Foto	410 (onder)					
Rijkswaterstaat	390	404	408	409	410	414

