

Dokumentatiereeks 'Beveilen en Baggeren' nr 1



De afsluiting
van
het Haringvliet

Technische Universiteit Delft
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek
(Gezondheids Stevinweg 1)
Postbus 3100
2600 GA DELFT

De afsluiting van het Haringvliet

1972
T.P.C.
71-72

Technische Universiteit Delft
Faculteit CTG
Bibliotheek Civiele Techniek
Stevinweg 1
2628 CN Delft

UW R02 201
217269

Inhoud

	Voorwoord	4
<i>Ir. H. A. Ferguson</i>	Ten geleide	6
<i>H. J. Stuvél</i>	Bolwerk en hoofdkraan	7
<i>Ir. P. Santema</i>	De Haringvlietafsluiting als instrument voor regionale waterbeheersing in Zuidwest-Nederland	8
<i>Prof. ir. P. A. van de Velde</i>	Het ontwerp in hoofdlijnen voor de uitwateringssluis	10
<i>H. J. Stuvél</i>	De kraan van de Delta	15
<i>Ir. J. E. Prins</i>	Haringvlietproject stuwde waterloopkundig onderzoek naar hoger plan	18
<i>Ir. F. Spaargaren en ir. J. J. Vinjé</i>	Waterloopkundig onderzoek ten behoeve van vormgeving kunstwerk, vorm bouwput en vorm sluitgat	26
<i>H. J. Stroband, ing.</i>	De 'Deltar'	31
<i>Ir. P. H. van der Weele</i>	De bodembescherming ter weerszijden van de spuilsluizen	35
<i>W. Drooger</i>	Mechanisch zinken	40
<i>Ir. C. A. Zuiderwijk</i>	'Grootgrondverzet' in het Haringvliet	44
<i>Ir. P. Blokland</i>	De problemen van de schaalvergroting bij het ontwerpen en bouwen van de spuilsluis in het Haringvliet	51
<i>H. J. Stuvél</i>	De produktie van de nablaliggers	53
<i>Ir. A. van Dam en ir. Ph. Diderich</i>	Terugblik op een inspirerende opdracht	61
<i>Ir. drs. H. Kuiper</i>	De segmentschuiven met elektro-hydraulische aandrijving	64
<i>Ir. M. Geleedst en ir. W. A. Venis</i>	Onderzoek naar het dynamisch gedrag van de Haringvlietsluis	69
<i>Ir. R. J. Schor</i>	De vervaardiging van de schuiven	77
<i>Ir. J. ter Brugge</i>	De montage van de schuiven	80
<i>Ir. P. H. van der Weele</i>	De kabelbaan	84
<i>Ir. T. G. van der Meer</i>	De sluiting van het Rak van Scheelhoek	86
<i>Ir. A. J. Woestenenk</i>	Bijzondere toepassing van zandasfalt in de waterbouw	96
<i>Ir. J. J. Pilon</i>	De hydrometische begeleiding van de Haringvlietwerken	100
<i>W. A. A. van Eyden en ir. F. Langeweg</i>	De functie van de Haringvlietsluizen binnen het waterbeheersingssysteem van het noordelijk deltabekken	116
<i>Prof. ir. P. Ph. Jansen</i>	Een historisch gebeuren	122

Voorwoord

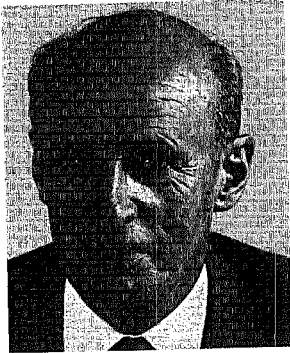
Uit tal van reacties is ons duidelijk geworden dat de serie artikelen over de afsluiting van het Haringvliet gepubliceerd in het maandblad **Weg en Waterbouw** (december 1970 en januari 1971) door velen op prijs is gesteld.

Mede op grond van die reacties werd besloten deze artikelen in een overigens gewijzigde volgorde te herdrukken en te laten verschijnen als eerste deel van een dokumentatiereeks getiteld **Bouwen en Baggeren**. Dit impliceert derhalve dat het voornemen bestaat ook in de toekomst dergelijke paperbacks uit te geven.

De bedoeling is informatie over bijzondere projecten en onderwerpen in een meer afgeronde vorm ter beschikking te stellen dan in tijdschriftjaargangen mogelijk is.

De nummers in deze dokumentatiereeks verschijnen tegen kostprijs, dat wil zeggen: medewerkers, redactie en uitgever hebben geheel belangeloos medewerking verleend om dit experiment mogelijk te maken.

Redactie 'Weg en Waterbouw'



Ten geleide

Gaarne heb ik gevolg gegeven aan het verzoek van de hoofdredactie van 'Weg en Waterbouw' om de speciale Haringvlietnummers met enkele woorden bij de lezers in te leiden.

De afsluiting van het Haringvliet, die op 2 november 1970 door de officiële ingebruikstelling van de daarin gebouwde uitwateringssluizen werd gemarkeerd, betekent de voltooiing van een waterbouwkundig werk dat een uitzonderlijk karakter draagt, zelfs voor ons land, dat er toch op kan bogen om zijn grote en gedurfde waterbouwkundige werken een internationale vermaardheid te hebben verworven.

De afmetingen ervan, de complexiteit en de originaliteit van de grote kunstwerken, die erin zijn opgenomen, hebben dit werk gestempeld tot wellicht het meest spectaculaire – zij het dan ook wellicht niet het meest gedurfde – van de Deltawerken, die toch elk op zich tot ver buiten onze grenzen de aandacht trekken.

Niet alleen voor de ontwerpers maar zeker ook voor de aannemerswereld is het werk een uitdaging geweest. Een ongekend groot aantal aannemersbedrijven – niet slechts de allergrootste doch ook vele kleinere bedrijven, als onderaannemers – zijn bij de uitvoering betrokken geweest. De prestatie, die zij tezamen hebben geleverd geeft ongetwijfeld reden tot trots en er is dan ook zeker aanleiding aan de voltooiing van het werk in dit aannemersorgaan meer dan gewone aandacht te schenken. Het zal de redactie tot voldoening strekken dat zij een groot aantal bij uitstek deskundigen bereid heeft gevonden het bijzondere karakter van dit grootse werk en de betekenis ervan, niet slechts voor de beveiliging tegen stormvloed maar ook voor de waterbeheersing in ons land, van vele kanten te belichten.

Ir. H. A. Ferguson, Hoofd van de Deltadienst

Bolwerk en hoofdkraan

Op 2 november 1970 gingen op een teken van minister Bakker de 17 schuiven van de Haringvliet-spuisluis naar beneden. Hiermede werd dit kunstwerk, dat tegelijk een bolwerk voor onze veiligheid en de hoofdkraan van onze landelijke waterbeheersing bedoelt te zijn, symbolisch in bedrijf genomen. De symboliek was in dit geval wel duidelijk, want kort tevoren waren de schuiven reeds enkele etmalen gesloten geweest, omdat de beveiliging van het achterland tegen een stormloop van de zee dit onverwacht vereiste.

Aan de afdamming van het Haringvliet is tot dusver veertien jaar gewerkt. Vele honderden hebben er hun beste krachten aan gegeven, hetzij achter hun bureau, aan de tekenafel, hetzij door het verrichten van proeven, en niet in de laatste plaats in de uitvoering. De afgrenzing van het Haringvliet, het meest spectaculaire onderdeel van de werken van het Deltaplan, was een uitermate gecompliceerde en daardoor tevens inspirerende opdracht. De bundeling van de kennis en inventiviteit van tientallen specialisten is nodig geweest om tot dit indrukwekkende resultaat te komen. In feite is door dit teamwerk dit nationale project naamloos.

Toch zou het goed zijn aan het grootste kunstwerk in deze afdamming en tevens van alle waterbouwkundige werken in Nederland een naam te geven. Welke naam dat zou moeten zijn is niet zo moeilijk. Het voorstel daartoe wordt gedaan door het oud-hoofd van de Deltadienst, prof. ir. P. Ph. Jansen, die aan het slot van zijn bijdrage de vraag stelt: 'Zou het nu niet mogelijk zijn aan dat grote Waterstaatswerk de naam te verbinden van Van Veen?' Hij is zich bewust dat dit een grote uitzondering zou zijn op de geldende regel, maar voegt hij daaraan toe: 'Van Veen was een groot en uitzonderlijk man'. Het is niet de eerste keer dat een dergelijk voorstel wordt gedaan, het is wel de eerste keer dat een figuur van zo groot gezag deze suggestie doet. Moge het voorstel in Den Haag in goede aarde vallen. Wat Cornelis Lely in overmaat is gegeven, zal men om redenen van eenvoudige rechtvaardigheid aan wijlen dr. ir. Johan van Veen niet mogen onthouden.



Dr. ir. Johan van Veen, geestelijk vader van het Deltaplan.

Nagenoeg iedereen die door ons werd uitgenodigd een bijdrage te leveren, heeft aan dit verzoek voldaan. Wij prijzen ons dan ook gelukkig dat een vrijwel compleet team van specialisten deze documentatie tot stand hielp brengen. Wij misten node de naam van ir. P. Blokland, de grote man van het betonwerk in de spuuisluis. Door ziekte was hij niet in staat op tijd de gevraagde bijdrage te leveren. Wij stellen het bijzonder op prijs dat de heer Blokland voor de herdruk van de Haringvlietartikelen in boekvorm alsnog een korte beschouwing heeft bijgedragen.

Tenslotte willen wij graag ook op deze plaats onze dank uitspreken aan de n.v. Nestum, de Deltacombinatie v.o.f. en Zinkcon n.v., die destijds een garantie wilden geven om de uitgave van twee speciale Haringvlietnummers mogelijk te maken.

S.

De Haringvlietafsluiting als instrument voor regionale waterbeheersing in Zw-Nederland

De afsluitingswerken in het Haringvliet vormen een zeer belangrijk en tevens wellicht het meest spectaculaire onderdeel van het Deltaplan.

De eerste plannen voor afsluiting van het Haringvliet dateren reeds uit een periode, die aan de opstelling van het Deltaplan, zoals we dit thans kennen, voorafgaat; in de reeks van plannen, die sedert de jaren dertig werden ontwikkeld voor verbetering van de waterstaatkundige situatie in het noordelijke deltagebied verschijnt reeds in 1952 – een jaar vóór de watersnood van 1953 – een afsluiting van het Haringvliet bij Hellevoetsluis. Aan deze periode, waarin bijzonder veel onderzoeken en studies zijn verricht, die later zo goed van pas zouden komen, is vooral de naam van dr. ir. Joh. van Veen verbonden. In het Driemaandelijks Bericht Deltawerken no. 54 van november 1970 vindt men nog eens in het kort een overzicht van de voorgeschiedenis van de inmiddels tot stand gekomen afsluiting van het Haringvliet.

Gezien het zeer vele dat reeds over de afsluiting van het Haringvliet is gepubliceerd mag wel worden aangenomen dat de lezers bekend zijn met hetgeen de afsluiting van het Haringvliet in hoofdzaak aan werken omvat. De navolgende artikelenreeks nu is in hoofdzaak gewijd aan een van deze werken, namelijk de spuisluis.

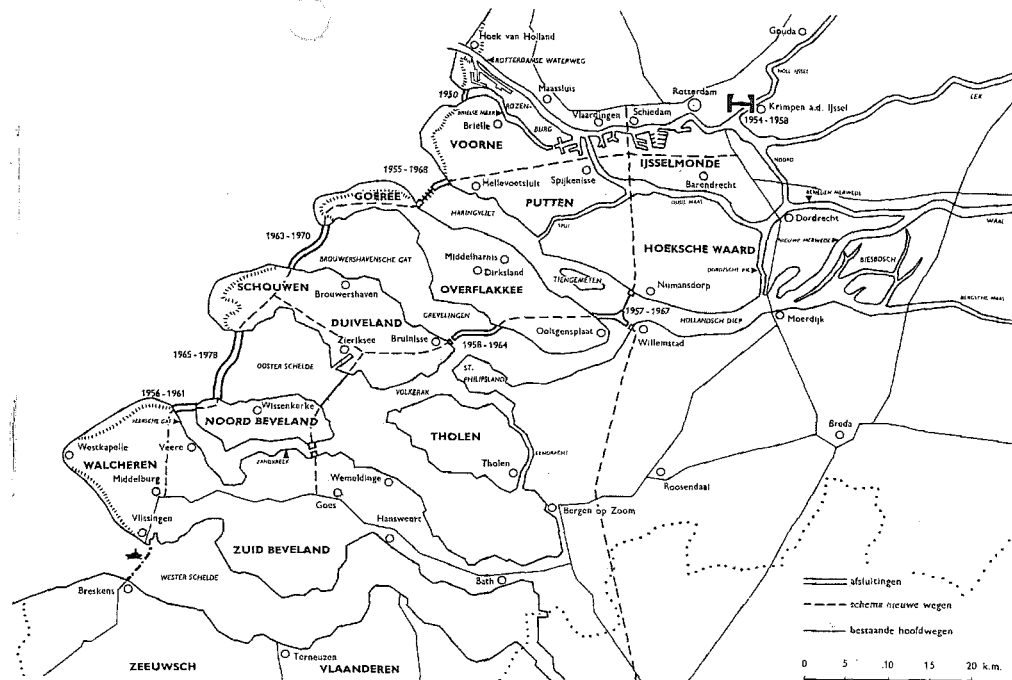
Met de afsluiting van het Haringvliet zijn steeds voornamelijk twee doelen nagestreefd, te weten in de eerste plaats een verbetering van de bescherming tegen hoge buitenwaterstanden in het noordelijk deltagebied en in de tweede plaats een verbetering van de zoetwaterhuishouding.

De hoge waterstanden, die vroeger in het noordelijk deltagebied konden optreden tijdens stormvloed, al of niet gecombineerd met hoge rivierafvoeren, zullen nu aanzienlijk worden verlaagd. Als gevolg van de afsluiting van het Volkerak in 1969 en de afsluiting van het Haringvliet met het in bedrijf stellen van de Haringvlietsluizen op 2 november 1970, kan tijdens een stormvloed, bij het gesloten houden van de Haringvlietsluizen, het verhoogde getij nog slechts via de Nieuwe Waterweg het noordelijk deltagebied binnen-

dringen. Het verticale getij ondergaat bij de voortplanting naar het Haringvliet een aanzienlijke verandering, waarbij het waterstandsverlagend effect aan de zuidrand van het noordelijk deltagebied het sterkste is. Ter illustratie kunnen de volgende cijfers dienen, aangevende de waterstanden met een overschrijdingskans van 1% per 100 jaar met de toestand vóór, respectievelijk na de afsluiting van het Haringvliet, gemeten ten opzichte van NAP:

	vóór afsluiting	na afsluiting
Haringvliet	4,80 m+	4,10 m+
Krimpen a/d Lek	4,80 m+	4,10 m+
Dordrecht	4,90 m+	3,60 m+
Moerdijk	5,30 m+	3,20 m+
Werkendam	5,10 m+	5,10 m+

De afsluiting van het Haringvliet betekent voorts dat, onder meer ten behoeve van de verziltingsbestrijding, veelal een doelmatiger gebruik kan worden gemaakt van het naar het zuidwesten van ons land stromende rivierwater. Met name de situatie op de Nieuwe Maas en de Oude Maas is daarbij van belang. Doordat tijdens iedere hoogwaterperiode op zee de Haringvlietsluizen gesloten blijven, wordt het Haringvliet zelf gevrijwaard van een directe zoutpenetratie vanuit zee. Verder kan tijdens perioden met lage rivierafvoeren worden voorkomen dat het zoete water nutteloos naar zee afstroomt door het ook tijdens laagwater op zee nagenoeg geheel gesloten houden van de Haringvlietsluizen. Tijdens perioden met zeer hoge rivierafvoeren zal om veiligheidsredenen daarentegen zoveel mogelijk moeten worden geloosd. In het algemeen kan voor normale getijomstandigheden op zee een lozingsprogramma voor de Haringvlietsluizen worden aangegeven dat uitsluitend afhankelijk is van de aanvoer van rivierwater naar het noordelijk deltagebied. Bij de vaststelling van dit programma moet met een veelheid van belangen rekening worden gehouden. De bedoelde belangen stellen vooral eisen aan het lozingsprogramma op het gebied van de kwantitatieve en kwalitatieve waterbeheersing, daaronder begrepen het voorkomen van te hoge stroomsnelheden en te hoge waterstanden. Voorts dient bij het werken met de Haringvlietsluizen de veiligheid van dit kunstwerk in het oog te worden gehouden.



Bij sterk afwijkende getij-omstandigheden op zee of andere bijzondere omstandigheden – bijvoorbeeld ongelukken, waarbij grote hoeveelheden stoffen met een sterk verontreinigende of giftige werking betrokken zijn – zullen eventueel afwijkende lozingsprogramma's moeten worden gevolgd. De dienst, welke met het beheer van de Haringvlietsluizen is belast – de Directie Benedenrivieren, arrondissement Dordrecht – kan onder meer voor deze omstandigheden steunen op een uit de Waterlooppkundige afdeling en de afdeling Waterhuishouding c.a. van de Deltadienst gevormd operationeel adviescentrum.

De afsluiting van het Haringvliet en het met de Haringvlietsluizen te volgen lozingsprogramma zal niet alleen onder bijzondere getij- en afvoeromstandigheden, maar ook onder meer normale omstandigheden de waterstanden en de waterbeweging in het noordelijk deltagebied ingrijpend veranderen.

Aangezien de mens zich in het verleden met allerlei activiteiten geheel had ingesteld op een bepaald waterregime, bracht het optreden van een ander waterregime de noodzaak met zich mee van aanpassing van een groot aantal voorzieningen en activiteiten, die in zeker opzicht in relatie tot het

water staan. Het merendeel van de in dit verband te treffen voorzieningen kon inmiddels tijdig worden gerealiseerd; de resterende zaken werden later afgehandeld.

De verandering van het waterregime betekent uiteraard ook een belangrijke ingreep in het natuurlijk milieu van de wateren van het noordelijk deltagebied en de daarin of er langs gelegen gronden. Het natuurlijk milieu in het deltagebied ondergaat bovendien als gevolg van andere ontwikkelingen eveneens veranderingen. In een aantal gevallen betekent dit dat bepaalde gronden voor diverse nieuwe bestemmingen beschikbaar komen en daarvoor moeten worden ingericht. Naast verlies is er in dit opzicht zeer bepaald ook sprake van winst. Voor het volgen van de ontwikkelingen op dit terrein en teneinde zich voordoende mogelijkheden ter verrijking van het milieu ten volle uit te buiten wordt bij de Deltadienst, naast het op het ontwerp, de realisatie en de gevolgen van de Deltawerken gerichte waterlooppkundige en waterhuishoudkundige onderzoek, dan ook in toenemende mate aandacht besteed aan het milieuonderzoek en de inrichtingsproblematiek van de deltawateren en de daarin of er langs gelegen gronden, zulks met inbegrip van de kustzone.

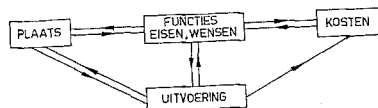
* Hoofd van de afdeling Waterhuishouding, Milieuonderzoek en Inrichtingszaken van de Deltadienst, Den Haag.

Het ontwerp in hoofdlijnen voor de uitwateringssluis

Bij het tot stand brengen van grote werken, waarvan het volledige ontwerp en de uitvoering veel tijd vragen, zal reeds in een vroeg stadium van de ontwerpwerkzaamheden met de uitvoering worden begonnen om de tijd die voor de verwezenlijking van het plan nodig is zoveel mogelijk te beperken. Men aanvaardt hierbij uiteraard het risico dat uit de begeleidende studies, in een latere fase van het ontwerp, zou kunnen volgen dat belangrijke wijzigingen in het dan reeds uitgevoerde deel van het werk gewenst zouden zijn.

Ook bij de afsluiting van het Haringvliet en de daarvan deel uitmakende uitwateringssluis is er naar gestreefd zo snel mogelijk een ontwerp in hoofdlijnen op te maken dat betrekking had op de plaats en de hoofdafmetingen van deze sluis.

Dit plan kwam in 1955 gereed, waarna in 1956 met de bouw van een werkhaven in Hellevoetsluis en in 1957 met de bouwput voor de grote sluis werd begonnen.



Figuur 1.

Men ziet dat, uitgaande van de vereiste functies en een aantal andere eisen en wensen, een plaats in het rivierbed voor het kunstwerk kan worden gekozen waarmee dan tevens de ligging van de afsluitdam in grote lijnen is bepaald.

Bij deze gekozen plaats kan men nagaan of de uitvoeringsmogelijkheden gunstig zijn of niet. Zo ja, dan kan men nagaan of de gekozen plaats invloed heeft op het uitgangspunt, namelijk de aangehouden functies, eisen en wensen. Het kan zijn dat de gekozen plaats een extra functie of een extra eis tengevolge heeft. Zowel de functies en eisen als de uitvoeringsmogelijkheden bepalen dan de kosten.

De relaties tussen de vier variabelen zijn met pijlen aangegeven. Uit het feit dat vier van de vijf relaties in beide richtingen kunnen gaan blijkt dat heen en weer beïnvloeding der variabelen mogelijk is. Door nu voor verschillende in aanmerking komende plaatsen het proces te herhalen, is men in staat een vergelijking te maken, waaruit een gunstigste oplossing kan worden gekozen.

Vervolgens kan men, indien gewenst, uitgaan van een andere reeks functies, eisen en wensen en voor de verschillende plaatsen opnieuw de meest gunstige oplossing zoeken. Uit deze gunstigste plannen zal dan het favoriete plan kunnen worden gekozen.

Met dit schema als richtlijn is voor het plan van de sluis uitgegaan van de volgende functies:

1. De sluis is onderdeel van de waterkering; hieruit komt als eis naar voren dat de kans op breuk, doorbraak tengevolge hebbende, even groot moet zijn als bij de afsluitdam (frequentie 10^{-4} maal per jaar).
2. Extreem hoge rivierafvoeren van Rijn en Maas naar zee lozen zonder dat ergens in de benedenrivieren te hoge waterstanden optreden.

* Hoogleraar Technische Hogeschool - Delft, Leiden.

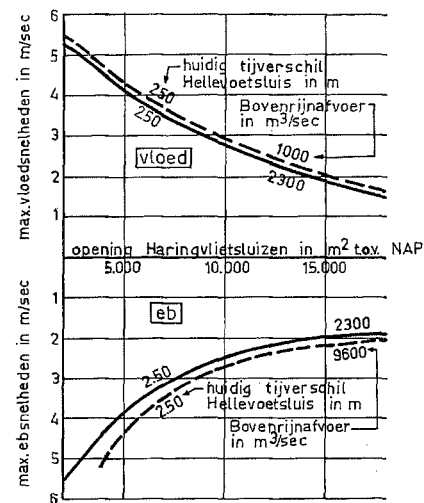
3. De afvoer van het rivierwater zodanig regelen dat nergens hinderlijke stromingen optreden en de zoutpenetratie op de Nieuwe Waterweg zoveel mogelijk wordt teruggedrongen.
4. De waterstand op het gevormde zoetwaterbekken regelen.
5. Voorzoveel mogelijk het ijsbezwaar in strenge winters tegengaan door het spuien van drijfijis en eventueel daartoe het volledig openen van de sluis om de getijbeweging op het Haringvliet tijdelijk te kunnen herstellen.
6. Het doorlaten van ijsbrekers.
7. Het getij doorlaten tijdens de bouw van een afsluitdam om de stroomsnelheden daarbij te beperken.
8. Het doeltreffend verwijderen van zout lekenschutwater.
9. Het tijdens perioden van gesloten sluis doorlaten van vis, glasaal en dergelijke
10. Eventueel spuien in droge perioden om de geul buiten de sluis voor te sterke verzanding te behoeden.

Naast deze functies, die eisen stelden aan het werk, kwam een aantal wensen aan de orde, betrekking hebbende op het tegengaan van verzilting op het Voornse Kanaal, het handhaven van een goede afwatering van in de nabijheid der werken liggende polders; alsmede het scheppen van goede inlaatmogelijkheden voor zoet water in de Kop van Goeree; het instandhouden van de kust- en zeevisserij voor de vissers van Goedereede, Stelendam en Ouddorp; en meer dergelijke wensen.

Met behulp van getijberekeningen en modelonderzoekingen kon aan de hand van de genoemde functies de totale doorstroombopening worden bepaald.

Hierbij bleken de hoogwaterstanden in het gebied Moerdijk-Dordrecht-Werkendam tijdens een extreem hoge Rijnafvoer geen criterium te vormen voor de totale sluisopening omdat deze binnen ruime grenzen daarop slechts een geringe invloed heeft.

Anders bleek het gesteld met de maximale stroomsnelheden in de sluis tijdens deze hoge rivierafvoeren. Uit figuur 2 blijkt dat bij een nuttige opening van minder dan 6000 m² de snel-



Figuur 2. Maximum eb- en vloedsnelheden in de Haringvliet sluisen als functie van de doorstroming tijdens springtij.

heden vrij sterk gaan stijgen boven een waarde van circa 4 m/sec tijdens springtij. Ook bij het doorlaten van de getijbeweging tijdens de bouw van de afsluitdam zou bij een kleinere opening dan circa 6000 m² een maximum-snelheid van 3,5 à 4 m/sec worden overschreden.

Bij het regelen van de afvoer zal in het algemeen slechts met zeer deeltelijk geopende schuiven worden gewerkt, waarbij de afvoer per strekkende meter sluis vrij gering is. Daarom is deze situatie niet maatgevend voor de aanval op de stortebedden en de ontgrondingen. Als criterium is aangehouden een maximum-snelheid van 4 m/sec tijdens een periode van enige weken tot enige maanden, omdat bij hogere snelheden omvangrijke ontgrondingen, die eventueel de stortebedden in gevaar zouden kunnen brengen, werden verwacht.

Op grond hiervan is de nuttige sluisopening vastgesteld op circa 6000 m² beneden NAP. Wegens de gestelde eis om drijfijis te kunnen afvoeren, werd tot een onderverdeling in openingen van tenminste circa 60 m breedte besloten. Wat de diepteligging van de drempel betreft is enerzijds rekening gehouden met de te verwachten hoogte der golven voor de sluis en anderzijds met

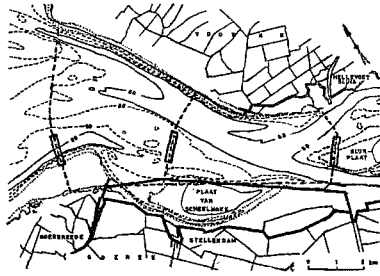
de ontgrondingen. Om het breken van hoge golven tegen de schuiven van de sluis te voorkomen werd een diepte van tenminste 5,5 à 6 m beneden NAP als drempelhoogte noodzakelijk geacht. Een grotere diepte was ongewenst wegens de daarbij te verwachten sterkere bodemaantasting. Het genoemde peil voor de drempel werd daarom aangehouden. De totale wijde van de sluis werd daarmee circa 1000 m.

Bij het verder uitwerken van het ontwerp werd voor de constructie van de stortbedden nog een ander criterium gesteld, waarbij van de slechts zelden te verwachten mogelijkheid werd uitgegaan dat in een periode van hoge rivierafvoer een van de schuiven niet kan worden geopend, zodat dan een sterke wervelbeweging met grote aanval op de stortbedden gaat optreden. Deze overweging had echter generiel invloed op de hoofd-afmetingen van de sluis.

Met betrekking tot de tweede variable, *de plaats van de sluis*, was eveneens een vrij groot aantal factoren van belang. Allereerst de configuratie van geulen, ondiepten en droogvallende platen in de mond van het Haringvliet. Voorts de wijze van uitvoering, die wegens de stroomvoerende functies van de sluis in de getjirivier zou moeten plaatsvinden.

Wanneer men afziet van de zeer moeilijke en in dit geval wellicht onmogelijke uitvoeringsmethode met gezonken sluselementen, bleef slechts als mogelijkheid over om de sluis in één of meer bouwputten te maken. Een grote voorkeur ging uit naar één bouwput waarin de gehele sluis kon worden gebouwd, en waardoor een grote kosten- en tijdsparing zou kunnen worden bereikt. Dit betekende echter dat een zo grote breedte van het rivierbed in beslag zou worden genomen dat de bouw alleen in een ondiep gedeelte of op een plaat kon worden tot stand gebracht teneinde het stroomvoerende profiel niet op ontoelaatbare wijze te verkleinen.

Dit gegeven leidde ertoe dat nabij de mond van het Haringvliet slechts een drietal plaatsen voor de situering van de sluis in aanmerking kwam. Dit waren de Slijkplaat ter hoogte van Hellevoetsluis, de Plaat van Scheelhoek tussen Stellendam en Goedereede en een zo ver mogelijk buitenwaarts gelegen plaat ter hoogte van Goedereede.



Figuur 3. De alternatieve mogelijkheden van drie afsluitingstracés vergeleken.

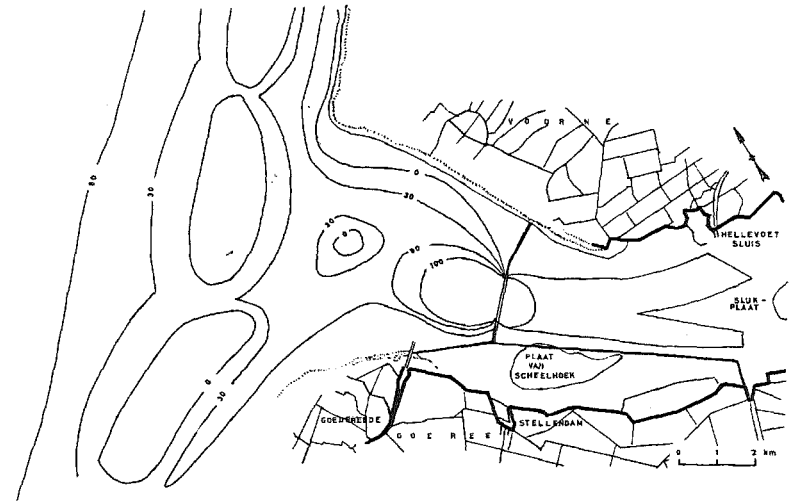
Wat de keuze van de plaats betreft is nog een aantal andere factoren belangrijk, zoals:

- het bodemtransport langs de kust
- de te verwachten ontwikkeling van geulen en platen zeewaarts van de sluis
- de draagkracht van de ondergrond
- de verwachte aanslibbing
- de instandhouding van de visserij
- de golfbelasting op de sluis
- het wegverkeer over afsluitdam en sluis
- de lengte van de kustlijn
- de grootte van het zoetwaterbekken
- de strandrecreatie
- onwerkbare perioden tijdens de uitvoering van sluisbouwput en afsluitdam
- het risico tijdens de uitvoering
- het onderhoud van de geul
- de ijsbestrijding.

Deze factoren hebben niet alle een even grote invloed gehad op de plaatskeuze.

Zeer belangrijk in dit opzicht bleken te zijn: 1. de geulontwikkeling voor de mond in samenhang met de zandverplaatsingen langs de kust; 2. de golfbelasting op de sluis; 3. de aanslibbing; 4. de onwerkbare perioden en het risico tijdens de uitvoering.

Wat deze punten betreft kan in het kort het volgende worden opgemerkt. Uit studies van de zandbeweging is gebleken dat na de afdamming ten gevolge van de sterke reductie in stroming loodrecht op de kust de geulen in en voor de



Figuur 4. Prognose van de bankvorming na de afsluiting.

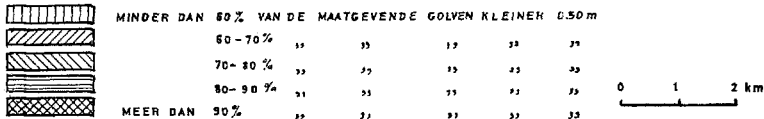
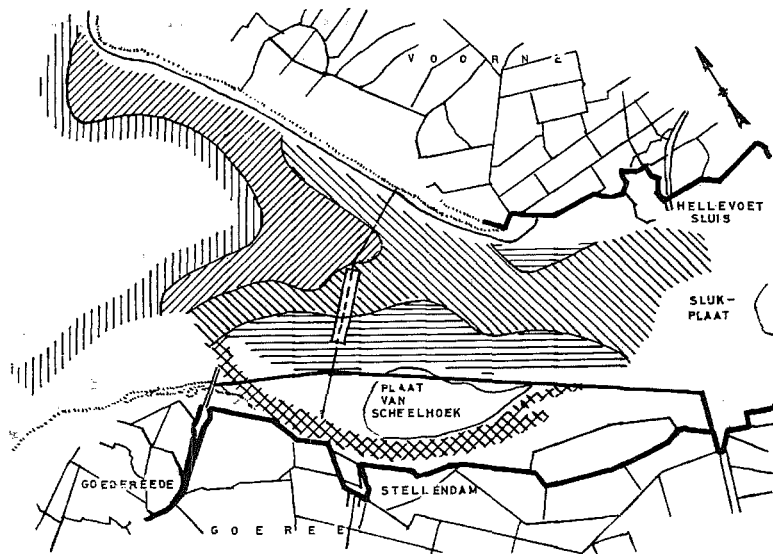
mond zullen gaan aanzanden met gelijktijdige vorming van zandbanken (zie figuur 4). Er blijft tussen deze zandbanken en de afsluitdam een getijbekken dat gevuld en geleidigd wordt door vloed en eb zodat tussen de banken enkele kleinere geulen open blijven. Verwacht wordt in ieder geval een geul in het zuiden, ter plaatse van het huidige Slijkgat, en een wat kleinere geul in het noorden. Eventueel zal tussen deze twee nog een derde geultje kunnen worden gehandhaafd. De capaciteit van deze geulen is nagenoeg evenredig met de grootte van het gevormde getijbekken.

Uit berekeningen bleek dat bij het buitenste tracé onvoldoende capaciteit over zou blijven om een voor de visserij bevaarbare geul in stand te houden. Bij het middelste tracé bleek de mogelijkheid daartoe gunstiger en bij het meest binnenwaarts gelegen tracé was de verwachting in eerste instantie nog beter. Hier zou echter meer slijbafzet-

ting moeten worden gevreesd omdat de golfbeweging achterin het bekken gedurende langere perioden plaatselijk zeer zwak zou zijn. De slijbafzetting zou verkleining van het bekken veroorzaken waardoor het voordeel ten opzichte van het middelste tracé gedeeltelijk verloren zou gaan. Bovendien zouden de badstranden langs Voorne hierdoor kunnen vervuilen.

De golfbeweging is het sterkste in het buitenste tracé. Zoals in figuur 5 te zien is, zijn de golven bij het middelste tracé reeds vrij sterk afgenomen. Zowel de sterke golfaanval op de sluis met moeilijke constructieve consequenties en hoge kosten, alsmede de verwachte onwerkbare perioden en het risico tijdens de uitvoering, leidende tot vertraging en eveneens hogere kosten, voerden tot afwijzing van het buitenste tracé, daar tegenover de geschetste nadelen niet voldoende voordelen konden worden gesteld.

De keuze tussen de beide andere plaatsen werd



Figuur 5. De demping van de golven in de mond van het Haringvliet.

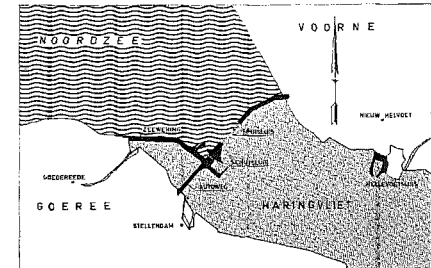
tenslotte gemaakt in het voordeel van het *middelste tracé*, dus op de Plaats van Scheelhoek, omdat tegenover een gering nadeel vele voordelen konden worden gesteld.

Dit zijn onder meer:

1. Gunstiger oplossing voor het wegverkeer.
2. Gunstiger oplossing voor de visserijhavens die kon worden geconcentreerd zo dicht mogelijk bij de woonplaatsen der vissers in het te vormen complex van buiten- en binnenhaven bij de ontworpen schutsluis in de afsluitdam. Hierbij valt op te merken dat een schutsluis in de afsluitdam nodig is voor het onderhoud

van de sluis en de stortebedden aan de zeezijde, alsmede voor het onderhoud van de vaargeul.

3. Kortere kustlijn.
4. Minder gevaar voor bestaande oevers tijdens de aanwezigheid van de bouwput.
5. Beter mogelijkheden om het Voormsse Kanaal zoet te houden.
6. Beter mogelijkheden om de Kop van Goeree van zoet water te voorzien ten behoeve van de tuinbouw.
7. Groter zoetwaterbekken.



Overzicht van de afdamming van het Haringvliet en de in deze afsluiting voorkomende kunstwerken.

In alle afsluitingsplannen van het Haringvliet kwam een zeer royaal bemeten uitwateringssluis voor. Dat is begrijpelijk aangezien deze zee-arm dient te worden beschouwd als de belangrijkste mond van Rijn en Maas. Om in tijden van grote tot zeer grote rivierafvoeren het surplus aan oppervlaktewater veilig naar zee te kunnen spuien, zou een regelbare opening van 5000 à 6000 m² nodig zijn. Dit gegeven volgde uit de statistische bewerking van een zeer groot aantal afvoercijfers over een periode van anderhalve eeuw. Behalve met de afvoer van water moest ook rekening worden gehouden met afvoer van miljoenen tonnen ijs die na strenge winters van de hoger gelegen rivierpanden naar beneden komen.

Schenken we eerst aandacht aan de waterafvoer, dan zijn in beginsel twee oplossingen denkbaar, ofwel een smalle en diepe opening, ofwel een brede en ondiepe opening. De eerste oplossing kwam in de gegeven situatie niet in aanmerking, omdat men dan te maken zou krijgen met ernstige stroomuitschuring in de uitwateringsgeul, terwijl langs de geul hinderlijke aanzandingen zouden optreden. Ook de ijsafvoer verzette zich tegen deze oplossing. Ijsvelden die zich zeewaarts bewegen, zijn niet gebaat met een grote diepte maar wel met een royale breedte.

De eis van een ondiepe ligging – de sluisdrempel zou komen te liggen op NAP -5,5 m – leidde tot een totale nuttige breedte van circa één kilometer. De eerste modelproeven in het Waterlooplekundig Laboratorium toonden dit aan; de toenmalige directeur prof. ir. J. Th. Thijsses had, met zijn merkwaardige feeling voor deze materie, al voordat er één modelproef had plaatsgevonden gezegd dat een zeer brede sluisopening de enige goede oplossing zou zijn.

Het ging niet alleen om een opening zonder meer, maar om een opening die afsluitbaar zou zijn door middel van stalen schuiven, kleppen of iets van die aard. Het was dus nodig de totale opening van circa één kilometer op te splitsen in een aantal kleinere openingen. De ontwerpers hebben toen eerst gedacht aan tien openingen, elk honderd meter breed. Zij bouwden hierbij voort op de ervaring dat het ijs bij het passeren tussen de pijlers van de Moerdijkbrug, die 100 m uit elkaar staan, nooit de neiging had op te stropen. Nu was

dat constructief allesbehalve een eenvoudige opgave. De 80 m lange schuif van de toentertijd in aanbouw zijnde stormvloedkering in de Hollandse IJssel te Krimpen werd al beschouwd als een extreem ontwerp. Een dergelijke schuif zou voor de Haringvlietluis dus nog eens met 20 m verlengd dienen te worden en bovendien moeten functioneren (en stand houden) in een gebied met krachtige getijbeweging. Aan al deze eisen voldoen zou betekenen het construeren van een uitzonderlijk kostbaar en zeer zwaar type schuif. Berekeningen wezen bovendien uit dat een rechte stalen schuif bij een breedte van circa 20 meter optimaal is met betrekking tot constructie en kosten. Daarom lieten de ontwerpers van de Directie 'Sluizen en Stuwen' van de Rijkswaterstaat de gedachte aan rechte schuiven met een breedte van 100 meter los.

Er kwam toen een tweede ontwerp ter tafel met zogenaamde stijlschuiven. Hierbij werd gedacht aan beweegbare afsluitingen die hun steunpunt zouden vinden in de vloer en aan de bovenkant tegen de brug die de sluis zou overspannen. Aan een dergelijke oplossing bleken bij nadere beschouwing fundamentele bezwaren te zijn verbonden. Zodra deze schuiven een weinig opgetrokken werden, zouden zij hun steunpunt op de bodem kwijt raken. Omdat de eis was gesteld dat er met ijsbrekers door de openingen kon worden gevaren, zouden de bruggen omhoog moeten; hierdoor zou de overspanning van brug tot bodem

zoveel groter worden met alle hieruit voortvloeiende consequenties voor de constructie van de schuiven. Besloot men toch tot een lage brug, terwille van deze oplossing, dan zou deze geweldige golfklappen aan de onderkant te verduren krijgen.

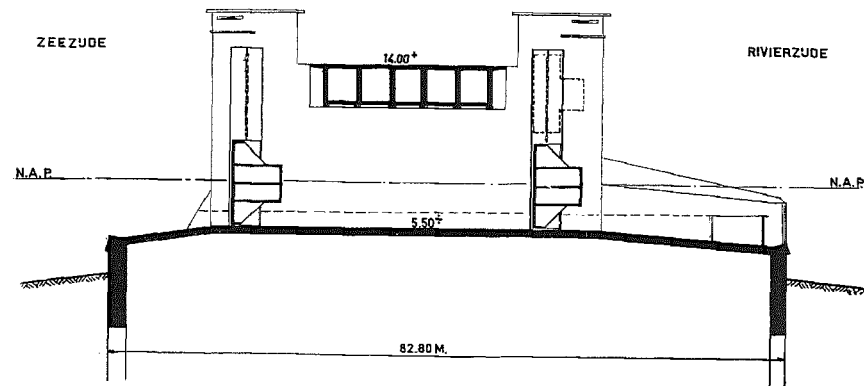
Bij de derde oplossing is uitgegaan van de gedachte dat de brug de ruggegraat van het gehele kunstwerk zou worden. Het bleek nu mogelijk door toepassing van segmentschuiven voorzien van lange armen te komen tot een zeer economische oplossing. Nu immers zouden alle krachten worden overgebracht op de ligger. Toen men zover was, is berekend hoe lang zo'n betonnen ligger zou mogen worden uit een oogpunt van economie en constructie. Dit bleek het geval te zijn bij een lengte van maximaal 60 m. Aldus ontstond een sluisontwerp met aanvankelijk 16, later met 17 openingen.

Alle overwegingen die een rol hebben gespeeld bij de drie principe-oplossingen werden in een nota vastgelegd. De Deltadienst – die in dit geval was te beschouwen als de bouwheer – koos de laatstgenoemde oplossing voor uitvoering. De tweede oplossing met de stijlschuiven is nog wel in het Waterlooppkundig Laboratorium beproefd, de eerste niet.

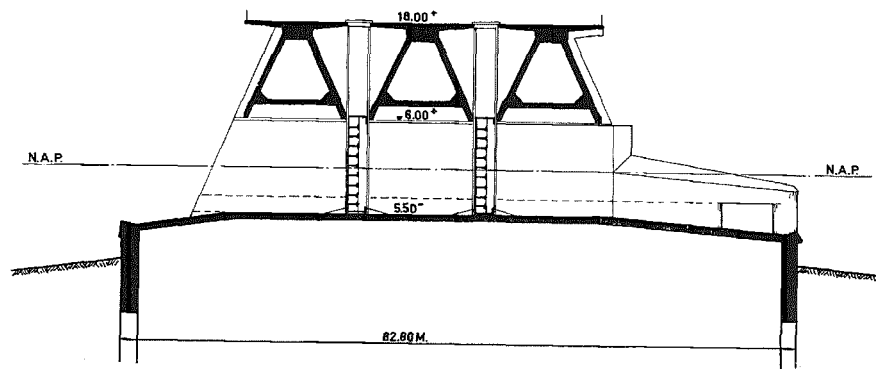
Wanneer hier sprake is van het maken van een principe-ontwerp voor de spuisluis in het Haringvliet, mochten we wel bedenken dat toentertijd niemand zich in feite een juiste voorstelling kon vormen van de krachten waaraan dit kunstwerk zou worden blootgesteld. De wetenschap dienangaande was opgediept uit de literatuur en was onvoldoende omdat dit werk nu eenmaal zonder voorbeeld was en nog steeds is. Modelproeven en

uitgebreide hydraulische berekeningen hebben tenslotte het inzicht in deze materie verdiept en hebben er onder andere toe bijgedragen de fundering onder de pijler te herzien en de driehoekige liggers van voorgespannen betonen – de zogenaamde nablaliggers – zwaarder te maken.

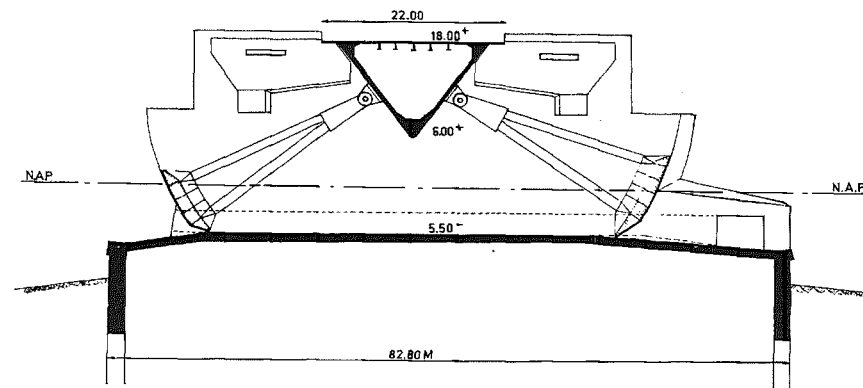
Al met al was deze nablaligger in ontwerp een kolossaal ding geworden. De kardinale vraag was nu: hoe maken we zo iets. Moet die holle balk van enige duizenden tonnen gewicht ter plaatse worden gestort? Het leek om allerlei redenen verre van aantrekkelijk. Dit allesbeheersende probleem is opgelost in nauw overleg met de aannemerscombinatie Nestum die met de uitvoering werd belast. Uit dat overleg tussen architect en aannemer is de uitvoeringsmethode geboren, die terecht in de vakwereld zoveel bewondering heeft gewekt en die ook volledig aan de gestelde verwachtingen heeft beantwoord. De hoofdkenmerken van de methode waren prefabricage en voorspanning. Besloten werd moten van de ligger tot een gewicht van maximaal 250 ton op de sluisvloer te maken en deze daarna met een kraan op hun plaats te brengen. Inherent aan deze uitvoeringswijze was dus de bouw van een portaalkraan, die toentertijd waarschijnlijk de grootste van Europa was. Speciaal voor dit werk werden bovendien demontabele stalen ondersteuningsconstructies gemaakt. Elk facet van de uitvoering – onder andere de interessante vraag hoe de homogeniteit van het beton der moten (op de grond gemaakt en gestoomd) en die van de in het werk gestorte voegen kon worden verzekerd – is aan uitgebreide proeven onderworpen. Mede hieraan was het klinkende succes van het betonwerk te danken.



Het eerste schetsontwerp voor de Haringvlietluis met regelschuiven; deze oplossing werd al spoedig losgelaten.



Ook het ontwerp met stijlschuiven ontmoette overwegende hydraulische en technische bezwaren.



Na rijp beraad werd voor de verdere uitwerking gekozen het principe-ontwerp met stalen segmentschuiven welke scharnierend verbonden zouden zijn aan driehoekige liggers van voorgespannen beton; deze liggers zouden tevens functioneren als brug.

Haringvlietproject stuwde waterloopkundig onderzoek naar hoger plan

Eeuwen achtereen doet het Noordzeegetij het water in en uit de zeearmen van Nederland's delta vloeien. Gebonden aan de omlooptijd van de maan om de aarde voltrekt zich daar een ritmisch spel van zand en water. Een haast ondoorgroendelijk mechanisme, waarvan de uitwerking zich toch niet aan het oog onttrekt: het deltag gebied, een complex stelsel van geulen met dwarsverbindingen. Met het stromende water verplaatsen zich grote hoeveelheden zand – eerst naar binnen, dan weer naar buiten – maar op wat langere termijn lijkt nauwelijks iets aan de configuratie te veranderen. Op echt lange termijn echter voltrekken zich aanzienlijke en onvermijdelijke verplaatsingen van geulen en banken. Onvermijdelijk totdat de mens een kunstmatig halt toeroept aan het spel van zand en water; hetzij door plaatselijk het zand door een bodemverdediging vast te leggen, hetzij door voor een groot gebied in één klap de waterbeweging op te heffen: het *Deltaplan*.

Daarnaast is er een ander spel, even complex als het eerste, maar zonder directe verschijningsvorm: het spel van zout en zoet water. De zee die het lage land omspoelt tot waar de rivieren nog niet zijn verland door een al te wijde stroombedding waar het zoet water zijn identiteit verliest in het zilte milieu.

Tegenover het natuurlijk evenwicht de consequente scheiding van zout en zoet: het *Deltaplan*.

Nogmaals terugdenkend aan de Noordzee, dan gebeurt daar meer dan wat alleen een spel – onschuldig door zijn speelsigheid – tussen zand-en-water en zout-en-zoet oproept. Het zijn de stormvloed met het geweld van de door dezelfde storm opgewekte golven. Los van het ritme van de maanomloop kan plotseling een dreiging van de ziedende zee tot diep in de delta binnendringen.

Ook hier de mogelijkheid in één klap deze dreiging weg te nemen: het *Deltaplan*.

Maar de Noordzee blijft zichzelf met haar getij en haar zoute water en met haar onberekenbare stormvloed en golven. Willen wij ons tegen haar wapenen, dan moeten wij in de verdedigingslijn op het ergste zijn voorbereid.

* Adjunct-directeur Waterloopkundig Laboratorium, Delft.

Een ingreep zo drastisch als het Deltaplan kan zich alleen dan voltrekken als een gedegen analyse wordt gemaakt van wat te verwachten is en wat het teweegbrengt. Niet alleen ten aanzien van het eindresultaat, maar vooral ook ten aanzien van de weg om dat resultaat te bereiken.

De ontwerper van een project met een zodanig ongekende omvang is wel genoodzaakt vele disciplines rond zich te verenigen en een samenspel op touw te zetten. Eén van deze disciplines is de waterloopkunde geweest. Ook hierin onderscheiden zich weer differentiaties, zoals het meten van de verschijnselen in de natuur zelf (getijden, golven, stroomsnelheden, zandbeweging, zoutgehalten, enzovoort), het vertalen van meetgegevens in criteria die als uitgangspunt voor het ontwerp kunnen dienen (correlaties, overschrijdingsfrequenties, enzovoort), het simuleren van de stromingstoestanden in de delta (verticaal en horizontaal getij) door gebruik van rekenschema's of analogons en tenslotte het begeleiden van het ontwerpwerk in de details door theoretisch-experimenteel onderzoek.

Als meest markant werk, zowel wat de functie betreft als de suggestieve werking die ervan uitgaat, komt in het Deltaplan de spuisluis van het Haringvliet naar voren: de relatief fragiele regulatuur in het onwrikbaar massief van de deltadammen.

Bij de studie van de waterloopkundige aspecten die het ontwerp en de bouw van deze Haringvlietsluizen noodzakelijkerwijs moest begeleiden hebben verschillende Rijkswaterstaatsdiensten de medewerking van het Waterloopkundig Laboratorium ingeroepen, waarbij het accent vooral heeft gelegen op het theoretisch-experimenteel onderzoek. In een lange reeks van jaren die een aanvang nam in 1946 – en waarvan het eind ligt rond 1980 – kon het toegepast wetenschappelijk onderzoek op waterloopkundig gebied zich afzetten tegen een project van uitzonderlijke veelzijdigheid. En dit in een tijd van een snelle ontwikkeling in elektronica en computertechniek. Dat hierdoor een voor Nederland waardevol potentieel kon worden opgebouwd, valt mede toe te schrijven aan het beleid van de zijde van de Waterstaat waarbij financiering en samenspel in

dit soort werk mede in het licht van de waarde op langere termijn wordt bezien.

Het is dan ook interessant te zien hoezeer het project Haringvlietsluizen een vruchtbare voedingsbodem is geweest voor de wetenschappelijke ontwikkeling van diverse waterloopkundige problemen.

Simulatiemodellen voor de waterbeweging

Veiligheid, doelmatig zoet-watergebruik en verbeterde communicatie over land en te water zijn de doelstellingen van het Deltaplan.

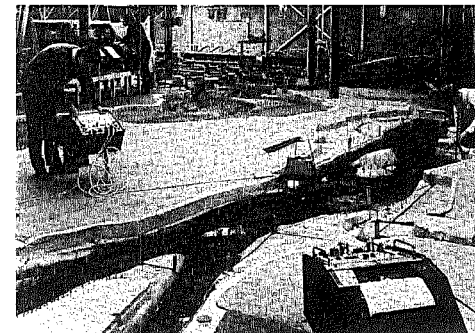
Kritisch voor de veiligheid zijn de stormvloed, vooral bij coïncidentie met hoge rivierafvoeren. Kritisch voor het zoet-watergebruik is de toestand bij lage rivierafvoer.

Met een open Waterweg als uitgangspunt is ten aanzien van de waterbeweging in het deltag gebied de Haringvlietsluis centraal komen te staan en daarmee eveneens de bepaling van de beheers-technische eisen die eraan moeten worden gesteld onder allerlei combinaties van de uitwendige omstandigheden.

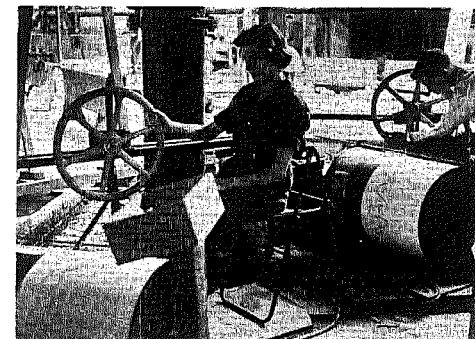
In dit raam was het nodig voor het deltag gebied nauwkeurig alle reacties te kennen als functie van diverse vormen van stormvloed en extreme rivierafvoeren, zodat bij een gegeven conceptie van de Haringvlietsluis op alle plaatsen in de delta waterstanden, snelheden en debieten konden worden geplaatst in het kader van een optimaliseringsproces bij het zoeken naar een evenwichtig ontwerp waarbij de plaatselijke risico's gelijk gewicht kon worden toegekend.

Dit geldt evenzeer voor de programmering van de afsluitingen waarbij overigens naast criteria voor te aanvaarden risico's ook beschouwingen over de uitvoeringstechnische mogelijkheden aan de orde komen.

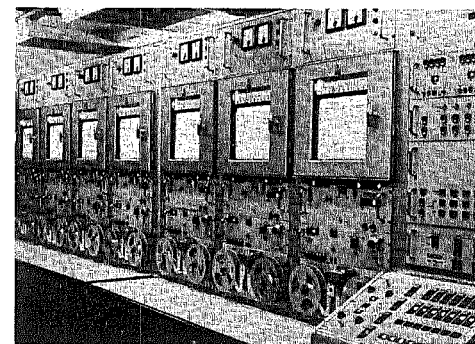
In 1946 was een bepaling van de waterbeweging in een zo complex stelsel van watergangen in zijn volle omvang slechts haalbaar met een fysisch model, hetgeen inhield een nagenoeg geometrisch gelijkvormige weergave van de natuur waarin met water het waterloopkundig gebeuren werd gesimuleerd. Dit model omvatte uiteindelijk het gehele onder invloed van het getij staande deltag riviereengebied en werd eerst in 1968 ontmanteld.



Hydraulisch analogon van het deltag gebied dat van 1946 tot 1968 in voortdurende evolutie de gegevens produceerde die aanwijzingen moesten geven voor de te volgen afsluitingstechniek en voor de bepaling van de vereiste doorvoercapaciteit van de Haringvlietsluizen (rechts op de foto in model aanwezig). Schaal van het model; horizontaal 1 : 2400; verticaal 1 : 64 en tijd 1 : 300 (één getijdencyclus in het model is circa 2½ minuut).



Boven: de handgestuurde getij-opwekking per zeearm met een directe mechanische overbrenging werd tot 1957 toegepast op het getijmodel van het deltag gebied. Onder: in de laatste fase van het getijmodel van het deltag gebied werd een continu zeegebied via een centrale pompsbandbesturing geregeld.



De afsluiting van het Haringvliet

De techniek voor de regeling van het getij ontwikkelde zich van handregeling per zeearm tot ponsband-gestuurde regelranden voor een continu zeegebied.

Na invoering van het effect van de aardrotatie op het stromende water in het zeegebied en in de zeearmen door middel van 'coriolistollen' (op gezette afstanden geplaatste draaiende cilinders) kon zelfs in dit model met een horizontale schaal 1 : 2400, respectievelijk een verticale schaal 1 : 64 de stroomverdeling rond de zandbanken in de ruimere zeearmen gedetailleerd worden vastgesteld.

De meettechniek ontwikkelde zich van de handbediende en visueel afgelezen meetinstrumenten tot een volautomatisch registratie van niveaus, vervallen en debieten. De modelbouw werd geperfectioneerd annex methodieken tot schematisatie van bepaalde geulvormen en representatie van de bodemruwheid in het model. Evenwel bleven in dit model achterwege de reproductie van de invloeden op de stromingsverschijnselen door het verschil in dichtheid tussen rivier- en zeewater en door de directe schuifkracht van de wind op het water.

Als afgeleid van dit model mogen worden gezien het getijmodel Rijnmond (met zout en zoet water) op schaal hor./vert. = 1 : 640/1 : 64 en het Oosterscheldemodel op schaal hor./vert. = 1 : 400/1 : 100.

Naast dit fysisch model ontwikkelde de Waterstaat vanuit de ervaring met een elektrisch analoog de 'Deltar' dat het beheer van het Noordelijk Bekken zal kunnen sturen. De ontwikkeling van mathematische modellen waarmee gebieden van een omvang en complexiteit als het Nederlandse deltagebied kunnen worden bestreken zijn ondanks de toegenomen capaciteit van computers thans nog niet operatief.

Golfonderzoek

Het bouwen van een zo omvangrijk kunstwerk aan de kust heeft vooral bedenkingen gehad met het oog op het blootstaan aan de directe golfaanval vanuit zee. Het eerste ontwerp van de Haringvlietsluis betrof dan ook een ver naar binnen gelegen stuw die met golven niet zoveel te maken had. Het is begrijpelijk dat - gezien de functie van het Deltaplan - in de gedachte van

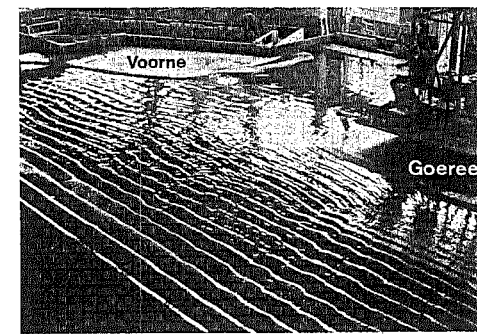
een doorgaande kustlijn werd nagegaan of een constructie aan zee technisch en economisch haalbaar was. De veiligheid die men bij het Deltaplan nastreefde bepaalde uiteraard ook de criteria waarop deze constructie met zijn bewegende delen (!) moest worden ontworpen.

De over de Noordzee trekkende depressies leiden tot een frequent voorkomen van stormen uit richtingen tussen ZW en NW met als gevolg niveauverhogingen aan de Nederlandse kust. Tezelfdertijd worden de omstandigheden voor het doordringen van golven vanuit zee door de grotere diepte gunstiger. Het is daarom een kwestie van waterstanden en golven die van belang is voor de vormgeving en sterktebepaling van de constructie. Ten aanzien van de stormvloedverhogingen kon uit een lange reeks van peilschaalwaarnemingen en voorspellingstechnieken uit meteorologische condities door het KNMI, het Mathematisch Centrum en de Rijkswaterstaat tot een frequentiebeschouwing ten aanzien van de waterstanden worden gekomen, aan de hand waarvan de Delta Commissie de keuze voor een ontwerp-criterium kon opstellen, met name het Deltapeil.

Wat de golven betreft lag dat veel moeilijker. Zij manifesteren zich wel langs de kust, maar niet direct meetbaar zoals de waterstanden. De voorspellingstechniek op basis van een gegeven windveld was in de oorlog ontwikkeld (overigens alleen voor diep water) om de landingsmanoeuvres in de Pacific bij te staan. Onafhankelijk daarvan was gedurende de oorlog door Thijsse in het Waterloopkundig Laboratorium in de windgolfgoot hetzelfde gedaan inclusief de voorspelling voor ondiep-water-golven. Deze technieken waren goed bruikbaar maar vragen op hun beurt meteorologische gegevens om tot verwachtingsuitspraken te komen. Een toets voor deze voorspellingstechniek waren de visuele golfwaarnemingen gedaan op de lichtscheppen. Wat men krijgt is nog slechts een 'significante' golfhoogte, terwijl het eigenlijke golfbeeld er een is van statistisch karakter, dit wil zeggen dat rond een gemiddelde golfhoogte lagere en hogere golven gegroepeerd zijn.

Een extra complicatie vormt dan nog de doordringing van de golven vanuit zee naar de plaats van de sluisen. Deze doordringing wordt sterk

Model voor het bepalen van de golfdoordringing in het Haringvliet; schaal 1 : 300. Later werd dit model voorzien van een kap waaronder een luchtstroom de energietoever door de wind aan de golven reproduceerde om een juiste balans te vormen met de energievermijting door de bodemwrijving.



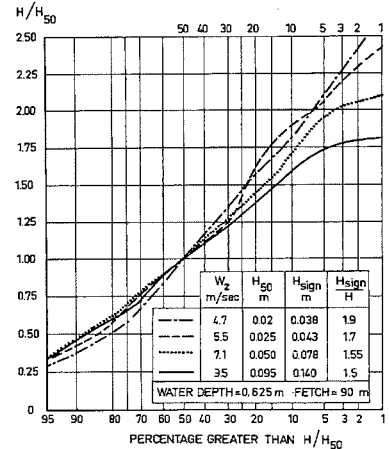
bepaald door de configuratie van het bankengebied en geulenstelsel en de op dat ogenblik optredende waterstand.

Dit laatste werd in een model onderzocht, waartoe het nodig was om de fundamentele kennis over het energieverlies van golven door bodemwrijving in natuur en model aan te vullen. Het bleek voorts nodig de energie-overdracht van de wind naar de golven ook in het model door een luchtstroom te reproduceren. Bij de Rijkswaterstaat werden op dit punt methodieken ontwikkeld om met luchtfoto's en radaropnamen het inzicht in de golfdoordringing in het Haringvliet te verkrijgen. Parallel hieraan moet dan een extrapolatietechniek worden toegevoegd omdat de opnamen uiteraard (en gelukkig) niet de extreme toestanden geven waarop het kunstwerk moet worden gedimensioneerd.

De blootstelling aan golfaanval werd zonder meer vergroot door de noodzaak van de aanwezigheid van een breed spuikanaal van de sluis naar zee. Er is wel aan gedacht de golven te onderscheppen door een dwarsdam - banaan - voor de sluis te leggen. Deze gedachte verloor zijn betekenis toen bleek dat bij de voorgestane constructievorm ook lokaal opgewekte golven tot grote belastingen op de schuiven leidden.

Het eerder genoemde statistisch karakter van de golven zelf vormde voor het onderzoek niet zozeer een probleem daar Nederland sinds 1936 een voor die tijd in de wereld unieke installatie had om in het model golven op te wekken onder invloed van een luchtstroom, of zo men wil: wind. Een aanwinst voor dit onderzoek vormde bij uitstek de in 1956 gereedgekomen 100 m lange windgolfgoot in de toenmalige 'open lucht afdeling' van het Waterloopkundig Laboratorium in de Noorddoostpolder.

Dankzij dit onderzoek werd aanzienlijk bijgedragen tot inzichten en technieken die wij hedentendag node zouden missen. Moest toen nog worden volstaan met de reproductie van de golfhoogteverdeling, thans is daar onverbreeklijk het energie-spectrum als karakterisering voor het golfklimaat aan toegevoegd. Dit houdt in dat de golfopwekking geprogrammeerd dient te zijn zoals dat is doorgevoerd in de thans in gebruik zijnde windgolfgoten. De wind heeft daar de functie de golf-



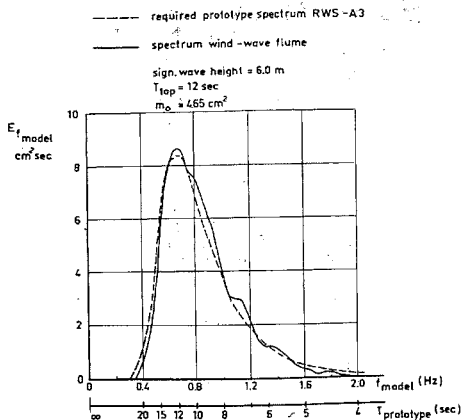
Golfhoogteverdelingskrommen gemeten in een windgolfgoot. Deze zijn volledig vergelijkbaar met die in de natuur. De uitwerking van een dergelijk golfbeeld op een constructie verschilt uiteraard van die veroorzaakt door regelmatige golven.

vorm geometrisch gereproduceerd te krijgen.

Elastisch gelijkvormige modellen voor constructies

Als wij de Haringvlietsluis zien in zijn functie om het waterbeheer in het deltagebied te verzekeren, dan wordt in feite van de constructie gevraagd een op grond van berekeningen (Deltar) voorgeschreven afvoerprogramma te allen tijde (vorstperioden) te verwezenlijken.

Er is de vanzelfsprekende beperking dat geen water van de zeezijde naar binnen mag worden doorgelaten (verzilting) en de eis dat het naar zee doorgelaten debiet geregeld kan worden uitsluitend onder gebruikmaking van natuurlijk verval. Tenslotte is er de eis van een noodzakelijke maximum-capaciteit van de sluis waaraan op



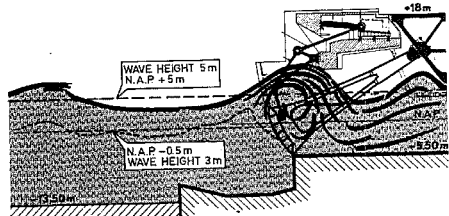
Golfnergiespectrum gereproduceerd in een model op schaal 1:64. Naast een juiste golfhoogteverdeling is hierbij ook bereikt dat de energieverdeling over de verschillende golfperiodes juist wordt weergegeven. De vorm van het spectrum is weer van invloed op de reactie van constructies op golven.

grond van het eerder genoemde onderzoek moet kunnen worden voldaan in het licht van de extreme rivierafvoeren en accumulatie-effecten in perioden van gestremde lozing bij langdurige stormvloedactiviteit.

Beschouwingen met het oog op ijsafvoer van het zoete Haringvliet stelden de eis van een minimale breedte per spuikanaal van rond 60 m.

Met deze achtergronden werd aan de ontwerper een conceptie gevraagd. Hydraulisch gezien gaat het dan om de belastingen waarmee in het ontwerp rekening moet worden gehouden alsmede de regelkarakteristiek die een bepaalde conceptie oplevert.

Onder: de buitenschuif van de Haringvlietsluis heeft vor extreme omstandigheden de functie van golfbreker. Een grotere hoogte dan NAP + 3 m leidt tot krachten die de nabaligger te extreem zouden belasten. De binnenschuif keert tot NAP + 5 m.



Velerlei overwegingen hebben tot de huidige vormgeving geleid. Eén van de belangrijkste factoren daarbij is wel geweest de impulsbelasting door golfaanval. In feite heeft die geleid tot een constructie waarbij de golven min of meer vrij spel krijgen: de hoog gelegen nabaligger waaraan de segmentschuiven zijn opgehangen.

De golfbelasting kwam zelfs tot dusdanig extreme waarden, dat moest worden besloten de schuif aan de zeezijde voor de extreme waterstanden niet waterkerend te ontwerpen, maar de schuif te beschouwen als een 'onderwater golfbreker'.

Voor de schuif aan de binnenzijde is ook afgezien van een constructie die absolute waterkering waarborgt. Met zijn kerende hoogte van NAP + 5 m zal het onder de meer extreme omstandigheden voorkomen dat zeewater door de golven over de schuif pulseert. Het opvangen hiervan in een diepe put – ook gewenst met het oog op normaal lekwater – en afvoeren door doorspoelen en via speciale rielen met diepgelegen invoeren voorkomt het ondervinden van nadeel hiervan.

Voor de sterkteberekening van de constructie moest worden uitgegaan van een dynamisch systeem. De stootbelasting van de golven was zodanig dat ten aanzien van de responsie van de constructie niet meer van een statische belasting kon worden gesproken. Het is duidelijk dat hierbij de vorm van de stoot – dat is het verloop van de kracht met de tijd – maatgevend is voor de mate waarin de spanningen in de constructie uitgaan boven die waarbij op de constructie de maximale waarde van de stoot als statische kracht zou zijn aangebracht (waarde van de stootcoëfficiënt). Zoals reeds eerder gezegd hebben wij bij windgolven met een statistisch verschijnsel te maken, hetgeen ook tot uiting komt in de vorm van de golfstoot. Zelfs kan het zijn dat op zijn beurt de vorm van de golfstoot wordt beïnvloed door de vervorming van de constructie.

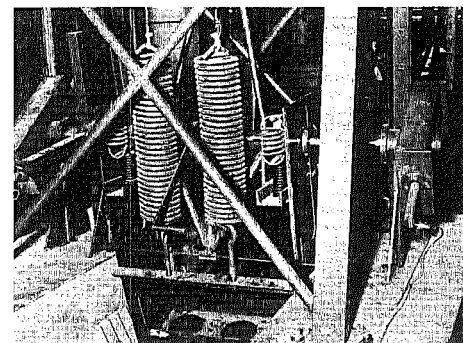
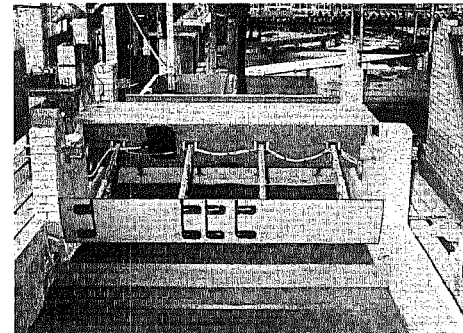
De studie van deze materie werd in 1958 opgedragen aan de werkgroep 'Dynamisch gedrag Haringvlietsluizen' of in het dagelijks verkeer meer populair 'de klapclub' genoemd. In deze werkgroep had een negental diensten en instituten zitting. Naast rekenmethoden en een elektrisch analogon werd ook een dynamisch gelijkvormig model voor onderzoek in de windgolfgoot met de

directe golfbelasting ingezet. De ervaring voor een dergelijk model kon worden ontleend aan het in 1956 gestarte onderzoek met elastisch gelijkvormige modellen voor de stuw van Hagestein in verband met trillingsverschijnselen bij onderdoorstroming.

Een essentiële eigenschap van elastisch gelijkvormige modellen is dat zij bij waterloopkundige modellen leiden tot een dynamische gelijkvormigheid van het gehele verschijnsel dat verantwoordelijk is voor de belasting. Een nadeel is dat zij voor gecompliceerde constructies, zoals bijvoorbeeld het samenspel van nabaligger en segment-schuiven, kostbaar zijn en niet gemakkelijk aan te passen bij wijziging van het ontwerp (bijvoorbeeld juist op grond van de resultaten via zo'n model). Voorzover met een 'harde' belasting kan worden gewerkt zijn rekenmethodes – mits de constructie in zijn dynamisch gedrag mathematisch kan worden weergegeven – in het voordeel gezien hun flexibiliteit. Wel blijft het noodzakelijk een aantal hydraulische karakteristieken experimenteel te bepalen zoals bijvoorbeeld de toegevoegde of virtuele massa van het in het dynamisch spel betrokken watervolume. Ook de fysische eigenschappen, zoals de vorm van de golfstoot, zijn uitgebreidheid verticaal en horizontaal, zijn afhankelijkheid van de constructievorm, waterstand, golfvorm, enzovoort zullen aan een hydraulisch model moeten worden ontleend.

Voor trillingsverschijnselen onder invloed van langs de constructie stromend water, normaal voor schuiven van regelstuwen, treedt bij de kritische toestanden een terugkoppeling op tussen de beweging van de schuif en de exciterende krachten waardoor opslingering in de resonantiefrequenties van de constructie ontstaat. De begrenzing ligt dan bij de demping die in het water wordt ondervonden.

Met het afsluiten van dit onderzoek bestond niet het gevoel dat het laatste woord erover was gezegd. Met het oog op de bedrijfsvoering van de Haringvlietsluis en met het oog op een verdere wetenschappelijke ontwikkeling werd in opdracht van de Rijkswaterstaat door het Waterloopkundig Laboratorium in nauwe samenwerking met het Instituut TNO voor Werktuigkundige Constructies een meetinstallatie voor de Haringvlietsluis ont-



Boven: elastisch gelijkvormig model van de nabaligger en segmentschuiven voor het onderzoek naar het dynamisch gedrag van de constructie bij golfaanval en onderdoorstroming. De gemeten spanningen in de constructie komen overeen met de werkelijke opredende spanningen; schaal van het model 1:20.

Onder: reproductie in een model schaal 1:17 van de bewegingsconstructie van de schuiven van de Haringvlietsluis in verband met het onderzoek naar de vormgeving van de onderrand van de schuiven ter reductie van de trillingsverschijnselen.

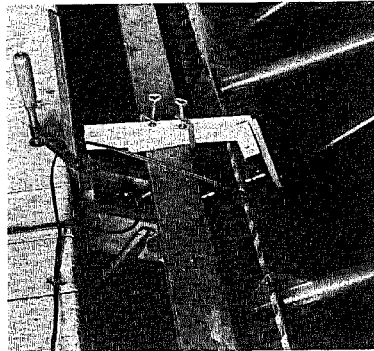
worpen; een installatie die thans zijn eerste vruchten gaat afwerpen. Gezien het statistisch karakter van de verschijnselen moet hier worden gedacht aan een langdurig meetprogramma, bijvoorbeeld van circa 10 jaar. Overigens zullen ook correlatiemetingen directe informatie verschaffen over het gedrag van de constructie onder diverse bedrijfsomstandigheden.

Ontgrondingsonderzoek

In het Deltaplan zijn aan de Haringvlietsluis twee functies toebedeeld. Eén in de uitvoeringsfase, waarin dankzij de doorvoering van ruim 5000 m² beneden NAP de damsluiting van het Haringvliet onder een gering verval kon plaatsvinden. De ander in het voltooid Deltaplan als reguleerder van het deltabekken.



Excitatie meting van de 'droge' Haringvlietsluis ter bepaling van de resonantiefrequenties van schuif, poten en nabijligger. Deze gegevens zijn nodig om te zijner tijd bij golfaanval en onderdoorstroming te beschikken over karakteristieke grootheden van het systeem.



Een zelfde soort meting als op de foto links die destijds in het elastisch gelijkvormig model op schaal 1:20 werd uitgevoerd.

Bij eerstgenoemde functie ging bij geheel opende schuiven tweemaal daags het getij door de sluis, totdat bij het bereiken van de sluiting van de dammen het volledige getijvolume werd bereikt. Daarna kwam de sluis in gebruik in zijn functie van spuilsuis, dat wil zeggen dat het water nabij de sluis alleen nog maar in de richting van de zee zal stromen.

Ter verzekering van de stabiliteit van het kunstwerk zal dienen te worden gemaakt tegen ontoelaatbare ontgrondingen. Dit probleem is overigens aan de orde bij iedere damsluiting, evenwel betreft het hier uiteindelijk een blijvende situatie met éénzijdig gerichte stroming.

Het bepalen van de plaatselijke erosie is altijd een zaak van het hydraulisch model geweest. Het Waterloopkundig Laboratorium had op dit punt wel ervaring als wij bedenken dat in 1929 een van de eerste onderzoeken de ontgrondingen bij de uitwateringssluizen in de Afsluitdijk betrof. Toch zijn er lange tijd vraagtekens blijven staan bij begrippen als evenwichtsdiepte en ontwikkeling van een ontgroning met de tijd.

Het mechanisme van de ontgroning is uitermate complex. Het stromend water oefent een schuifspanning uit op de bodem die al dan niet verplaatsen van sedimenten tot gevolg kan hebben. Bij hoge intensiteit van de turbulentie in de waterstroming kan ook opwerveling voorkomen en het materiaal in suspensie verder worden getransporteerd.

Het reproduceren op schaal van dit verschijnsel vraagt, in het bijzonder waar het in ons delta-

gebied gaat om sedimenten met een diameter van 150 à 200 micron, bijzondere voorzorgen. De inzichten hierin konden groeien dankzij een in 1958 door de Rijkswaterstaat opgedragen algemeen onderzoek, dat in 1960 werd uitgebreid met een systematisch onderzoek gericht op de ontgroning bij de Haringvlietsluis.

Momenteel denken wij ons de ontgroning als een statistisch proces waarbij de kans dat materiaal wordt getransporteerd aanvankelijk groot is, maar bij voortschrijding van de erosie met de tijd geringer wordt. Een werkelijke evenwichtsdiepte bestaat dus in feite niet, maar het zal niet zo moeilijk zijn een keuze te doen van een periode die nog interessant is voor een project.

Bij de studies is ook gebleken dat de mate van de turbulentie bepalend is voor de snelheid waarmee de erosie zich voltrekt. Voor de vormgeving van een constructie is dit een interessant gegeven. Ook ten aanzien van de lengte van een verdediging, omdat na het bereiken van een evenwicht in de stromingstoestand ongeacht de lengte van de verdediging gelijke ontgrondingen zijn te verwachten.

Deze beschouwingswijze zou niet mogelijk zijn geweest als niet parallel met het onderzoek de meet- en verwerkingstechniek zich mede ontwikkeld had. Het meten van de turbulentie-intensiteit met micromolens, inclusief de snelle verwerking daarvan en het automatiseren van de opname van de ontgrondingskuilen met gebruik van een hoogfrequent echolood waren hierbij essentieel. Niet minder de toepassing van polystyreen korrels met een dichtheid van 1040 kg/m³.

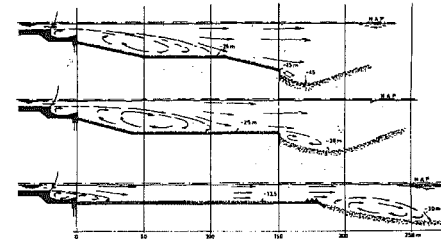
Voor de Haringvlietsluis met zijn breedte van 1060 m is het ontgrondingsverschijnsel over een groot gedeelte als tweedimensionaal te beschouwen. Bij het hierop betrekking hebbende onderzoek kon met tijd-ontgrondingsrelaties worden aangetoond dat bij een horizontale bodemverdediging op NAP -13,50 m de verdieping achter deze verdediging niet binnen een voor het kunstwerk interessante tijd de verdieping die ontstaat bij een hellende verdediging zou inhalen. Bovendien werd aan het eind van de horizontale verdediging een flauwere aanzet van de ontgrondingskuil verkregen dan bij de hellende verdediging. Met overtuiging kon men dus besluiten tot de veel goedkopere oplossing van een horizontale verdediging.

De randeffecten die zich voordoen in de wervelstraten aansluitend op de landhoofden vormden een studie op zichzelf. Plaatselijk moet de verdediging worden aangepast. Eenzelfde probleem doet zich voor als één schuif om welke reden dan ook gesloten moet blijven. De beheerder zal zich dan beperkingen ten aanzien van de andere schuiven moeten opleggen door stapsgewijs tot geheel geopende stand te komen.

Uit het vóórstaande blijkt dat de introductie van de tijdschaal een nieuw - en vooral in economische zin waardevol - aspect is gaan vormen in het hedendaagse ontgrondingsonderzoek. Het vond inmiddels ook toepassing voor andere kunstwerken zoals het project voor de uitwateringssluis Lauwerszee en een hernieuwd onderzoek voor de Houtribsluizen.

Van afsluiting tot ontsluiting

Meer dan voorheen houdt het denken zich tegenwoordig bezig met planning op lange termijn. Onwillekeurig vraagt men zich af of verworvenheden zoals die hier zijn beschreven ons ter beschikking zouden hebben gestaan zonder een Haringvlietproject op de achtergrond. Het antwoord is zeker: neen. Maar wij hebben ook ervaren dat wij, ondanks bewegelijkheid in denken en snelle aanpassing aan nieuwe methodieken, nog amper in staat zijn geweest de behoeften te dekken. Daarom moet worden doorgegaan met dat wat wij nog niet hebben bereikt. Dat is dan iets om over na te denken in onze planning op langere termijn.



Tweedimensionaal ontgrondingsonderzoek van de Haringvlietsluis. Varianten voor de verdediging aan de zeezijde onderzocht in een model op schaal 1:36. Na een technisch aanvaardbare periode blijkt het resultaat voor de horizontale bodem, ondanks een groter ontgrondingsvolume, gunstiger uit te vallen dan bij de hellende verdedigingen.

Driedimensionaal ontgrondingsmodel voor de Haringvlietsluis op schaal 1:30. In de verdiepingen wordt materiaal met geringe dichtheid gebracht (bakeliet, $\rho = 1400 \text{ kg/m}^3$) om het ontgrondingsmechanisme getrouw te reproduceren.



Ir. F. Spaargaren* en
Ir. J. J. Vinjé**

Waterloopkundig onderzoek ten behoeve van vormgeving kunstwerk, vorm bouwput en vorm sluitgat

Voor het ontwerp en de bouw van de uitwateringsluizen in het Haringvliet en de daarvoor vereiste bouwput, alsmede voor de afsluiting van de overblijvende geulen in het zuiden en het noorden, respectievelijk het Noord-Pampus en het Rak van Scheelhoek geheten, zijn uitgebreide hydraulische modelproeven uitgevoerd in het Waterloopkundig Laboratorium.

In verband met de vormgeving van het kunstwerk was de golfaanval met name op de schuiven van groot belang. De dynamische belasting van de sluisen vindt plaats door het onder de schuiven doorstromende water en door golven.

Het golfonderzoek heeft voornamelijk plaats gevonden in de windgoot van het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst. De golfaanval op de sluisen in gesloten toestand bleek ongunstiger te zijn dan die op de geheel of gedeeltelijk geopende sluisen.

Voor een uiteenzetting van het onderzoek naar het dynamisch gedrag van de sluisen wordt verwezen naar de beschouwing van ir. M. Geleedst en ir. W. A. Venis. Daarnaast speelden de vormgeving van bouwput, sluitgaten en bodemverdedigingen ter weerszijden van de sluis, alsmede de toeleidingsgeulen en de afvoercharacteristieken van de sluis bij het modelonderzoek een grote rol.

In een algemeen overzichtsmodel van het Haringvliet (horizontale schaal 1:150, verticale schaal 1:50) zijn de stroomsituaties van de opeenvolgende fasen van het werk onderzocht.

De gegevens voor dit model (randvoorwaarden) werden verkregen uit prototypemetingen, berekeningen en gegevens ontleend aan het getijmodel van de benedenrivieren in Delft (M 600).

Om de uitwateringsluizen te kunnen bouwen moest een bouwput worden gemaakt van grote afmetingen, vooral in de richting loodrecht op de getijstroom.

In eerste instantie is de vorm van de bouwput voor de sluis bepaald, waarbij er steeds naar is gestreefd het overblijvende natte profiel zoveel mogelijk voor de getijstroom te benutten, zonder daarbij echter een stroombeeld te scheppen waarbij grote verdedigingswerken nodig zouden zijn

om ernstige uitschuringen te voorkomen. De afrondingsstralen van de hoeken van de put zijn op grond hiervan vastgesteld.

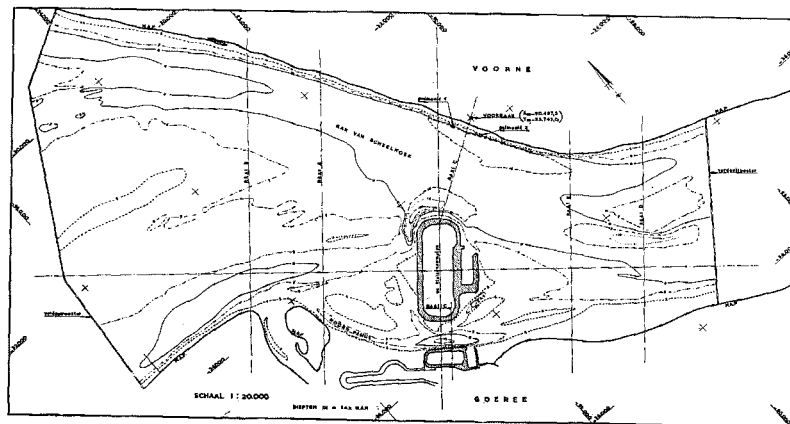
Daarna is onderzoek verricht naar de volgorde van werken en de bouwwijze van de put.

Eenzelfde onderzoek vond plaats ten behoeve van het opruimen van de bouwput nadat de sluis gereed was gekomen.

Grote aandacht is besteed aan de vormgeving van de stortbedden van de sluis die tot taak hebben de stabiliteit van het complex te verzekeren. Immers door de geconcentreerde lozing van grote waterhoeveelheden zal de zandige bodem ter weerszijden van de sluis uitschuren. Wanneer geen bodembescherming aanwezig zou zijn kan de sluis worden ondergraven en de stabiliteit van het kunstwerk in gevaar komen.

Daarom is een bodembescherming rond de sluis aangebracht, stortbedden genaamd, die de uitschuringen voldoende ver van de sluis verwijderd moeten houden.

Bij een goede bodembescherming moet de stabiliteit verzekerd zijn van het kunstwerk als geheel tegen afschuiving. Bovendien moeten de stortbedden zelf bestand zijn tegen hoge stroomsnelheden, terwijl ook de beëindiging van de verdediging stabiel dient te zijn. Uit een uitgebreid systematisch tweedimensionaal modelonderzoek op schaal 1:36 bleek dat – ofschoon een hellende bodemverdediging aan het eind tot lagere stroomsnelheden zou leiden maar tot grotere turbulentie – een horizontale bodemverdediging aanleiding gaf tot gunstige resultaten wat de ontgronding betreft, en daardoor de beste oplossing was voor de stabiliteit van het kunstwerk, de stabiliteit van de verdediging en voor de uitvoering van het werk. Bij een aanlegdiepte van NAP –13,50 m bleek uit de proeven de som van waterdiepte en ontgrondingsdiepte minimaal te zijn. Als optimale lengte voor de bodemverdediging volgde een maat van 180 m voor het tweedimensionale gedeelte van het stortbed. De ruwheid van het laatste deel van de bodemverdediging bleek van groot belang te zijn. De minimale aanzethellingen van de ontgrondingskuil en daarmee de maximale stabiliteit van de verdediging werd bereikt met een beëindiging bestaande uit een stortsteenverdediging met daarop extra ruwheid



Situatie van het overzichtsmodel.

aangebracht in de vorm van hierop geplaatste tetraëders.

Voor de detaillering van de stortbedden, alsmede voor het onderzoek van driedimensionale effecten werd gebruik gemaakt van een detailmodel van de landhoofdconstructie met aansluitend een zestal openingen van de sluis (schaal van dit model 1:30).

Onder bepaalde omstandigheden kan zelfs een bodembescherming bestaande uit zware stortsteen worden aangetast. Daarom is het deel van de bodembescherming onmiddellijk aansluitend aan de sluis uitgevoerd als een gesloten betonconstructie omdat uit modelproeven bleek dat zelfs het gewicht van zware stortsteen niet voldoende bleek om de in wervelstraten optredende negatieve drukken te compenseren.

Deze omstandigheden treden op indien één van de schuiven van de sluis tengevolge van onderhoudswerkzaamheden of een storing niet zou kunnen worden gegeven. Het eerste deel van het stortbed direct tegen de sluis bestaat daarom uit een betonplaat.

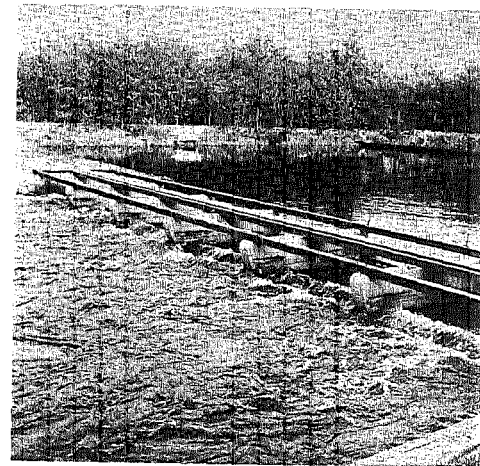
Teneinde de waterdichte samenhangende constructie te kunnen dimensioneren worden de drukken in het model gemeten die door de wervelstraat op deze constructie worden uitgeoefend.

Wanneer bij een extreem hoog ebdebiet één der schuiven – om welke oorzaak dan ook – gesloten blijft laat de stroom aan weerszijden van de gesloten schuif onder sterke wervelvorming los.

De onderdrukken die daarbij op het als een gesloten constructie te beschouwen stortbed worden uitgeoefend kunnen grote waarden in een beperkt

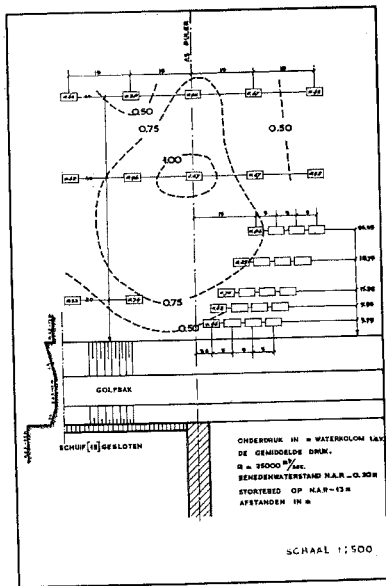
gebied bereiken. Achter de gesloten schuif worden onderdrukken veroorzaakt door grote wervels, die een Karmanse wervelstraat vormen en een periodiek veranderend stroombeeld geven. Aan de oppervlakte van het stortbed treedt een drukschommeling op met een frequentie die een superpositie is van die van de grote en kleine wervels. De wervelstraten nemen benedenstrooms van de

Detailmodel van de Haringvlietpulsuis. Uitstroming met geknepen schuiven.



* Ingenieur 1ste klasse Waterloopkundige Afdeling, Deltadienst, Den Haag.

** Hoofd Laboratorium 'De Voorst', Noordoostpolder.



Onderdrukken tengevolge van grote wervels bij gesloten schuif.

sluis geleidelijk in kracht af zodat de betonplaat hier kan overgaan in een filterconstructie, opgebouwd uit grind en stortsteen.

Ook hier moesten echter preventieve maatregelen worden genomen. Zware stortsteen 300/1000 kg kon worden toegepast, maar het gevaar bestond dat de onderliggende lichtere steen door de ruimten tussen de zware stortsteen tengevolge van wervelstraten zou kunnen worden gezocht. Uit een daartoe ingesteld modelonderzoek in de stroomgoot van Laboratorium 'De Voorst' op schaal 1 : 10 van deze filterconstructie is gebleken, dat de laag stortsteen een dikte van 1,5 maal de afmeting van de stortsteen dient te hebben. In dat geval wordt aan het lichtere materiaal (stortsteen 10/40 kg) voldoende bescherming geboden, met dien verstande dat de zware stortsteen eerder in beweging komt dan het onderliggende materiaal wordt opgezogen.

Aan de beëindiging van de bezinking is bijzondere aandacht besteed. Uit het modelonderzoek is gebleken dat de verdediging moest worden beëindigd onder een helling van 1 : 2. In dat geval laat de stroom los en wordt een ontgrondingskuil gevormd met een flauwe aanzethelling.

De helling van dit beeloop – van groot belang voor de grondmechanische stabiliteit – kon nog verder worden verflauwd door het plaatsen van tetraëders nabij de rand van de bezinking. Nabij de landhoofden diende de lengte van de bodemverdediging te worden vergroot. Met name nabij het noordelijk landhoofd is de aanstroming zeer scheef. Op grond van het driedimensionaal ontgrondingsonderzoek in het detailmodel kon door uitbreiding van de bodemverdediging en het bijplaatsen van extra tetraëders een afdoende oplossing worden gevonden.

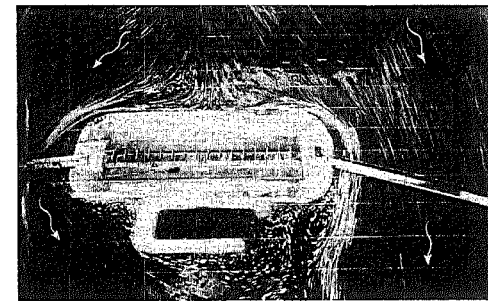
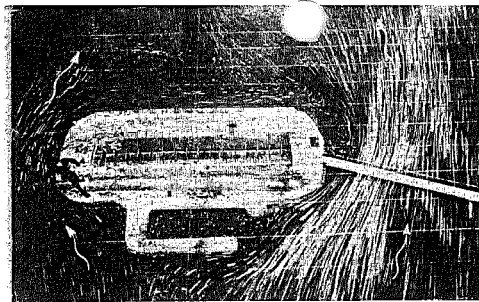
In de praktijk is inmiddels de noodzaak van de stortebbedden gebleken daar de bodem die oorspronkelijk op NAP –5,00 à –6,00 m lag, plaatselijk is uitgeschuurd tot dieper dan NAP –20,00 m.

Verder werd een modelonderzoek verricht om de invloed na te gaan van de te baggeren toelidingsgeulen op de debietverdeling tussen het sluitgat en de spuilsuis alsmede een onderzoek naar het rendement van de sluis bij het aanbrengen van toelidingsgeulen in de situatie vóór een afgesloten Rak van Scheelhoek.

Bij de volgorde van de werken werd mede op grond van modelonderzoek in het eerder genoemde overzichtsmodel de afsluiting van het Noord-Pampus gesteld na het gereedkomen van de sluis. Als gevolg van het openen van de sluis werd het doorstromingsprofiel vergroot met 5 500 m² waarbij dit van circa 16 000 m² tot 21 500 m² toenam. Het doorstromingsprofiel van het Noord-Pampus bedroeg circa 2000 m², zodat door de afsluiting het profiel afnam van 21 500 m² tot 19 500 m², hetgeen slechts een geringe vernauwing betekende.

De stroomsnelheden welke gedurende de sluiting konden worden verwacht zijn in het model gemeten. Hieruit bleek na berekeningen dat een zandsluiting mogelijk was en dat de zandverliezen het kleinst waren wanneer de sluiting van zuid naar noord zou plaatsvinden.

Voor de afsluiting van het Rak van Scheelhoek is onderzoek verricht met betrekking tot de vormgeving van de bodembescherming in relatie tot de ontgrondingen, het materiaal voor de sluiting en de opbouw van de sluitkade.



Stroombeelden rond de bouwput in het overzichtsmodel bij eb (foto links) en bij vloed (foto rechts) beide in de T₀-toestand.

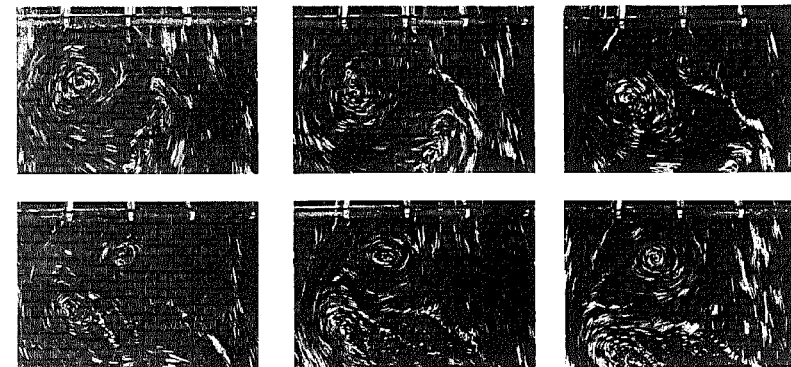
De bodembescherming behoefde niet aan dezelfde zware eisen te voldoen als die van de sluis daar de stromingstoestand door de gelijkmatige opbouw van de sluitkade aanmerkelijk gunstiger zou zijn dan die in de sluis en bovendien de sluiting maar enkele maanden in beslag zou nemen terwijl de sluis vele tientallen jaren in bedrijf zou moeten zijn.

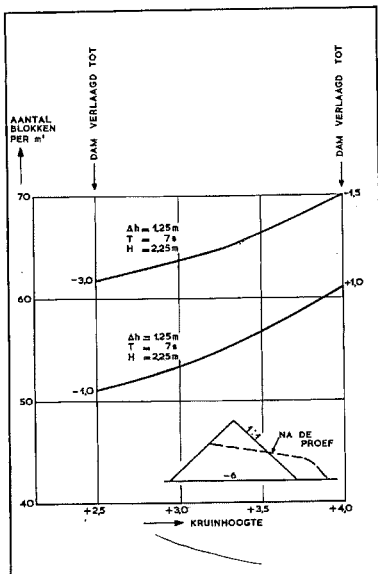
De breedte van de bodembescherming werd vastgesteld op grond van de resultaten van een modelonderzoek, dat werd verricht in een daartoe gebouwd detailmodel van het sluitgat met aangrenzende een viertal sluisopeningen (schaal 1 : 60). De breedte was vastgesteld op 10 m ter weerszijden van de as nabij de sluis en de Voornse oever terwijl in het midden van het sluitgat met 90 m kon worden volstaan.

Een belangrijk element in de sluiting vormde de

toepassing van betonblokken, welke werden gekozen na een vergelijkend onderzoek met zware stortsteen. Modelonderzoek is verricht naar de stabiliteit van de blokken onder invloed van stroom en golven in een daartoe ingericht golfbassin in Laboratorium 'De Voorst' (onderzoek op schaal 1 : 20). De vorm van de blokken is gevarieerd waarbij bleek dat kubussen het best voldeden. Uit een serie stortproeven volgde dat de taludhelling van de blokkendam afhankelijk is van de stortheogte. Bij een geringe valhoogte ontstaat een talud van 1 : 0,9 terwijl voor een valhoogte van 30 m verschillen optreden tussen het boven- en onderwatertalud. Het bovenwatertalud bedraagt dan 1 : 1,5 terwijl onder water de taludhelling ligt tussen 1 : 1 en 1 : 1,2. Het holle-ruimte-percentage dat uit de proeven volgde bedroeg 42% à 44%.

Periodiek wisselend stroombeeld achter gesloten schuif.





Verlaging van de blokkendam onder aanval van stroom en golven.

De constructie van de kabelbaan was zodanig dat een sluitkade met scherpe kruin zou ontstaan. Aangezien de verdere sluitingswerkzaamheden nog geruime tijd zouden vergen diende de sluitkade in de tussentijd een combinatie van stroom en golven te kunnen doorstaan.

Bij de modelproeven werd nagegaan bij verschillende combinaties van verval, golfhoogte en golfperiode of de sluitkade stabiel was en hoe deze bij extreme omstandigheden vervormde. Hierbij

werd de top van de sluitkade geslagen en werd een veel flauwer talud gevormd. Op grond van deze proeven kon bij diverse kruinhoogten worden nagegaan tot welke hoogte onder bepaalde extreme omstandigheden de dam werd verlaagd en hoeveel betonblokken per strekkende meter vereist zouden zijn voor aanleg, vermeerderd met eventueel onderhoud, met andere woorden: het aantal vereiste reserve blokken kon hieruit worden bepaald.

Gekozen werd een kruinhoogte van NAP +3 m. Als gevolg van de grote afmetingen van de blokken (1 m³) was de stroming door de dam zo sterk dat alvorens deze met zand kon worden afgedekt eerst een afdichting moest worden aangebracht. Op grond van proeven verricht in het Waterloopkundig Laboratorium 'De Voorst' en in een stroomgoot te Lith is gekozen voor een afdichting met grind en warm zandasfalt. Op de onderbouw van grind welke kon worden opgestort tot ongeveer NAP -2,00 m werd een kap van warm zandasfalt aangebracht tot NAP +2,00 m.

Uit het vorenstaande blijkt duidelijk dat ten behoeve van de afsluitingen van het Haringvliet gebruik is gemaakt van diverse soorten modelonderzoeken, elk specifiek uitgerust voor het te bestuderen probleem. De meettechniek en het inzicht in diverse verschijnselen van de waterbouwkunde zijn hierdoor ongetwijfeld in sterke mate verbeterd en zullen er toe bijdragen dat soortgelijke en nog grotere waterbouwkundige constructies met succes kunnen worden voltooid.

Literatuur:

1. Closure of estuarine channels in tidal regions, 'De Ingenieur', 1968, nr. 44, 47, 50.
2. Vinjé, J. J., On the flow characteristics of vortices in three dimensional local scour, Paper C25, 12th congress IAHR, Fort Collins 1967.
3. Spaargaren, F. en Vinjé, J. J., Some aspects of flow through and under hydraulic structures used for closing estuaries, Paper D41, 13th congress IAHR, Kyoto, 1969.

Vanaf omstreeks 1940 werd in verband met de reeds toen ondernomen studies betreffende waterstaatkundige plannen in het Deltagebied in toenemende mate de behoefte gevoeld aan een rekenapparaat, waarmee men snel de getijbeweging en de gevolgen hierop van een ingreep in de waterstaatkundige toestand, zoals bijvoorbeeld een afdamming, zou kunnen realiseren. Uit deze noodzaak sneller tot resultaten te komen bij de verdere ontwikkeling van plannen vooral ter beveiliging tegen hoge stormvloed en tevens om zich te kunnen wapenen tegen het opringende zout, werd de huidige 'Deltar' gebouwd.

De 'Deltar' is een analoge rekenmachine en het principe ervan berust op de hydraulisch-elektrische analogie. Zoals de naam 'Deltar' reeds aangeeft is dit analogon speciaal gebouwd om te worden gebruikt voor de simulatie van de getijbeweging in het Deltagebied in combinatie met bovenafvoeren (Rijn- en Maasafvoer).

Een principe-beschrijving van de 'Deltar' vindt men in deel 4, bijlage III-8 van het Rapport van de Delta Commissie.

Gesteld mag worden, dat vanaf omstreeks 1960 de 'Deltar' operationeel kon worden ingezet. Daarvoor werden vele waterstaatkundige toestanden in het Deltagebied onderzocht in een hydraulisch model (schaalmodel; M 284-M 600) in het Waterloopkundig Laboratorium te Delft en door middel van getijberekeningen bij de Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst uitgevoerd op elektrische tafelrekenmachines. Al deze modelonderzoeken en berekeningen leidden reeds vóór 1953 tot het huidige Deltaplan.

De 'Deltar' bestaat uit 3 groepen van 40 eenheden en de noodzakelijke invoer- en uitvoerapparatuur. Met iedere eenheid kan men een riviersectie analoog voorstellen, terwijl met elke groep van secties afzonderlijk kan worden gewerkt. Maximaal zouden derhalve tegelijkertijd 3 verschillende getijproblemen kunnen worden onderzocht.

Iedere analoge sectie is zodanig ingericht, dat de hydraulische grootheden, welke een riviersectie karakteriseren, zoals lengte, stroomvoerende breedte, bergende breedte, diepte en weerstandcoëfficiënt, onmiddellijk in hydraulische groot-

heden kunnen worden ingesteld. Het instelbereik van genoemde hydraulische grootheden is voor iedere analoge sectie zo ruim gekozen, dat daardoor de 'Deltar' een universeel karakter heeft en gebruikt kan worden voor rivieren van verschillende aard. Via een ingenieus systeem worden de variaties van de hydraulische grootheden tengevolge van de vrije waterspiegel automatisch in rekening gebracht. De gebruiker van de 'Deltar' heeft in principe derhalve niets te maken met de theoretische en technische uitvoering van het analogon.

Door deze analoge secties op de juiste wijze te verbinden kan men een systeem van getijrivieren nabootsen. Samen met de analoge verticale getijrandvoorwaarden ter plaatse van de begrenzingen van het gebied, bijvoorbeeld te Hoek van Holland nabij de mond van de Nieuwe Waterweg, kan men zowel de dagelijkse getijbeweging als stormvloed en met behulp van de 'Deltar' simuleren. Bovendien kan men de simultane afvoeren van de bovenrivieren analoog invoeren. Samen met de noodzakelijke gegevens, zoals afmetingen van de riviersecties en de weerstandcoëfficiënten, is het getijprobleem nu volledig bepaald. Alleen in het geval van stormvloed zal naast de gegeven getijrandvoorwaarden ook het interne windeffect moeten worden ingevoerd. Onder het interne windeffect wordt dan verstaan het effect van de wind op de getijbeweging in een getijkanaal. Dit laatste is afhankelijk van de windsnelheid en de windrichting. Voor de realisering van het bovengenoemde effect werd speciale apparatuur ontwikkeld, waarmee per groep van 40 secties zowel windrichting als windsnelheid analoog kunnen worden ingevoerd.

Zoals gezegd kan men voor diverse omstandigheden van het verticale getij aan de randen de getijbeweging in het beschouwde gebied simuleren met behulp van randwaarde-apparatuur (invoer-apparatuur). Daarbij wordt tevens aangenomen, dat ter plaatse van deze randen de verticale getijbeweging niet zal veranderen. Daar we bijzonder geïnteresseerd zijn in het verticale getij, de stromen en de snelheden (horizontaal getij) in het beschouwde gebied, is in de 'Deltar' de mogelijkheid aanwezig zowel de verticale getijbeweging (waterstanden) in meters als de stromen in

* Waterloopkundige Afdeling van de Deltadienst, Den Haag.



Opstelling van de analoge rekenmachine 'Deltar'. 1. Analoge riviersecties 2. Randvoorwaarde-apparatuur (ponsbanden) 3. Stuurpost (inschakelen van de machine, enzovoort) 4. Meetpost (keuze van meetpunten) 5. Analoge uitvoer (recorders) 6. Digitale uitvoer (ponsband) 7. Verbindingsafel (opbouw rivierfiguratie) 8. Windgenerator.

m³/sec en de snelheden in m/sec direct te meten. Opgemerkt moet worden, dat deze snelheden de gemiddelde snelheden in het dwarsprofiel zijn. De 'Deltar' heeft de mogelijkheden simultaan 36 informaties te geven in geschreven vorm (analoge uitvoer) en 108 informaties op een ponsband (digitale uitvoer). De analoge en digitale uitvoer zijn waterstanden, stromen en snelheden. De informatie op de band kan naar behoefte worden uitgelezen en bewerkt. Hiervoor wordt gebruik gemaakt van een computer, welke dan tevens de op de band staande gegevens verwerkt tot de gevraagde grootheden, zoals bijvoorbeeld vloed- en ebvolumina, afvoeren, enzovoorts. Daar niet alleen kan worden volstaan met analoge riviersecties in verband met aanwezige kunstwerken, zoals sluitgaten, stuwen en sluisen (Haringvliet-sluisen), werden hiervoor speciale analoge secties ontwikkeld, welke in staat zijn de waterbeweging door een dergelijk kunstwerk op de juiste wijze te simuleren. Deze secties worden uiteraard op de juiste plaats in het systeem van de aaneengeschakelde analoge riviersecties opgenomen. In de laatste jaren is de 'Deltar' in belangrijke

mate in gebruik geweest bij de bestudering van de toekomstige waterbeweging in het Deltagebied benoorden de Volkerakdam, kortheidshalve het noordelijk Deltagebied genoemd. Zo werden diverse spuiprogramma's samengesteld op basis van uitkomsten van de 'Deltar'. Ook na het in werking stellen van de Haringvliet-sluisen, waarbij de werken in het noordelijk Deltagebied als in hoofd-trekken gereed moeten worden beschouwd, zal de 'Deltar' haar functie blijven behouden voor het begeleiden van bijzondere spuiprogramma's voor de Haringvliet-sluisen en het direct volgen van stormvloed- of eventuele calamiteiten te kunnen voorkomen. In verband hiermede worden de waterstanden, die worden gemeten aan diverse peil-schrijvers in de natuur, gekoppeld aan recorders opgesteld in de 'Deltar'-zaal, zodat men o.a. onmiddellijk over die waterstanden beschikt, die nodig zijn om het dagelijkse getij en stormvloed- en met de 'Deltar' op de voet te kunnen volgen. Tevens zal de 'Deltar' dan gebruikt worden voor rivieronderzoek, bijvoorbeeld in verband met scheepvaart, industrie en het aanleggen van havens en kanalen.

Overeenkomstig de bedoeling is ook tijdens de afsluiting van het Brouwershavensche Gat in 1971 de 'Deltar' operationeel ingeschakeld voor het voorspellen van de waterstanden, snelheden en kenteringstijden tijdens de plaatsingsprocedure van de caissons. Dit is ook het geval geweest bij de plaatsing van de caissons in de Grevelingen en het Volkerak. Bij deze sluitingen heeft de 'Deltar' bewezen goede diensten te kunnen verlenen.

Men kan zich nu gaan bezinnen wat in de toekomst verder de taak van de 'Deltar' zal zijn en wat haar bijdrage is geweest voor de ontwikkeling van de waterbouwkunde.

Bij de bestudering van de waterbeweging is door de 'Deltar' een belangrijke bijdrage geleverd, hoofdzakelijk door de aanwezige mogelijkheid om gestelde vragen snel te beantwoorden.

De vraag echter of de 'Deltar' een blijvend winstpunt heeft opgeleverd, is moeilijker te beantwoorden. Door haar universeel karakter zou zij naast de blijvende operationele taak ingeschakeld kunnen worden voor onderzoekingen in andere getijgebieden met een één-dimensionaal karakter.

Het is echter de vraag of men thans nog wel zal overgaan tot de bouw van een analoge machine als de 'Deltar' voor het oplossen van het één-dimensionaal getijprobleem.

Door de huidige ontwikkeling van de computertechniek en die voor het oplossen van het getijprobleem noodzakelijke rekentechnieken (differentiemethoden) wordt men thans voor de moeilijke keuze gesteld: analogon of computer.

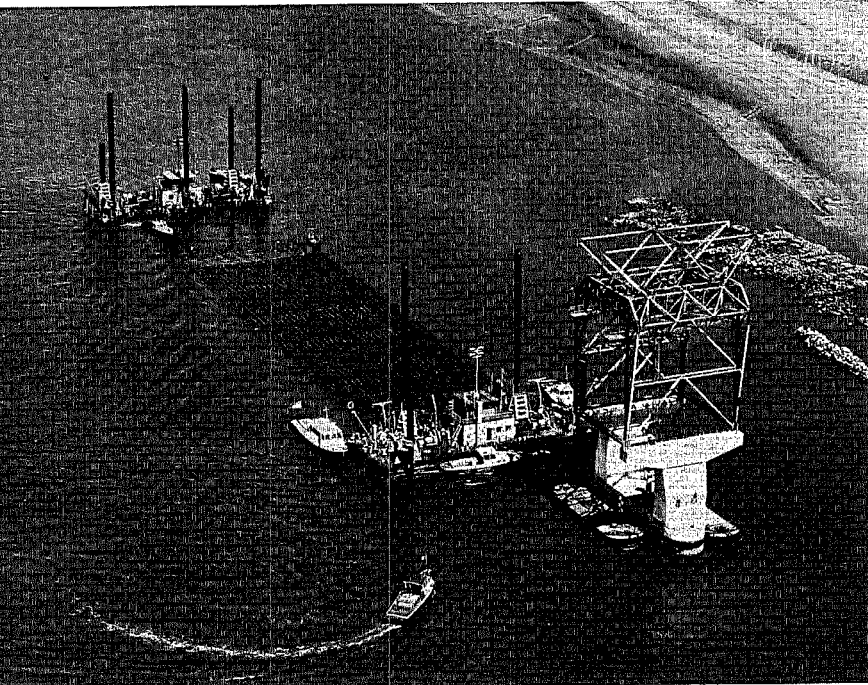
Zoals uit het voorafgaande duidelijk zal zijn, worden de uitkomsten van de 'Deltar', die op ponsbanden ter beschikking komen, verwerkt door een computer. Door een goed samenspel van beide rekenapparaten is het mogelijk aan de vragen uit de praktische hydraulica snel te voldoen. De computer en de daarbij behorende programmering van het getijprobleem worden meer en

meer gemeengoed. Strikt genomen ligt het nu niet meer zo voor de hand een eenzijdige rekenmachine als de 'Deltar' te bouwen alleen geschikt voor het oplossen van het één-dimensionale getijprobleem als twintig jaar geleden. Daarbij komt ten voordele van de computer, dat aan deze tegelijkertijd ook andere taken kunnen worden opgelegd en zij dus veel veelzijdiger is. Zo wordt voor het oplossen van de tweedimensionale getijproblemen alleen vanwege het feit, dat men niet over de hiervoor noodzakelijke secties beschikt, maar ook omdat deze zouden moeten worden uitgebreid voor de realisatie van de kracht van Coriolis, welke mogelijkheid in principe in de sectie van de 'Deltar' aanwezig is. Het aantal secties zou dan zeer aanzienlijk moeten worden uitgebreid en derhalve zo kostbaar worden, dat het alleen al om deze reden voordeliger zal zijn de computer in te schakelen.

Men moet echter wel bedenken, dat hoe eenzijdig de 'Deltar' in feite ook is, zij tot heden continu in gebruik is geweest en daardoor qua rekentijd in het voordeel is ten opzichte van een digitale rekenmachine, aannemende dat beide computers, digitaal en analoog, wat prijs en capaciteit betreft, vergelijkbaar zijn.

Tengevolge van de zeer eenvoudige toegankelijkheid kunnen de instructies voor de 'Deltar', bijvoorbeeld de waterstaatkundige ingreep in de vorm van een afdamming, snel worden ingebracht. Voor andere getijgebieden zal het dientengevolge een kwestie van economie zijn of men een analoge machine zal inschakelen voor het oplossen van het getijprobleem dan wel een computer of een combinatie van beide.

Opgemerkt moet worden, dat bij de huidige ontwikkeling van de elektronica het thans denkbaar is, dat een analoge machine gebouwd kan worden die goedkoper, compacter en sneller is dan de huidige 'Deltar'.



Aan de bodem brengen van een groot zinkstuk met behulp van 'Strekker' en 'Drukker' in het Rak van Scheelhoek.

De bodembescherming ter weerszijden van de spuisluizen

De bodem van de rivier in de omgeving van de spuisluizen bestaat over het algemeen uit fijn zand, waarbij plaatselijk de zandpakketten worden doorsneden door dunne kleilaagjes. Deze fijne bodemmaterialen zijn makkelijk erodeerbaar waardoor diepe ontgrondingen kunnen ontstaan. Daarom moest, zowel aan de zee- als aan de rivierzijde van de spuisluizen, de bodem over een bepaalde lengte worden vastgelegd.

Het doel van deze bodembescherming is, te betonen dat door de grote snelheid en turbulentie van het water de optredende ontgrondingen in de onmiddellijke nabijheid van de sluisen zullen voorkomen. De ontgrondingen die thans buiten de stortebedden optreden, liggen op zodanige afstand van de sluis dat de stabiliteit van het kunstwerk geen gevaar kan lopen.

Om een goede bescherming te bereiken waarbij geen gevaarlijke toestand zou kunnen ontstaan is een uitgebreide reeks van onderzoeken gedaan in het Waterloopkundig Laboratorium. Zowel in Delft als in 'De Voorst' (Noordoostpolder) werden proeven verricht die in hoge mate bepalend zijn geweest voor de uiteindelijk gekozen vorm en constructie.

Bij het onderzoek naar de stortebedden moest een aantal essentiële aspecten worden nagegaan. In de eerste plaats was dit wel de vormgeving. Belangrijk in dit opzicht was de aanlegdiepte maar daarnaast tóch ook de afmetingen hetgeen voornamelijk neerkwam op de vraag over welke lengte de bescherming zich zou moeten uitstrekken.

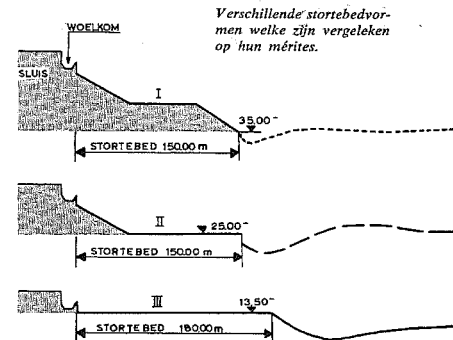
Een ander punt was de stabiliteit van het stortebed hetgeen inhoudt dat de onderdelen van het stortebed, en dan speciaal die onderdelen welke aan de stroomkrachten van het water worden blootgesteld, voldoende stabiel zijn en geen beweging mogen ondergaan.

Bij de opzet van de onderzoeken diende men drie verschillende perioden te beschouwen die ieder een andere stromingstoestand te zien zouden geven en ook voor de zee- en de rivierzijde een ongelijke aanval. Deze perioden waren:

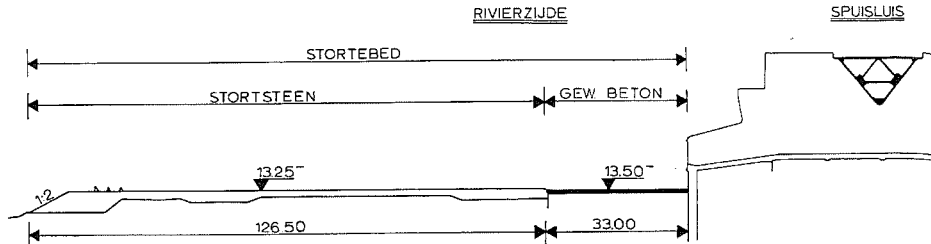
- De sluitingsfase van het Rak van Scheelhoek. De spuisluizen zouden dan geheel geopend zijn en zouden geleidelijk nagenoeg het gehele getijvermogen moeten in- en uitlaten. Onder invloed van deze in- en uitstromende waterhoeveelheden zouden zowel aan de zee- als aan de rivierzijde verdiepingen ontstaan.
- Na de sluiting zou, tijdens de ebperiode aan de zeezijde, een spuisstroom worden ingesteld die afhankelijk zou zijn van de aanvoer van opperwater van de rivieren. Deze situatie zou de meest normale zijn en bij grote rivierafvoeren oorzaak kunnen zijn van verdiepingen aan de zeezijde.
- Een speciale situatie zal zich kunnen voordoen als bij ijsgang de schuiven zouden worden geopend om de getijbeweging weer toe te laten op het Haringvliet. In deze situatie kunnen aan beide zijden ontgrondingen optreden. Deze toestand zal zich echter slechts gedurende zeer korte tijd voordoen.

Bij het onderzoek is als uitgangspunt genomen dat de ontgraving zo beperkt mogelijk zou moeten blijven en ook dat de hellingen van de ontgrondingskuil zo flauw mogelijk dienden te zijn.

De proeven zijn uitgevoerd bij verschillende stortebedvormen waarbij naast een horizontale ook een hellende ligging is onderzocht. Vooral



* Hoofdingenieur A van Rijkswaterstaat/Deltadienst, Hellevoetsluis.



ook de diepteligging is een belangrijk onderzoekpunt geweest.

Gebleken is dat een horizontaal stortbed op een diepte van NAP -13,50 m de beste resultaten gaf.

Daarbij is de gemiddelde stroomsnelheid wel wat groter dan bij een diepliggend stortbed maar anderzijds is ook van belang voor de ontgroning de turbulentiegraad van het water en bij de gekozen diepte bleek deze turbulentiegraad aanvaardbaar te zijn. Daar komt bovendien bij dat door het ruw maken van het eind van het stortbed de turbulentie beïnvloed wordt en daardoor tevens de mate van ontgroning. Een ruwe beëindiging veroorzaakt een geringere diepte en een gunstiger helling van het talud van de kuil; van het deel van de stortbedden dat tegen de sluis ligt is de ruwheid echter niet van invloed hierop. Bij de constructie is hiermee ook rekening gehouden door het aanbrengen van enkele rijen obstakels in de vorm van betonnen tetraëders om deze ruwheid te vergroten.

Voor het bepalen van de lengte van de stortbedden zijn in het model verschillende lengten onderzocht. Naarmate de lengte toenam werd de ontgroning minder en het talud flauwer. Naarmate het stortbed langer werd ontworpen sorteerde de verbetering steeds minder effect. Op grond hiervan is voor de zeezijde een lengte van 180 m gekozen, voor de rivierzijde is deze beperkt tot 150 m.

Voor het punt van de stabiliteit moest vooral bekeken worden welke afmetingen de steen zou moeten hebben. Voor het ontwerp moest bij de vermelde stromingsfasen de meest ongunstige

toestand worden nagegaan teneinde het ontwerp daarop te kunnen afstemmen.

Voor het stortbed aan de zeezijde moest daarom gerekend worden met de volgende bijzondere punten.

Als tengevolge van een defecte schuif een opening gesloten zou moeten blijven terwijl toch door grote oppervlaktewaterafvoer gespuid dient te worden, zullen er krachtige wervels gaan optreden. Deze zullen op de bodem een grote zuigwerking uitoefenen waardoor op het stortbed sterke naar boven gerichte krachten optreden.

Vooraf tengevolge van deze wervels zullen zo grote krachten kunnen optreden dat zelfs zware stortsteen niet meer stabiel zou zijn.

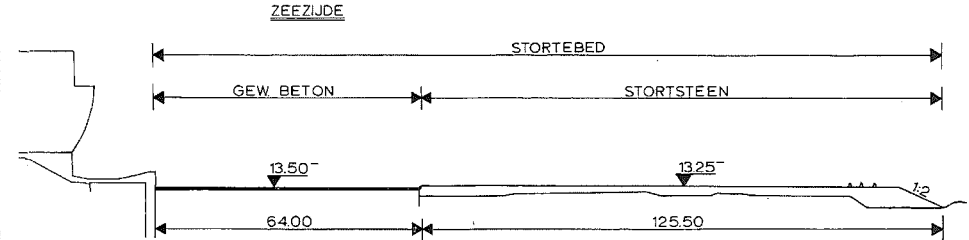
De invloed van deze wervels neemt af naarmate de afstand tot de sluis groter is. Daarnaast kunnen aan de zeezijde tijdens stormen grote golven voorkomen waardoor drukfluctuaties ontstaan die op het stortbed sterk wisselende krachten uitoefenen.

Bovendien kan tengevolge van een eventueel groot verval over de sluis overdruk optreden onder het gesloten deel van het stortbed.

Ook voor de rivierzijde is de meest ongunstige toestand beschouwd waarbij naast de stroomaanval ook het optreden van wervels en golven in aanmerking is genomen.

De constructie van het stortbed

Het resultaat van de onderzoeken naar de stabiliteit leidde tot een constructie die niet over de gehele lengte gelijk is. Aanvankelijk was de gedachte om over de gehele lengte een constructie te maken met een bovenlaag van stortsteen.



Vlak tegen de sluis zou echter zeer zware steen gebruikt moeten worden omdat deze anders niet stabiel zou zijn. Daarom is over dit eerste deel de bescherming uitgevoerd als een gesloten betonvloer.

Aan de zeezijde heeft de betonvloer een lengte van 64 m. De dikte werd bepaald op 0,50 m. Bij deze dikte is de betonvloer echter niet zwaar genoeg om alle opwaartse krachten te weerstaan; daarom diende de vloer te worden verankerd aan trekpalen. Deze constructie bleek goedkoper te zijn dan een dikkere vloer zonder palen.

Aan de rivierzijde is de betonvloer aanmerkelijk korter, namelijk 33 m. Hier bedraagt de dikte echter 1,50 m en als gevolg van deze grote dikte zijn geen palen toegepast.

De tegen de betonplaten grenzende gedeelten van de stortbedden zijn gemaakt in stortsteen. Deze zijn uitgevoerd als een zogenaamde filterconstructie. Dit steenfilter is opgebouwd uit een aantal lagen waarvan het materiaal geleidelijk steeds grover wordt totdat de bovenste laag bestaat uit zware stortsteen die stabiel genoeg is.

Het ontwerp van het steenfilter is gebaseerd op Amerikaanse onderzoeken die er vooral op gericht waren de verhouding te bepalen van de steenzwaarte in twee opeenvolgende lagen. De zwaarte van de steen in de afdekkende laag moet een bepaalde verhouding hebben ten opzichte van die in de afgedekte laag terwijl ook voor de dikte van de lagen een bepaalde verhouding geldt.

Rekening houdend met deze normen en met de eerder vermelde stabiliteitscriteria werd het filter opgebouwd uit de volgende lagen:

Op de oorspronkelijke bodem eerst een laag van 15 cm grindzand, waarop 20 cm fijn grind van

3-8 mm (kif) en 35 cm grof grind 3-8 cm.

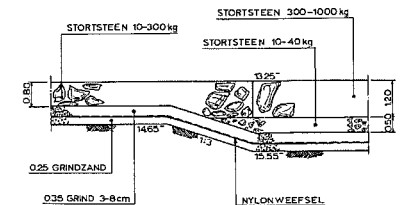
Als extra voorziening is tussen het grindzand en de laag fijn grind een nylonweefsel aangebracht om een goede zanddichtheid te verzekeren. De grindlagen zijn afgedekt met 0,80 m stortsteen 60/300.

Als overgangsconstructie tussen de betonnen plaat en het vermelde steenfilter is over een lengte van 20 m een bovenlaag van zwaardere stortsteen aangebracht. De laag stortsteen is daarbij onderverdeeld in twee lagen, namelijk een laag lichte stortsteen 10/40, dik 0,50 m en daarop een laag zware steen 300/1000, dik 1,20 m.

Zowel de betonvloer als de filterconstructie werden gemaakt in de droge bouwput. Onder deze omstandigheden kon zeer zorgvuldig worden gewerkt zodat aan de eisen van een juiste opbouw van de filterlagen kon worden voldaan.

Vanzelfsprekend was dit een gevolg van de keuze van de diepte van het stortbed dat met zijn bovenkant op NAP -13,50 m moest komen. Bij een veel diepere ligging was het niet mogelijk geweest in 'den droge' te werken maar had het stortbed

Overgangsconstructie tussen betonvloer en steenfilter.



geheel in 'den natte' moeten worden gemaakt. Om de meest economische methode van het ontgraven van de bodem van de bouwput voor de aanleg van de stortbedden te kunnen bepalen, is een vergelijking gemaakt tussen verschillende mogelijke werkwijzen. Er moest een hoeveelheid van 2,4 miljoen m³ grond uit de bouwput worden verwijderd en worden gebracht in dijkconstructies en zandstorten aan de zuidzijde van het Haringvliet langs het Zuiderdiep.

Daartoe werd de grond eerst aan de oostzijde buiten de bouwput in een depot gebracht en vandaar door middel van zuigers naar de verschillende stortplaatsen geperst af of niet met gebruikmaking van een tussenstation.

Voor de ontgraving in de put zijn diverse zeer uiteenlopende werktuigen bestudeerd zoals draglines, scrapers, schaufelradbagger en een drijvende cutter in een te zuigen kanaal die zou worden gevoed door bulldozers. Voor het transport van de grond tot in het depot buiten de ringdijk van de bouwput werd vergeleken het inzetten van transportbanden, vrachtauto's, scrapers als droge uitvoering terwijl voor een natte uitvoering de cutter met zijn persleiding alsmede een persbak in aanmerking kwam.

Bij uitwerking van de verschillende mogelijkheden is tenslotte gekozen voor het ontgraven met draglines en transport per vrachtauto! Naast economische overwegingen waren het vooral werktechnische factoren die een soepele uitvoering mogelijk maakten die zwaar hebben gewogen.

Bij de ontworpen afmetingen van het stortbed kon echter niet de gehele lengte binnen de bouwput worden gemaakt. Het gevolg hiervan was dat een deel 'in den natte' moest worden gemaakt. De

steenfilterconstructie, zoals die in de bouwput werd gemaakt en die een zeer nauwkeurige werkwijze vereiste om tot een goede laagopbouw te komen, was hier niet mogelijk. Daarom is de bodembescherming hier zodanig uitgevoerd dat een klassiek zinkstuk de kern ervan vormt. Om echter een optimale zanddichtheid te bereiken zijn enkele aanvullende maatregelen getroffen. Het klassieke zinkstuk werd samengesteld met 3 vullagen en wel een onderlaag van riet en daarop 2 lagen rijshout.

De naderhand in gebruik gekomen zanddichte kunststofmat werd hierin nog niet verwerkt omdat deze constructie op het moment van uitvoering nog niet ver genoeg was ontwikkeld.

Verder werd onder het zinkstuk een laag fijn grind (2-5 mm), zogenaamd kif, gestort ter dikte van 0,50 m. Hierdoor werd als het ware een overgangslaag tussen de zandbodem en het zinkstuk gemaakt die op zich al zanddicht was. De afstorting van het zinkstuk geschiedde met 0,50 m grof grind (3-20 cm) waarop een laag stortsteen (60-300) werd aangebracht tot een hoeveelheid van 1000 kg/m².

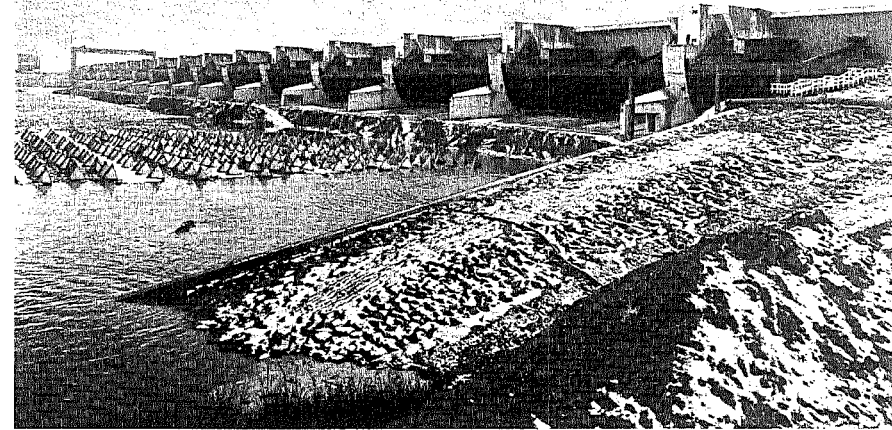
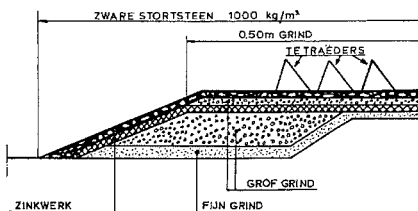
Teneinde deze laag zo gelijkmatig mogelijk te verdelen werd deze 1000 kg/m², die met steenstorters werd aangebracht, in meerdere opeenvolgende werkgangen gestort.

Aan de naden tussen twee aangrenzende stukken is bijzondere aandacht besteed. Door een speciale overlappingsconstructie van de stukken die geen plaatselijke verdikkingen veroorzaakte werd een volkomen sluitende beschermingslaag verkregen.

Voor een goede overgang van de bodembescherming naar de onverdedigde bodem is de beëindiging van het stortbed onder een omlaag hellend talud van 1 : 2 aangelegd.

Hiermee is bereikt, zoals laboratoriumonderzoek heeft geleerd, dat de stroom zal loslaten van het talud wat tot gevolg heeft dat de ontgrondingskuil een flauwer talud verkrijgt. Dit effect wordt nog versterkt doordat op het eind 3 rijen betonnen tetraëders zijn geplaatst. Deze tetraëders hebben per stuk een gewicht van ruim 4 1/2 ton. Als extra voorziening werd ter plaatse van de beëindiging van het stortbed een grindkoffer onder het zinkstuk aangebracht, terwijl bovendien over de laatste

De opbouw van het steenfilter.



Tetraëders aan de rivierzijde, kort voordat de bouwput onder water ging.

25 m de stukken zijn voorzien van ingewerkte banen zeer sterk kunststofweefsel om bij eventueel optredende evenwichtsverstoringen een kapot gaan van de rand te voorkomen.

Het lag voor de hand dat niet alleen aan de ontworpen constructie maar ook aan de uitvoering zeer zware eisen moesten worden gesteld. In afwijking van de gewoonlijk voor zinkwerk geldende normen werd in de overeenkomst als strikte eis opgenomen dat de afwijking van de ligging niet meer dan 50 cm mocht bedragen. Bij de grote diepte (ruim 14 m), terwijl het eind bovendien nog onder een helling moest komen, kon aan deze eis slechts worden voldaan door te zinken met een speciale apparatuur.

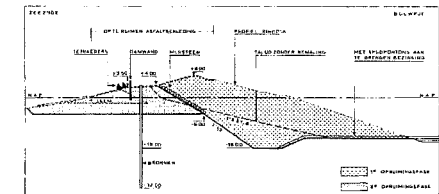
Met het oog op de geëiste nauwkeurigheid werd het bovendien noodzakelijk geacht het zinkwerk aan de zeezijde uit te voeren onder bescherming van een restant van de ringdijk van de bouwput. Daarom werd de dijk in 2 fasen weggehaald zodat voorlopig de buitenrand van de dijk bleef gehandhaafd om een rustige en golfvrije situatie te verzekeren. Om dit tijdelijk resterende deel nog zoveel mogelijk golfkerend te doen zijn, werd hierop zelfs nog een damwand ingeheid die op zijn beurt weer werd beschermd door een dubbele rij tetraëders. Met het talud aan de binnenzijde werden moeilijkheden ondervonden doordat de gedachte steile helling van 1 : 1 1/2 niet kon worden bereikt.

Daar deze steile noodzakelijk was om voldoende ruimte te scheppen om het zinkwerk te kunnen uitvoeren werd zelfs tijdelijk nog een bronbemaling geïnstalleerd waardoor de afschuivingen tot staan werden gebracht.

Op grond van laboratoriumproeven bleek het wenselijk om voor de 2e sluisopening gerekend vanaf het noordelijk landhoofd, het steenfilter en de gezonken bescherming geheel met tetraëders te bezetten volgens een vast patroon. Op de foto is dit patroon duidelijk waarneembaar.

Zowel aan zee- als rivierzijde werd een tetraëder-veld aangebracht met als doel het verstoring effect van de niet geheel rechte aanstroming van de spuilsuizen – speciaal bij het noordelijk landhoofd – op te heffen.

Teneinde aan de zeezijde de nodige bescherming aan het in den natte uit te voeren zinkwerk te geven, is de ringdijk van de bouwput daar in twee fasen opgegruimd.



Mechanisch zinken

Bij de bouw van afsluitdampen in zeearmen en estuaria is een der kernproblemen dat de mens in de sluitfase de constructie dient te beschermen tegen de geconcentreerde kracht van het onder invloed van de getijdebeweging heen en weer stromende water. De voorbereidingen hiertoe worden doorgaans reeds in een vroeg stadium van de dambouw getroffen. In het algemeen zijn deze maatregelen gericht op het vastleggen van de bodem in en nabij de diepe stroomvoerende geulen, zeker wanneer het gaat om een bewegelijke zandige bodem, zoals deze voorkomt in de Nederlandse zeearmen. Hierdoor wordt voorkomen dat in de eindfase calamiteuze ontgravingen optreden. Dit vastleggen geschiedt altijd door het aanbrengen van een bodembezinking. Zowel de fabricage en constructie als de wijze van het aan de grond brengen van deze zinkstukken zijn de laatste jaren ingrijpend veranderd en gemoderniseerd.

Hiertoe bestonden enkele dringende redenen, met name het steeds schaarser wordende aanbod van op dit gebied geschoolde werkkrachten, het uitvoeren van grote en zeer grote zinkwerken in een relatief korte tijd en zeker niet in de laatste plaats de kwaliteits-eisen waaraan het zinkwerk voor projecten als de Deltawerken moesten voldoen, in het bijzonder ten aanzien van het exact op de plaats brengen van de zinkstukken. In deze evolutie, zowel op het gebied van de fabricage van zinkstukken als het afzinken met inbegrip van het mechanisch aanbrengen van de steenbestorting, had en heeft Zinkcon een belangrijk aandeel.

In het begin van de jaren zestig zijn diverse combinaties van aannemingsbedrijven gevormd met het doel de krachten te bundelen om zodoende tot efficiënte organisaties te komen die zouden zijn opgewassen tegen de grote zinkopdrachten in de komende jaren.

Zo was er eerst de 'Combinatie Zinkwerken', wat later 'West-Nederland' en tenslotte in 1968 'Zinkcon'.

De voornaamste aspecten van de mechanisatie hebben betrekking op de vervaardiging van de zinkstukken – waarbij in toenemende mate gebruik wordt gemaakt van kunststoffen – het afzinken en het aanbrengen van de vereiste bestorting.

Maken van zink- en kraagstukken

De vervaardiging van zink- en kraagstukken is vooral de laatste jaren ingrijpend gewijzigd. Essentieel is daarbij de toepassing van hellingzates die niet-tijgevoelig zijn, zodat continu kan worden gewerkt. Hierdoor zijn veel grotere producties mogelijk dan vroeger.

De mechanisatie heeft op deze werkzaamheden haar stempel gedrukt. In de eerste plaats doordat de zogenaamde wiepen tegenwoordig op machines worden 'gesponnen', in de tweede plaats doordat de aanvoer van deze wiepen, bossen hout en andere materialen op de hellingzate geschiedt met behulp van torenkranen.

Met een geringer arbeidspotentieel kan nu aanzienlijk meer dan voorheen worden geproduceerd. Bovendien worden, afhankelijk van de eisen die aan de bodembescherming worden gesteld, verschillende soorten zinkstuk gemaakt. Een belangrijke rol spelen hierbij de kunststoffen.

Mechanisch afzinken

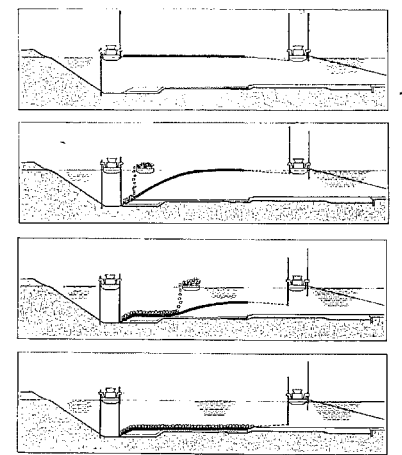
De evolutie op het gebied van het afzinken is wellicht het meest spectaculair, vooral omdat hierbij speciaal ontworpen groot materieel wordt gebruikt.

Vroeger – dus bij de klassieke methode van het 'vierkant zinken' – werd het zinkstuk met een kopbak ervoor naar de plaats van bestemming gesleept en daar ingemeten. Bij de door Zinkcon toegepaste mechanische methode worden tevoren twee pontons in de juiste positie verankerd waarna het zinkstuk ertussen wordt gebracht en vervolgens aan kop en staart vastgemaakt. Het nauwkeurig situeren is dus losgekoppeld van de feitelijke afzinkmanoeuvre, hetgeen een welkome tijdswinst oplevert. Een ander belangrijk voordeel is dat men de twee pontons veel gemakkelijker kan inmeten dan een bewegelijk zinkstuk.

De beide pontons die bij de Zinkconmethode worden gebruikt, zijn voorzien van spudpalen; hiermede kunnen de pontons, evenals dat het geval is bijvoorbeeld met cutterzuigers, stevig in de bodem worden verankerd. Deze spudpalen mogen echter niet in alle gevallen worden gebruikt, bijvoorbeeld niet wanneer op de bodem reeds een bezinking of een filterconstructie (steendrempel) is aangebracht welke intact moet blijven. Onder die omstandigheden is er de mogelijkheid gebruik



Het mechanisch spinnen van wiepen.



Mechanisch afzinken in 4 fasen.

te maken van lieren die aan boord zijn opgesteld. Aldus kunnen stekend zes draden worden uitgezet, drie aan elke kant, namelijk twee ebdraden, twee vloeddraden, één kopdraad en één achterdraad. Overigens zijn de spudpalen niet alleen van groot belang voor het op de plaats houden van de pontons, zij kunnen ook worden gebruikt om de ponton te verplaatsen. Door steeds één spudpaal in de grond te laten staan en de andere op te trekken kan de ponton zich draaiend om een vast punt verplaatsen. Op deze wijze kan uitgaande van de oude positie de nieuwe positie worden bereikt, althans bij het uitvoeren van aansluitend zinkwerk. Dankzij de spuds kan men de pontons feitelijk over de bodem laten wandelen.

'Drukker' en 'Strekker'

De ene ponton – de zogenaamde 'Drukker' – is voorzien van twee spudpalen aan de achterkant en twee geleidepalen met een dwarsbalk aan de voorkant. Op deze dwarsbalk zijn zes punten aangebracht waarop de kop van het zinkstuk kan worden vastgemaakt. Deze ponton wordt van tevoren zorgvuldig ingemeten en gesteld.

Aan de andere kant – dus aan de staart van het zinkstuk – komt op circa anderhalf maal de waterdiepte ter plaatse de 'Strekker' te liggen. Deze ponton moet het stuk tijdens de zinkmanoeuvre gestrekt houden. Ook die ponton is tevoren exact op zijn plaats gesteld.

Het inmeten van de pontons geschiedt met behulp van een raaienselsel op de wal, eventueel nader gepreciseerd met behulp van een sextant.

Het zinkstuk wordt nu boven de plaats van bestemming gebracht met behulp van sleepboten. De bak die voor de kop lag, om het stuk slepend te kunnen vervoeren, wordt losgemaakt en het zinkstuk tussen de beide pontons gebracht (fase 1).

De kop van het zinkstuk wordt nu met zes draden bevestigd op de eerder genoemde zes grendelconstructies op de afzinkbalk.

Op de staart van het stuk staan vier draden. De buitenste twee draden worden vastgemaakt aan de twee buitenste 'Strekker'-palen, de middelste twee draden worden in V-vorm vastgemaakt op de middelste 'Strekker'-paal. Deze draden lopen over sliplieren welke een dusdanige intentie hebben dat de trekkracht die aan de achterzijde van het stuk moet worden onderhouden permanent wordt ingespeeld op een constante waarde.

Is het zinkstuk gesteld – dat wil zeggen afgespannen tussen 'Drukker' en 'Strekker' – dan wordt door het omlaag brengen van de twee geleidepalen van de 'Drukker' de kop van het zinkstuk aan de grond gebracht (fase 2).

Er is nu zoveel ruimte ontstaan dat één van de steenstorters boven de kop van het stuk kan varen. De steenstortor wordt met twee draden vastgemaakt aan de 'Drukker' en eveneens met twee draden aan de 'Strekker'. Op beide pontons bevindt zich hoog boven de waterspiegel een be-

* Directeur van Zinkcon n.v., Werkendam.

dieningshut voor de schipper. Op een schakelbord kunnen diverse snelheden voor het verhalen van de steenstorter over het stuk worden ingesteld. Deze instelling geschiedt tegelijkertijd op de andere ponton, zodat steeds de snelheid waarmee de ene ponton afviert en de andere trekt gelijk is. Is het zinkstuk voor ongeveer twee derde aan de grond, dan gaan de 'Strekker'-palen alle drie tegelijk omlaag; de steenstorter kan dan zonder het zinkstuk te raken ook het gedeelte tot en met de staart van ballast voorzien (fase 3).

Ligt het stuk aan de grond en is het van voldoende steenbestorting voorzien, dan wordt aan de voorzijde – dus bij de 'Drukker' – de grendelconstructie losgetrokken; dit gebeurt met een draad. Op elke grendel is een boeiite gestoken. Zodra de zes boeiites boven zijn gekomen, weet men dat de zinkbalk opgehaald kan worden (fase 4). Hierna worden aan de achterzijde bij de 'Strekker' de vier draden losgetrokken en de drie palen omhooggebracht. De beide pontons hebben op dat moment geen enkele verbinding meer met het zinkstuk. Afhankelijk van de te stellen eisen gaan nog een, twee en soms drie steenstorters over het stuk heen tot de voorgeschreven hoeveelheid steen per vierkante meter is aangebracht.

Uitvoering afdichtingsconstructie Haringvliet

Uit het voorgaande is reeds duidelijk geworden dat de toepassing van speciale steenstorters van essentiële betekenis is voor de toepassing van de afzinkmethode zoals deze door Zinkcon in praktijk wordt gebracht.

Zinkcon beschikt momenteel over twee steenstorters, de 'Lauwerszee' en de 'Noordzee'. Beide schepen zijn ontworpen voor het uitvoeren van steenbestortingen onder water waarbij een gelijkmatige dikte van de steenlaag wordt verlangd. Het is mogelijk aan deze eis te voldoen omdat men tijdens het storten zowel de stort-snelheid van de steen als de verhaalsnelheid van het schip volledig in de hand heeft.

Behoudens enkele kleine verschillen in uitvoering is de werking van beide schepen identiek. De 'Noordzee' is uitgerust met 2 Schottelnavigatoren aangedreven door 2 Klöckner-Humboldt-Deutz motoren van 400 pk. Tijdens het storten drijft één van de hoofdmotoren de 350 kVA generator aan die de energie levert voor de trimmotoren. De

andere hoofdmotor maakt het mogelijk tijdens het verhalen kleine correcties aan te brengen.

Het principe van het storten berust hierop dat het stortmateriaal op het zeer licht hellende dek naar één zijde overboord wordt gezet door trillingen. Hiertoe zijn bij elke goot aan de onderzijde van de laadvloer drie elektromagnetische vibratoren gemonteerd, waarmee de lading in trilling wordt gebracht. In totaal zijn er 10 stortgoten, elk met een laadvermogen van circa 37,5 ton.

Tijdens het laden en tijdens de vaart zijn de goten aan de stortzijde afgesloten door een stalen klep; aldus wordt voorkomen dat voortijdig steen overboord zou gaan. De grote gelijkmatigheid in de dosering wordt onder meer bereikt doordat de lading steen onder invloed van de hoge frequentie als het ware 'vloeibaar' wordt. De massa zakt eerst geheel in elkaar en pas wanneer de stenen met het trillende dek in aanraking komen, treedt een horizontale verschuiving op en gaat de steen over boord. De frequentie van elke goot is afzonderlijk regelbaar, zodat kleine verschillen per goot en per lading kunnen worden weggenomen. Door de lossnelheid van de steenmassa en de verhaalsnelheid van de steenstorter tussen de beide pontons goed op elkaar af te stemmen, kan de gewenste bestorting per vierkante meter zinkstuk nauwkeurig worden benaderd. De stort-snelheid kan zo worden geregeld dat de lading van circa 400 ton in vier à vijf minuten wordt gelost; het is echter ook mogelijk deze lostijd te verlengen tot een half uur. Hierdoor kunnen onderwaterdammen worden gestort, maar ook zodanig dunne lagen als in handkracht nooit mogelijk is geweest. Mede door het inzetten van een grote overslagcapaciteit en de aanleg van grote onderwaterdepots voor stortsteen is de omlooptijd van de steenstorters aanzienlijk bekort.

Met de hier in het kort beschreven methode van mechanisch afzinken en mechanisch aanbrengen van de bestorting kan ook op stil water worden gezonken aangezien de hele manoeuvre dankzij mechanische voorzieningen volledig onder controle van de mens kan worden uitgevoerd. Er behoeft dus geen gebruik van de stroom te worden gemaakt al geschiedt dit onder bepaalde omstandigheden wel. Met deze omstandigheid is ter-

dege rekening gehouden bij het ontwikkelen van de zinkmethode, omdat deze voor het eerst zou worden toegepast bij het aanbrengen van de stortebedden ter weerszijden van de spuisluis in het Haringvliet; door de aanwezigheid van de ringdijk van de voormalige bouwput heerste hier wel eb en vloed maar traden geen eb- en vloedstromen op.

Doordat men bij het toepassen van deze mechanische zinkmethode nagenoeg onafhankelijk is van de getijbeweging, kunnen veel meer zinkstukken per dag worden afgezonken. Het is zelfs mogelijk in de periode tussen zonsopgang en zonsopgang door te werken dankzij een werkverlichting op de pontons die doet denken aan de verlichting van een modern verkeersplein.

In feite wordt de zinkcapaciteit bepaald door de hoeveelheden steen die beschikbaar zijn voor de bestorting. Het tempo waarin de steenstorters kunnen worden beladen en de tijden nodig om naar het werk en terug te varen bepalen de voortgang van het afzinken. Uiteraard moet de produktie van zinkstukken hierop zijn afgestemd. Omdat hier een hoge graad van mechanisatie is bereikt en de fabricage dankzij het gebruik van hellingzates onafhankelijk is van de getijbeweging levert dit geen problemen op.

Wanneer een steenstorter moet worden beladen met grind duurt dat 1 tot 1½ uur; met steen komt men gemiddeld op een laadtijd van 1½ tot 2 uur. In beide gevallen wordt gewerkt met twee kranen. Moeten verschillende soorten bestorting worden aangebracht, dan is het gebruikelijk dat één steenstorter vaart met grind, de andere met steen.

Bij het ontwikkelen van de gemechaniseerde zinkmethode is uitgegaan van de (zware) eisen die door de Rijkswaterstaat worden gesteld, in het bijzonder het met een voldoende grote mate van nauwkeurigheid aan de grond brengen van zinkstukken. Voor de stortebedden in het Haringvliet was de maximum tolerantie 50 cm. Aan deze eisen heeft Zinkcon ruimschoots weten te voldoen, ook al moest op een diepte van dikwijls 18 meter onder de waterlijn worden gezonken. In verschillende stadia van de werkzaamheden zijn duikers naar

beneden geweest om de ligging van de zinkstukken te controleren. Hiermede werd keer op keer het bewijs geleverd dat de methode volledig betrouwbaar is, ten eerste omdat voor het afzinken de beide pontons 'Drukker' en 'Strekker' zorgvuldig in positie zijn gebracht en verankerd; ten tweede omdat het zinkstuk wanneer het eenmaal tussen de druk- en strekpalen van genoemde pontons is gespannen volledig onder controle mechanisch naar de bodem wordt gedrukt. Daardoor kunnen de afwijkingen minimaal blijven.

Nadat het grote werk vóór en achter de spuisluis van het Haringvliet geheel was uitgevoerd, is Zinkcon overgegaan tot het bezinken van het noordelijke sluitgat in het Rak van Scheelhoek. Hier zijn voor het eerst op grote schaal zinkstukken toegepast waarin kunststoffen waren verwerkt – zogenaamde 'doekstukken'. Veel zinkstukken hadden hier de respectabele lengte van 120 meter. In overleg met de directie werd de kop van het zinkstuk omlaag gedrukt mits de snelheid van het water niet groter was dan 30 cm/sec. Theoretisch zou het mogelijk zijn met groter stroomsnelheden te zinken, maar veel belangrijker is dat het stuk exact op zijn plaats komt. In verschillende sluitgaten treden namelijk nogal eens dwarsstromen op en aangezien men bij deze methode van afzinken in verreweg de meeste gevallen geen zijverankering op het stuk toegepast, zouden deze dwarsstromen de oorzaak kunnen zijn van ontoelaatbare afwijkingen op de bodem.

Dit geldt in het bijzonder voor doekstukken die erg flexibel zijn en dus de neiging hebben planeerend naar de bodem te gaan. Dit zou tot gevolg kunnen hebben dat kop en staart wel op hun plaats liggen, terwijl het stuk, gezien in de lengterichting, in een boog aan de grond komt. Deze bocht zou men er door trekken nooit uit kunnen krijgen.

In het Haringvliet zijn de stukken in hoofdzaak gezonken tijdens de ebstroom. De stroom helpt dan het stuk tegen de grond te strijken maar is niet zo krachtig dat ze zijdelingse afwijkingen kan veroorzaken. Tegen het eind van 1969 kwam het grote zinkwerk in het Rak van Scheelhoek gereed.

'Grootgrondverzet' in het Haringvliet

Nadat in 1958 door de Combinatie Haringvliet de grote bouwput voor de te bouwen spuilsluizen was aangelegd en in 1959 door Zanen Verstoep n.v. de kleine bouwput voor de toekomstige schutsluis, kon een begin gemaakt worden met een gigantisch grondwerk van rond 40 miljoen m³ waaraan de hierna te noemen eisen waren gesteld:

1. Het bouwen van dammen in de drie overblijvende sluitgaten: het Zuiderdiep, het Noord-Pampus en het Rak van Scheelhoek.
2. Het graven van toeleidingsgeulen aan weerszijden van de spuilsluizen.
3. Het aanleggen van een binnen- en een buitenhaven aan de boven-, respectievelijk benedenzijde van de schutsluis met de daarbij behorende havendammen en haventerreinen.
4. Het graven van de Zuiderdiepboezem in verband met de waterhuishouding van het noordwestelijk gedeelte van Goeree.
5. Het maken van duinen en duinverzwaringen op Goeree en Voorne.

De rangschikking van de diverse werken was zodanig, dat met de vereiste ontgravingen zoveel mogelijk de noodzakelijke ophogingen, c.q. verzwaringen konden worden gemaakt, zodoende werk met werk makend. Gesteld is hier 'zoveel mogelijk', omdat bovengenoemd uitgangspunt enerzijds gestoeld is op de veronderstelling, dat de specie uit de ontgravingen ook geschikt zou zijn voor de ophogingen hetgeen vanzelfsprekend niet altijd het geval behoeft te zijn en anderzijds op de aanname, dat de ophogingen in hoeveelheden gelijk zijn aan de ontgravingen.

Voor deze werkzaamheden werd een raamcontract gesloten tussen de Deltadienst/Rijkswaterstaat en de aannemerscombinatie. Zeer nuttig was hierbij het overleg tijdens het maken van een ontwerp voor het bestek; ook het ontwerpen van speciaal materieel of van bijzondere werkwijzen werd gezamenlijk gedaan. De planning op langere termijn was bij het raamcontract duidelijker. Het is opmerkelijk te zien welk een ontwikkeling het materieel voor grondverzet in deze toch betrekkelijk korte periode heeft doorgemaakt. Een ontwikkeling van eenheden met relatief kleine

capaciteit tot eenheden met grote capaciteit. Dit geldt zowel voor het droge materieel als – doch in veel sterkere mate – voor het natte materieel. In dit verband zou het ook juister zijn geweest de door de Deltacombinatie v.o.f. uitgevoerde werken te omschrijven als de ontwikkeling van veel grondverzet naar grootgrondverzet.

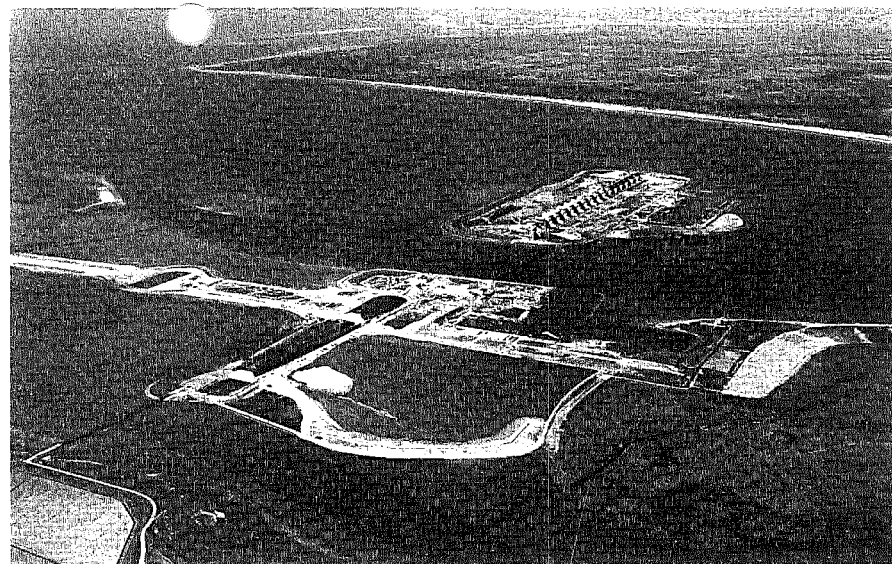
Het Zuiderdiep

Het grondverzet begon in 1960 met de aanleg van een dijklichaam tussen de bouwput voor de schutsluis en de duinregel van Goeree en een oprit vanaf het Zuiderdiep tot de schutsluis met aan weerskanten daarvan plateaus (het buitenhaven- en het binnenhavenplateau). Het benodigde zand – circa 2 000 000 m³ – werd gewonnen net boven de grote bouwput door de perszuiger 'Biesbosch' met daarachter als opjaagstation de 'Vesdre' en geperst via een persleiding in de Baileybrug tussen de grote en kleine bouwput naar het dijklichaam, de oprit en de beide plateaus (situatie 1).

Nadat in 1962 het eerste gedeelte van de binnenhaven was gereedgekomen, werd in 1963 begonnen met het ontgraven van de stortbedden in de grote bouwput tot circa NAP -15 m. De totale ontgraving, die 2 800 000 m³ bedroeg, werd bijna geheel gereden in een stort boven de bouwput, van waaruit 1 800 000 m³ werd geperst naar te maken dijkvakken op de Plaat van Scheelhoek, oostelijk van het binnenhavenplateau en noordwestelijk van het buitenhavenplateau en verder in een stort ten zuiden van het binnenhavenplateau. Rond 1 200 000 m³ werd door een baggermolen gebaggerd in bakken en door middel van een bakkenzuiger geperst in een 3 km lange dijk langs de toekomstigste Zuiderdiepboezem juist beneden de haven van Dirksland (situatie 2).

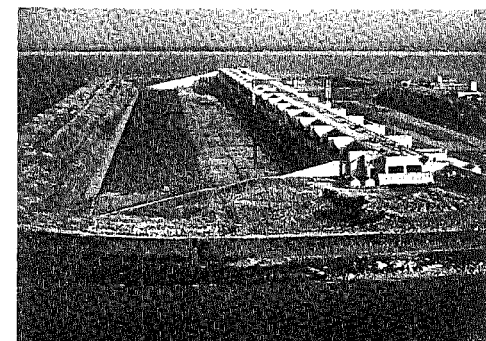
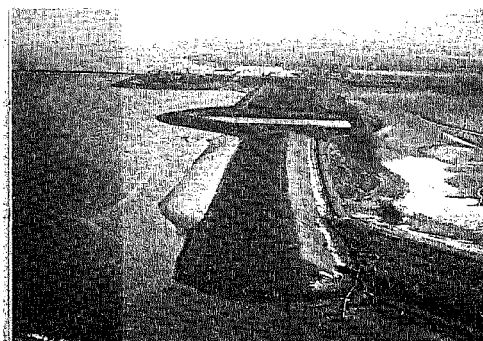
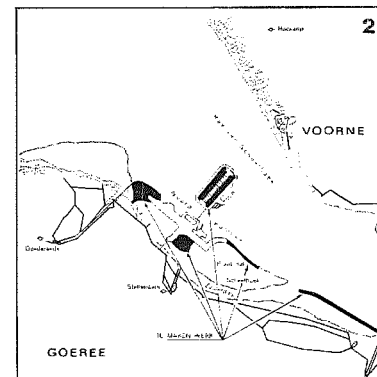
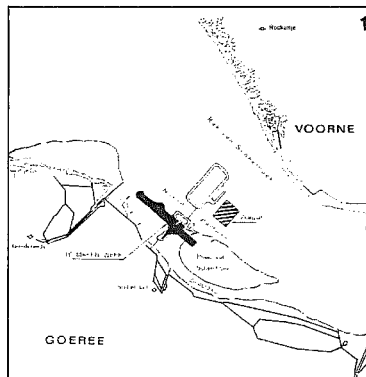
In feite kon het dijkvak noordwestelijk van het buitenhavenplateau eerst worden aangelegd nadat het Zuiderdiep op 7 oktober 1965 door middel van een dam was afgesloten van het Haringvliet. Deze dam, waarvoor een grondverbetering moest worden gemaakt, werd aangelegd op een veld van zinkstukken en bestond uit een mijnsteenkeren afgestort met steen.

De eerste hindernis was met deze sluiting genomen. Vóórdat medio 1967 na het wegbaggeren van de ringdijk rond de grote bouwput zou worden begonnen, werden baggerwerken uitgevoerd



Situatie 1. Aanleg verbindingsdam over de Plaat van Scheelhoek met de bouwput van de schutsluis gecombineerd met verdieping van de bodem aan de rivierzijde van de schutsluis.

Situatie 2. Afsluiting van het Zuiderdiep (foto links onder) en verwijderen van specie uit de grote bouwput.



* Deltacombinatie v.o.f., Hellevoetsluis.

in het voormalige Zuiderdiep tussen de havens van Goeree en Dirksland (situatie 3). De 1 500 000 m³ specie, die daarbij vrij kwam werd door middel van een cutterzuiger van het type 'Beaver Giant' geperst in de voet van de duinregel op de Plaat van Scheelhoek, in het Zuiderdiep ter plaatse van het tracé van de dammenweg, in depots, in wegichamen en in ophogingen buiten het boezemgebied. Verder werd in deze periode een plateau opgespoten op het strand van Voorne voor de opstallen van het noordelijke station van de daar geprojecteerde kabelbaan over het Rak van Scheelhoek. Het plateau werd door middel van een werkweg verbonden met de werkhaven te Hellevoetsluis.

Men kan in het algemeen zeggen, dat tot dan toe gewerkt werd met kleine eenheden, deels door gebrek aan grotere eenheden, deels door de aard van de uit te voeren werken.

Baggeren van ringdijk en toeleidingsgeulen

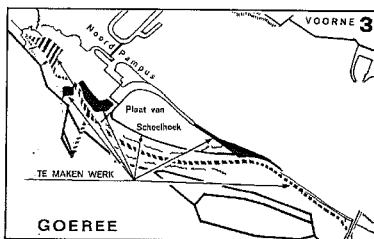
De periode, die met het baggeren van de ringdijk aanbreekt geeft wat betreft grootte en capaciteit van het materieel een omwenteling te zien. Deze omwenteling werd veroorzaakt door:

1. het materiaal, dat moest worden gebaggerd. Naast zand moesten worden gebaggerd: stortsteen, mijnsteen, asfalt (beton), keileem, kraagstukken en zinkstukken;
2. de diepte, die moest worden bereikt tot NAP —18.00 m;
3. de bestemming van de specie, in casu de persafstanden welke moesten worden overbrugd;
4. de omstandigheden, waaronder moest worden gewerkt: stroom, wind en golven.

Van de totale hoeveelheid specie, die vrijkwam bij het wegbaggeren van de ringdijk en het vervellen van de stortebedden werd 2 200 000 m³ gecutterd door de 'Gouda' en via het drijvend tussenstation 'Westdijk' geperst in de duinaansluiting op Goeree (situatie 4).

Circa 3 600 000 m³ specie werd gebaggerd door baggermolens en geklapt in het Rak van Scheelhoek. Deze specie, die in feite niet geschikt was voor ophogingen kon op deze wijze toch doelmatig worden gebruikt als eerste fase tot afsluiting van het Rak van Scheelhoek.

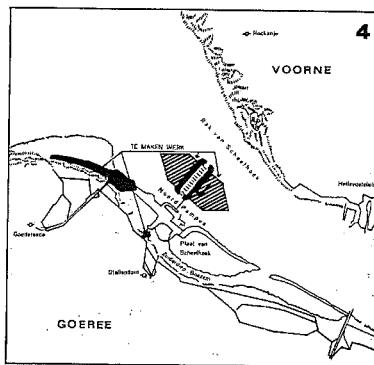
Van de 3 600 000 m³, die moest worden gebag-



gerd om de toeleidingsgeulen op NAP —6.00 m te brengen werd 1 100 000 m³ gebaggerd aan de rivierzijde van de uitwateringssluizen en geklapt in het Rak van Scheelhoek.

1 600 000 m³ zand werd uit de toeleidingsgeul aan de zeezijde gecutterd door de 'Nassau-Bay' en geperst in storten ten zuiden van de toekomstige buitenhaven en ten zuiden van de hierboven genoemde duinafsluiting op Goeree. Door baggermolens werd 900 000 m³ gebaggerd en via de bakkenzuiger 'Ammerstol' geperst in storten ten zuiden van de binnenhaven.

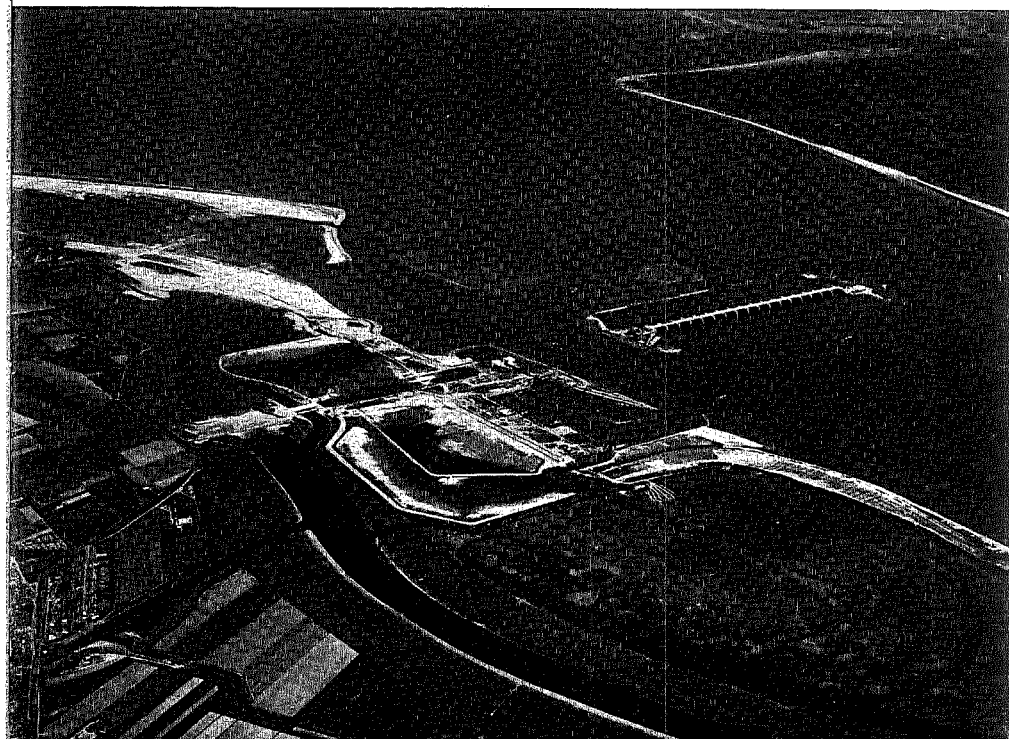
De baggermolens, die gebruikt werden bij het opruimen van de ringdijk en het baggeren van de toeleidingsgeul aan de zeezijde hadden over het algemeen een emmerinhoud van 800 liter bij een totaal geïnstalleerd vermogen van 1 200 pk, zoals



Situatie 3. Maken van de Zuiderdiepboezem (foto rechts). De specie werd in de op de tekening aangegeven plaatsen geborgen.



Situatie 4. Het opruimen van de grote bouwput en het maken van toegangsgoulen tot de spuilsuis. De uitkomende specie is verwerkt in de duinverzwaring op Goeree (zie foto).



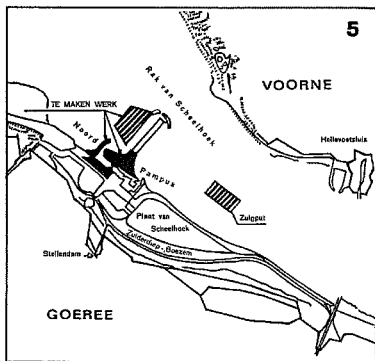
de 's-Gravenhage', de 'Azië', de 'Rocker' en de 'IJzer'.

Het Noord-Pampus

Op 30 september 1968 konden de spuisluizen worden geopend. Het oppervlak van het dwarsprofiel nam daardoor toe met ruim 5 000 m² tot 21 500 m². Dit maakte het mogelijk op eenvoudige wijze het Noord-Pampus met een dwarsprofiel van 2 000 m² te dichten.

De specie nodig voor deze sluiting werd gecutterd 1,5 km boven de spuisluizen in een zuigput langs de Plaat van Scheelhoek en geperst door de cutterzuigers 'Nassau-Bay' en 'Ammerstol' via leidingen \varnothing 65 cm over de Plaat van Scheelhoek en achter langs de binnenhaven, met een capaciteit van ongeveer 200 000 m³ per week. Op 8 november werd het resterende sluitgat dichtgereden met mijnsteen, waarna perskadens konden worden opgezet, zodat op 22 november de primaire dam over een breedte van 50 m op NAP +5.00 m was gebracht. De 'Ammerstol' die inmiddels omgebouwd was tot bakkenzuiger, begon - gevoed door de winzuiger 'Bergambacht' een een baggermolen, die zand baggerde uit het noordelijk gedeelte van de toeleidingsgeul aan de zeezijde, met het opspuiten van het damvak tussen de schutsluis en de spuisluizen en het oostelijk daarvan gelegen

Situatie 5. Afsluiting van het Noord-Pampus en maken van de buitenhaven bij de schutsluis.



plateau. In een periode van 9 maanden werd 3 000 000 m³ zand verwerkt (situatie 5).

Zoals hiervoor reeds is vermeld, werden de toeleidingsgeulen aan de zee- en rivierzijde van de spuisluizen na het openen hiervan verder verdiept. 1 300 000 m³ zand werd door de 'Demer' gecutterd uit het zuidelijk gedeelte van de toeleidingsgeul aan de zeezijde met een capaciteit van 90 000 m³ per week. Deze specie werd geperst in het westelijk van het damvak tussen schutsluis en spuisluizen gelegen plateau, dat de noordoostelijke begrenzing vormde voor de te baggeren buitenhaven.

Uit de toeleidingsgeul aan de drivierzijde werd 500 000 m³ gebaggerd en geklapt in het Rak van Scheelhoek.

Gelijktijdig met het sluiten van het Noord-Pampus begon de cutterzuiger 'Linge' aan de uitbreiding van de binnenhaven. De specie werd gedeeltelijk gespoten in de primaire dam door het Noord-Pampus en gedeeltelijk in een stort zuidelijk van de binnenhaven.

Hierna cutterde deze zuiger een voorlopige geul door de buitenhaven. Dit geschiedde van binnenuit. De ringdijk rond de bouwput voor de schutsluis was daartoe in den droge ontmanteld.

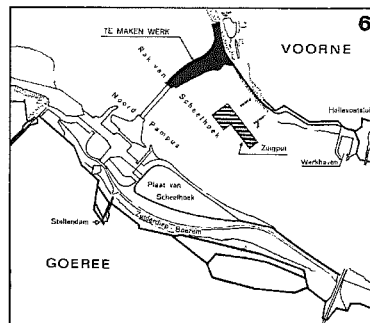
Het resterende baggerwerk in de buitenhaven geschiedde met behulp van baggermolens, nadat door de cutterzuiger 'Demer' de verbindingsgeul van de buitenhaven met de toeleidingsgeul aan de zeezijde was gemaakt.

Als voorbereiding op het sluiten van het Rak van Scheelhoek werd vroeg in 1969 begonnen met het omhoog brengen door het klappen van bakken tot NAP -8.00 m van een zanddrempel in het zuidelijk gedeelte van het sluitgat.

Het oppervlak van het natte doorstromingsprofiel werd hierdoor verkleind met 4 000 m² tot 15 200 m². Het opstorten geschiedde door de sleepzuiger 'Vlaanderen XIV' en met behulp van onderlossers, die gevoed werden door de winzuiger 'M. C. Vaarwater' en een baggermolen. Gewerkt werd van noord naar zuid. Onmiddellijk nadat de drempel op hoogte was, werd deze vastgelegd door zinkstukken.

Het Rak van Scheelhoek

In het najaar van 1969 waren de voorbereidende werken voor het sluiten van het Rak van Scheel-



Situatie 6. De afsluiting van het Rak van Scheelhoek.

hoek getroffen. Draglines en bulldozers profileerden het zand op het Noord-Pampus en scrapers vormden de aarden baan voor de Dammenweg vanaf het viaduct over de Zuiderdiepboezem tot de provincialeweg op Goeree tussen Stellendam en Ouddorp met zand uit de storten zuidelijk van de binnenhaven.

Ongeveer 93 000 betonblokken van 1 m³ waren nodig om een dam op te werpen in het Rak van Scheelhoek. Eind april 1970 werd het laatste blok gestort. De stroom was hiermee beteugeld. Berekend was dat een hoeveelheid van 11 000 000 m³ zand nodig zou zijn om de verbinding te vormen van de spuisluizen met de kust van Voorne (situatie 6).

Het zand mocht worden gewonnen in het Haringvliet bovenstrooms van de blokkendam op minimaal 600 m uit de LW-lijn van de kust van Voorne en op minimaal 1 km uit de blokkendam, tot maximaal NAP -40.00 m.

De gemiddelde korrel diameter van het zand, dat ter plaatse werd aangetroffen en dat een vrij steile zeeafkromming had, vertoonde het volgende beeld: van NAP -10.00 m tot NAP -25.00 m had het zand een gemiddelde korrel diameter van 100 μ -200 μ . Van NAP -25.00 m tot NAP -40.00 m had het zand een gemiddelde korrel diameter van

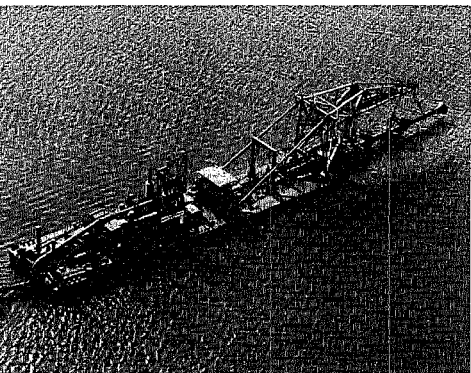


250 μ -350 μ . Beneden NAP -40.00 m werd fijn kleihoudend zand gevonden.

In een vroeg stadium werd besloten twee diepzuigers in te zetten. Dit zijn winzuigers met de zuigpomp op de ladder dus onder het wateroppervlak.

Er werd gewerkt met twee diepzuigers omdat:

1. het bestek een primaire dam op NAP +2.50 m eiste ofwel een grondverzet van 4 000 000 m³ zand op 1 september in verband met het geplande spuiprogramma;
2. het moment van inzetten der zuigers afhing van de vorderingen van het kabelbaanbedrijf, met welk bedrijf nog slechts ervaring opgedaan was in 1964 bij het sluiten van de Grevelingen;
3. de voor dit werk geplande diepzuigers beide omgebouwd moesten worden, zodat door de inzet van twee diepzuigers de kwetsbaarheid werd verminderd;
4. bij de Deltadienst de wens leefde om in verband met de continuïteit van het zuigbedrijf vóór de wintermaanden de glooiing aan de zeezijde beneden de HW-lijn verdedigd te hebben.



De diepzuiger 'Gouda' met een geïnstalleerd vermogen van 10 000 pk.

De keuze van het gebruik van diepzuigers verdient enige toelichting. Bij een conventionele zuiger met de pomp in het schip neemt uitgaande van het beschikbare vacuüm, de maximaal te bereiken concentratie af met toenemende zuigdiepte. Tengevolge hiervan is de zuigdiepte begrensd. Hier staat tegenover, dat bij toenemende zuigdiepte de breshoogte groter wordt, zodat meer zand naar de zuigmond toevloet. Deze eigenschap kan worden benut door de pomp onder water te plaatsen. Hierdoor neemt het beschikbare vacuüm schijnbaar toe met het produkt van de diepte van de pomp onder water en het soortelijk gewicht van het verpompte mengsel; indien dus, om een voorbeeld te geven, de onderdempeling 10 m bedraagt en het soortelijk gewicht van het verpompte mengsel 1,5 t/m³ is, neemt – uitgaande van een praktisch vacuüm van 7,5 m – dit 'vacuüm' toe met 200%. De voor dit werk geplande zuigers waren de 'Gouda' met een zuigpijp van ϕ 85 cm en een totaal geïnstalleerd vermogen van 10 000 pk en de 'Haringvliet' met een zuigbuis van ϕ 85 cm en een totaal geïnstalleerd vermogen van 5 000 pk met daarachter als opjaagstation de 'Westdijk' met 3 000 pk geïnstalleerd vermogen.

De 'Gouda' werd begin mei aangevoerd; de 'Haringvliet' een maand later. Er werd gewerkt in tweeploegendienst, ook gedurende de bouwvakvakantie met een gemiddelde capaciteit van 350 000 m³ per week.

Half augustus was de primaire dam op hoogte en kon één zuiger worden afgevoerd. Momenteel perst de 'Gouda' zijn specie in de kap van de dam, waarop de toekomstige Dammenweg is geprojecteerd en in een nieuw te vormen duinengebied, dat aansluit op de bestaande duinen van Voorne. In het voorjaar van 1971 zal de totale hoeveelheid van 11 miljoen m³ zand in het werk gebracht zijn evenals 1½ miljoen m³ zand, dat voor de Directie Zuid-Holland in een depot achter de duinen van Voorne gespoten moet worden in verband met de aansluiting van de Dammenweg op de bestaande infrastructuur.

Het opvoeren van de capaciteit per tijdseenheid geeft problemen ten aanzien van het verwerken der specie. Zolang grote hoeveelheden zand gespoten moeten worden onder water in de vorm van 'pannekoeken' is het verwerken daarvan geen probleem. Zodra echter opgekaad dient te worden, neemt het droge grondverzet – nodig om het natte te kunnen verwerken – toe met afnemende stortoppervlakte. Ter toelichting een voorbeeld.

Om op een stort van 10 ha 250 000 m³ zand te bergen zal het droge grondverzet ten behoeve van de perskaden rond 25 000 m³ bedragen. Dit is 10% van de te bergen capaciteit van het stort. Voor een stort van 5 ha – dus voor 125 000 m³ – dient 17 500 m³ opgekaad te worden; dit is 14%. Heeft de zuiger een produktie van 250 000 m³ per week, dan zal bij storten ter grootte van 10 ha 25 000 m³ per week opgekaad dienen te worden en bij storten ter grootte van 5 ha 35 000 m³. In feite betekent dit, dat het gebruik van diepzuigers voorbehouden is voor grote storten, het liefst zo vierkant mogelijk.

De problemen, die zich voordoen ten aanzien van het leggen en opbreken van perspijpen met grote diameters op storten zullen blijven bestaan. Experimenten met kunststof perspijpen en perspijpen met speciale koppelingen zijn en worden met wisselend succes toegepast.

Ir. P. Blokland* De problemen van de schaalvergroting bij het ontwerpen en bouwen van de spuisluis in het Haringvliet

Toen de Directie 'Sluizen en Stuwen' in september 1954 van de directeur-generaal van de Rijkswaterstaat het verzoek kreeg om in overleg met de Directie 'Benedenrivieren' een aanvang te maken met het ontwerpen van de spuisluis, welke was geprojecteerd in de te maken afsluiting van het Haringvliet, bleek dat de eisen waaraan de spuisluis zou moeten voldoen nog niet scherp omlijnd waren. Enerzijds omdat deze eisen afhankelijk zijn van de technische mogelijkheden en de direct daarmee verbonden kosten, anderzijds omdat zij een onderdeel vormen van het samenspel van de aan de afsluiting van het Haringvliet verbonden problemen.

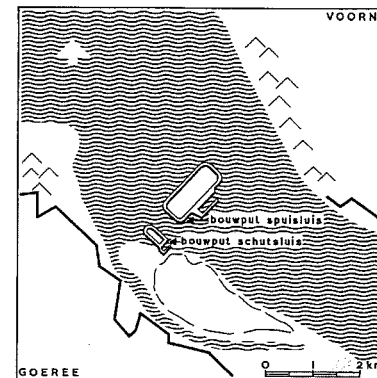
Inventariseert men in het kort de uitgangspunten, dan kan worden gesteld dat in 1954

- niets kon worden gezegd over de golfbelasting; waarden van 5 t/m² tot 100 t/m² waren waargenomen, maar de parameters, behorende bij deze waarden, waren niet bekend;
- de grondmechanica behoefte had aan verbreding en verdieping van de kennis over trekpalen en de werking van paalgroepen teneinde een fundering van beperkte afmetingen mogelijk te maken;
- de techniek van het voorgespannen beton zich tot nu toe had beziggehouden met bruggen en andere constructies waarbij geen problemen van grote dwarskrachten, stootbelastingen en invoering van grote plaatselijke krachten op ruimtelijke constructies waren opgetreden.

Ondanks dit tekort aan kennis was de wens snel met een aantal vóórontwerpen te komen teneinde met het onderzoek in het Waterloopkundig Laboratorium te kunnen beginnen; voorts met een risico waarvan men de grenzen niet kende, reeds een begin te maken met de aanleg van de bouwput.

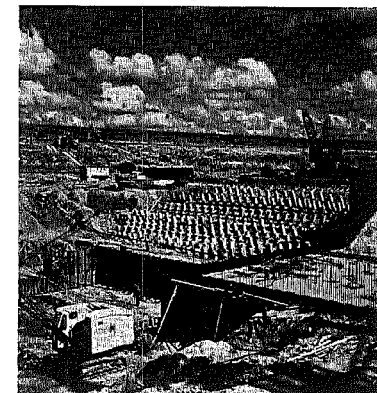
Na te zijn gestruikelend over de zogenaamde 'stijlenschuif', die hydraulisch te moeilijk bleek, is het ontwerp van de nabligger, welke toen nog in staal werd gedacht, uitgewerkt, hoewel de gegevens voor de berekening door de hydraulici nog niet konden worden verstrekt.

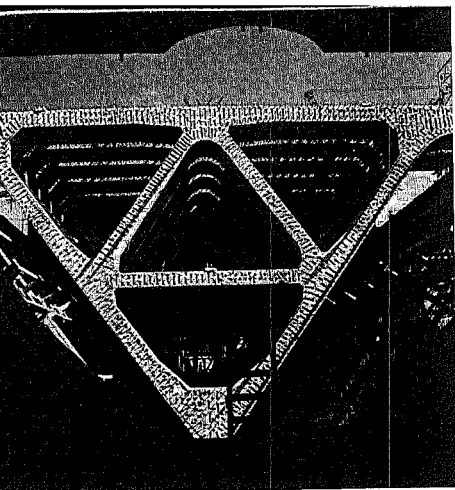
* Hoofdingenieur-directeur Rijkswaterstaat, Directie 'Sluizen en Stuwen', Utrecht.



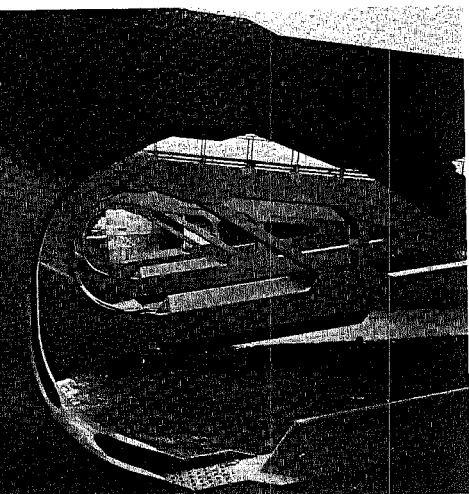
Weldra bleek dat een ligger in voorgespannen beton, vooral bij zeer grote dwarskrachtbelastingen en opwaartse krachten, zoals hier te verwachten waren, economisch zeer aantrekkelijk was. Ondanks het ontbreken van gegevens over de

Toen met de uitvoering van de paalfundering in de grote bouwput een begin gemaakt moest worden, had het inmiddels verrichte onderzoek uitgewezen dat de aanvankelijk geschatte belastingen op de fundering met 50% dienden te worden verhoogd.





Het ontwikkelen van het ontwerp voor de ruim één kilometer lange spuisluis in de afdamming van het Haringvliet is de taak geweest van een team van specialisten. Vrijwel op elk gebied werd men geconfronteerd met de verstrekende gevolgen van de hier noodzakelijke schaalvergroting. De uitkomsten van het onderzoek zijn verdisconteerd in het definitieve ontwerp van het kunstwerk. Hierbij werkten de specialistendirecties van de Rijkswaterstaat 'Sluizen en Stuwen' (beton) en 'Bruggen' (staalconstructies) nauw samen.



golfbelastingen is aan de hand van geschatte waarden een besteksonderwerp gemaakt met een kostenraming. Vervolgens werd machtiging verkregen om met de aannemersgroep n.v. Nestum te onderhandelen over prijs en uitvoering. Toen men reeds de heistellingen in de drooggemalen bouwput had, moesten de geschatte belastingen met 50% worden verhoogd, omdat bij het intussen voortgezette hydraulische onderzoek gebleken was dat deze grotere klappen herhaaldelijk optraden.

Ook de inmiddels met grote voortvarendheid aangepakte onderzoeken voor de funderingsproblemen en voor de betonconstructies hebben aangetoond dat een schaalvergroting als hier toegepast grote gevaren in zich heeft. Gelukkig stond de ontwerpers een uitgebreide staf onderzoekers van alle mogelijke disciplines ter beschikking, die qua intelligentie en ijver bereid waren zich in te zetten.

Daar ook de ontwerpers van de Directie 'Bruggen' voor grote problemen stonden, was vanaf het begin een intensieve samenwerking van de Directie 'Sluizen en Stuwen' met deze Directie nodig. Gelukkig zijn op de gemeenschappelijke raakpunten altijd alle tegenstrijdige verlangens zo objectief mogelijk opgelost.

De spuisluis in het Haringvliet is een mooi resultaat van samenwerking tussen een groot aantal individuen die bereid geweest zijn hun inzet te richten op het gezamenlijk bereiken van het gestelde doel. Gelukkig is het probleem van de schaalvergroting in dit geval oplosbaar gebleken. Aan toegepaste research op het gebied van de grondmechanica en beton is een bedrag van rond f 1 700 000 uitgegeven.

Hoewel deze kosten reeds voor de spuisluis alleen vruchtbare resultaten hebben afgeworpen, is de toepassing van het onderzoek ook van groot nut geweest voor de ontwikkeling van de tunnelbouw, de bouw van droogdokken, de bouw van de Zeelandbrug, enzovoort.

Bovendien heeft de constructie van dit kunstwerk duidelijk gemaakt dat het noodzakelijk is onze kennis op diverse gebieden van de civiele techniek te vergroten, zowel door fundamenteel als toegepast speurwerk.

Werd de bezoeker bij het werk van vloeren en pijlers vooral geïmponeerd door de enorme hoeveelheden aan beton en wapening die moesten worden verwerkt, toen de eerste voorbereidingen werden getroffen voor de vervaardiging van de driehoekige liggers die op de pijlers moesten komen te rusten, gold die bewondering vooral het technisch raffinement waarmee deze in alle opzichten uitzonderlijke opdracht werd uitgevoerd. Bij het opstellen van het werkplan voor de bouw van deze kapitale ligger is bewust het element improvisatie terzijde geschoven. Voordat de eerste kubieke meter beton werd gestort, hadden de ontwerpers hun plan tot in alle onderdelen uitgedokterd en gerepeteerd. Men mocht hier onder geen beding voor onplezierige verassingingen komen te staan. Geen onderdeel mocht groter of kleiner uitvallen, geen onderdeel van de constructie mocht moeilijker of gemakkelijker blijken dan in de planning was ontworpen. Een fundamentele eis hierbij was dat de capaciteit van het begin tot het einde gelijk zou blijven.

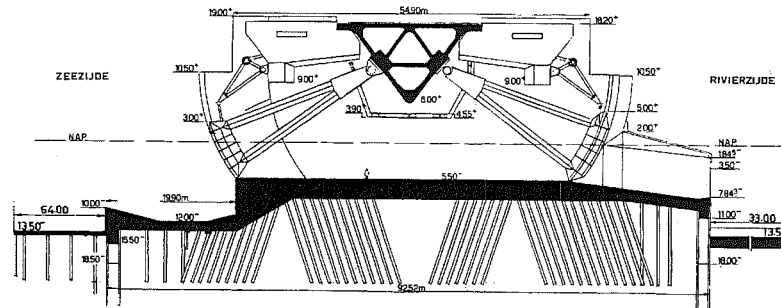
In meer dan één opzicht deed de bedrijvigheid in de voormalige grote bouwput denken aan een geweldige fabriek in de open lucht waar wordt gefabriceerd volgens een zorgvuldig opgesteld produktieplan. Met enige fantasie zou men zelfs kunnen zeggen dat, dankzij het repeterend karakter, het systeem van de lopende band erin was terug te vinden. Honderd en één moeilijkheden waren stuk voor stuk tot een oplossing gebracht.

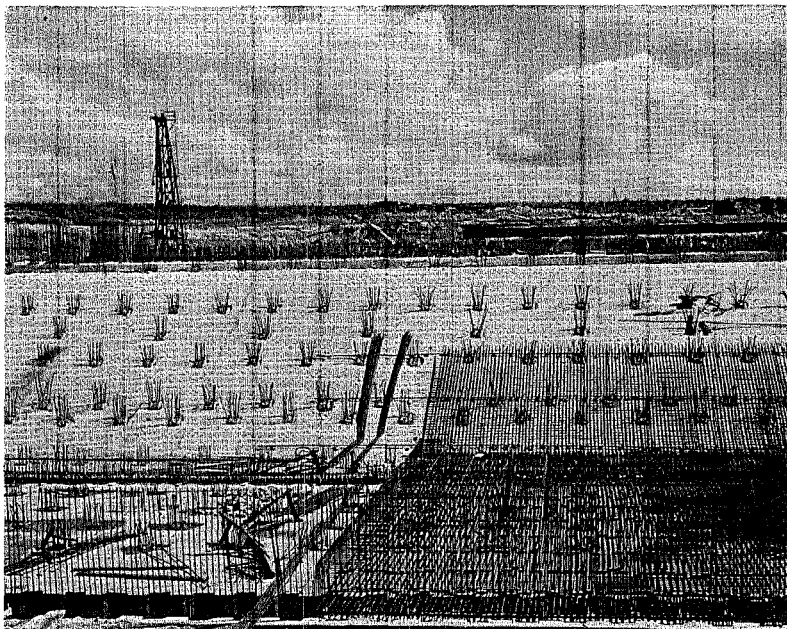
In dit opzicht is de kroon op het betonwerk als geheel zonder twijfel geweest de vervaardiging van de 17 nabaliggers.

Het aanvankelijke ontwerp was gebaseerd op de gedachte elke reuzenbalk in één betonstort tot stand te brengen. Het eindproduct zou dan weliswaar gelijk zijn geworden aan dat van de nu gevolgde methode maar de moeilijkheden tijdens de bouw zouden bijzonder groot zijn geweest. Volgens het eerste werkplan had men gedurende een week ononderbroken in totaal circa 3500 m³ beton moeten storten. Zo'n omvangrijk betonstort is op zichzelf al een enorme opgave, maar het is ook een waagstuk omdat alles op één kaart staat.

De stalen ondersteuningsconstructie die nu is gebruikt voor het samenbouwen van de onderdelen, had men bij de oorspronkelijke methode ook kunnen toepassen, maar de uitvoering had veel zwaarder moeten zijn. Thans heeft namelijk de belasting door het achtereenvolgens plaatsnemen van de 22 tussenmotten en het storten van de voegen geleidelijk plaatsgehad. Volgens het eerste werkplan zou de volle belasting echter worden geknepen door de pas gestorte jonge balk. De grote zetting die daarbij zou zijn opgetreden was voor de constructie levensgevaarlijk geweest. Juist zo'n pas gestorte ligger is bijzonder kwetsbaar; de kans dat er scheuren zouden optreden was griezelig groot. Bedenken wij alleen maar dat de kosten per ligger

Opmerkelijk in de fundering van het spuisluisencomplex zijn de bundels schoorpalen. Deze bundels kunnen grotere krachten opnemen dan de som van het effect der afzonderlijke palen.





De steekinden der 'gesnelde' funderingspalen steken door de werkvloer. Rechts de wapening van de trog aan de zeezijde; deze trog fungeert thans als woelkamer.

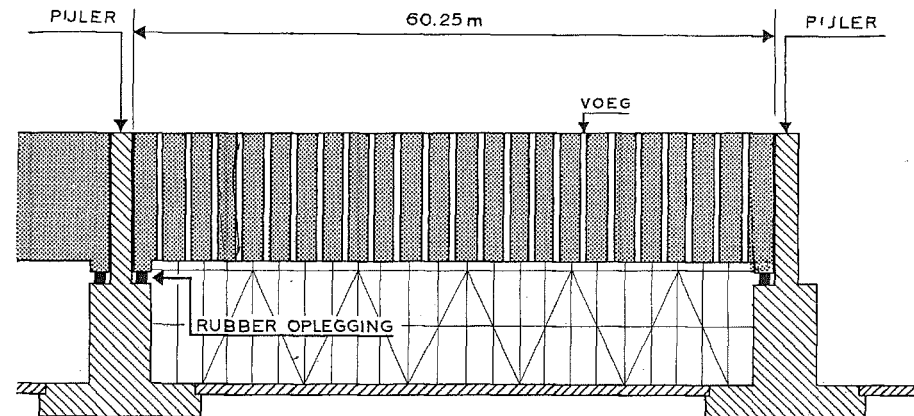
circa anderhalf miljoen gulden bedroegen, dan behoorde de kans dat het eindresultaat op grond van door de directie geconstateerde gebreken (grindnesten, scheuren, afwijkende hoogteligging e.d.) zou worden afgekeurd, zo mogelijk tot nul te worden gereduceerd. Nu het huzarenstuk is volbracht, kunnen we zeggen dat de ontwerpers hierin zijn geslaagd en wel door de mogelijkheden van prefabricage en voorspanning in alle opzichten uit te buiten.

Door de opbouw van twee eindschotten, die elk weer bestonden uit drie geprefabriceerde stukken (alleen een vier meter brede voeg werd in het werk gestort) en 22 tussenmotten, lag reeds 75 tot 80% van het totale gewicht van de ligger (8700 ton) op de ondersteuning voordat het een samenhangende constructie werd. Dat laatste gebeurde immers pas bij het volstorten van de 23 tussenvoegen ter breedte van elk een halve meter. Vóór deze beslissende eindfase had men elk onderdeel van de ligger op z'n mérites kunnen beoordelen.

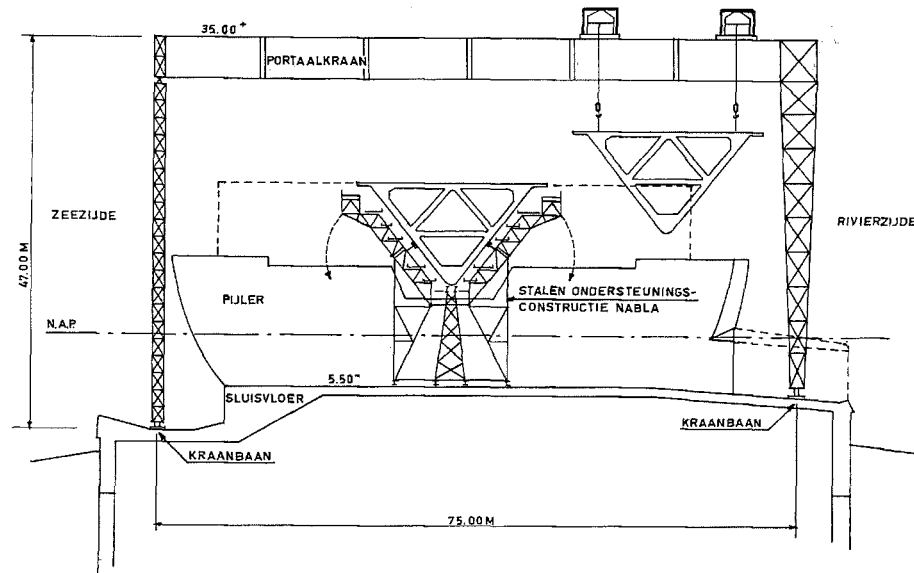
Vervanging was zelfs mogelijk geweest, al heeft die in werkelijkheid nimmer plaatsgehad.

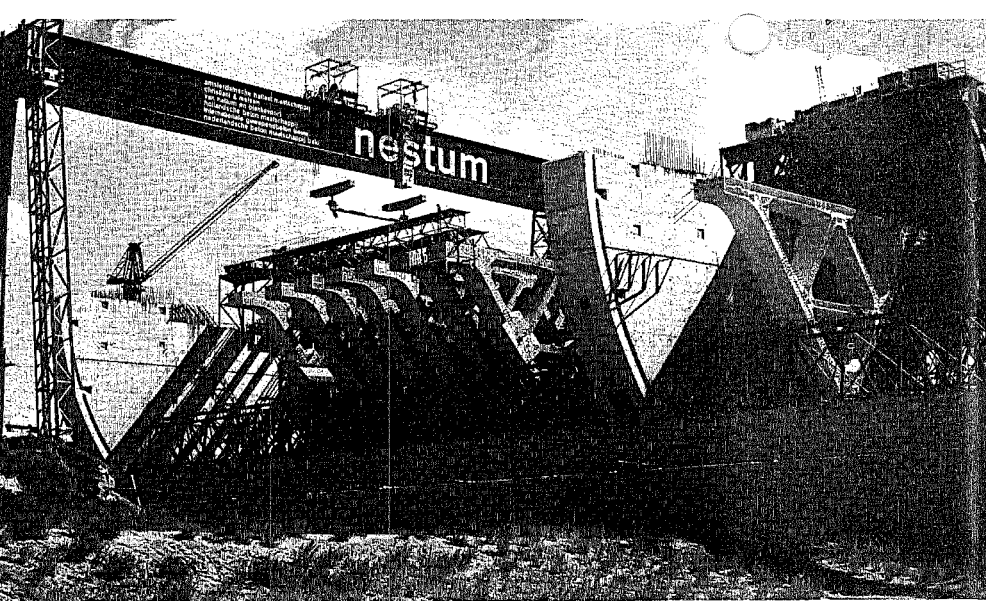
In het ontwerp van de ligger is waar mogelijk het repetitie-element opgespoord. Het feit dat nu bijna alle onderdelen op de grond konden worden gemaakt, betekende dat ze sneller, beter en onder plezieriger omstandigheden konden worden vervaardigd dan wanneer dit had moeten gebeuren op hoge steigers in weer en wind. En last but not least is er nu geen groot en moeilijk betonstort geweest dat in feite besliste over het welslagen van de gehele onderneming.

Bij een ouderwetse gewapend-betonnen brug is de kritische lengte 20 tot 24 meter, daarboven zou de constructie aan haar eigen gewicht te gronde gaan. Dankzij het beginsel van de voorspanning kon deze grens worden doorbroken en werd het mogelijk geacht een driehoekige ligger ter lengte van 60 meter te maken die bovendien nog sterk



Langdoorsnede over één van de zeventien sluisopeningen. Elke opening wordt begrensd door twee pijlers (of: een pijler en één der beide landhoofden). In de inkassingen zijn opgelegd de driehoekige nabliggers, elk samengesteld uit 22 moten en 2 eindschotten; gewicht per ligger 8700 ton.





De portaalkraan plaatste de nablamoten na het kantelen voorlopig in de opslag – in de wandeling het gruntnofoonplatenrek genoemd – en bracht ze daaruit naar behoefte over op de voor dit werk speciaal geconstrueerde stalen ondersteuningsconstructie. Er konden twee liggers tegelijk worden samengebouwd. De ondersteuningsconstructie werd, nadat een ligger was opgevijzeld en zichzelf droeg, met behulp van de portaalkraan in vier stukken, elk met een gewicht van 80 ton, verplaatst naar de volgende opening.

genoeg zou zijn om behalve het eigen gewicht en de verkeerslast de formidabele golfklappen op de schuiven (berekend op 220 ton per strekkende meter!) te kunnen opnemen. Toch mogen we hierbij wel bedenken dat sedert het beginsel van de voorspanning met succes in praktijk werd gebracht – het is al weer zeven jaar geleden dat de laatste nablaligger gereed kwam – nog nergens ter wereld zo'n balk was gemaakt, zelfs niet bij benadering.

De grondgedachte van de voorspanning is het beton kunstmatig extra te belasten op druk. Van het beton heeft men de toelaatbare drukspanning steeds verder kunnen opvoeren, niet echter de trekvastheid. Dat laatste was wel mogelijk met staal. Combineert men beide eigenschappen, dan nemen de stalen kabels de rek voor hun rekening en het beton de druk. Dit lijkt weggegooid geld, omdat de twee krachten aan elkaar tegengesteld zijn. We zouden het kunnen vergelijken met een wagen waartegen men aan voor- en achterkant even hard duwt. Het resultaat is dan dat de wagen op zijn plaats blijft staan.

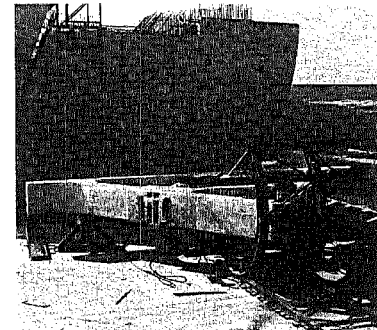
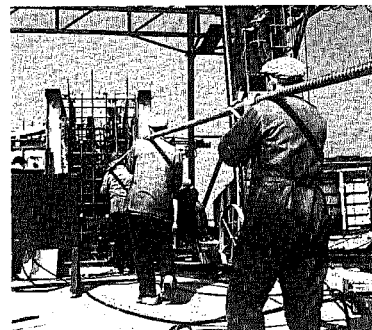
Bij de voorgespannen-betonconstructies is het wat minder eenvoudig. Door trek en druk op te voeren, ontstaat er een soort inwendig evenwicht dat

in staat is van buitenaf werkende belastingen tot een bepaalde orde van grootte op te nemen zonder dat de constructie daaronder bezwijkt.

Wanneer namelijk de balk kapot zou gaan, ontstaan er eerst scheuren aan de onderkant. Dat wil dus zeggen dat de trekvastheid van het beton is overschreden. Knijpt men door middel van de voorspanning het beton echter samen, dan krijgen die scheuren geen kans. Het is dankzij deze constructie dat men zich bij de montage de grote scheuren in de vorm van de voegen tussen de moten kon veroorloven.

Aan de zijkanten van de nablamoten was een zo grove vertanding aangebracht, dat bij het storten van de tussenvoegen het beton inderdaad in deze holten kwam. Indien men had volstaan met niet meer dan een ruw oppervlak, zou slechts een huidje zijn gevormd, waardoor de ligger in dwarsrichting niet sterk genoeg had kunnen worden.

De gedachte om met geprefabriceerde onderdelen te gaan werken loste een aantal problemen op, maar stelde andere aan de orde. Om er slechts enkele te noemen: welk maximum gewicht zouden die onderdelen mogen hebben; hoe zouden ze na te zijn ontkist van de horizontale stand kunnen worden gekanteld in verticale positie zonder te



Een blikken omhulling – dikte slechts 1/4 mm – wordt ten behoeve van de dwarsoverspanning (Freyssinet) aangebracht in de bekisting van een nablamoot.

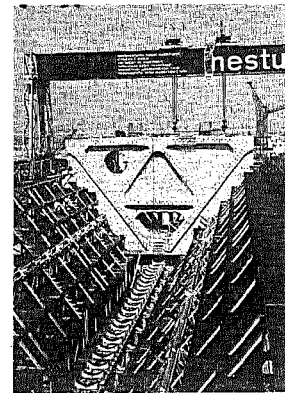
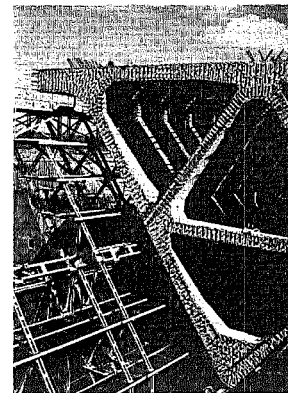
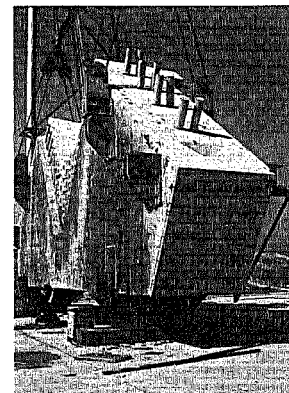
Foto rechts: na een verblijf van 36 uur in een over de bekisting geplaatste stoomtent was het beton al zodanig verhard dat de moot – na het ontkisten – met behulp van brugkraan en kantelstoel overeind kon worden gezet met de punt omhoog. Om breuk door de tijdens het kantelen optredende momenten te voorkomen werd tijdelijk een bepaalde dwarsvoorspanning aangebracht.

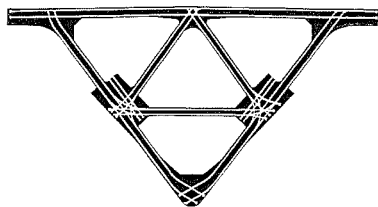
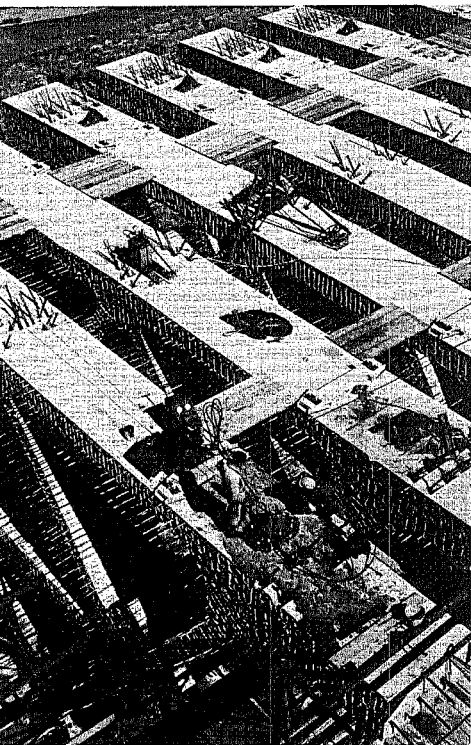
breken; welke maatregelen zouden moeten worden getroffen om voldoende moten te vervaardigen opdat het tijdschema niet in gevaar zou komen; welke voorzieningen zouden nodig zijn om van de moten en de in het werk gestorte voegen inderdaad een monoliet te maken?

Het lag voor de hand dat voor het kantelen en het in het werk brengen van de geprefabriceerde moten een kraan nodig zou zijn. De keuze viel op een portaalkraan. In verband met de vereiste af-

stand tussen de poten (75 m) en de nuttige hoogte van ruim 40 meter kwam de combinatie Holland Cranes tot een ontwerp waarbij een last van circa 250 ton zou kunnen worden gehesen. Uit dit gegeven volgde de breedte van een nablamoot, namelijk 2 meter. Toen de voegbreedte was gesteld op een halve meter leerde een eenvoudige rekensom dat er per ligger nodig zouden zijn 22 tussenmooten. Dat betekende dus de vervaardiging van $17 \times 22 = 374$ tussenmooten.

Van links naar rechts: het onderste deel van de drie geprefabriceerde stukken waaruit een eindschot werd samengesteld. 22 Nablamoten – elk 2 meter breed – werden met tussenruimten van 50 cm op de ondersteuningsconstructie geplaatst. Aan de beveiliging van de arbeiders werd de uiterste zorg hesteed, zie bijvoorbeeld het gaas tegen de steiger. Geheel rechts: de holtronde oplegstoelen gevuld met hardhout waarop de nablamoten werden neergezet.





Doorsnede van een nablamoot met gestyleerde dwarsvoorspanning. De wand is plaatselijk verzwaaard ten behoeve van de scharnierende bevestiging van de schuifarmen.

Een aantal nablamoten opgeslagen in één der bufferrekken. De dwarsvoorspanning die tijdelijk was aangebracht in verband met het kantelen en het transport, wordt hier weer afgeleten. Dit laatste was nodig om, wanneer de moten straks deel zouden uitmaken van de ligger, een behoorlijke homogeniteit tussen het beton van deze op de beganegrond geprefabriceerde delen en het in het werk gestorte beton van de voegen te verzekeren. Ondanks toepassing van het beginsel der prefabricage was het doel dus het uiteindelijk bereiken van een werkelijke monolietconstructie. Met ditzelfde doel versprongen ook de stekeinden (zachtstaal) van twee opeenvolgende nablamoten ten opzichte van elkaar. Het getande oppervlak diende eveneens ter bevordering van een goede hechting van het beton.

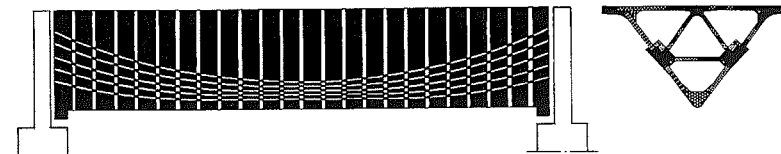
Een extra complicatie was dat van ieder stel van 22 nablamoten er niet twee aan elkaar gelijk waren.

Natuurlijk zou het niet economisch zijn geweest hiervoor 22 bekistingen te maken. De verschillen werden vooral veroorzaakt door de springen die op verschillende plaatsen moesten worden aangebracht voor het doorvoeren van de voorspankabels in langs- en dwarsrichting. Het is tenslotte mogelijk gebleken te volstaan met slechts zes verschillende bekistingen; deze konden door verwisselbare onderdelen steeds worden aangepast aan de te maken moot. Aanvankelijk had men de beide eindschotten van elke ligger geheel in het werk willen maken. Tenslotte bleek het mogelijk ook hier prefabricage toe te passen. In verband met het hijsvermogen van de kraan kwam men toen tot drie stukken. Dat betekende dus een tweede programma van $34 \times 3 = 102$ geprefabriceerde onderdelen.

Een volgend probleem was hoe de productie in de gestelde tijd te volbrengen. Uitgaande van het

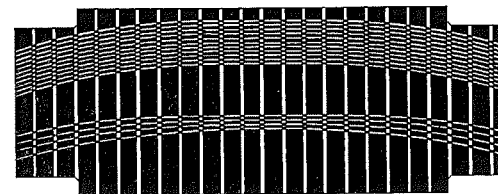
tijdschema voor de Haringvlietafdamming, bleek per ligger een bouwtijd van zeven weken beschikbaar. Bepalen wij ons alleen tot de 22 tussenmoten, dan stonden zes bekistingen ter beschikking, hetgeen betekende, dat in de cyclustijd één kist vier maal moest worden gebruikt. Van een normale verharding van het beton zou derhalve geen sprake kunnen zijn. Geforceerde verharding bij hogere temperatuur hielp dit probleem oplossen. Wanneer een moot op een der sluisvloeren was gestort, werd hierover met behulp van de kraan een plastic tent gezet. Door het inblazen van stoom voerde men de temperatuur op tot 45°C . De primaire verharding voltrok zich dan in 36 uur. Daarna werd de temperatuur geleidelijk verlaagd tot de heersende buitentemperatuur, dit om scheuren van het beton te voorkomen. In de koude maanden duurde het verblijf in de tent vanzelfsprekend wat langer dan in de zomer.

Aldus kon reeds na enkele dagen een nablamoot worden ontkist. De kraan tilde de moot horizontaal uit de reeds ten dele geopende kist en plaatste



Linksboven: zij-aanzicht van het patroon der voorspankabels in de lengterichting (per ligger totaal 193 bundels).

Boven: dwarsdoorsnede over één der moten, waarin zorgvuldig op de juiste plaats de openingen zijn gespaard voor het doorvoeren van de voorspankabels.

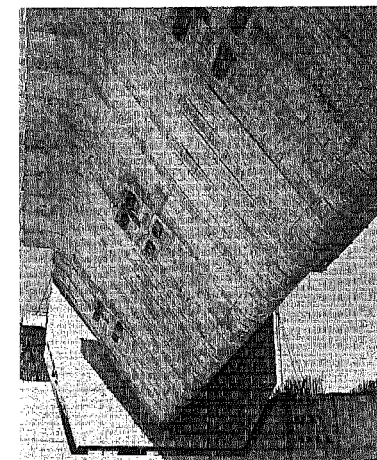


Links: deze tekening geeft een bovenaanzicht van de parabolisch verloopende langvoorspanning. De holle zijde van de parabool is de zee kant.

Een nabligger is afgespannen en draagt zijn eigen gewicht.

de moot nu op een hiervoor gebouwde kandelstoel. Om de momenten die tijdens het overeind zetten zouden optreden, te kunnen opvangen, was tevoren reeds een deel van de dwarsvoorspanning (systeem Freyssinet) geëffectueerd. Na het kantelen werden de moten voorlopig opgeslagen in bufferrekken. De voorspanning werd nu weer afgeleten, zulks vooral om na de assemblage een homogene ligger te verkrijgen.

Teneinde ook de montage continu te laten verlopen waren twee stalen ondersteuningsconstructies gebouwd, waarvan de zijwanden neergeklapt konden worden; elke steiger bestond uit vier delen, elk met een gewicht van 80 ton. Deze konden in hun geheel door de kraan van de ene sluisopening naar een volgende worden verplaatst. De montage begon in de twee openingen aan de zuidzijde en verplaatste zich geleidelijk in noordelijke richting. Ook de fabricage van de nablamoten en van de geprefabriceerde stukken voor de eindschotten verplaatste zich aldus.





Het betonwerk van de sluis is gereed; met de montage van de 34 stalen segmentschuiven kan een begin worden gemaakt.

De stalen ondersteuningsconstructies waren voorzien van holronde stoelen opgevuld met kops hardhout waarin de afgeronde onderkant van de moot precies paste. Met behulp van vijzels in de zijwanden kon elke moot op eenvoudige wijze nauwkeurig worden gesteld. Waren de moten eenmaal gesteld, dan werden de kanalen voor de langvoorspanning (BBRV) door bussen van dun blik met elkaar verbonden. Daarna kon de bekisting van de voegen tussen de moten worden aangebracht. Het storten van deze voegen gebeurde vanuit de compartimenten van de ligger; naarmate men vorderde werden de schotten van de binnenkist geplaatst. Zodra het beton van de voegen voldoende was verhard, werd in etappes de voorspanning aangebracht. In de lengterichting bedraagt deze 17 ton per kabel. Aangezien er 193 kabels in langrichting in elke nabaligger zijn aangebracht, ontstond tenslotte tussen de beide eindschotten een drukkracht van 26 341 ton. In de dwarsrichting is het aantal kabels veel groter.

namelijk circa 1450 en de spanning bedraagt 43.2 ton per kabel.

Zodra de ligger in staat was zijn eigen gewicht te dragen, werd deze met behulp van vijzels enkele centimeters opgetild. De ligger kwam nu vrij van de ondersteuning, die kon worden weggetrokken en door de kraan werd verplaatst naar een volgende sluisopening. De eerste ligger torste zijn eigen gewicht op 10 november 1961. De zeventiende en laatste ligger is medio december 1963 gestort. Dit betekent dat de aannemer kans heeft gezien aanzienlijk beneden de cyclustijd van 7 weken per ligger te blijven. De vertraging van enkele maanden in de strenge winter 1962/63 heeft men hierdoor volledig kunnen opvangen.

Wat de ontwerpers van Rijkswaterstaat en de aannemers verenigd in de Combinatie Nestum bij dit project tot stand hebben gebracht dient ook nu nog te worden beschouwd als een uitzonderlijke prestatie.

Ir. A. van Dam * en
Ir. Ph. Diderich**

Terugblik op de uitvoering van een inspirerende opdracht

De bouw van de spuisluizen ligt intussen al weer een aantal jaren achter ons. Het is stellig zo dat de tijd, welke sindsdien is verlopen jungeert als een zee, welke slechts die ervaring doorlaat, welke kenmerkend is geweest voor dit werk. Tegelijkertijd nopen zowel de voortschrijding van de techniek als de schaalvergroting, welke inmiddels hebben plaatsgevonden, tot een gepaste relativisering welke aan de objectiviteit ten goede komt. Dit artikel bevat dan ook meer een weergave van indrukken dan een technisch betoog.

Affiniteit tot het werk

Na bovenstaande inleidende beschouwing wordt het wellicht verklaarbaar dat 'de prestatie' en 'de techniek' als zodanig niet op de eerste plaats komen in deze korte nabeschuiving, maar veel meer de grote mate van affiniteit tot het werk van alle betrokkenen. Wij kunnen ons afvragen waarom en waardoor deze affiniteit ontstond en wat hiervan het gevolg was.

Allereerst zouden wij het meedoen aan de Delta werken in het algemeen en aan dit unieke project in het bijzonder een appeleren kunnen noemen aan een oud-Hollands saamhorigheidsgevoel. Daarbij kwam dit beroep op een moment, dat er in de aannemersbedrijven 'know-how' aanwezig en beschikbaar was. Het eerste motief heeft de doorslag gegeven bij het aangaan van onze verplichtingen. Een goed uitgangspunt dus, maar niet meer dan dat.

In afwijking op de traditie en ons inziens op bijzonder efficiënte wijze heeft Rijkswaterstaat naast de gespecialiseerde instituten ook de aannemers in een vroegstadium betrokken bij de problematiek van het bouwen. Deze vorm van samen denken en samen werken stimuleert in hoge mate de interesse, mobiliseert inventiviteit en vormde voor de betrokken bedrijven een uitdaging de best mogelijke bijdrage te leveren.

Isolément

Welke waren de specifieke vraagstukken, die bij dit werk aan de orde kwamen? Bijzonder in het

oog springend was wel de geïsoleerde ligging, een eiland in de monding van het niet altijd even rustige Haringvliet. Het vervoer van mensen en materieel over de weg was uitgesloten. Communicatiemiddelen ontbraken, evenals water en stroom. Hoewel wij het isolément in eerste aanleg als een handicap zagen, veranderde dit na oplossing van enige technische problemen in het voordeel van het werk. De bouwput werd een mini-wereldje met als psychologisch effect de sterke verbondenheid met elkaar en aan het werk, zoals dat bijvoorbeeld ook ervaren wordt op een boot. Met een 2-tal Baileybruggen en een dijklichaam werd een vaste oeververbinding tot stand gebracht met het eiland Goerrec-Overflakkee. De bruggen zijn geslagen door de pontonniers die een spectaculaire demonstratie gaven van hun kunnen. De aanleg van de dijk werd verzorgd door de Rijkswaterstaat. De verbinding is van onbecijferbaar belang geweest, zowel voor het werk als voor de mensen. Door de bouw van een op grote bedrijfszekerheid gerichte elektrische centrale werd het energieprobleem opgelost, terwijl voor de afhandeling van enige miljoenen tonnen materiaal en materieel een adequate havenoutrillage werd geïnstalleerd.

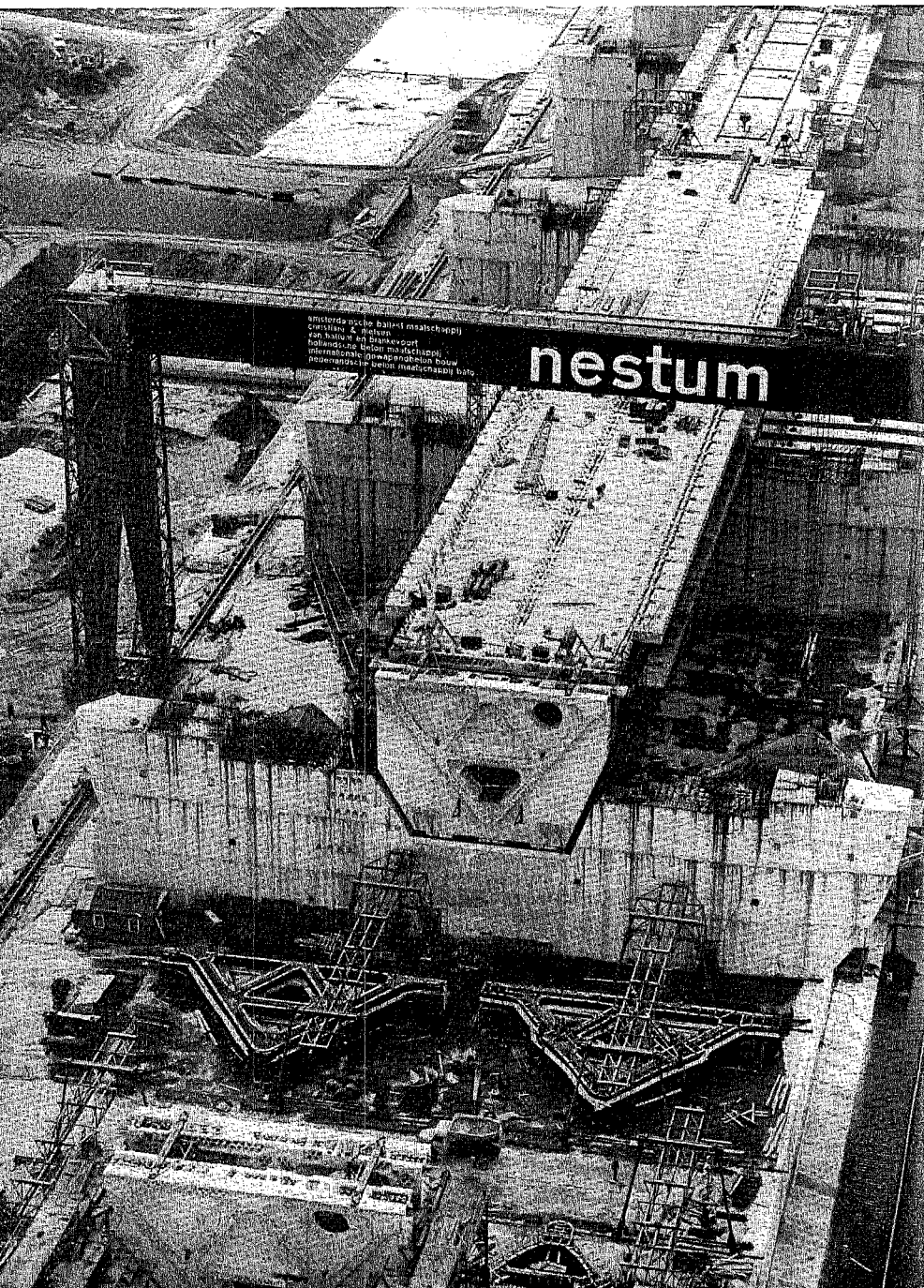
Het kunstwerk had dermate grote dimensies dat het zich onttrok aan ons voorstellingsvermogen. Om enig inzicht te krijgen waarover het ging, moest in vergelijkingen worden gedacht. Getallen van een omvang zoals die voorkwamen bij de bouw spreken eerst aan bij een zekere vorm van beleving.

Speciale technieken en gereedschappen

Gelukkig kon bij de uitvoering in vele opzichten worden teruggegrepen op de ervaring welke aanwezig was binnen de aannemerscombinatie. Staande voor nieuwe niet al te grote problemen, was het altijd mogelijk goede oplossingen te vinden. Ongetwijfeld vormde de bouw van de nabaligger hierop een uitzondering. Dit was een opgave van een zodanige omvang en importantie, dat hierbij een groot beroep moest worden gedaan op het inzicht en de inventiviteit van een zeer uitgebreid team. De vraagstukken strekten zich uit over het ontwerp en de berekeningen, vroegen om experimenten op kleine en grote schaal zowel

* Directeur Technique Sixconstruct, Brussel.

** Directeur Ballast-Nedam Groep n.v., Amsterdam.



als het ontwikkelen van nieuwe uitvoeringsmethoden met de daarbij behorende hulpconstructie. De benodigde apparatuur was weer van invloed op het ontwerp zowel als op de berekening, zodat er een kringloop moest worden gesloten. Dit probleem onderkende heeft de Rijkswaterstaat naast zijn eigen organisatie een team van specialisten gemobiliseerd waarbij ook zowel voor de theoretische als voor de technische aspecten, bijdragen uit de kring van de aannemers konden worden geleverd. De veelal unieke hulpconstructies die werden gebruikt, zijn onderwerp geweest van diepgaande studies, vergden veel fantasie en nauwkeurige uitwerking en een goede samenwerking met de toeleverende industrie. Van de talrijke voorbeelden, die wij zouden kunnen aanhalen, beperken wij ons tot de stortbrug en de stalen mallen voor nablamoten, de kantelstoel, de hijsapparatuur, de montagerekken en last but not least de nablakraan.

De organisatie

De omvang zowel als de aard der werkzaamheden vroegen om een duidelijke organisatiestructuur waarin taken en verantwoordelijkheden werden gesplitst in een zodanig patroon dat iedere uitvoerder – van huis uit koning in eigen rijk – zich met volle ambitie kon inzetten. De bovengenoemde splitsingen vonden plaats naar onderdeel en naar het soort werk. Vanzelfsprekend opereerden hiernaast een aantal algemene diensten. Onder de geografische indeling vielen bijvoorbeeld de landhoofden, vloeren, pijlers en de moten-fabrieken, terwijl het grondwerk, heikwerk, vlechtwerk, betonneren, monteren en de kabelmontage een eigen leiding hadden.

Het haven- en transportbedrijf, het magazijn, de technische werkplaats en garage, de elektriciteitsvoorziening en de administratie behoorden vanzelfsprekend tot de algemene diensten. Praktisch het gehele stafpersoneel, afkomstig van zes firma's, werd van elders overgeplaatst naar de directe omgeving van de bouwplaats.

Werk en woonsituatie waren zodoende beide bevorderlijk voor de teamgeest. Het varen van en naar de bouwplaats maakte stafbijeenkomsten bijna overbodig.

Het vlotte verloop

Zelfs terugblikkend bestaat er nog enige verwondering over het zeer soepele verloop van het werk. Er zijn geen obstakels geweest die slechts met moeite konden worden genomen. Dit zou te wijten kunnen zijn aan het feit dat aan een groot aantal noodzakelijke voorwaarden werd voldaan. Het verklaart echter niet ten volle dat op geen enkel ogenblik een 'storend element' invloed heeft kunnen hebben op de gang van zaken. Ons inziens is er een verklaring te vinden in het feit dat onderkende problemen geen problemen meer hoeven te zijn. Analyserend denken, oplossingen afwegen, beslissen, voorbereiden en onder controle verwezenlijken is het recept dat nodig is en voldoende blijkt te zijn ook voor exceptionele werken.

De topbezetting tijdens de bouwperiode bedroeg 800 man; hiervan waren er circa 600 afkomstig van Goeree-Overflakkee. Het is niet overdreven te stellen, dat de mensen van Goeree hun eigen Haringvliet hebben overbrugd. Gezien de aard van de werkzaamheden, welke deze mensen van oudsher hebben verricht, waren zij uitermate geschikt tot omschakeling voor de bouw. Hun karakter bestempelde hen tot zeer betrouwbare en enthousiaste medewerkers. De meeste van hen echter waren onbekend met het vak, zodat de uitvoerders vooral gedurende de aanlooperperiode instructeurs zijn geweest hetgeen uiteraard van hen extra inspanning vergde.

Het grote repetitie-element in het werk werkte bijzonder gunstig, anderzijds zijn bij hulpconstructies geen kosten gespaard om het systeem zodanig te maken dat manipulaties na de eerste keer voor iedereen duidelijk konden zijn en het aantal specialisten tot een minimum kon worden beperkt. De bouw van de nablaligger is met zorg voorbereid. Veel aandacht is besteed aan het instrueren van alle mensen door middel van lezingen en het verstrekken van draaiboeken. Een niet onaanzienlijk deel van het aantal mensen dat van het eiland kwam is in de bouw gebleven en velen van hen hebben zich tot zeer bekwame werknemers ontplooid. Iedere man bij Nestum heeft de sluis gebouwd; de anderen hebben hem daarbij geholpen.

De bouw van de nablaliggers; op de voorgrond de stalen kisten waarin de moten werden gestort.

De segmentschuiven met elektro-hydraulische aandrijving

De staalconstructie van de segmentschuiven

De 17 spui-openingen hebben alle een breedte van 56½ meter, terwijl de hoogte van de schuiven 8½ meter (aan zeezijde) respectievelijk 10½ meter (aan rivierzijde) bedraagt. In totaal moesten dus 34 stalen segmentschuiven worden vervaardigd.

De schuiven zijn met 4 armen scharnierend aan de nablaligger bevestigd; de cirkelvormige gebogen voorvlakken maken, dat de normale waterdrukken alle door het draaipunt gaan, zodat de bevestigingswerken hierdoor niet worden belast. Wat de veiligheid van de waterkering betreft, vormen de beide schuiven volledig elkaars reserve. De zeeschuif krijgt door de ongunstig vooroverhellende stand echter zeer grote golfklappen van brekende golven te verduren: bij een kerende hoogte van NAP +3 m kan de optredende belasting tengevolge van deze golfklappen oplopen tot 100 ton per strekkende meter met plaatselijk nog belangrijk hogere drukken.

De aan de zeezijde aangebrachte verdieping van de vloer tot NAP -12 m was daarbij noodzakelijk om het effect van de aanstormende watermassa te verminderen. Zonder een dergelijke constructie zou de druk aan de onderzijde van de schuif tot een veelvoud zijn opgelopen.

Uit een uitgebreid onderzoek naar het dynamische gedrag van het gehele samenstel van onderbouw, nablaligger en stalen schuiven is gebleken welke stootcoëfficiënt voor de schuiven in rekening moest worden gebracht.

Bij stormen met hoge waterstanden zal niet al het water door de zeeschuiven kunnen worden tegengehouden. Mocht een rivierschuif niet in bedrijf kunnen worden gesteld, dan werkt de zeeschuif in ieder geval als een golfbreker, terwijl de overstortende watermassa in een dergelijk uitzonderlijk geval weinig kwaad zal doen. De rivierschuif kan zonder bezwaar tot NAP +5 m worden geconstrueerd omdat zelfs bij de hevigste noordwesterstormen de nu gunstig gerichte vorm de belasting door golfklappen belangrijk kan reduceren.

Uiteraard zijn de verschillende aan verkleinde modellen gevonden resultaten niet zonder meer

om te zetten in de in de werkelijkheid optredende belastingen, trillingen, enzovoort. Metingen aan het voltooid bouwwerk zullen zeer zeker belangwekkende vergelijkingen met de proeven aan de modellen kunnen opleveren.

Ongetwijfeld is de constructie zelf voldoende sterk omdat onder meer de verschillende mogelijke golfvormen, de grootte van het door de golven getroffen oppervlak en de dynamische invloeden alle aan de ongunstige kant in rekening zijn gebracht.

Het is echter mogelijk dat bepaalde strenge bedrijfsvoorschriften betreffende het gebruik van de schuiven die thans een voorwaarde voor het ontwerp hebben gevormd, op grond van de werkelijke waarde kunnen worden verlicht zodat men meer vrijheid van handelen bij de bedrijfsvoering kan verkrijgen. Het is dan ook de bedoeling in één spuiopening een groot aantal metingen te verrichten bij verschillende belastinggevallen van de schuiven, waartoe een aantal meetinstrumenten door Iweco-TNO is aangebracht.

Behalve de vorgenoemde modelonderzoeken zijn nog andere proefnemingen nodig geweest om de constructie van de schuiven te kunnen vaststellen.

Om te beginnen was een diepgaand onderzoek naar het te gebruiken materiaal van groot belang, daar de schuiven aan een zeer dynamische belasting in een corrosieve zeewater-atmosfeer zouden worden blootgesteld. Daarom werd besloten een speciaal staal Fe52 toe te passen. Na deze proeven was het noodzakelijk de invloed van corrosie op de vermoedingssterkte van het gelaste materiaal nader te onderzoeken. Daartoe zijn in het Stevin Laboratorium te Delft buigproeven op een groot aantal gelaste proefliggers uitgevoerd en wel op liggers die droog werden beproefd, liggers ondergedompeld in zeewater en liggers die tijdens de beproefing werden besproeid met zeewater.

Om de corrosievermoeding tegen te gaan is in het algemeen een goede bescherming tegen het zeewater noodzakelijk.

De proefnemingen hebben tenslotte aangetoond dat conservering met een combinatie van epikoteer en epikote-zink de beste resultaten geeft; bovendien is een kathodische bescherming voor de stalen schuiven aangebracht.

Na deze inleidende opmerkingen betreffende belastingen, materiaalkeuze en dergelijke kan thans worden ingegaan op de constructie van de stalen schuiven.

In dwarsdoorsnede is de voorzijde van de schuiven dubbelwandig uitgevoerd, door een aantal horizontale langsliggers in kokers verdeeld.

Deze gladde constructie is gewenst om bij het heffen van de schuiven door ijsvelden geen ontoelaatbare weerstanden te ondervinden.

In langsrichting bestaat elke schuif uit 3 middensecties van bijna 15 meter en 2 eindsecties van circa 7 meter. Tussen deze 5 secties zijn telkens dubbele hoofdwaarsdragers aangebracht waaraan de armen zijn bevestigd. Deze 4 armen moeten de grote dynamische belasting overbrengen naar de betonnen nablaligger. De horizontale liggers zijn voorzien van een groot aantal driehoekige gaten, welke dienen om het in- en uitstromen van het water bij het bewegen van de schuiven mogelijk te maken. Alleen bij de armen zijn enkele luchtkisten aangebracht; de overige ruimten van de kokers staan met het water in open verbinding. Vanzelfsprekend vormen deze gaten minder gewenste verstoringen bij de optredende dynamische belastingen. Door een foto-elastisch onderzoek is de gunstigste vorm van de gaten vastgesteld. Ook de armen worden gevormd door kokervormige profielen die met sterke knoopplaten aan de dubbelwandige hoofdwaarsdrager zijn verbonden. Het draaipunt aan de nablaligger bestaat uit 2 zware oogplaten (gewalste platen van 160, respectievelijk 210 mm dik) waaraan de draaiingsassen zijn bevestigd. Deze assen (grootste diameter 980 mm) zijn gesmeed uit vacuüm-staal en wegen aan de zeezijde circa 12 ton.

De grootste belasting per draaipunt kan in extreme gevallen ongeveer 3100 ton bedragen.

De afsluiting van het Haringvliet geschiedt - zoals bekend - niet alleen om een veilige waterkering bij hoge stormvloeden te verkrijgen; zeker zo belangrijk is het handhaven van een zoetwaterreservoir aan de rivierzijde. Voor de land- en tuinbouw in dit gedeelte van Nederland is een zo laag mogelijk zoutgehalte van belang. Grote aandacht is dan ook besteed aan de afdichting van de schuiven in gesloten stand.

Daartoe rust de schuif met een holle rubberfender

op de betonnen vloerdrempel, terwijl afsluiting aan de zijkanen tegen de pijlers geschiedt door opompbare rubberbanden. Het oppompen is nodig omdat vanzelfsprekend de ter plaatse gestorte betonnen pijlers niet precies dezelfde vorm hebben als de in de constructiewerkplaatsen vervaardigde einden van de schuiven (maatafwijkingen kunnen hierdoor dus worden weggerukt) maar ook zijn lengteveranderingen van de stalen schuiven door temperatuurwisselingen mogelijk. De stalen onderdelen werden in serie gefabriceerd bij een achtal constructiewerkplaatsen en daarna op twee plaatsen samengebouwd. De maatvoering van de door de verschillende firma's geleverde onderdelen moest uiteraard aan hoge eisen voldoen*.

De hydraulische aandrijvingen

Voor het bewegingswerk van de stalen segment-schuiven is vanzelfsprekend een groot aantal varianten gemaakt, waarbij er steeds van uit is gegaan dat de beide uiteinden van een schuif door in de pijlers geplaatste machineren zouden worden bewogen. In verband met de 60 meter afstand tussen beide einden lag het voor de hand de twee bewegingswerken van één schuif niet mechanisch te koppelen.

Bij de eerste ontwerpen was een groot deel van het gewicht van de schuif gebalanceerd door een tegengewicht, zodat het aandrijvend motorvermogen belangrijk kon worden gereduceerd (slechts het overwicht van de schuif behoeft dan te worden geheven).

Uit de bij het Waterloopkundig Laboratorium genomen proeven bleek echter dat in dit geval het gewicht van de schuif juist niet mocht worden verminderd door een tegengewicht, omdat bij stormen met golven van een bepaalde hoogte en periode zodanige opwaartse krachten op de horizontale liggers worden uitgeoefend dat dan zelfs over vrij grote hoogte opwippen van de constructie zou plaatsvinden.

Het totale eigen gewicht is thans voldoende om deze verticaal naar boven gerichte krachten te compenseren.

Bij de uiteindelijk uitgevoerde aandrijving zijn hydraulische bewegingswerken ondergebracht in

* Zie hierover de bijdrage van ir. R. J. Schor.

De afsluiting van het Haringvliet

machineruimten die tegen de pijlers zijn aangebouwd. Voor de optredende grote belastingen verdient inderdaad een hydraulische aandrijving verre de voorkeur: per halve schuif moet tijdens het heffen een (verticale) kracht worden geleverd van circa 400 ton. Deze ontstaat ongeveer voor de helft door het eigen gewicht van de schuif, terwijl het restant in hoofdzaak voortkomt uit de golven. Weliswaar behoeven de schuiven bij hevige aanval uit het westen niet te worden geopend, maar het kan voorkomen dat na een langdurige stormperiode de waterstand in het Haringvliet zo sterk is gestegen (onder andere door de rivierdebeten), dat het nodig kan zijn de schuiven bij de eerste eb die daarvoor in aanmerking komt, te openen om het overtollig water te spuien. De golven kunnen dan wel degelijk nog zo krachtig zijn dat het bewegingswerk erdoor zwaar wordt belast.

Het bewegingswerk in elke machineruimte bestaat uit twee naast elkaar (enigszins hellend) geplaatste cilinders van 90 cm diameter. Door olie onder druk te pompen achter de plunjers, wordt via een trekstang en een tuimelconstructie (giek) de schuif omhooggetrokken.

Bij een belasting in de ophangstang van minder dan 400 ton kan de benodigde kracht bij de hydraulische cilinders oplopen tot circa 1400 ton. Een dergelijke grote kracht kan het beste door twee cilinders met plunjers worden opgenomen, waarbij de (enkele) trekstang er tussenin aangrijpt. Door de giek ook weer dubbelwandig uit te voeren en de ophangstang naar de schuif enkel te maken, zijn voor alle aansluitpunten behoorlijke oplossingen mogelijk.

Op grond van een foto-elastisch onderzoek is voor het materiaal van de giek ongeveer dezelfde staalsoort gekozen als voor de schuiven. Ook deze onderdelen worden namelijk aan sterke vermoeiing blootgesteld.

Wanneer een schuif gedeeltelijk geheven is, zal de eronder door trekkende spuisroom de staalconstructie in trilling kunnen brengen.

Bij de vervaardiging van de gieken is dan ook bijzondere zorg besteed aan het in elkaar lassen van de zeer zware platen. Alle lassen werden ook met röntgenstralen onderzocht.

De verbinding van de giek met de hydraulische aandrijving in de machinekamer wordt tot stand

gebracht door de hiervóór reeds genoemde grote trekstang van 400 mm diameter die met schroefdraad aan beide einden in de zware oogstukken wordt geschroefd.

De krachten in de cilinders worden aan de achterzijde via gietstalen ingebetonnerde stoelen rechtstreeks op het beton overgebracht.

De constructie van de cilinders en plunjers is, in verband met de hiervóór reeds genoemde trillingsverschijnselen tijdens het spuien, eveneens met behulp van proeven gecontroleerd.

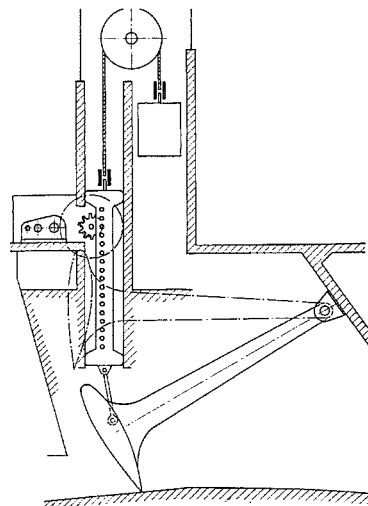
In het laboratorium van de Rijksuniversiteit te Gent was apparatuur aanwezig om vermoeiingsproeven te nemen aan de cilinder op ware grootte. Voor 136 te vervaardigen cilinders en plunjers was het de moeite waard de meest economische constructie te onderzoeken. Daartoe zijn onder meer op het model een aantal tubelures en aansluitingen van verschillende vorm en afmeting gelast om bij circa 1 miljoen trillingen na te gaan welke uitvoering het beste kon worden toegepast. Voor het heffen van de schuiven is in de ongunstigste omstandigheden een oliedruk van 150 atmosfeer vereist; de gehele beweging duurt ongeveer 20 minuten.

Het neerlaten van de schuiven geschiedt door het eigen gewicht zelf: door het openen van een afsluiter stroomt de olie onder druk via de pomp terug naar de tank.

Om in noodgevallen, wanneer de elektrische installatie geheel zou zijn uitgevallen, de schuif nog te kunnen heffen, zijn 4 verrijdbare noodinstallaties aangeschaft, bestaande uit een benzinemotor met eigen hydraulische pomp. Een dergelijk wagentje wordt over de nablaligger naar de betreffende pijler gereden.

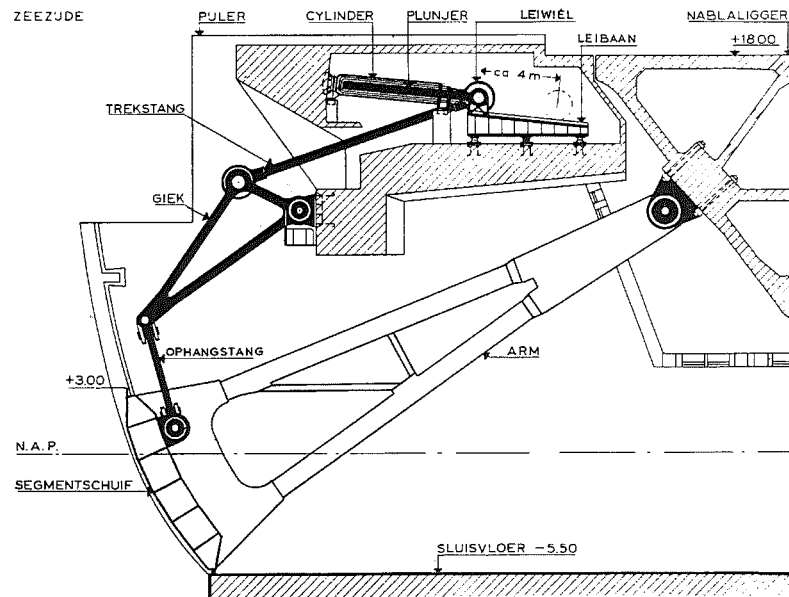
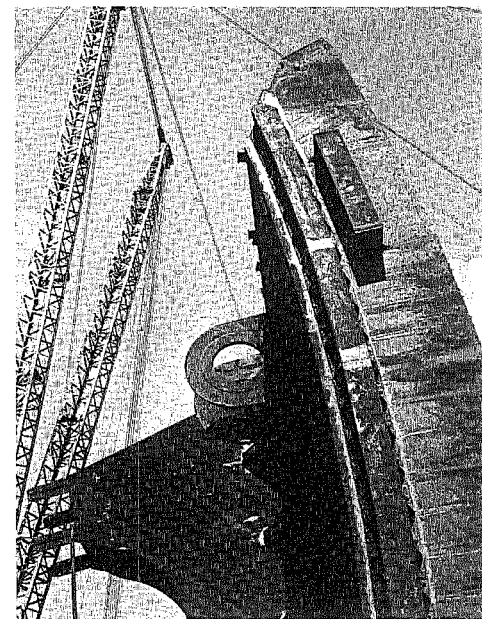
De elektrische installatie

De pompen van de hiervóór omschreven hydraulische bewegingswerken worden aangedreven door draaistroommotoren van 60 pk bij 500 Volt. Dit voor laagspanning maximale voltage is gekozen om het spanningsverlies in de kabels zo klein mogelijk te houden. Om dezelfde reden zijn de transformatoren voor de voeding over de gehele lengte van de spuisluis verspreid: om de andere pijler is er één geplaatst die in normale omstandigheden de schuiven van de twee naastgelegen openingen van stroom moet voorzien.

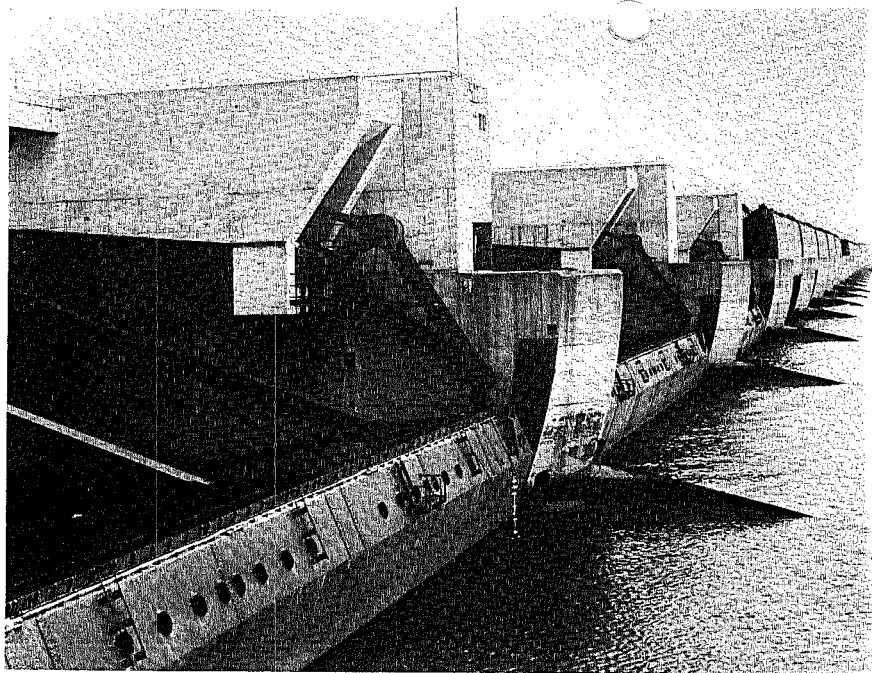


Voorontwerp van het bewegingswerk van de schuiven.

Foto rechts: schuif voor de zeezijde wordt gemonteerd bij Werkspoor-Utrecht.



Het definitieve ontwerp voor het bewegingswerk van de schuiven.



De gemonteerde segmentschuiven in het betonnen kunstwerk, gezien aan de rivierzijde.

Deze transformatoren worden op hun beurt door een hoogspanningsringleiding van 10 000 Volt gevoed. Deze ringleiding begint in het centraal bedieningsgebouw nabij het zuidelijk landhoofd: de spanning kan zowel door de hier opgestelde eigen dieselcentrale worden geleverd als door het Rotterdamse elektriciteitsnet. Op deze wijze is een grote reserve in de voeding aanwezig. Een analoge reserve bestaat ook in de andere onderdelen. Zo kan bijvoorbeeld bij een defect in de transformator door op afstand bediende schakelaars bij elke pijler een scheiding in het circuit tot stand worden gebracht, waarna de voeding van de betreffende transformatoren door één van de naburige trafo's kan worden overgenomen. De bediening van de dieselaggregaten geschiedt bij de motoren en op een bedieningspaneel in de naastgelegen schakelruimte.

Is aldus de gewenste spanning opgewekt, dan krijgt het sluispersoneel in de centrale bedieningsruimte op de hoogste verdieping van het gebouw een signalering daarvan op het grote paneel. Dit over een kwart cirkel gebogen paneel bevat alle belangrijke signaleringen van de 17 spui-ope-

ningen met de 34 schuiven. Zo worden onder andere de hefhogten van alle schuiven aangegeven. Ook wordt op het paneel de afsluiting met de opgepompte luchtbanden verklikt, terwijl tevens de aan de rivierzijde aangebrachte verwarming van de betonnen pijlers wordt weergegeven. Deze aanslagen worden 's winters namelijk verwarmd om ook bij strenge vorst de rivierschuiven te kunnen bewegen: deze doosvormige verwarmingselementen zijn gevuld met olie, die door middel van hierin aangebrachte weerstandsdraden op temperatuur kan worden gebracht.

De bediening van de schuiven geschiedt op een eveneens gebogen lessenaar, die voor het paneel is geplaatst. Daar worden met een keuzeschakelaar eerst de zee- of rivierschuiven als bedrijfschuiven gekozen, waarna voor alle schuiven de gewenste schuifopening (in centimeters) wordt vastgelegd.

Is op deze wijze voor de gehele spuisluis het voorgeschreven programma gereed, dan kan met een centrale schakelaar de beweging van alle schuiven worden ingeschakeld. Automatisch volgt dan, na het bereiken van de gewenste hefhoogte, het uitschakelen van de betreffende bewegingswerken.

Ir. M. Geleedst* en
Ir. W. A. Venis**

Onderzoek naar het dynamisch gedrag van de Haringvlietsluis

Bij de vaststelling van het tracé van de Haringvlietsluizen en de daarop aansluitende dammen is de te verwachten golfaanval op het kunstwerk een belangrijk punt van overweging geweest. Aangezien op het moment van de tracékeuze de kennis over de eigenlijke golfaanval op het kunstwerk nog vrij gering was, werd de tracékeuze voornamelijk gebaseerd op de kennis omtrent de afname van de golfbeweging vanuit de mond van het Haringvliet naar binnen toe. Voor de dimensionering van de sluis was het echter noodzakelijk de golfbelasting op het kunstwerk te leren kennen. Begonnen is daartoe met een modelonderzoek in de grote windgoot van het Waterlopkundig Laboratorium 'de Voorst' naar het karakter van de golfaanval. Al spoedig bleek, dat de vorm van de sluis onder water mede aanleiding was tot het optreden van brekende golven tegen de schuiven, waardoor zeer hoge, piekvormige belastingen ontstonden (1). De vorm van de sluis is daarop zodanig gewijzigd, dat brekende golven tegen de schuiven zoveel mogelijk worden voorkomen. Deze aanpassing was slechts mogelijk binnen het kader van de eisen, die aan het gebruik van de sluis werden gesteld. Bij de golfbelasting op de sluis wordt onderscheid gemaakt tussen de golfbelasting in horizontale zin, welke voornamelijk zal optreden, indien de schuiven gesloten zijn, en de golfbelasting in verticale zin, welke kan optreden, indien de schuiven gedeeltelijk geheven zijn. De horizontale belasting wordt via de schuiven, de schuifarmen en de nabaligger naar de fundering afgevoerd, terwijl de verticale belasting via de schuiven wordt overgedragen op de hefwerken.

Zo goed als de vorm van de sluis onder water voor een belangrijk deel werd bepaald door de horizontale belasting, zo werd de vorm van de schuif boven water in belangrijke mate bepaald door de verticale golfbelasting. Tijdens het onderzoek bleek dat een hogere schuif aanleiding geeft tot een lagere verticale belasting en omgekeerd. Evenzo geeft een hogere schuif echter aanleiding tot grotere horizontale belastingen. De gekozen schuifhoogten van NAP + 3 m voor de zeeschuif en NAP + 5 m voor de rivierschuif zijn mede

gebaseerd op een compromis met betrekking tot de horizontale en verticale golfbelasting.

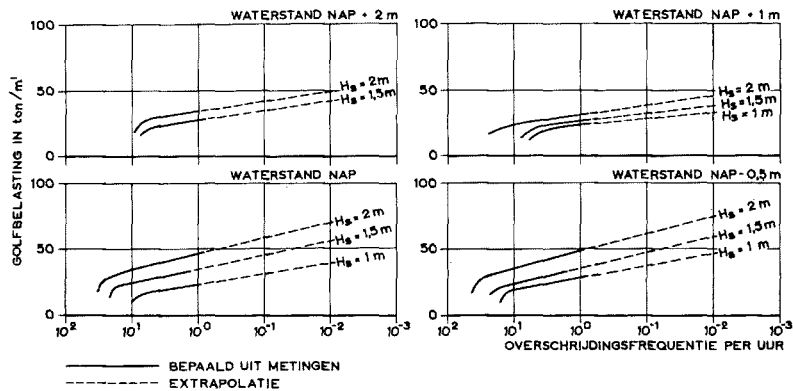
Ontwerpbelastingen

Nadat op grond van het vergelijkend modelonderzoek alle factoren in het sluisontwerp zelf, die invloed hebben op de golfbelasting zo goed mogelijk geminimaliseerd waren, was het noodzakelijk een uitspraak te doen met betrekking tot de belastingen, waarop de onderdelen van het kunstwerk tenslotte gedimensioneerd zouden moeten worden. In het Waterlopkundig Laboratorium zijn daartoe voor een groot aantal waterstanden en golven de horizontale en verticale belastingen op de schuiven bepaald. Bij een combinatie van waterstand en golf blijkt zowel de horizontale als de verticale golfbelasting sterk in grootte te variëren. Zo'n combinatie is derhalve niet gekenmerkt door één belasting, maar door een reeks belastingen, welke een zekere frequentieverdeling vertonen. Voor een aantal horizontale belastingen is dat geïllustreerd in figuur 1. Een dergelijke reeks belastingen moet echter een maximum kennen. Het is in het model niet mogelijk gebleken omtrent de waarde van dit maximum iets te weten te komen. Het in een meetserie gevonden maximum bleek volledig afhankelijk van de lengte van die meetserie, welke in het model gevarieerd is tussen twintig minuten en tien uur. Het karakter van de frequentieverdeling van de golfbelastingen bleek mede afhankelijk te zijn van het type golf, dat werd opgewekt: in de windgoot kunnen golven worden opgewekt door middel van een golfschot, door wind over het water te voeren of door middel van een combinatie van beide systemen. De golven, welke door wind alleen werden opgewekt bleken een grotere variatie in belasting te geven dan golven welke op andere wijze waren opgewekt. In de proeven ten behoeve van het ontwerp zijn dan ook veiligheidshalve alleen windgolven gebruikt.

Op grond van dit modelonderzoek kon niet zonder meer tot een ontwerpbelasting voor het kunstwerk worden besloten. Aangezien elke combinatie van waterstand en golf leidt tot een frequentieïjn van golfbelastingen, die aan de bovenzijde geen bekende begrenzing heeft, impliceert dit, dat elke belasting bij elke omstandigheid een bepaalde kans van optreden heeft, waarbij de grootte van

* Plaatsvervangend Hoofd van de afdeling 'Sluizen en Stuwten' van het Waterlopkundig Laboratorium, Delft.

** Hoofdingenieur Waterlopkundige Afdeling van de Deltadienst, Den Haag.



Figuur 1. Overschrijdingsfrequenties golfbelastingen voor diverse omstandigheden bepaald aan de hand van laboratoriumonderzoek.

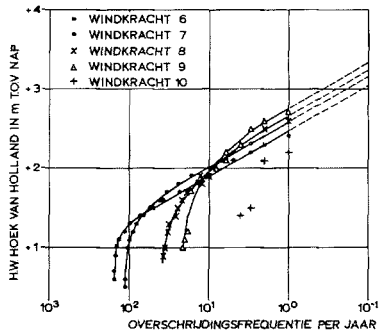
die kans afhankelijk is van de omstandigheid, die wordt beschouwd. In het prototype treden relatief lage waterstanden en lage golven vaker op dan relatief hoge waterstanden en hoge golven. Ter illustratie hiervan zijn de figuren 2 en 3 opgenomen.

Het was derhalve noodzakelijk de in het model gemeten frequentieverdelingen te enten op in het prototype verzamelde gegevens betreffende het gezamenlijk optreden van waterstanden en golven. Dit leidde tot een samengestelde frequentieberekening, waarbij voor een aantal belastingen het gemiddeld aantal overschrijdingen per jaar is bepaald. De op deze wijze berekende overschrij-

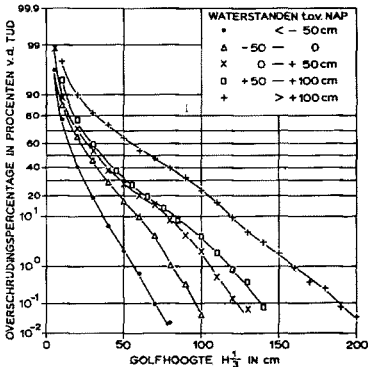
dingskromme voor de belastingen is tenslotte geëxtrapolerd naar een frequentie van circa 10^{-4} per jaar (2).

Voor de horizontale belastingen kon met deze werkwijze worden volstaan. Voor het bepalen van de ontwerpbelasting voor het hefwerk was het noodzakelijk over frequentiegegevens te beschikken betreffende het heffen en het weer laten zakken van de schuiven. Om hier enig inzicht in te verkrijgen is nagegaan hoe met de schuiven gemanipuleerd zou zijn, indien de sluis gedurende de periode 1950-1960 reeds aanwezig geweest zou zijn.

Figuur 2. Overschrijdingsfrequenties hoogwaterstanden te Hoek van Holland voor windkracht 6 tm 10.



Figuur 3. Overschrijdingsfrequenties golfhoogten bij verschillende waterstanden.



Dynamisch gedrag

In het modelonderzoek is voor de bepaling van de horizontale belastingen een ander principe gevolgd dan voor de bepaling van de verticale belastingen. In het laatste geval is het hefwerk als een elastisch medium in het model gereproduceerd, zodat de belastingen direct, dat wil zeggen inclusief de dynamische effecten, konden worden gemeten. Gezien het gecompliceerde karakter van de reactie van het kunstwerk op horizontale belastingen is de golfbelasting in dit geval bepaald met behulp van drukopnemers, welke in een star model waren geplaatst. De reactie van de schuiven en de nablijgger is naderhand door berekening vastgesteld. Deze berekeningen zijn verricht door een werkgroep, waarin naast vertegenwoordigers van de Rijkswaterstaat en het Waterloopkundig Laboratorium ook vertegenwoordigers van het Mathematisch Centrum en diverse TNO-instituten zitting hadden. Uit de berekeningen bleek, dat de golfbelastingen, om deze voor een equivalent statische berekening geschikt te maken, vermenigvuldigd moesten worden met een factor 1,35 voor de schuiven en een factor 2 voor de nablijgger.

Vraagpunten

Hoewel de ontwerpbelastingen voor zowel het kunstwerk als geheel, als voor de diverse onderdelen zo goed mogelijk met de toen beschikbare kennis zijn bepaald, bleef er een aantal vraagpunten onbeantwoord. Ook een voortgezette laboratoriumstudie zou op deze vragen geen antwoord kunnen geven. Een aantal van de belangrijkste problemen wordt hieronder puntsgewijze genoemd.

a. Indien een sectie van de sluis door golven wordt belast, treedt die belasting dan simultaan over de volle breedte van de sectie op of slechts over een deel ervan? In de berekeningen is aangenomen, dat de belasting over de volle breedte van de sectie simultaan optreedt, omdat dan de belasting op het kunstwerk maximaal is.

b. De waarde van de ingevoerde stootcoëfficiënt ten behoeve van de statische berekening, is sterk afhankelijk van het verloop van golfbelasting in de tijd. Naarmate de belasting sneller toeneemt, heeft de stootcoëfficiënt de neiging toe te nemen. In de

berekeningen is met de maximale waarde van de stootcoëfficiënten gewerkt, zoals die volgden uit het belastingverloop met de tijd in het model.

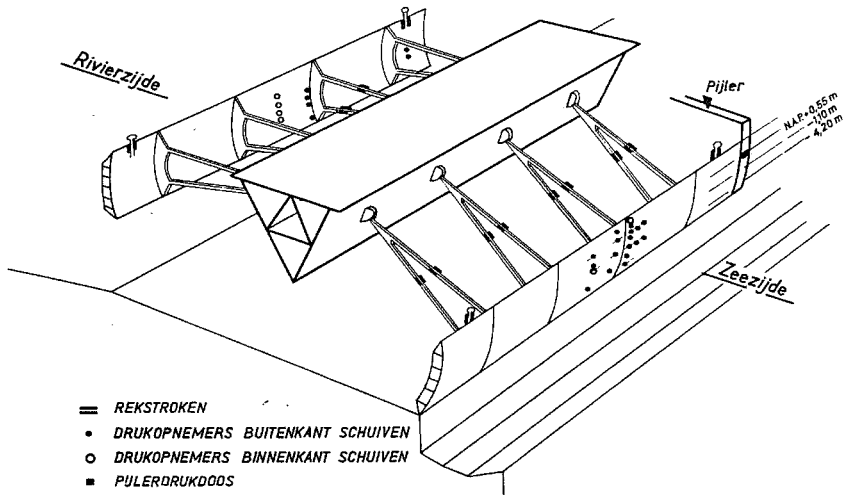
c. De proeven in het laboratorium zijn verricht met golven, welke werden opgewekt door wind alleen. Het energiedichtheidspectrum van zulke golven is vrij smal, hetgeen inhoudt, dat de periode van de golven vrijwel constant is. In het prototype zal onder stormomstandigheden een breder spectrum optreden, waardoor waarschijnlijk ook een grotere spreiding in golfperiode en golfsteilheid zal optreden.

d. Nauw hierop sluit de vraag aan welke schaal-effecten aanwezig zijn in de belastingmetingen zelf. Het inzicht wint veld, dat laboratoriumproeven op kleine schaal de neiging hebben tot te grote waarden van de belastingen te voeren. Over het verschil in absolute waarde tussen model en prototype is echter weinig bekend.

Prototype-metingen

Mede op grond van deze vragen is in een vroeg stadium door de Deltadienst opdracht gegeven aan het Waterloopkundig Laboratorium en het Instituut TNO voor Werktuigbouwkundige Constructies tot het uitvoeren van prototype-metingen aan de Haringvlietsluizen. Deze metingen zouden zowel antwoord moeten geven op de vragen met een fysieke achtergrond – zoals de hierboven geciteerde – als op de vragen met een meer statistische achtergrond. Onder deze laatste categorie vallen vragen met betrekking tot de juistheid van de in het laboratorium gemeten frequentieverdelingen van de golfbelasting en de juistheid van de door berekening bepaalde samengestelde kansdichtheid van de belastingen. De metingen, welke zijn en nog zullen worden uitgevoerd, kunnen worden onderverdeeld in:

1. *Excitatiemetingen*, met als doel het bepalen van de karakteristieke grootheden van de nablijgger en de schuiven en de invloed van het omringende water.
2. *Momentane correlatiemetingen*, met als doel:
 - a. het bepalen van de samenhang tussen de hydrodynamische grootheden en de op het kunstwerk uitgeoefende krachten onder extreme omstandigheden.



Figuur 4. Overzicht meetsectie met plaatsaanduiding rekstroken en drukopnemers.

- == REKSTROKEN
 - DRUKOPNEMERS BUITENKANT SCHUIVEN
 - DRUKOPNEMERS BINNENKANT SCHUIVEN
 - PULSERDRUKDOOS
- b. het – mede op grond van de onder 1 verkregen meetresultaten – bepalen van omstandigheden waaronder beperkingen opgelegd moeten worden aan het manipuleren met de schuiven.
 - c. het aanvullen van de statistische gegevens, verkregen met de onder 3 te noemen metingen, voor zeer extreme omstandigheden.
 3. **Tijdcorrelatiemetingen** met als doel het verzamelen van statistische gegevens betreffende de omstandigheden op zee en op het Haringvliet en de daarbij optredende krachten in het kunstwerk.
 4. **Permanente bewakingsmetingen**, met als doel het signaleren van de belasting op een hefwerk ter voorkoming van overbelasting.

Grootheid	Instrument
windsnelheid	windsnelheids- en windrichtingsmeter op golfmeetpaal
waterstand aan de zeezijde	registrerende peilschalen
waterstand tussen de schuiven	
waterstand aan de rivierzijde	
golven op zee	golftmeetpalen en radar
golven op de rivier	
stand der schuiven	schuifstandsmeters
golf- en stroomdruk tegen de schuiven	drukdozen in de schuifbeplating en rekstroken op de schuifarmen en de hefwerken
trilling van de schuiven en de liggers	versnellingsopnemers

De excitatiemetingen zijn inmiddels uitgevoerd, terwijl met de overige metingen direct na de ingebruikneming van de sluis een aanvang is gemaakt. Alvorens in te gaan op de resultaten van de excitatiemetingen wordt een beschrijving gegeven van de meetinstallatie ten behoeve van het momentane correlatie-, de tijdcorrelatie- en de permanente bewakingsmetingen.

De meetinstallatie

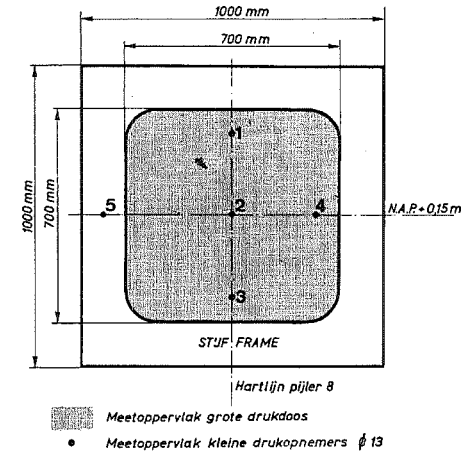
Met het oog op de gestelde doeleinden is besloten de volgende grootheden te meten:

De metingen worden in hoofdzaak uitgevoerd aan sectie 8, die vanwege zijn centrale ligging representatief te achten is voor de gehele sluis. Aanvullend worden, om randeffecten en de invloed van de golfdempende constructies in de landhoofden na te gaan, de krachten gemeten in één arm van elk van de secties 1, 12 en 16. Zoals uit figuur 4 blijkt, worden de metingen vooral ge-

concentreerd op golfaanval uit zee: op zeeschuif 8 zijn 18 naar de zeezijde gerichte drukopnemers geplaatst en op rivierschuif 8 slechts 6 naar de rivierzijde gerichte drukopnemers. Bovendien is aan de zeezijde op pijler 8 nog een zogenaamde pijlerdrukdoos geplaatst (figuur 5). Dit instrument, waarmee het verkrijgen van een meer gedetailleerde kennis van het fysisch gebeuren tijdens een golfklap wordt beoogd, bestaat uit een drukdoos met een meetoppervlak van 0,5 m², waarop vijf kleine drukopnemers met een diameter van 13 mm zijn aangebracht. Ditzelfde type drukopnemer is in de schuiven gemonteerd.

Gezien het totale aantal benodigde meetopnemers (circa 70) is gestreefd naar een ver doorgevoerde uniformering van de meetkanalen. Deze kanalen bestaan in principe uit een opnemer die door middel van een kabel verbonden is met een aansluitkast van waaruit de opnemer naar keuze verbonden kan worden met een versterker, waarachter weer de registratie en/of verwerkingsapparatuur geschakeld kan worden.

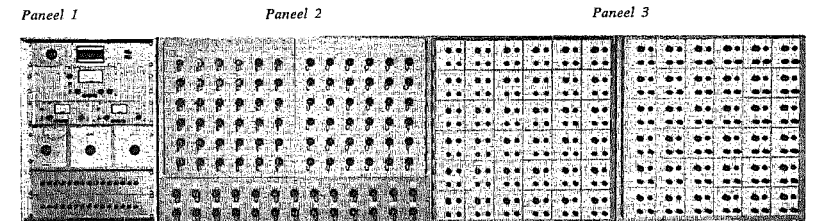
Aangezien voor de meting van de krachten in de armen en de hefwerken rekstroken de meest aangewezen 'opnemers' zijn, is ook voor de druk- en de versnellingsopnemers gekozen voor op het rekstrookprincipe gebaseerde opnemers. Voorts past in dit uniformeringsprincipe het verenigen van alle aansluitingen van de her en der over de sluis verspreide opnemers in één kast en het centraal opstellen van deze kast in een daartoe op de tussenvloer van ligger 8 gebouwd meethuisje. De kast bestaat uit een aantal panelen, waarvan er een drietal zichtbaar is op figuur 6: paneel 3 bevat 72 afregel-kalibreerinstellingen (voor elk kanaal



Figuur 5. Pijlerdrukdoos.

één met 9 reserve). Vanuit dit paneel worden de signalen naar keuze doorgestuurd naar de registratie- en/of verwerkingsapparatuur voor de momentane correlatie-, de tijdcorrelatie- en de permanente bewakingsmetingen. Zo worden de voor de momentane metingen benodigde signalen vanuit paneel 3 gevoerd naar paneel 2, dat in feite het schakelpaneel is voor de momentane correlatiemetingen. Uit de aangeboden signalen kan – afhankelijk van het te onderzoeken ver-

Figuur 6. Aansluitkast



schijnsel – een keuze worden gedaan tot een maximum van 26 signalen die doorgestuurd worden naar evenzovele in het onderste gedeelte van paneel 1 opgestelde versterkers. Deze zijn rechtstreeks verbonden met de registratieapparatuur ten behoeve van de momentane correlatiemetingen. Op overeenkomstige wijze worden vanuit paneel 2 signalen doorgestuurd naar de registratie- en verwerkingsapparaten ten behoeve van de tijdcorrelatiemetingen en de permanente bewakingsmetingen. Tenslotte zijn in paneel 1 nog aangebracht de voedingsapparatuur voor de rekstrookbruggen en enkele instrumenten die een functie hebben bij het afregelen, kalibreren en controleren van de afzonderlijke meetkanalen.

In dit centrale systeem zijn niet opgenomen de meetkanalen en opnemers die ook doeleinden buiten het kader van de meetcampagne dienen; zoals windsnelheids-, windrichtings-, golf-, waterstands- en schuifapparatuur. De versterkte signalen voor de momentane correlatiemetingen worden voor verdere bewerking door een computer vastgelegd op taperecorders. Tot een aantal van 26 kunnen de signalen simultaan geregistreerd worden.

De signalen voor de tijdcorrelatiemetingen worden ter plaatse verwerkt. Hiertoe is in het meethuisje een kleine computer geplaatst die continu het aantal overschrijdingen per half uur telt van zowel een naar keuze in te stellen waarde van een armkracht aan de zee- als aan de rivierzijde. Zodra van één van deze armkrachtensignalen het aantal niveau-overschrijdingen per half uur 10 of meer bedraagt, wordt begonnen met een tijdcorrelatiemeting. De computer begint dan, aan die zijde waar het aantal armkrachtoverschrijdingen daartoe aanleiding geeft, het aantal overschrijdingen van alle (10) niveau's van de (8) bij de tijdcorrelatiemetingen aan die zijde betrokken meetkanalen te tellen. Na afloop van elk halfuur worden alle (80) gevonden getallen getypt en gepost. De meting stopt zodra het aantal overschrijdingen van het 'sturende' niveau van het armkrachtensignaal lager wordt dan tien per half uur. De computer gaat dan weer over tot het bewaken van de twee armkrachtensignalen.

Behalve een type- en ponsenheid is aan de computer nog een telefoon-beantwoordingsapparaat

aangesloten, waaraan door de computer informatie wordt aangeboden met betrekking tot de in het afgelopen half uur getelde overschrijdingen van de armkrachtniveau's. Deze informatie wordt tevens vastgelegd op een in het Centrale Bedieningsgebouw opgestelde penschrijver.

Het signaal voor de permanente bewakingsmetingen wordt aangeboden aan een in het Centrale Bedieningsgebouw opgesteld apparaat dat in wezen bestaat uit een aantal lampen die bij overschrijding van ingestelde belastingwaarden continu gaan branden.

Excitatiemetingen

Gedurende de winter van 1966/67 zijn aan het kunstwerk metingen uitgevoerd die tot doel hadden de mechanische eigenschappen van de sluis te leren kennen; enerzijds om het aantal voor de in het vóórstaande beschreven meetcampagne benodigde meetkanalen zoveel mogelijk te kunnen beperken, anderzijds om een degelijker basis te hebben voor de interpretatie van de meetresultaten. Een methode om deze eigenschappen te vinden, is het in trilling brengen van de sluis door middel van een sinusvormig verlopende kracht bij verschillende frequenties en amplituden. Hierbij worden de bewegingen van een groot aantal punten van de sluis en de grootte van de aanstootkracht simultaan gemeten. Omdat het gedrag van de sluis onder invloed van een dergelijke belasting mede wordt bepaald door de waterstand zijn de metingen uitgevoerd vlak vóór en tijdens het vol lopen van de bouwput.

Deze metingen zijn gesplitst in twee groepen:

- a. Aanstoten van zeeschuif 8 in de richting van de koorde met behulp van een hydraulische pulsator (een apparaat dat in principe is samengesteld uit een dubbel werkende cilinder welke met ogen is bevestigd aan de schuif en aan een op de sluisvloer bevestigd juk (figuur 7). Bij verschillende combinaties van schuif- en waterstanden zijn de krachten in de hefwerken van zee- en rivierschuif 8, alsmede de bewegingen van die schuiven en van de liggers 7, 8 en 9 gemeten bij frequenties van 1-20 Hz. Voor de verschillende combinaties van schuif- en waterstanden werden in dit frequentiegebied drie resonantiefrequenties gevonden met

de daarbij behorende eigen trillingsvormen, namelijk:

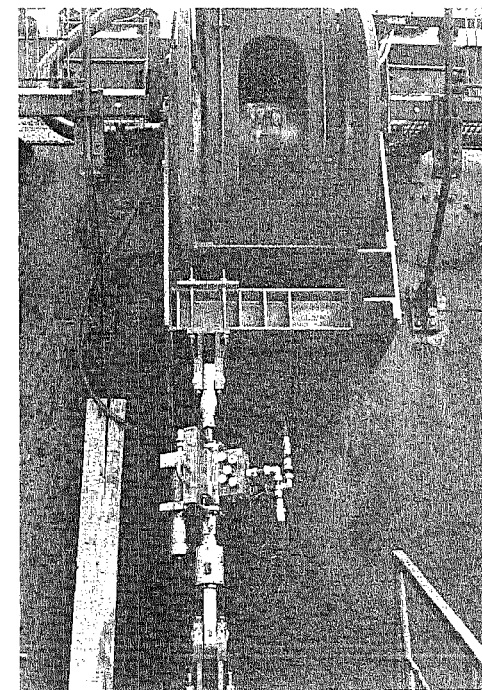
- de laagste frequentie: een symmetrische trillingsvorm, waarbij de als stijf gedachte schuif in de hefwerken op- en neer beweegt;
- de tweede frequentie: een keersymmetrische trillingsvorm, waarbij de stijve schuif in de hefwerken roteert;
- de derde frequentie: een symmetrische trillingsvorm, waarbij de schuif in zijn vlak vervormt in een bewegingsvorm met één buik en twee knopen en waarbij de uiteinden van de schuif vrij bewegen.

De waarden van die resonantiefrequenties zijn voor alle combinaties verschillend. Ter illustratie is in tabel 1 een overzicht gegeven van de gevonden resonantiefrequenties f_0 bij een 0,25 m boven de sluisvloer geheven schuif (onderkant op NAP –5,25 m) en een viertal waterstanden.

Tabel 1.

waterstand in m t.o.v. NAP	symmetrisch		keer- symmetrisch		2-knoops verticaal	
	f_0 Hz	Q	f_0 Hz	Q	f_0 Hz	Q
– 5,5	2,37	17	3,76	15	8,24	83
– 4	2,40	13	3,77	13	8,11	50
– 2	2,10	14	3,31	14	7,52	28
+ 0,3	1,95	10	3,15	11	6,95	38

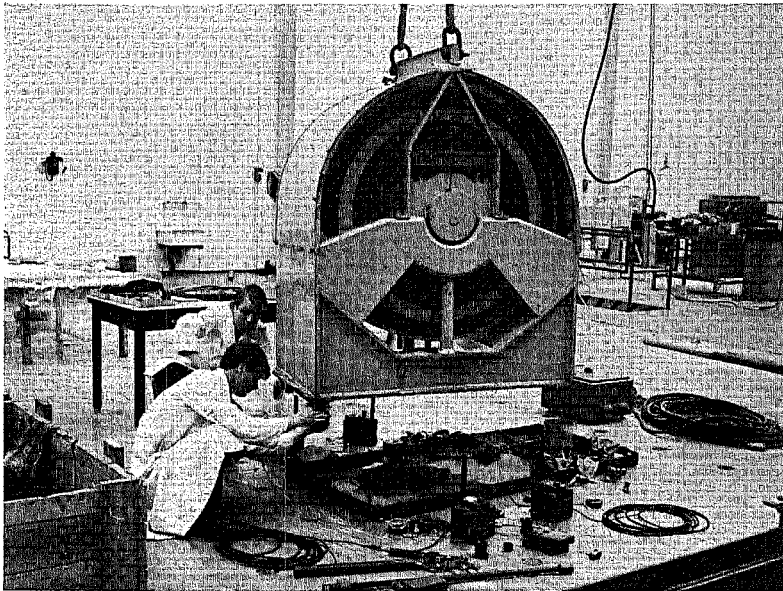
Hieruit blijkt dat de resonantiefrequenties lager worden naarmate de waterstand hoger wordt. De oorzaak hiervan is gelegen in het feit dat bij het hoger worden van de waterstand de indompelingsdiepte toeneemt en daarmee de schijnbare massa van de schuif als gevolg van het meebewegen van het water. Om dezelfde reden blijkt ook de opslingerfactor Q (een reciproke waarde van de demping) de neiging te hebben af te nemen bij toename van de indompelingsdiepte. Het aanmerkelijke verschil in opslingering tussen de symmetrische en de keersymmetrische trillingsvorm enerzijds en de 2-knoops verticale



Figuur 7. Pulsator, bevestigd aan de bovenkant van de schuif (verbindingpunt schuif-hefwerk) en aan de onderkant bevestigd aan het op de sluisvloer geplaatste juk (van dit juk is alleen de bevestiging aan de pulsator zichtbaar).

trillingsvorm anderzijds vindt zijn oorzaak in het feit dat de demping in het eerste geval vooral geleverd wordt door de hefwerken en in het tweede geval door de staalconstructie van de schuif.

- b. Aanstoten van ligger 8 met behulp van een roterende vrije-krachtexcitator (een apparaat dat in principe bestaat uit twee tegen elkaar in draaiende vliegwielen met instelbare onbalans welke op de tussenvloer van ligger 8 is geplaatst (figuur 8). De stand van zee- en rivierschuif 8 is bij verschillende waterstanden gevarieerd, terwijl zowel in verticale als in horizontale richting is aangestoten met frequenties van 3-11 Hz. Gemeten zijn de krachten in de armen van zee- en rivierschuif 8, de bewegingen van die schuiven en van de liggers 7, 8 en 9, alsmede de waterdrukken tegen zee- en rivierschuif 8. Zowel horizontaal als verticaal werd voor de



Figuur 8. Excicator gefotografeerd tijdens onderhouds- en controlebeurt in het laboratorium van het Instituut TNO voor Werktuigkundige Constructies.

verschillende combinaties van schuif- en waterstanden één resonantiefrequentie aangetroffen. De resultaten zijn verzameld in tabel 2.

horizontaal f_0 in Hz	verticaal f_0 in Hz	schuifstanden	waterstand
7,37	5,71	beide schuiven los van de vloer	droog
7,50	6,29	beide schuiven rustend op de vloer	NAP
8,00	6,50	beide schuiven los van de vloer	NAP
	5,95	riverschuif boven water	NAP
7,60	5,80	beide schuiven boven water	NAP

Naast deze resonantiefrequenties werden de volgende gegevens uit deze metingen verkregen:

- er bestaat een koppeling tussen de verticale en de horizontale bewegingen via de schuiven en het water;
- de mate van beweging van de ligger bij de oplegpunten is in orde van grootte de helft van die in het midden;
- de in ligger 8 opgewekte trillingen planten zich voort en zijn goed meetbaar in de naastliggende pijlers en liggers.

Literatuur

1. Proceedings IAHR Congress 1959 te Montreal. E. W. Bijker, M. A. Aartsen and W. C. Bischoff van Heemskerk: 'Wave impacts on the steel gate of a discharge sluice'. M. A. Aartsen and W. A. Venis: 'Model investigations on wave attack on structures'.
2. Proceedings Seventh Conference on Coastal Engineering 1960 te 's-Gravenhage. W. A. Venis: 'Determination of the wave attack, anticipated upon a structure from laboratory and field observations'. J. E. Prins: 'Model investigations of wind-wave forces'.
3. Driemaandelijks Bericht van de Deltawerken: nrs 12, 15, 20, 23, 42 en 54.

De wijze van vervaardigen van dergelijke grote objecten kon uiteraard niet los worden gezien van de overige fasen van het integrale bouwproces: aanvoer - deelfabricage - assemblage - transport - conservering en montage. Een analyse van het geheel was nodig met als voornaamste criteria: de uiteindelijke kosten, de bouwtijd en de veiligheid.

Door de bijzondere ligging van het spuisluizencomplex, dicht aan zee, moeilijk bereikbaar en vaak bezocht door slecht weer, werd besloten de schuiven in zo groot mogelijke delen geheel gered te maken in de fabrieken. Ook de bewerkingen van het op elkaar passend maken van de delen en de conservering werden naar de fabrieken overgebracht. Dit, om - in tegenstelling tot de gangbare bouwwijze - de omvang der werkzaamheden op de bouwplaats tot een minimum te beperken en wel juist die werkzaamheden welke door slecht weer stagnatie zouden kunnen ondervinden.

Natuurlijk vergde deze volgorde van werken het transport van abnormaal zware stukken, doch juist door het grote aantal (totaal 136) gelijkvormige transporten kon dit probleem toch op een economische wijze worden opgelost. Hiermede werd aan een belangrijke voorwaarde voldaan: het zonder kostenverhoging veilig stellen van de bouwtijd. Hierna volgden maatregelen, genomen om zoveel mogelijk economisch voordeel te behalen uit de omstandigheid dat het werk bestond uit series gelijkvormige delen.

De omvang bracht met zich mede dat een groot aantal bedrijven werd ingeschakeld voor de fabricage, te weten: Begeman (Helmond), Braat (Rotterdam), Gusto (Schiedam), Hollandia (Krimpen), Ned. Staalindustrie (Rotterdam), De Vries Robbé (Gorinchem), Swarttouw (Vlaardingeng) met Werkspoor-Utrecht als hoofdaannemer.

Genoemde firma's vervaardigden de delen (secties) waaruit de schuiven zijn opgebouwd en welke gemiddeld 25 ton zwaar zijn, en leverden deze secties tenslotte toe aan de twee assemblage-bedrijven.

De 17 schuiven aan de rivierzijde werden geassembleerd door Kloos (Kinderdijk), die voor dit doel een werkplaats en een deel van de werf van de Rotterdamse Droogdok Maatschappij

aan de Nieuwe Maas had gehuurd. De 17 schuiven aan de zeezijde werden geassembleerd door Werkspoor-Utrecht op haar fabrieksterrein.

De fabricage van de secties werd op zodanige wijze verdeeld onder de toeleverende firma's, dat zoveel mogelijk gelijke secties bij eenzelfde bedrijf werden vervaardigd. Hiermede werd bewust afgeweken van de normale gang van zaken bij constructiewerken, waarbij een bedrijf de fabricage van een complete constructie liefst van begin tot einde voor zijn rekening neemt.

De economische voordelen springen in het oog: maximum profijt van seriefabricage en gelijkmatige werkbezetting. Immers, men kon zich inrichten voor de productie van 34, 68 of 102 onderling precies gelijke delen over een tijdsbestek van ruim één jaar. Natuurlijk zijn deze voordelen niet geheel gratis. Als gevolg van de bijzondere splitsing van het werk, was het nodig zeer hoge eisen aan de maatnauwkeurigheid te stellen, ten einde zekerheid te hebben dat de bij verschillende bedrijven vervaardigde secties onderling zouden passen bij de assemblage.

Daar de secties gelaste kokervormige constructies zijn, hebben zij een enorme inhaerente stijfheid. Het is nagenoeg niet mogelijk maatafwijkingen later te corrigeren. Daarom is er van de aanvang af naar gestreefd volkomen uniformiteit van de onderdelen te verkrijgen, alsook volkomen uniformiteit van de werkwijze, voornamelijk het lassen, teneinde te geraken tot onderling gelijke delen.

Om aan deze eisen te voldoen is op ruime schaal gebruik gemaakt van snijmallen, lasmallen en aanbouwmallen. Laskanten zijn mechanisch bewerkt teneinde de maatnauwkeurigheid te waarborgen. Voor het samenbouwen werden zware klemmallen gebruikt die nauwkeurige onderlinge instelling van de delen mogelijk maakten. In totaal is er door de 8 bedrijven voor de mallen ongeveer 500 ton materiaal verwerkt.

Verder was het essentieel, dat op vele van tevoren bepaalde fasen in het productieproces de afmetingen werden gecontroleerd, vóórdat tot de volgende fase werd overgegaan. Hiervoor diende een aantal controlemallen. Tenslotte werd na het gereedkomen van een sectie met een speciaal geconstrueerde meetmal met 13 controlepunten

* Adjunct-directeur Werkspoor, Utrecht.

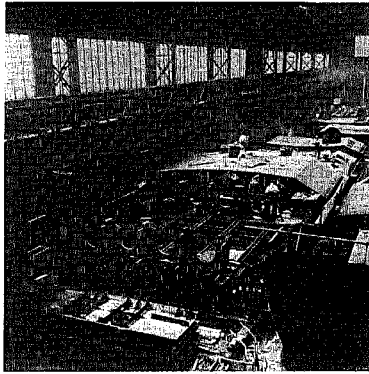
Vervaardiging van secties met behulp van aanbouwmallen. Op de voorgrond een 'lege' mal.

nagegaan of alle punten de juiste positie in de ruimte hadden, vóórdat de sectie door het assemblagebedrijf werd overgenomen van het toeleverende bedrijf.

Het is begrijpelijk dat zich bij de eerste secties moeilijkheden hebben voorgedaan met betrekking tot de maatafwijkingen, maar na het verkrijgen van routine konden verrassend spoedig de secties worden afgeleverd met afwijkingen binnen toelaatbare grenzen.

Als men bedenkt dat voor elk van de 13 controlepunten de tolerantie slechts 1,5 mm in alle richtingen bedroeg, dan mag de gevolgde werkwijze gerust een succes worden genoemd.

Om op deze plaats nog enige cijfers te noemen: in totaal werden 102 km Union-Melt K-las met dubbele kop verwerkt; 4 km Union-Melt V-las; 100 km met de hand gelegde K-las en 20 km lasnaad van verschillende soort in de armstukken. Bij de twee assemblagebedrijven werden de secties aanééngebouwd tot complete schuiven, wederom met het aanhouden van rigoreuze tol-



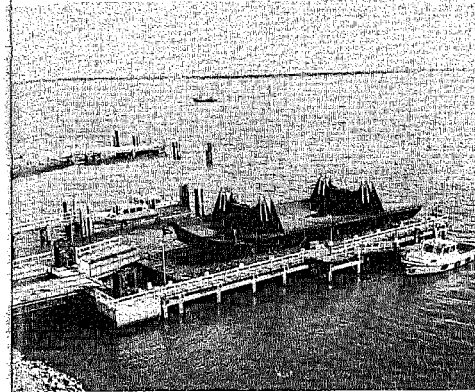
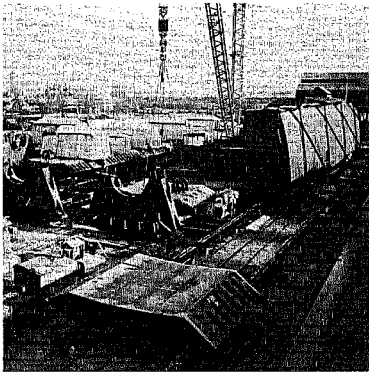
ranties. Punt van uitgang was de bodemlijn van de schuif.

De verbindingen tussen de secties werden geklonken, met uitzondering van de middennaad, die overigens wel geheel pasklaar gemaakt en geruimd werd.

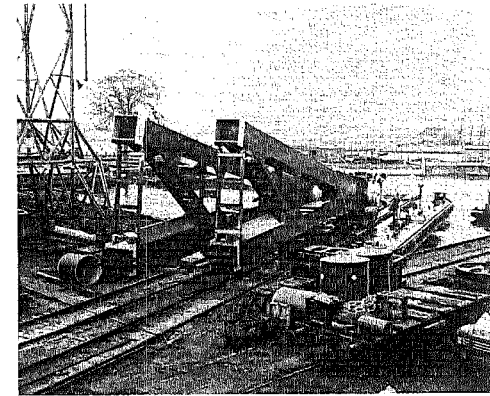
De schuiven werden dan overeind gekanteld om de armen te kunnen aanbrengen in een voordeliger positie. Ook de verbindingen van de armen werden geheel pasklaar gemaakt teneinde later bij

Links: controle van gereedgekomen sectie en moedermal met 13 controlepunten.

Onder: assemblage van schuiven bestemd voor de zeezijde met behulp van een 100 tons-Derrickkraan. Op het liggende deel (links) staan wegneembare plastic tenten om bij slecht weer te kunnen doorwerken.



Transport van een halve schuif op spoorwegpont.



Transport van een stel armen compleet met draaipunten.

de montage de stand van de armen ten opzichte van de schuif nauwkeurig te kunnen reproduceren.

In geheel opgebouwde toestand werden vervolgens nauwkeurige metingen verricht om de juiste ligging van de draaiingsas te bepalen, alsook de hartlijn van de ophangpunten aan de schuifuiteinden. Op de draaipunten werd de positie van de hartlijn afgetekend; daarna konden de armen worden gedemonteerd van de schuiven. Zij werden in een speciale werkplaats voor een kottorbank gebracht voor de definitieve bewerking van de draaipunten.

Na de assemblage volgde het conserveren. Daar de eenheden – halve schuiven met een gewicht van circa 200 ton en afmetingen van 13 x 28 meter – abnormaal groot waren, zijn speciale loodsen gebouwd waarin achtereenvolgens het stralen en het opbrengen van de verflagen werd verricht. Gestraald werd met korund (aluminiumoxyde) terwijl de 4 verflagen – een zinkcompoundlaag, een aluminium verlaag en twee lagen koolteerepoxyverf – met zogenaamde 'airless' spuiten werden aangebracht. De schuiven en de armen zijn dus afgeleverd met een volledige bescherming. Bij de verdere behandeling werden maatregelen genomen om te voorkomen dat deze beschermingslagen zouden worden beschadigd.

De armen en draaipunten vereisten nog een aanvullende bewerking, namelijk het aanbrengen van de assen en lagers. Dit gebeurde in een aparte werkplaats, waar de circa 12 ton wegende assen in de draaipunten werden geschoven.

Om het inbrengen mogelijk te maken, werden de assen eerst 40° C afgekoeld. De zware rollenlagers werden daarna aangebracht, met olie gevuld en beproefd. Ook de stelvullingen tussen lagers en fundatie op de nabaligger werden van tevoren klaargemaakt, uitgaande van zeer nauwkeurig opgemeten posities in de ruimte van de fundaties op de bouwplaats.

Voor het transport naar de bouwplaats werden twee 500 tons-pontons van 35 meter ingericht als spoorwegpontons met dubbel spoor. Het vervoer van de assemblageplaats naar achtereenvolgens de conserveringsloodsen en de bouwplaats vond plaats met speciale lorries op dubbel spoor, zodanig ingericht dat de belasting statisch bepaald over de 16 assen werd verdeeld. 68 transporten van Utrecht uit en evenzoveel van Rotterdam uit werden uitgevoerd volgens een zeer strak tijdschema over een periode van anderhalf jaar.

De vaarroute was Amsterdam-Rijnkanaal – Lek – Nieuwe Maas – Oude Maas – Spui, waar de nacht werd afgewacht voor de oversteek van het Haringvliet.

Terugblikkend op deze voor Nederland ongewoon omvangrijke fabricage van 17 000 ton zwaar en hoogwaardig constructiewerk, kan men zeggen dat het welslagen ervan te danken is geweest naast de onontbeerlijke toewijding van alle betrokkenen, aan een duidelijk en tijdig onderkennen van alle organisatorische, technische en controleproblemen en het in een vroeg stadium beramen van passende oplossingen daarvoor.

De montage van de schuiven

Het monteren van de schuiven kan in principe zowel in den droge als in den natte geschieden. De volgende overwegingen hebben gegolden bij het bepalen van de keus.

Bij een montage in den droge kunnen schuifdelen worden aangevoerd, en wel de armen afzonderlijk en de schuifwand in meerdere delen. Dit maakt het transport eenvoudig.

Bij een montage in den natte is het noodzakelijk complete schuiven aan te voeren, met de armen en de draaipunten gemonteerd. Dit betekent het transport van zeer grote eenheden met vier zijdelings uitstekende armen. Geen enkele fabriek was in staat dergelijke grote eenheden te assembleren. Aparte bouwplaatsen zouden gemaakt moeten worden in verband met het transport in de omgeving van Rotterdam. Bij de montage van de schuiven zou – vooral aan de zeezijde – gerekend moeten worden met onrustig water. Monteren met drijvende bokken is dan uitgesloten. De enige mogelijkheid was geweest, speciale pontons te bouwen, die gedeeltelijk uit het water zouden moeten worden gevijeld langs op de bodem staande poten, zoals bij boorplatforms wel gebeurt. Het op de goede plaats zetten van deze ponton zonder de schuif te beschadigen tegen de pijlers zou echter praktisch onuitvoerbaar zijn.

In verband hiermede werd al vroeg besloten de schuiven in den droge te monteren.

Zoals uit de beschrijving van het ontwerp van de schuiven blijkt, is de constructie van de schuifwand vrij gecompliceerd. Het ontwerp leende zich echter zeer goed voor een fabricage in delen. Hiervóór is reeds beschreven, dat bij de fabricage iedere schuif verdeeld was in twee eindstukken, vier armstukken, zes tussenstukken en vier armen met draaipunten, totaal dus 16 stukken; voor 34 schuiven betekende dit 544 stukken. Deze stukken zouden op de bouwplaats in het Haringvliet aangevoerd kunnen worden en daar geassembleerd. De bouwplaats was gelegen in de bouwput en dus vanaf een loswal alleen per as bereikbaar. De secties zouden derhalve met een bok of een hijsmast op lorries gezet moeten worden en naar de samenbouwplaats moeten worden gebracht. Daar deze handelingen voor grote of kleine stukken niet

* Hoofdingenieur Rijkswaterstaat, Directie 'Bruggen', Voorburg.

veel verschil maken, omdat bovendien de bouwput moeilijk bereikbaar was en dus veel uren verloren zouden gaan met reizen, werd besloten de schuiven te assembleren op twee bouwplaatsen, namelijk één bij Werkspoor-Utrecht en één bij de RDM te Rotterdam.

Door de aansluiting van de armen aan de schuifwand en de middennaad van de wand alleen te ruimen maar niet te klinken kon iedere schuif voor het vervoer gedemonteerd worden in zes delen, namelijk de vier armen en twee schuifhelften. De armen werden na demontage voorzien van de draaipuntassen, de lagers en de lagerhuizen en wogen dan 60 ton voor de armen zeezijde en 80 ton voor de armen oerzijde. De schuifhelften wogen circa 200 ton.

Een groot aantal stukken moest vervoerd worden. Naar Werkspoor-Utrecht waren dit 166 stukken (Werkspoor zelf maakte 72 tussenstukken en 34 eindstukken) en naar de RDM 17 x 16, dus 272 stukken. Van de samenstelplaatsen naar de bouwput moesten 204 grote delen worden vervoerd. Per transport kon of één schuifhelft of twee armen worden vervoerd, zodat hiervoor 136 transporten nodig waren. Het vervoer van al deze stukken heeft een aantal jaren werk gegeven aan een speciaal hiervoor geformeerde ploeg.

Het lossen van de stukken in de bouwput zou kunnen geschieden met een drijvende bok of een hijsmast. Aangezien ongeveer eens per week een transport zou moeten plaatsvinden zou dit een weinig efficiënt gebruik van het hijsgereedschap betekenen. Daar het transport in de bouwput toch per as moest geschieden, werd gekozen voor railvervoer. Bij Werkspoor-Utrecht was reeds enkel spoor aanwezig. Vanwege het grote gewicht en de stabiliteit was evenwel dubbel spoor nodig. Op twee grote pontons met een nuttig draagvermogen van 500 ton werd dubbel spoor gelegd. Het was nu mogelijk, een halve schuif op speciaal voor dit doel geconstrueerde lorries vanaf de samenbouwplaats op een ponton te rijden. In de werkhaven bij de bouwput werd een aanlegbrug ontworpen van 14 m lengte. Deze kon aan de waterzijde in hoogte vermeld worden in verband met het getij. De ponton werd bij aankomst met de kop tegen de aanlegbrug gemonteerd, waarna de lorie beladen met een halve schuif of twee armen

met behulp van lieren tegen de dijk van de bouwput kon worden getrokken en daarna aan de andere zijde kon worden afgevoerd. De helling van de railbaan aan de bouwputzijde was 1 : 18. De railbaan eindigde op de vloer van de spuuislus in de opening van schuif 5.

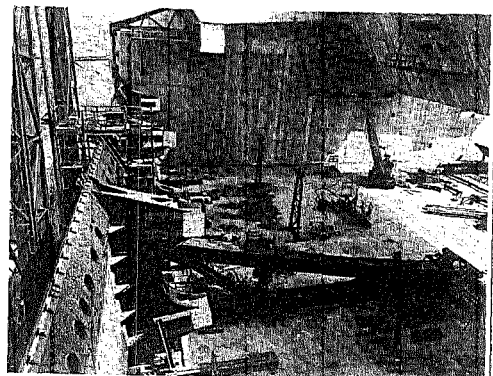
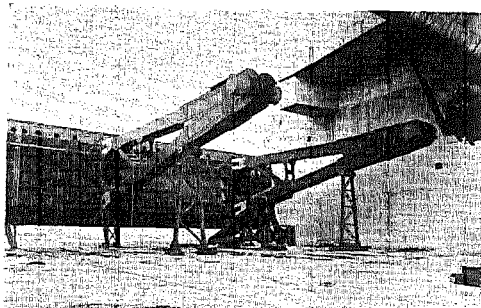
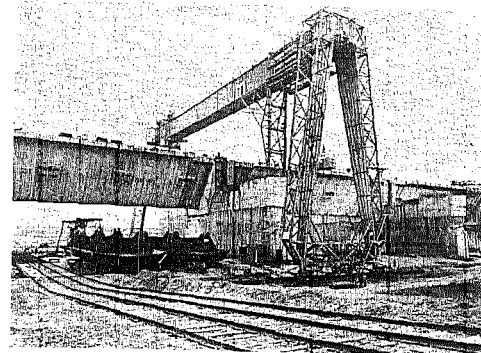
De transporten vanaf de RDM gebeurden op dezelfde wijze; alleen het beladen moest gebeuren met behulp van drijvende bokken.

Het transporteren van de onderdelen van de schuiven heeft geen moeilijkheden gegeven. De aannemer van het betonwerk was begonnen aan de zuidzijde, zodat hier ook de eerste nabaligger gereed kwam. Met de montage van de schuiven moest dus ook vanuit het zuiden worden gewerkt. De montage zou oorspronkelijk worden uitgevoerd met behulp van hijsmasten. Tijdens het fabriekswerk ontstond echter enige vertraging door aanloopmoeilijkheden. Het leek waarschijnlijk, dat de nabaliggers gereed zouden zijn, vóórdat de eerste schuif gereed zou zijn voor montage. De portaalkraan, bekend als de 'Nestumkraan', welke gebruikt was bij de bouw van de nabaliggers, zou dan beschikbaar zijn en omgebouwd kunnen worden ten behoeve van de montage van de schuiven. Het werken met de portaalkraan bood zoveel voordelen, dat tot huur werd overgegaan. Door de overspanning van 75 m van deze kraan te vergroten tot 83,5 m, teneinde de nog te bouwen ijspijlers te kunnen passeren, kon de kraan geschikt worden gemaakt voor de montage van de schuiven. Het hefvermogen werd door de verlenging verlaagd tot 220 ton, juist voldoende om de halve schuiven te kunnen heffen en transporteren. Alle onderdelen konden nu met de portaalkraan op de vloer van schuif 5 worden opgenomen en vervoerd naar de betreffende schuifopening. De eerste halve schuif werd op 1 november 1963 aangevoerd.

Bij aankomst op de bestemde plaats werd elke schuifhelft op een hulpvloer geplaatst en de montage-las tussen twee helften gesloten. Vervolgens

Van boven naar beneden:

- railbaan vanaf de hulpbrug naar vloer 5 met de verlengde Nestum-kraan;
- twee opnamen van de montage van een zeeschuif tijdelijk rustend op hulpsteunpunten.



werden de armen aangebracht. Vóór het monteren van de eerste zee- en rivierschuif – in januari 1963 – werden in de lagerhuizen van de draaipunten gietfouten geconstateerd. Deze bleken in de meeste huizen aanwezig te zijn.

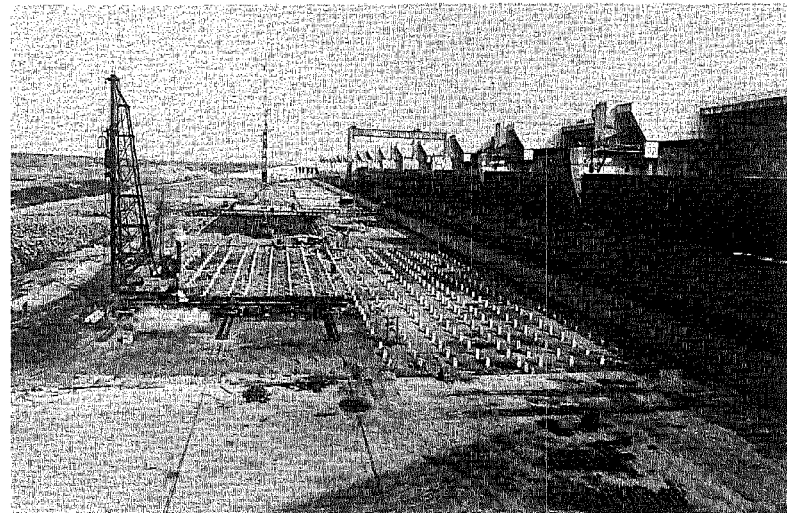
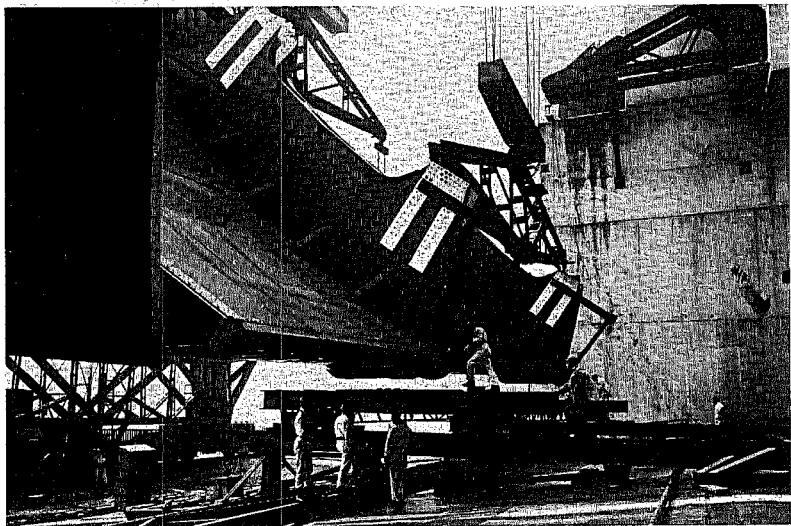
Een aantal lagerhuizen kon worden gerepareerd. Bijna 100 van de 272 huizen werden opnieuw gegoten. Het opnieuw leveren en bewerken kostte veel tijd. De montage kon echter worden voortgezet, door de schuiven zonder lagerhuizen en lagers te monteren. De schuiven werden tijdelijk op hulpconstructies neergezet. Naderhand werden de draaipunten aangebracht in speciaal vervaardigde stalen loodsen, voorzien van airconditioning in verband met de kwetsbaarheid van de lagers en de slechte werkomstandigheden ter plaatse.

Het bevestigen van de draaipunten van de vier armen tegen de schuine onderkant van de nablaliggers was niet eenvoudig. Dit werd opgelost door in de nablaliggers ter plaatse van de draaipunten verticale gaten te sparen waardoor een hijskabel kon passeren. Op de nablaligger werden twee hijsinrichtingen geplaatst, waarmee de armen konden worden gehesen. Omdat het bevestigingspunt alleen een verticale verplaatsing moest ondergaan diende men de schuif op een rolbaan horizontaal te kunnen verplaatsen. Dit betekende dat de schuif eerst iets te ver van de nablaligger kwam te staan. Daar aan de zeezijde een woelbak onmiddellijk tegen de schuif aansluit, moest in de woelbak een hulpconstructie worden gemaakt ter ondersteuning van de schuif.

De draaipunten werden van tevoren in een bepaalde stand gefixeerd, zodat na het optrekken het grondvlak van het lagerhuis aansloot op een ingebetonnerde stoel in de nablaligger. Hierna konden de bevestigingsbouten met een gewicht

van circa 200 kg elk worden aangebracht en de moeren met een gewicht van 50 kg bevestigd. De bouten zijn met vijzels voorgespannen. Het laatste schuifdeel, de halve rivierschuif op vloer 5, werd op 13 april 1966 aangevoerd, en kort daarna gemonteerd.

De laatste stalen schuif wordt in opening 5 gemonteerd.



Overzicht van de schuiven aan de zeezijde met links de bodembescherming en heipalen.

van circa 200 kg elk worden aangebracht en de moeren met een gewicht van 50 kg bevestigd. De bouten zijn met vijzels voorgespannen.

Het laatste schuifdeel, de halve rivierschuif op vloer 5, werd op 13 april 1966 aangevoerd, en kort daarna gemonteerd.

In de loop van 1966 kwam ook de montage van alle bewegingswerken en van de gieken gereed. Na het gereedkomen van de schuiven konden de rubberafdichtingen onder tegen de schuif en aan de zijanten worden aangebracht, evenals de verwarmingsclementen aan de pijlers, welke bij de

rievierschuiven in de winter moeten voorkomen, dat de zij-afdichtingen vast vriezen aan de pijlers. Op de schuiven en per schuif op één van de armen werden loopbordessen aangebracht.

De conservering van de schuifdelen werd aangebracht ter plaatse van montagelassen. Tenslotte werden alle schuiven voorzien van een kathodische bescherming, inwendig door opofferingsanoden, uitwendig door opgedrukte stroom.

In totaal is aan de schuiven circa 18 000 ton staal verwerkt en aan de gieken, bewegingswerken en draaipunten nog eens 12 000 ton.

De kabelbaan

Bij de sluiting van de laatste geulen in de Grevelingendam werd voor het eerst bij de uitvoering van de Deltawerken het principe van de geleidelijke sluiting in praktijk gebracht. Als transportinstrument voor het sluitingsmateriaal werd daarbij gebruik gemaakt van een kabelbaan. De voordelen van de geleidelijke sluiting waren gelegen in gunstiger hydraulische condities tijdens de sluitingsfase als gevolg van het optreden van een toestand van volkomen overlaat.

Om grondmechanische redenen heeft bij een ondergrond, die door zijn pakkingstoestand gevaar voor stabiliteitsverlies kan opleveren de toepassing van een geleidelijke sluiting minder risico dan een caissonsluiting. Daarenboven is de kabelbaan een transportinstrument dat weinig weersgevoelig is, hetgeen gunstig is met betrekking tot de factor werkbaarheid. Van het gekozen type kabelbaan was de voornaamste karakteristiek dat werd gewerkt met zelf-aangedreven gondels (automoteurs), derhalve onafhankelijk van elkaar opererende eenheden.

Doordat bij de Grevelingen diverse tegenslagen optraden waardoor het tijdschema in de knel kwam kreeg deze sluiting in meer of mindere mate het karakter van improvisatie. Nu kon dit bij de Grevelingensluiting wel worden geaccepteerd omdat de sluiting werd uitgevoerd in een wantigebied waar de stroomsnelheden beperkt bleven. Het verval over de dam werd opgewekt door enige faseverschuiving van het getij ter weerszijden en bleef daardoor beperkt.

Dat bij de mankementen en storingen die optraden, vooral voortvloeiend uit het krappe tijdschema, toch een bevredigend resultaat werd bereikt sterkte de Deltadienst in het vertrouwen in deze apparatuur.

Bij de sluiting van het Rak van Scheelhoek als onderdeel van het Haringvliet deed zich de mogelijkheid voor dit systeem nog eens terdege te beproeven. Door de veel meer geëxponeerde ligging van de Haringvlietdam zouden de condities aanmerkelijk zwaarder zijn, anderszijds zouden zij bij het Rak van Scheelhoek toch niet al te zwaar worden. Door het openstaan van de spuisluizen tijdens de sluiting zou het verval niet gro-

ter dan circa 0,50 m worden hetgeen de stroomsnelheden over en door de sluitdam aanzienlijk zou reduceren.

Deze kabelbaansluiting onder niet extreme condities gaf tevens de mogelijkheid om ook het stortmateriaal, waarvoor de keuze was gevallen op betonnen kubussen, terdege te toetsen op praktisch-schaal.

Deze gelijkvormige blokken leenden zich juist door hun uniformiteit en door het repeterende karakter van de handelingen bij de verwerking tot een zeer systematische opzet waarbij arbeidsbesparende werkwijzen konden worden ingevoerd.

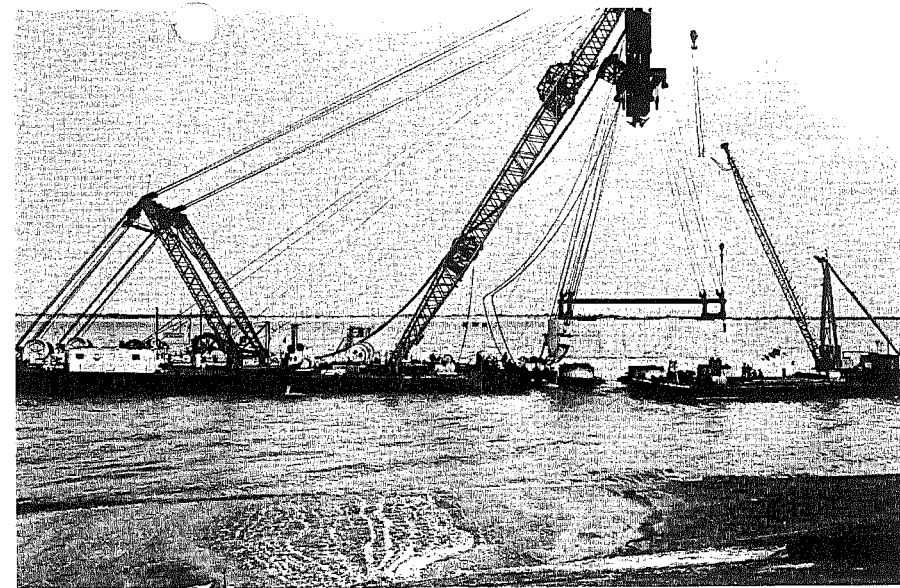
Overigens was ten opzichte van de toepassing in de Grevelingen aan de kabelbaan een aantal vernieuwingen en verbeteringen aangebracht. Het hoofdsysteem werd echter geheel behouden.

Voor het wellicht meest essentiële onderdeel van de kabelbaan, de kabels zelf, was oorspronkelijk gedacht aan een hergebruik waarbij alleen de draden van de buitenste mantel zouden worden vervangen. Bij nadere overweging werd hiervan afgezien en werden geheel nieuwe kabels genomen. Voor het op spanning houden van de kabels werd een enigszins andere constructie gekozen. Bij het Haringvliet gebeurde dit door vrij hangende gewichten waardoor tamelijk diepe putten nodig waren. Het op de juiste plaats in de grond brengen van deze putten heeft enkele moeilijkheden opgeleverd.

De torens ondergingen een nogal opvallende wijziging. In tegenstelling tot de Grevelingen waar van de torens er 2 op de aangrenzende dijkkoppen stonden, moesten deze bij het Haringvliet alle drie in het water worden geplaatst.

Het fundatiesysteem werd hiervoor gewijzigd. In de Grevelingen werd een fundatie van 4 kleine eenheidscaissons gebruikt, doch in het Haringvliet werd gebruik gemaakt van het fundatiesysteem van de Zeelandbrug bestaande uit drie holle betonnen palen die aan hun bovenzijde werden gekoppeld door een betonnen caisson.

Op deze fundatie werden de torens geplaatst. Voor het onderste deel van de torens werd de staalconstructie vervangen door betonnen kolommen waarop de stalen bovenbouw werd geplaatst.



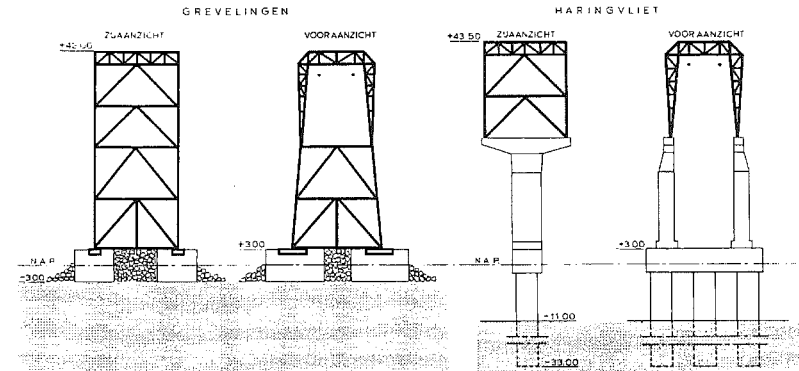
Plaatsen van caisson op puttenfundering voor de noordelijke pijler van de kabelbaan.

Deze betonnen torens hadden het voordeel dat ze stijver waren waardoor onder andere de horizontale verbanden, die in de Grevelingen nodig waren geweest, konden vervallen.

Een belangrijke bron van stagnaties bij het eerste gebruik vormden de storingen aan de gondels. Daarom werden voor de Haringvlietsluiting alle gondels grondig gereviseerd waarbij ook op een aantal punten verbeteringen werden aangebracht, echter zonder de opzet principieel te wijzigen. Bij de Haringvlietsluiting bleken de gondels goed te

voeloen; ernstige stagnaties hebben zich bij het kabelbaanbedrijf niet voorgedaan.

Met het gehele systeem zijn tijdens de Haringvlietsluiting opnieuw nuttige ervaringen opgedaan voor toepassing ervan bij volgende sluitingen. In dit opzicht heeft het Rak van Scheelhoek een tussenstap gevormd in de geleidelijk steeds zwaarder wordende sluitingen die in het kader van het Deltaplan aan de orde komen. Hierbij dient in de eerste plaats te worden gedacht aan de blokkering van het zuidelijke sluitgat in de afdamming van het Brouwershavensche Gat.



* Hoofdingenieur A Rijkswaterstaat/Deltadienst, Hellevoetsluis

De sluiting van het Rak van Scheelhoek

Bij de afsluiting van het Rak van Scheelhoek werd opnieuw gebruik gemaakt van de kabelbaan waarmee in 1964 de laatste stroomgeul in de Grevelingen werd afgesloten.

Om de baan opnieuw te kunnen gebruiken is in de jaren 1965/1969 door een aantal monteurs van de Rijkswaterstaat gewerkt aan de verbetering en revisie van het in de Grevelingen gebruikte materieel. Vooral de gondels zijn grondig onder handen genomen. In deze periode werd tevens stapsgewijs de kabelbaan in het Haringvliet opgebouwd. Het principe werd niet gewijzigd. De kabelbaan bestond uit een vaste railconstructie op elke oever van het sluitgat. Hiertussen waren op een onderlinge afstand van 6 meter twee kabels met een doorsnede van 92 mm gespannen. De overspanning tussen beide railconstructies werd door drie tussensteunpunten in vieren gedeeld. Aldus ontstonden in het Haringvliet overspanningen van 80, 560, 580 en 110 m. De kabels waren onafhankelijk van elkaar en werden aan één uiteinde verankerd en aan het andere einde door een span- of contragewicht strak getrokken. De verankering kon met behulp van een zwaar betonblok, voorspankabels en een gietstalen ankerstoel aan het noordelijk landhoofd van de spuisluis geschieden. De gemiddelde werkspanning van 300 ton in een kabel werd in stand gehouden door een gewicht van 300 ton, dat op de Voornse oever in een schacht verticaal kon bewegen. De kabels gleden over, van bronzen voeringen voorziene opleggingen, door de vaste railconstructies en torens. Afhankelijk van de grootte van de last en de plaats van de last in de overspanning hing de kabel namelijk meer of minder door, waardoor de kabel over de oplegpunten heen en weer moest kunnen bewegen. Het contragewicht bewoog zich tengevolge van de steeds wisselende kabeltenge die nodig was in de overspanningen door het rijden met een of meerdere lasten, in de schacht op en neer. De constructie van de kabelbaan was zodanig dat in elke overspanning per kabel maar één gondel mocht rijden. Door de nogal grote overspanningen was deze voorwaarde bepalend voor de intervaltijd van de stortingen en dus eveneens bepalend voor

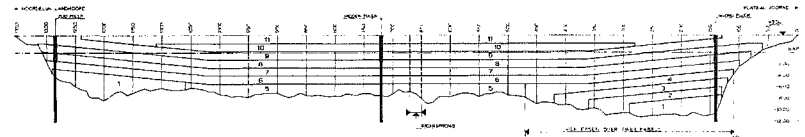
de capaciteit van de kabelbaan. De breukkracht van de kabel was door middel van het tot breuk belasten van proefstukken vastgesteld op 865 ton, dat was 15 ton hoger dan werd geëist.

In 1968 was het noordelijk gedeelte van het Rak van Scheelhoek van een bodembescherming voorzien; in 1969 werden ook in het zuidelijk gedeelte bodemvoorzieningen getroffen. In tegenstelling met het noordelijk gedeelte werd hieraan vóórafgaand eerst de rivierbodem van gemiddeld NAP -20 m tot ongeveer NAP -8 m met zand opgeklapt. Het sluitgat kreeg zo de definitieve vorm zoals figuur 1 aangeeft. De afmetingen van de bodembescherming werden aan de hand van modelonderzoek bepaald.

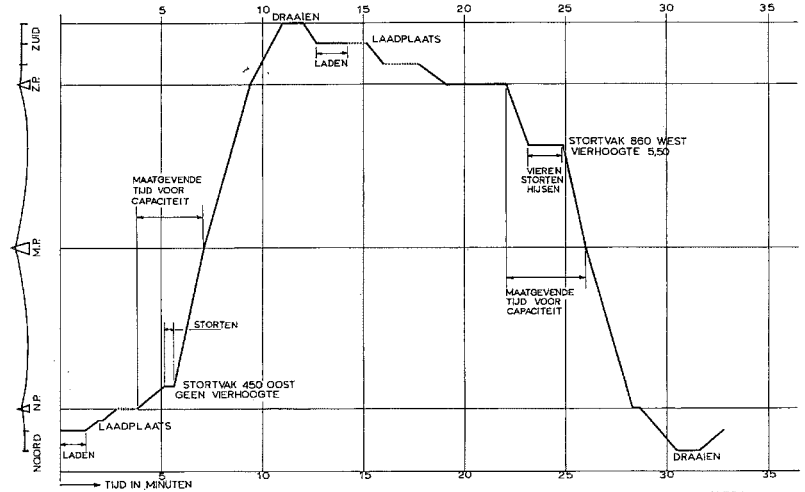
Bij de opzet van het bedrijf is er van uitgegaan dat zo snel mogelijk een blokkendam gestort moest worden met een enkele kruin op NAP +3 m. Dit betekende onder andere dat in tegenstelling tot de Grevelingsluiting op beide oevers een laadbedrijf moest worden ingericht. Deze laadplaatsen waren ondergebracht in de vaste railconstructies, waar de gondels over de flens van een DIN-profiel reden. Tevens was in elke vaste railconstructie een draaischijf opgenomen waarmee het mogelijk was de gondel 180° te draaien en daardoor van de ene kabel op de andere te komen. Hierdoor werd het mogelijk in een circuit te rijden, dat wil zeggen over de ene kabel heen, een halve slag rond-draaien en over de andere kabel terug. Berekeningen en ervaringen bij de Grevelingen toonden aan dat hiermee de maximale capaciteit gehaald kon worden, wanneer voldoende gondels ingezet konden worden. De capaciteit van een kabelbaan in circuitbedrijf en belading op beide oevers kan worden weergegeven door de formule

$$2.60 \cdot P \cdot i$$

waarin i het gemiddelde tijdsinterval tussen twee stortingen in minuten is en P de gestorte last in tonnen. Figuur 2 toont een tijd-weg-diagram zoals dit tijdens het bedrijf is waargenomen bij het doorlopen van het circuit, terwijl figuur 3 de waargenomen intervaltijden tijdens het bedrijf weergeeft. Een andere mogelijkheid om het stortmateriaal te vervoeren is door middel van een retourbedrijf. Hierbij wordt niet van kabel gewisseld maar blijven de gondels op dezelfde kabel heen en weer rijden. Aan de noordkant was achter de draaischijf nog een opstelspoor gebouwd

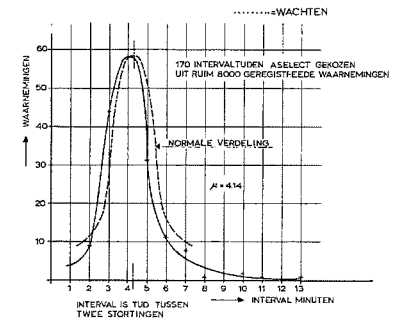


Figuur 1. De definitieve vorm van het sluitgat in het Rak van Scheelhoek.



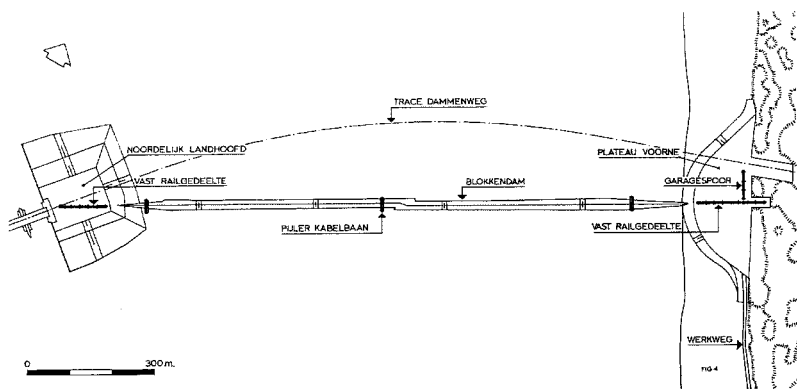
Figuur 2. Gemiddelde tijdwaarneming van de gondels in circuitbedrijf.

Figuur 3. De tijdens het werken met de kabelbaan waargenomen intervaltijden.



en in westelijke richting naast de draaischijf een garage- en reparatiespoor (zie figuur 4). Het stortmateriaal bestond uit betonblokken van 1,04 m³ en een stukgewicht van 2,5 ton. Per rit vervoerde elke gondel vier stuks; in totaal dus 10 ton stortgewicht. Het eigengewicht van gondel en storbalk was 20 ton. De eenheid van vier blokken werd zowel in de stapeling van de blokken in de depots als bij het transport van depot naar gondel aangehouden. De

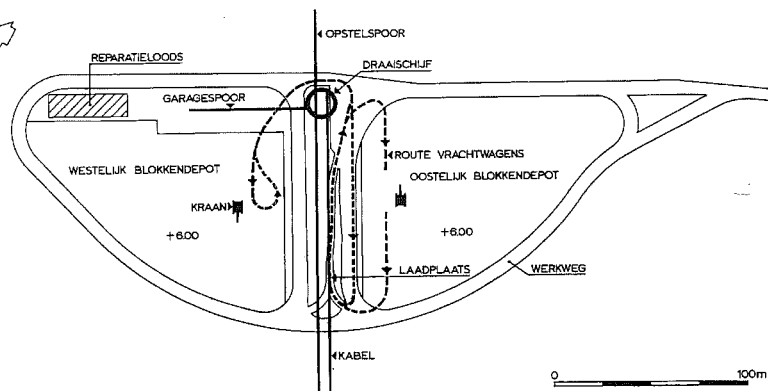
* Ingenieur 1e klasse Rijkswaterstaat/Deltadienst, Hellevoetsluis



Figuur 4. Bovenaanzicht van de sluiddam in het Rak van Scheelhoek.

gedachte was – en hiervoor werd ook een speciale depotbalk ontwikkeld – om met een kraan de hiervoor speciaal in de stapeling gezette eenheid van vier blokken, in één keer uit het depot te lichten en op de vrachtauto te zetten. Er was dan uiteraard een kraan nodig die 10 ton kan hijsen. Daarbij moest een man op het depot aanwezig zijn om zo af en toe bij weigering van het oppakmechanisme een handje te helpen. Het laden bleek later even snel met een hydraulisch kraantje te kunnen, die dan de blokken één voor één op de auto zette. Het kon zo een lichtere kraan worden terwijl tevens de inzet van een man werd uitgespaard.

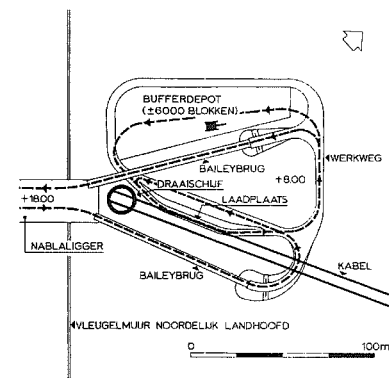
Figuur 5 en foto. Het laadterrein op het plateau van Voorne.



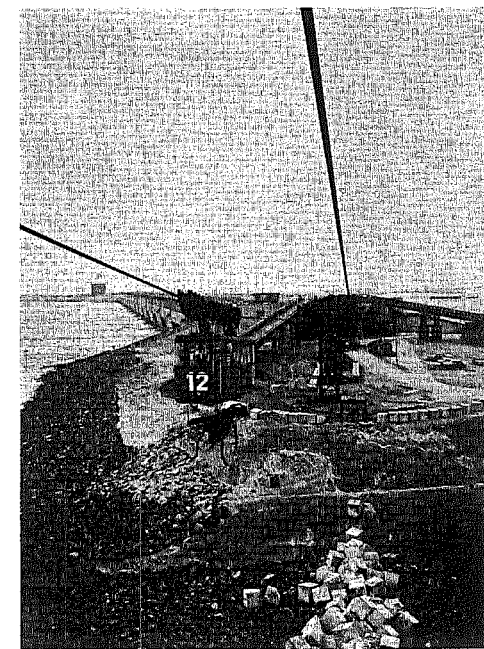
De auto's waren normale vrachtwagens waarvan de laadbak was verwijderd. Hiervoor in de plaats kwam een speciaal frame, waarin de vier blokken geplaatst werden. Reed de auto op de laadplaats onder de gondel, dan stonden de blokken op de juiste plaats voor de stortbalk, die onder de gondel hing om ze zonder veel haperingen op te kunnen pakken. Evenals de gondels een circuit reden, was dat het geval met de vrachtwagens tussen depots en laadplaatsen, zoals de figuren 5 en 6 duidelijk laten zien. De frequentie van het laadbedrijf lag hoger dan de frequentie van het stortbedrijf. Er was voor gezorgd dat het laadbedrijf afgesteld was op de theoretische capaciteit van de kabelbaan. Het kon zodoende nooit voorkomen dat het gondelbedrijf zou stagneren door gebrek aan aanvoer. De voor de sluiting benodigde blokken in het noorden konden alle rondom de vaste railconstructie worden gestapeld. De stapeling was vijf blokken hoog. Het aantal benodigde auto's kon zo beperkt blijven tot twee à drie. Overigens was een reserve van 10 000 blokken neergezet bij de werkhaven.

Op de zuidelijke oever was rondom de laadplaats niet voldoende ruimte voor alle blokken die vanaf deze oever gestort moesten worden. Daarom werden de blokken op een terrein bij de Vissershaven van Stellendam gestapeld. De blokken werden via een ruim twee kilometer lange aanvoerweg over de schutsluis, het damvak Noord-Pampus en de uitwateringssluizen naar het zuidelijk laadstation gebracht. Hier moest tevens nog een hoogteverschil van 10,00 m tussen het wegdek op de uitwateringssluis en het laadstation worden overwonnen. Daartoe waren twee Baileybruggen aangebracht. Aangezien de schutsluis gepasseerd moest worden via de lage ophaalbrug die geregeld geopend werd voor het scheepvaartverkeer, kwam het voor dat de transporten voor een geopende brug moesten wachten. Om de stagnaties hiervan te voorkomen werd bij het noordelijk landhoofd een bufferdepot aangelegd van tussen de 6 000 en 10 000 blokken. Moest de brug worden geopend, dan werd dit naar het laadstation doorgegeven en kon door de daar aanwezige auto's uit het bufferdepot geladen worden. Figuur 7 geeft hiervan een overzicht. Dankzij deze voorzorg zijn nooit storingen in de aanvoer opgetreden.

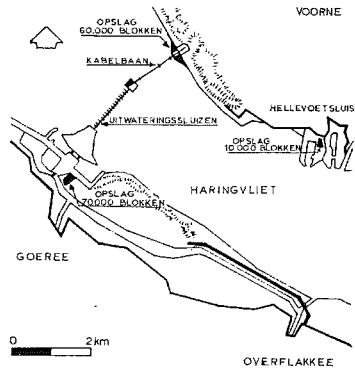
De sluiting van het Rak van Scheelhoek



Figuur 6 en foto. Het laadterrein op het noordelijk landhoofd van de uitwateringssluis.



De afsluiting van het Haringvliet

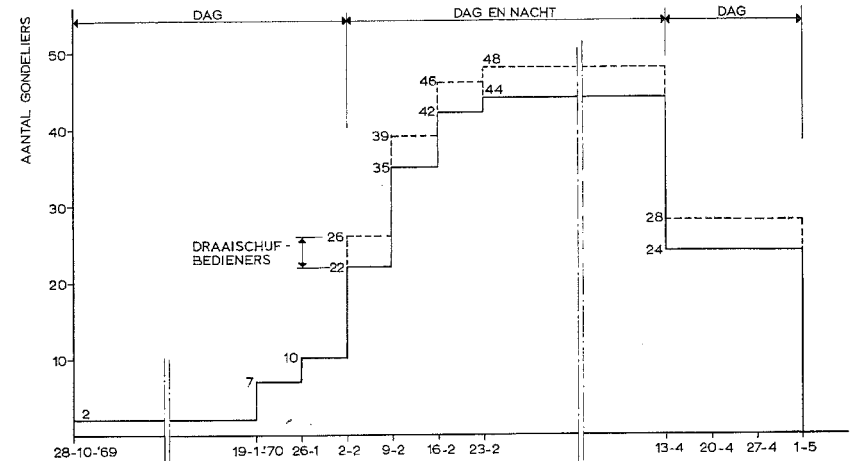
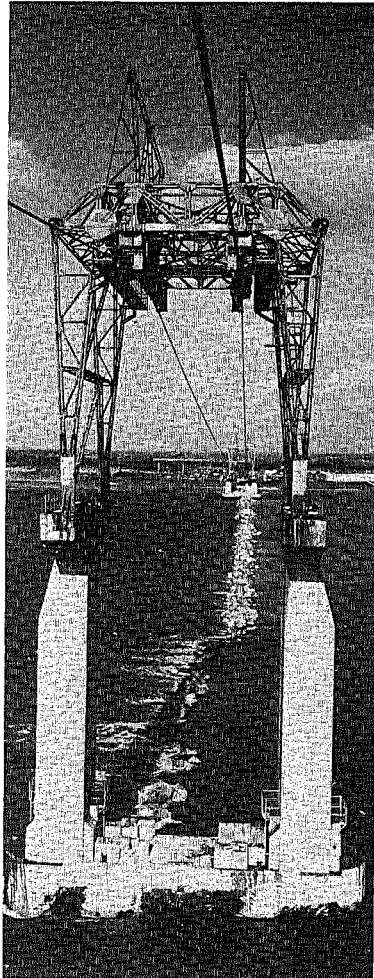


Figuur 7. Overzicht blokkendeps ten behoeve van de afsluiting van het Haringvliet.

Een dam met een enkele kruin was voldoende stabiel, zo had het modelonderzoek uitgewezen. Wanneer in circuit gereden moest worden, en aan twee oevers beladen, kon uiteraard geen doorgaande kruin gemaakt worden. Ergens halverwege moest dan een kruinsprong worden gemaakt van 6 m, zijnde de onderlinge afstand van de kabels. Er werd in het noorden onder de oostkabel beladen en in het zuiden onder de westkabel. Zodoende lag de kruin in het noordelijk gedeelte onder de westkabel. Figuur 4 geeft dit ook aan. Op deze manier werd een zo kort mogelijk traject met een geladen gondel afgelegd. De kruinsprong lag op 70 ten noorden van de middenpijler. Deze plaats was vastgesteld aan de hand van berekeningen, waarbij er van was uitgegaan, dat zo lang mogelijk een circuitbedrijf gehandhaafd moest kunnen blijven. Door de grotere zakkings in het zuidelijk gedeelte, als gevolg van het opklappen van de rivierbodem, bleef dit gedeelte lager en werd het noorden eerder voltooid. De aflooperperiode verliep zodoende iets ongunstiger dan was verwacht.

Aan de hand van modelonderzoek was bepaald, dat de geleidelijke sluiting zodanig zou moeten zijn, dat er onder 1 : 100 heilende kruinen onder de oevers gestort moesten worden. Op deze wijze

De 'sprong' in de blokkendam iets ten noorden van de middenpijler.



Figuur 8.

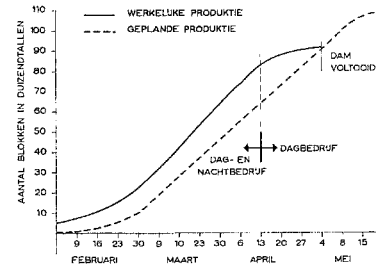
zou de ontgronding minimaal zijn en zo ver mogelijk van de oevers verwijderd blijven. De doorsnede van het sluitgat (zie figuur 1) geeft aan hoe deze fasering van de sluiting is uitgevoerd. Deze manier van storten heeft goed voldaan. Tijdens het sluiten was duidelijk waarneembaar dat het turbulente water achter de blokkendam naar het midden van het sluitgat werd gedrukt en de oevers niet werden aangestroomd. De kruin van de blokkendam werd elke fase met ongeveer 1,50 verhoogd, terwijl elke fase weer verdeeld was in stortvakken van 10 m. Voor elk stortvak in iedere fase was bepaald hoeveel blokken hierin theoretisch gestort moesten worden. Elke theoretisch gevonden waarde was verhoogd met 5% voor zakking en na het bereiken van

NAP -2 m nog eens met 10% voor breuk. Het verwachte totaal aantal blokken dat zo gestort zou moeten worden was 100 000. Hier was 10 000 bijgeteld voor eventuele afwijking van het aangenomen talud (1 : 1) of aangenomen percentages, zodat de sluitingsduur gebaseerd was op 110 000 blokken.

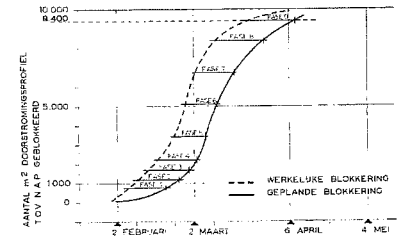
Nog 30 000 blokken waren gemaakt en in depot gezet om de schade van een storm die statistisch eenmaal in de honderd jaar kan optreden, te herstellen. Het totaal aantal blokken bedroeg aldus 140 000 waarvan op elke oever de reeds genoemde 70 000 stuks.

De plaatsbepaling voor de gondel om in het juiste stortvak te storten geschiedde met een metersteller in de gondel en met een speciaal hiervoor ont-

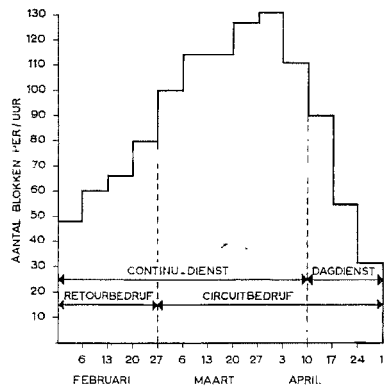
Figuur 9.



Figuur 10. Het geblokkeerde aantal m² doorstromingsprofiel ten opzichte van NAP.



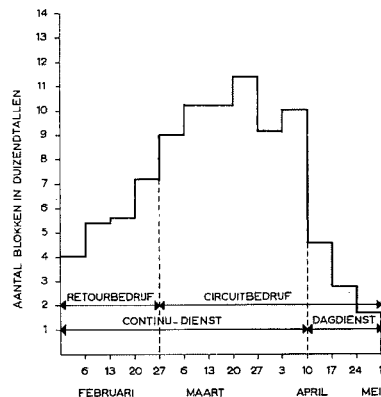
De afsluiting van het Haringvliet



Figuur 11. Gemiddelde urcapaciteit kabelbaan.

wikkeld richtlichtensysteem. Het richtlicht is, uitgezonderd de enkele keer dat men met mist te kampen had, steeds gebruikt. Hierbij zag de gondelier ongeveer 40 m vóórdat hij het stortpunt naderde rood licht. Dit betekende dat hij moest gaan remmen. Na het rode licht volgde wit licht en op de overgang van rood naar wit moest dan worden gestopt; afhankelijk van de hoogte moest de last worden gevierd en de blokken gestort. Als storthoogte is tussen de 12 en 15 m aangehouden. In eerste instantie was 8 à 10 m aangehouden, maar de breuk bleek mee te vallen, waardoor de storthoogte vergroot werd. Doordat de in de berekening opgenomen zetting in de eerste fase niet optrad, kwam de kruin sneller omhoog dan verwacht werd. Later werd dit weer teniet gedaan, zeker in het zuiden waar de zakking veel groter was.

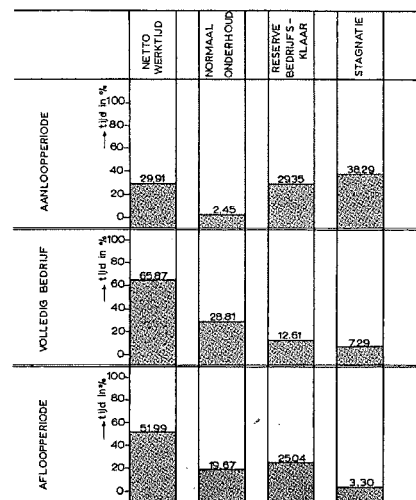
In oktober 1969 is begonnen met het proefrijden op de baan. Vanaf 19 januari 1970 werd de baan operationeel voor de sluiting, waarbij begonnen werd de eerste vijf, nog van de Grevelingen afkomstige gondeliers, weer met het bedrijf vertrouwd te maken (zie hiervoor figuur 8). Vanaf 2 februari werd reeds met een kleine ploeg in de nacht geoefend en werden grote groepen nieuwe



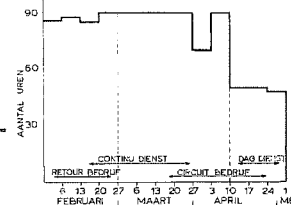
Figuur 12. Netto weekproductie kabelbaan.

gondeliers aangetrokken. De opleiding werd uitgevoerd met meer praktische lessen dan was verwacht waardoor men al direct voor lag op het geplande schema (figuren 9 en 10). De instructie werd geleid door een waterstaatsambtenaar die gedurende de revisietijd met de gondel en gondelbediening vertrouwd was geraakt. Hij had tijdens de sluiting ook het toezicht op de gondels en hun bediening. Door een langdurige storing aan de zuidelijke draaischijf kon pas laat het circuitrijden geoefend worden. Er werd tot 28 februari 1970 zodoende bijna alleen retourbedrijf gereden. Een terugslag in de productie zoals deze in de aanlooperperiode was gepland, was er echter niet. De fasen 1 t/m 4 lagen, op een klein stukje van fase 1 onder de zuidelijke oever na, als gevolg van de reeds genoemde resultaten van het waterlooptkundig onderzoek, in het noorden. Van tevoren waren deze vier fasen, om zo snel mogelijk het circuitbedrijf te kunnen draaien, met een dubbele kruin gepland. Doordat geen circuitbedrijf kon worden gereden, was het nu mogelijk over twee kabels retourbedrijf te rijden. De productiegrafieken (figuren 11 en 12) laten dan ook een stijgende tendens zien.

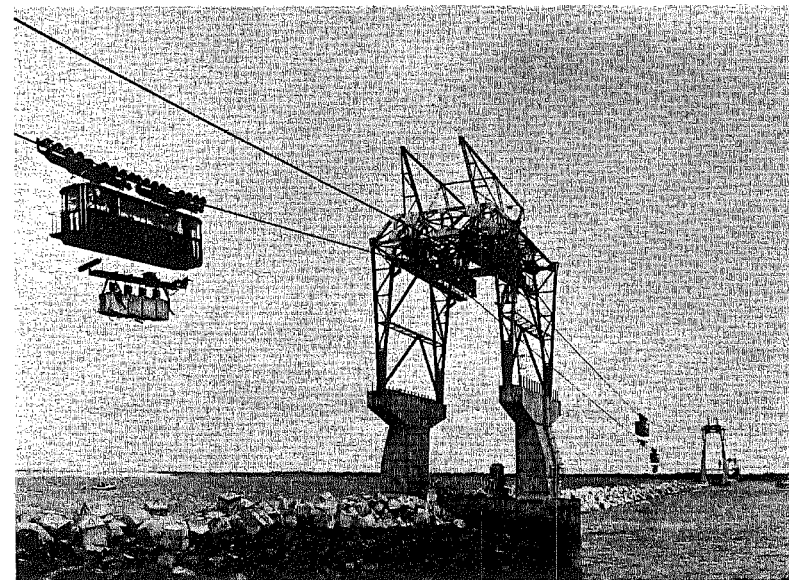
Toen eenmaal circuitbedrijf gereden kon worden viel dit precies samen met de geplande datum (2



Figuur 13. Urenverdeling van de gondels.



Figuur 14. Netto aantal werkuren van de kabelbaan bij de blokkenafsluiting in het Rak van Scheethoek.



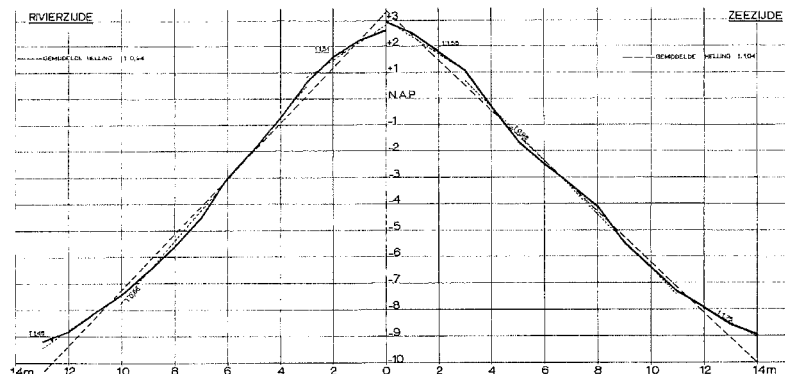
maart 1970), om een volledig bedrijf te kunnen draaien. De productiegrafieken laten dan ook de ongevoelendheid met het circuitbedrijf zien die in de eerste week van het volledig bedrijf invloed had. Zoals reeds opgemerkt, moesten de gondels wanneer het richtlicht rood aangaf, de gondel gaan afremmen, op de overgang van rood en wit licht stoppen om daarna afhankelijk van de hoogte waarop ze hingen, hun last te laten vieren en vervolgens los te laten.

De gondel was namelijk zo geconstrueerd dat de 300 pk-motor zowel het voortbewegingsmechanisme als twee van de vier liertrommels waarmee de last gevierd werd moest bedienen. Op die plaatsen waar de last gevierd diende te worden, moest dus altijd eerst gestopt worden. Hierdoor werd de tijd die een gondel nodig had om de stortoverspanning door te rijden langer en daalde de capaciteit. Over een groot gedeelte van de overspanning – dat wil zeggen over twee derde van de lengte – was de doorhang van de kabel zodanig dat de last niet gevierd behoefde te worden. De noodzaak te stoppen was hier dus niet aanwezig. Toen de blokkendam eenmaal boven water kwam is in de vakken rijdend gestort. De productiegrafieken geven duidelijk weer dat er na 20 maart een belangrijke productieverhoging optrad. Het afstorten tot ongeveer NAP +3 m, dat is de laatste fase, verliep weer langzamer. Hier was men al overgegaan in de afloopperperiode. In de laatste week van de dag- en nachtperiode is deze invloed al in de gemiddelde uurproductie te zien. Het storten is vlot verlopen. De onderhoudsmonteurs van de Rijkswaterstaat kenden de gondels goed, zodat storingen snel verholpen konden worden. Op figuur 13 is dit herkenbaar. Er waren zodoende nagenoeg altijd voldoende gondels op de baan, waardoor steeds effectief kon worden gewerkt (zie figuur 14).

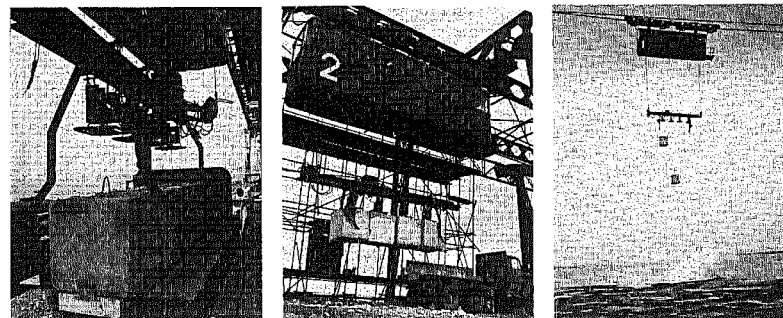
Het storten gebeurde met een hydraulisch bediende stortbalk. De blokken vielen dan door de afstelling van de balk met tussenpozen van 3, 1 en 3 sec. Deze tijden waren aan de hand van modelonderzoek bij TNO en een latere controle in het prototype vastgesteld. Bij deze volgorde van last afwerpen ondervonden de gondeliers de minste hinder. De hinder die de gondelbemanning ondervond bleek maatgevend te zijn, niet de optredende krachten op de constructie.

Een belangrijke versneller in het hele programma was de kleinere hoeveelheid blokken. Zoals gezegd was de berekening 100 000 blokken en werd de sluiting gebaseerd op 110 000 blokken. De extra 10 000 voor afwijking naar boven van helling, holle ruimte en aangenomen percentages was door de afwijking van genoemde punten naar beneden, al niet nodig. Uiteindelijk zijn er 92 805 blokken gestort, waarvan de laatste op 1 mei 1970 viel. Zo nauwkeurig mogelijke berekeningen toonden aan dat de gestorte blokkendam een gemiddeld holle-ruimtepercentage moest hebben van 45% in plaats van de aangenomen 40%. Dit hogere holle-ruimtepercentage, zelfs na het storten van de blokken, is de belangrijkste oorzaak van het verminderde aantal blokken. Aangezien er altijd onnauwkeurigheden over blijven is na een statistische bewerking van de gegevens, het 95% betrouwbaarheidsinterval vastgesteld. Gezegd kan worden dat voor het holle-ruimtepercentage van deze dam tussen de 43% en 47% mag worden aangehouden. Voor een volgende blokkendam is voor de bepaling van het aantal blokken de bovengrens uiteraard niet interessant. De gemiddelde helling van deze dam was 1 : 0,9 aan de rivierzijde en 1 : 1 aan de zeezijde; dit laatste waarschijnlijk tengevolge van golfinvloed uit zee. Er bleken in de vorm van de doorsnede van de blokkendam, een drietal onderdelen van het talud te verschillen. Een flauwer hellend bovengedeelte als gevolg van het in elkaar stampen, een steiler middengedeelte en een flauwer hellende teen tengevolge van afgerolde blokken. Dit is in figuur 15 goed te zien. Dit steiler middengedeelte is waarschijnlijk de oorzaak van het gevonden verband tussen taludhelling en damhoogte. Ook de storthoogte blijkt invloed op de taludhelling te hebben. Deze variabelen zijn verzameld in figuur 16.

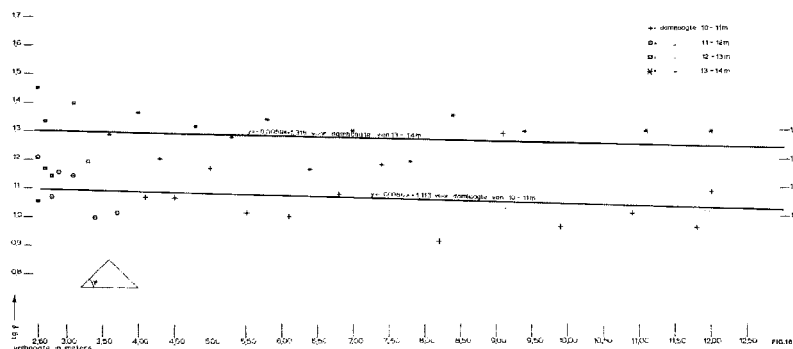
De kabelbaan is een goed instrument gebleken om een sluiting van deze aard te voltooiën. Het nadeel is de grote holle ruimte in de blokkendam, waardoor nog een soort tweede sluiting – namelijk de afdichting van de blokkendam – nodig is geweest om de sluiting effectief te doen zijn. Nieuwe onderzoeken in het laboratorium geven echter hoop dat deze afdichting in de toekomst geen grote problemen meer zal opleveren.



Figuur 15. De gestorte blokkendam gaf drie verschillende taluds te zien.



Figuur 16. Verband tussen damhoogte, damtalud en valhoogte.



Bijzondere toepassing van zandasfalt in de waterbouw

Bij de sluiting van het Rak van Scheelhoek, die de slof fase van de afsluiting van het Haringvliet vormde, is gebruik gemaakt van kubische betonblokken ter grootte van 1 m³, die met behulp van een kabelbaan in het werk werden gestort. De aldus gevormde sluitkade maakte het in principe mogelijk de afsluiting te voltooien door het opspuiten van het grotendeels uit zand bestaande dijkprofiel, dat zeewaarts van de sluitkade is gelegen. De afmetingen en uniformiteit van de stortelementen brachten echter mee dat ook de afmetingen van de holle ruimten tussen de betonblokken relatief groot bleven, hetgeen tot vrij aanzienlijke stroomsnelheden in het inwendige van de sluitkade leidde. Deze sterke lokale stroomsnelheden beletten de sedimentatie van het ingebrachte zand in zodanige mate dat een afdichtingsconstructie moest worden ontworpen om de sluitkade voldoende zanddicht te maken. Met het oog op nog volgende sluitingen was het van belang ervaringen op te doen met een dergelijke afdichtingsconstructie; bij de nog uit te voeren sluitingen in het Brouwershavensche Gat en de Oosterschelde immers moeten hoge vervallen over de sluitkade worden verwacht omdat daarbij niet, zoals in het Haringvliet, gebruik kan worden gemaakt van grote stroomsluizen.

Uit voorafgaande proeven bleek dat tot een niveau van NAP -2 m volstaan kon worden met het storten van grind 'tout-venant' tegen de sluitkade aan. Op hogere niveaus nam de stroomverticaal echter zodanig toe, dat omgezien moest worden naar stroombestendigere materialen. Op grond van laboratoriumproeven viel de keus op zandasfalt, dat als een kap boven NAP -2 m tot een niveau van NAP +1,65 m tegen de blokkendam werd gestort. Aldus werd een nieuwe toepassing gevonden voor dit merkwaardige materiaal dat reeds geruime tijd geleden zijn intrede in de waterbouw had gedaan.

Zandasfalt

Warm bereid schraal zandasfalt bestaat uit veelal lokaal gewonnen, gedroogd en verwarmd zand, gemengd met 2-6% bitumen. De zandkorrels zijn juist of ternauwerheid omhuld, zodat de korrels

* Adjunct-directeur van Bitumarin, Zaltbommel.

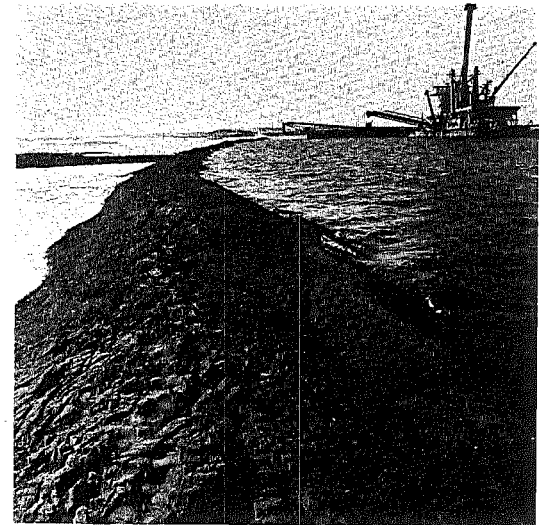
aaneengekit worden; vanwege de lage viscositeit van het bindmiddel in de warme fase overheersen dan de eigenschappen afkomstig van het zand. In de warme fase gedraagt het zich dan ook als rul materiaal, zij het dat afschuivingen zich trager ontwikkelen dan in niet gebonden zand. In afgekoelde toestand overheerst de hoge viscositeit van het bindmiddel, het is dan te vergelijken met zachte zandsteen.

Hoewel de fabricage bijzonder eenvoudig is, vereist de toepassing en verwerking in vele gevallen bijzondere specialistische kennis. Van groot belang bijvoorbeeld is de temperatuurhuishouding. Omdat het materiaal een grote warmte-isolatie waarde heeft en voornamelijk in bulk wordt toegepast, koelen dikke lagen slechts langzaam af, hetgeen soms tot ontoelaatbare zettingen kan leiden. Anderzijds kan deze eigenschap weer van voordeel zijn bij de verwerking, omdat eenvoudige depotvorming mogelijk is. Het zou in dit verband te ver voeren diep in te gaan op de vaak tegenstrijdige eigenschappen van dit materiaal.

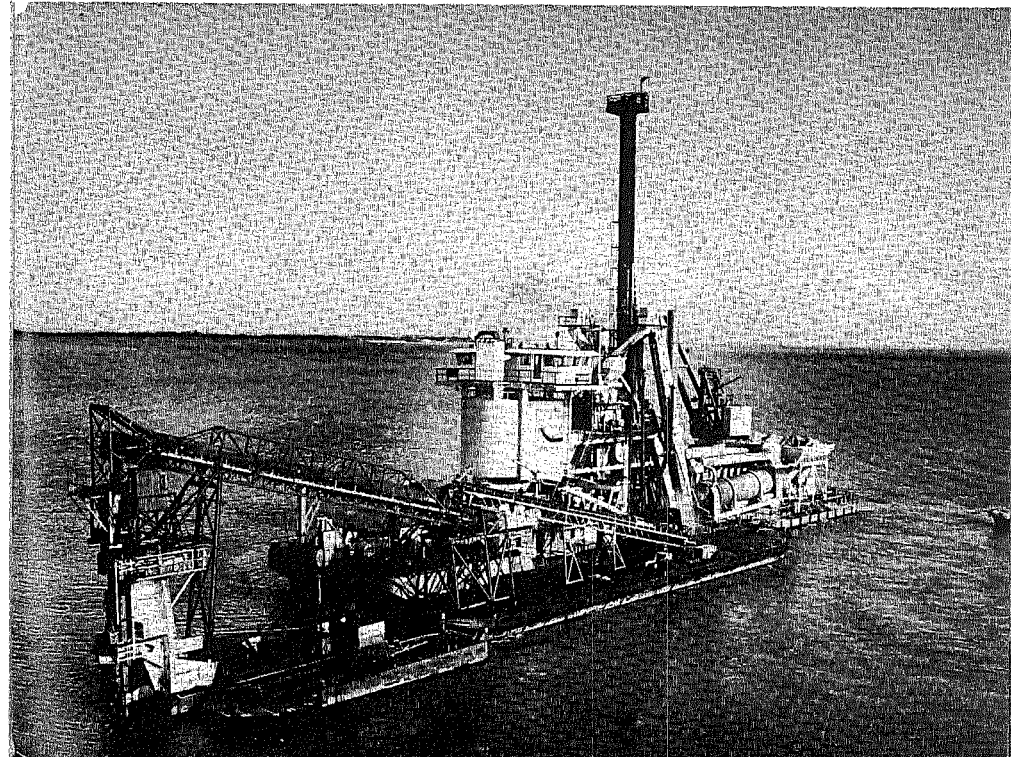
Beter lijkt het aan de hand van enkele voorbeelden aan te geven op welke wijze het materiaal in de waterbouw met voordeel kan worden toegepast. Veelal wordt het materiaal in bulk toegepast op plaatsen waar andere stormmaterialen, zoals goedkope steensoorten schaars zijn, maar wel zand beschikbaar is. De betrekkelijk hoge bestendigheid tegen stroom (tot circa 3 m/sec) en golfbeweging zijn daarbij vaak van doorslaggevend belang, evenals in sommige gevallen de uitstekende filtereigenschappen. In het algemeen wordt het materiaal nadat het is aangebracht niet meer verdicht dan onder zijn eigen gewicht.

De geschiedenis van de toepassing van zandasfalt gaat terug tot direct na de Tweede Wereldoorlog (Harlingen 1947, Hoek van Holland 1947-1948, Westkapelle 1948-1949). In het Deltagebied werd het materiaal voor het eerst beproefd bij de sluiting van de Pluimpot (1957). Bij de sluiting van de Grevelingen (1961) werd zandasfalt op verschillende manieren gebruikt: in het zuidelijk sluitgat werd zandasfalt met behulp van onderlossers gestort in kaden, waartussen de caisson-drempel werd opgebouwd. In het noordelijk sluitgat werd zandasfalt in proefvakken als materiaal

Rechts: verwerking van zandasfalt in een perskade voor de Volkerakdam.



Onder: de 'Jan Heijmans' ingezet voor de tweede dichting van de blokkendam in het sluitgat van de Haringvlietafdamming.



De afsluiting van het Haringvliet

voor de sluitkade verwerkt met behulp van de kabelbaan. Voorts werd hier een proefkade uitgebouwd volgens de zogenaamde 'lavastroom-methode', die deze naam kreeg omdat de kade werd uitgebouwd door steeds over de kop te storten. Door inwendige afschuivingen beweegt de damkop zich naar voren onder 'dekking' van een schild van door het stromend water afgekoeld en daardoor stroombestendig asfalt. Talrijke proeven werden genomen ter bepaling van de eigenschappen van het materiaal (stroombestendigheid) en de verwerkingsmogelijkheden (verwerking door stortpijp). Het merendeel van deze toepassingen en proefnemingen werd door Bitumarin verricht, veelal in nauwe samenwerking met de Deltadienst en het Koninklijke Shell Laboratorium.

In 1967 werd opdracht ontvangen om ten behoeve van de afsluiting van het Volkerak een stroomgeleidende dam in de Geul van Malta aan te leggen. Bij de uitvoering van dit werk werd wederom een schat van ervaringen opgedaan ten aanzien van de toepassing en de uitvoering van zandasfalt bij waterbouwkundige werken. Veel van deze ervaring kon worden gebruikt in de werken die met het in 1968 in dienst gestelde asfaltschip 'Jan Heijmans' werden uitgevoerd, nadat het zijn eerste alsfaltmastiek-bodembescherming had voltooid. Op twee plaatsen in het Deltagebied werden zandasfaltperskaden gemaakt, namelijk in de Oosterschelde (werkeiland Roggeplaat) en te Willemstad.

Opvallend was het gunstige gedrag bij stormachtig weer in vergelijking tot de veel gebruikte mijnsteen.

Eerst in 1969 kwam het tot een grootscheepse toepassing van zandasfalt, namelijk als kernmateriaal voor de Splitsingsdam te Hoek van Holland. Op overtuigende wijze kwamen en komen hier de kwaliteiten van het materiaal ten aanzien van de bestendigheid tegen golf en stroom aan de dag.

Uitvoering afdichtingsconstructie Haringvliet

Aansluitend op het landhoofd van de spuisluizen werd de afdichtingsconstructie over de volle hoog-

te van zandasfalt gemaakt. Tot het niveau van NAP -2 m werd voor de uitvoering gebruik gemaakt van het asfaltschip 'Jan Heijmans' met voor de kop een ponton voorzien van een stortpijp. Via transportbanden kon deze stortpijp worden gevuld. De hoogte van de uitstroombening van de stortpijp kon worden geregeld, en bepaalde de kruinhoogte van de aan te brengen kade. Door het asfaltschip te verhalen kon het onderwatertalud goed worden geprofileerd.

Het boven NAP -2 m gelegen gedeelte werd aansluitend op het landhoofd met vrachtauto's uitgereden en met een bulldozer geprofileerd zover als de kruinbreedte dat toeliet. Het overige deel werd over water met behulp van een drijvende kraan uit bakken direct in het werk overgeslagen.

Tegen het eind van het werk werden tijdens een tweetal weekeinden proeven genomen, waarbij de schuiven van de spuisluizen volgens een bepaald programma werden gesloten en weer geopend. Op deze wijze kon zowel de invloed op de waterbeweging bovenstrooms van de spuisluizen als het gedrag van de afdichtingsconstructie worden bestudeerd. Immers, door het sluiten van de schuiven namen de vervallen over de dam aanzienlijk toe, tot waarden die ook bij de volgende afsluitingen worden verwacht.

Uit de proeven bleek dat met transportbanden en voldoende capaciteit de 'lavastroom-methode' het werken tot circa 1 m verval mogelijk maakt. Het talud van de zandasfaltkade dat bij het storten ongeveer 1 : 2 bedroeg werd tot 1 : 4 verflauwd door het bij vloed uittrekkende (grond)water dat in de nog warme zandasfaltmassa afschuivingen veroorzaakt. De kruinbreedte van de aan te brengen zandasfaltmassa moet zodanig zijn, dat voldoende materiaal aanwezig is om bij het verflauwde talud nog voldoende kruinbreedte over te laten.

Wederom zijn kennis van en ervaring met zandasfalt in de waterbouwkunde uitgebreid, waardoor andermaal het inzicht in het gedrag van dit opmerkelijke materiaal is verruimd.



De hydrometrische begeleiding van de Haringvlietwerken

Gedurende de afsluiting van het Haringvliet tussen 1956 en 1970 werden voorbereiding, uitvoering en modelonderzoek ondersteund met de resultaten van vele natuurmetingen. De opzet en uitvoering van deze metingen werd in sterke mate bepaald door de situering en de wijze van uitvoering van de verschillende onderdelen van het werk in het natuurlijk milieu. Gedurende de lange bouwtijd bepaalde de voortschrijdende ontwikkeling van de techniek niet alleen ontwerp, materiaalkeuze en wijze van uitvoering van de werken, zij had ook invloed op meetinstrumentarium en meettechniek.

De afsluitingswerken en hun invloed op het doorstroomprofiel

Na de vaststelling van het tracé werd in 1956 een bodembescherming gemaakt ter plaatse van de westelijke ringdijk van de toekomstige bouwput voor de spuilsuis. In 1957 kwam deze bouwput tot stand. Het oorspronkelijke doorstroomprofiel beneden NAP, groot 19 500 m², nam met circa 20% af tot 15 700 m². De helft van deze afname werd in de volgende jaren gecompenseerd door de uitschuring van Noord-Pampus en Rak van Scheelhoek (zie figuur 1).

In 1959 kwam de bouwput voor de schutsluis met aansluitende gronddam tot stand, hetgeen geen merkbare invloed uitoefende op de grootte van het doorstroomprofiel. Het Zuiderdiep werd in 1964 aan de oostzijde en in 1965 aan de westzijde afgesloten.

Bijna 10 jaar na de voltooiing van de ringdijk van de bouwput voor de spuilsuis werd deze in 1967 opgeruimd nadat vóórdien toeleidingsgeulen naar de spuilsuis waren gebaggerd.

Op 1 oktober 1968 werden de schuiven van de spuilsuis geopend. Het doorstroomprofiel nam daarmee plotseling toe tot 21 300 m². In de daaropvolgende periode 1 oktober-8 november 1968 werd het Noord-Pampus afgesloten, waarna het doorstroomprofiel slechts 500 m² kleiner was dan in 1956.

In augustus 1969 kwam de drempel voor het wintersluitgat in het Rak van Scheelhoek gereed. Het - nu verdedigde - doorstroomprofiel was afgenomen tot ruim 14 000 m². Tussen februari en

mei 1970 werd het Rak van Scheelhoek geblokkeerd met een dam van betonblokken, waardoor het doorstroomprofiel afnam tot circa 5 300 m². Op 2 november 1970 volgde het dichtzetten van de schuiven in de spuilsuis.

Het natuurlijke milieu

De werken tot afsluiting van het Haringvliet kwamen tot stand in een aan de werking van het getij onderworpen estuarium met bewegelijke zandbodem. Op deze bouwplaats hadden water en wind vrij spel.

Tweemaal daags trokken de getijstromen ver het Haringvliet op om na kentering weer naar zee terug te keren. Afwisselend namen deze getijstromen gedurende ruim zeven dagen in sterkte toe of af naarmate het getij - onder invloed van de maanstanden - de cyclus doorliep van doodtij naar springtij of omgekeerd.

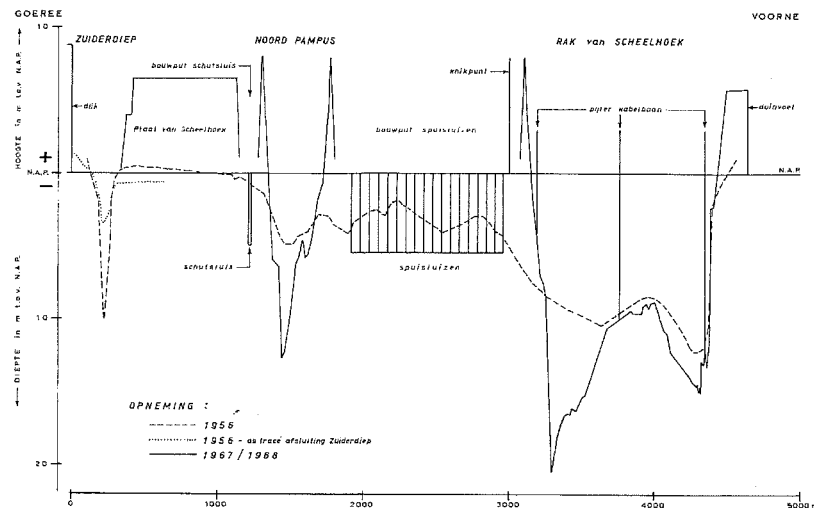
Bovendien stroomde 60% van het Rijn- en Maaswater door het Haringvliet af naar zee, waarbij het aanbod aan rivierwater voortdurend aan - soms sterke - schommelingen onderhevig was. Hierdoor werd de getijstroom verzakt gedurende de vloed en versterkt tijdens de eb.

Krachtige wind uit zee had opwaaiing - verhoogde waterstanden - tot gevolg. Het tegengestelde effect trad op bij zeewaarts gerichte wind. In beide gevallen werd de getijstroom versterkt.

Strijkend over het wateroppervlak veroorzaakt de wind een waterbeweging die - afhankelijk van windsnelheid, windduur, strijklengte en waterdiepte - van simpele rimpels tot machtige golven kan aangroeien. Deze golfbeweging wordt niet alleen gekarakteriseerd door golfhoogte en -periode, doch ook door de golfrichting.

Stromend water, waarvan de snelheid overigens van oppervlak naar bodem afneemt, is in staat om bij toenemende snelheid zand van de bodem in transport te brengen om dit later bij afnemende snelheid elders te deponeren. De omvang van dit zandtransport kan worden beïnvloed door de golfbeweging, die zich namelijk naar de diepte voortplant. Reikt de golfbeweging daarbij tot de bodem, hetgeen afhankelijk is van zowel de golfhoogte als de waterdiepte, dan dient op toenemend zandtransport door de stroom te worden rekend.

Dit zandtransport veroorzaakt bodemverlaging.



Figuur 1. Dwaarsprofiel van het Haringvliet in de as van het voor de afsluiting vastgestelde tracé.

opzanding en geulverplaatsing. Afhankelijk van stroom- en golfbeweging verkeert de bodemligging onder dergelijke omstandigheden in een labiel evenwicht.

In dit natuurlijke milieu betekent elk nieuw stadium in de uitvoering van werken een ingreep, hetgeen het ontstaan van een andere evenwichtssituatie door stroom en golf tot gevolg heeft. De tijdsduur waarbinnen deze evenwichtstoestand tot ontwikkeling komt, vormt de meest ongewisse factor. Belangrijk daarbij is dat de uiteindelijke - overigens tijdelijke - evenwichtssituatie niet nadelig zal blijken te zijn voor de vordering van de werken.

Om deze ontwikkeling in de hand te kunnen houden is vanaf het eerste begin een in de tijd op elkaar afgestemd samenspel nodig tussen ontwerp, modelonderzoek en natuurmeting.

Het doel van de metingen

In de jaren dertig werd voor het laatst een omvangrijk programma van natuurmetingen op het Haringvliet uitgevoerd. Dit geschiedde in het kader van een systematisch onderzoek van de benedenrivieren met aansluitende zeegaten. Nadat besloten was de afsluiting van het Haringvliet als één van de eerste werken ter verwerking van het Deltaplan ter hand te nemen, werd

het noodzakelijk om een uitgebreid meetprogramma op te zetten en uit te voeren ten behoeve van de vaststelling van het tracé. Om inzicht te verkrijgen in de mate van werkbaarheid nabij het te kiezen tracé waren omvangrijke golfmetingen noodzakelijk.

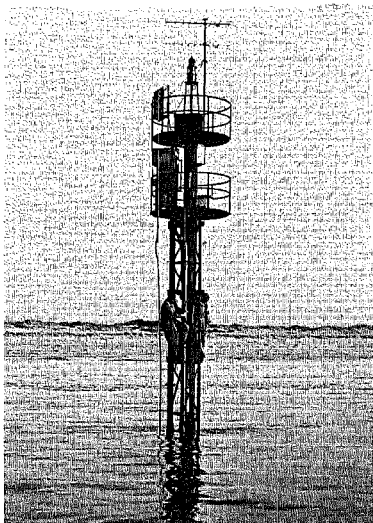
Deze metingen dienden tevens de nodige gegevens te leveren voor de getrouwe weergave van de hydraulische situatie in situ - bodemligging, getij- en stroombeweging - in de waterloopkundige modellen. Na reproductie daarvan in een model kon het onderzoek voor ontwerp en uitvoering van de werken beginnen.

Na de definitieve vaststelling van het tracé en de aanvang van de werken bleven de peilingen en metingen een veelgevraagd artikel. Alleen aan de hand van deze gegevens kon men zich een beeld vormen van hetgeen zich in werkelijkheid onder het wateroppervlak afspeelde.

Het doel van de peilingen en metingen was in grote trekken gedurende de bouw van de afsluiting van het Haringvliet gericht op de bewaking van de werken, de begeleiding van de uitvoering, het tussentijds verstrekken van informatie voor het modelonderzoek en de controle achteraf op de modelresultaten.

Daarnaast werd een omvangrijk golfonderzoek verricht.

* Hoofdingenieur Rijkswaterstaat, Waterloopkundige Afdeling, Hellevoetsluis.



Golfmeetpaal in Rak van Scheelhoek nabij Voornse oever. Montage van elektrische stappenbaak.

Met behulp van peilingen werd de bodemligging rond de werken bewaakt. Veranderingen daarin konden hiermede worden opgespoord, zodat men tijdig was ingelicht over het mogelijk ontstaan van ongewenste situaties. Het stroombeeld werd eveneens bewaakt door de periodieke uitvoering van metingen in enkele referentiepunten. Tevens werden met dit doel meermalen metingen in een wijdere omgeving uitgevoerd.

Zodra uit een waterloopkundig modelonderzoek bleek, dat zich moeilijke situaties zouden kunnen voordoen bij de uitvoering van bepaalde werkzaamheden – uitbouw van dijklichamen, opklappen van troggen, dichting van sluitgaten – werden ter plaatse vóór metingen verricht. Op grond van de resultaten van modelonderzoek en natuurmetingen kwam de keuze van constructie, bouw-materiaal en wijze van uitvoering tot stand.

Tijdens de daarop volgende uitvoering van de betreffende werkzaamheden werden opnieuw me-

tingen verricht onder meer ter controle op de modelresultaten.

De afsluiting van het Haringvliet werd in onderdelen uitgevoerd. Na het gereedkomen van elke bouwfase paste het natuurlijke milieu zich in kortere of langere tijd aan de nieuwe situatie aan. Alvorens tot de bouw van een volgend onderdeel werd overgegaan, werd de nieuw ingetreden hydraulische situatie met peilingen en metingen vastgelegd ten behoeve van de instelling van het waterloopkundig model, waarin zich het onderzoek voor de volgende bouwfase zou afspelen.

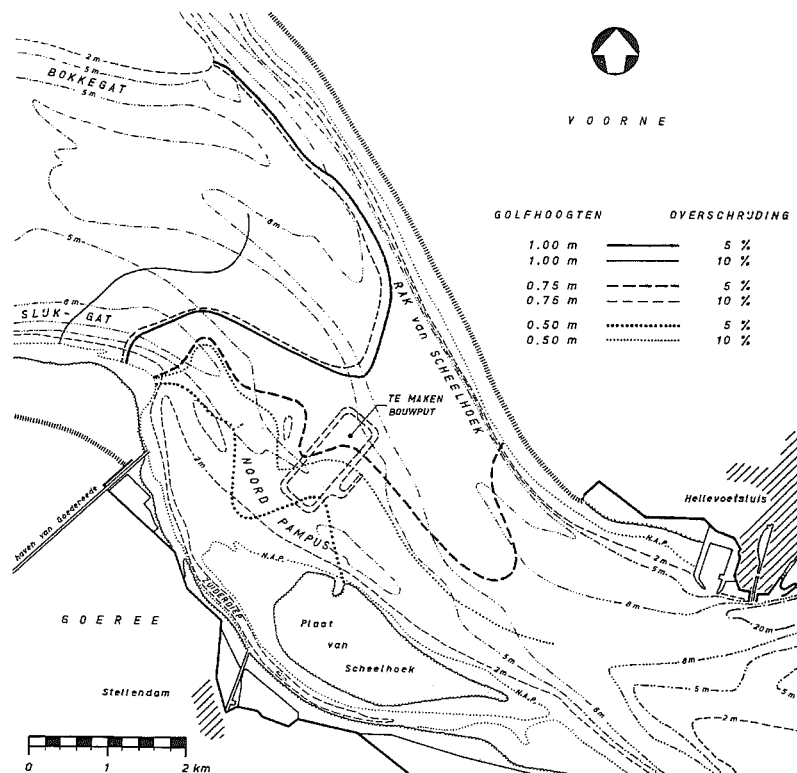
Met de sluiting van het Rak van Scheelhoek kwam de afdaming van het Haringvliet in het eindstadium. Deze afsluiting bracht vanzelfsprekend een verhoogde mectactiviteit met zich mede. Tijdens en na de bouw van de blokkendam was het doel van de metingen in hoofdzaak gericht op de zich wijzigende afvoerverdeling tussen het Rak van Scheelhoek en de spuisluis, de afvoer door de blokkendam, de relatie tussen de stroomsnelheid in een sluisopening en het verval over de blokkendam alsmede de verdeling van de stroomsnelheid zowel over de spuisluis als over een enkele sluisopening.

De felle stroom door de spuisluis maakte de uitvoering van een intensief peilprogramma noodzakelijk met het doel de stortebedden met naaste – onbeschermd – omgeving ter weerszijden van de spuisluis te bewaken. Bovendien werd de blokkendam in opbouw gepeld onder meer ter bepaling van de taludhellingen van deze dam.

Golfmetingen

De keuze van het tracé voor de afsluiting van het Haringvliet was in sterke mate afhankelijk van de werkbaarheid; deze werd bepaald door de te verwachten golfbeweging nabij dit tracé.

Voor de vereiste kennis van de golfbeweging in het gebied, dat voor dit tracé in aanmerking kwam, kon niet worden teruggevalen op de resultaten van enig doelbewust opgezet golfonderzoek in een recent verleden. In januari 1955 werd daarom ijlings begonnen met het vastleggen van het aldaar optredende golfbeeld. Dit eerste onderzoek strekte zich over het gehele jaar 1955 uit en omvatte het dagelijks opnemen van de optredende golfhoogten in de mond van het Haringvliet.

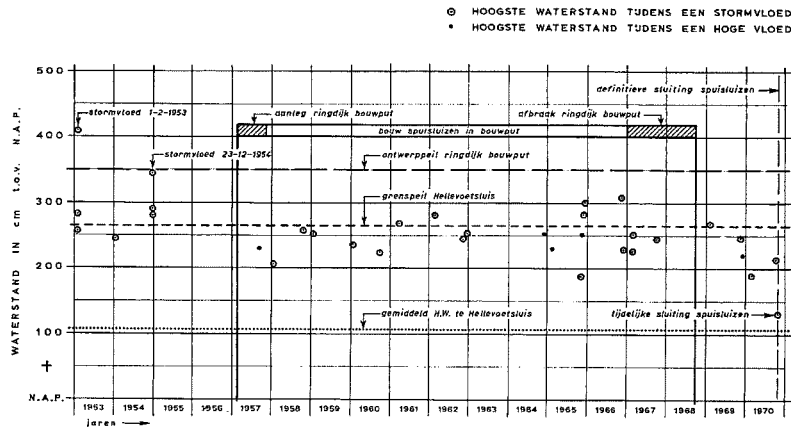


Figuur 2. Frequentielijn van de twee maal per dag visueel waargenomen golfhoogten in de mond van het Haringvliet (1955).

Tweemaal per dag vertrok een meetvaartuig met enkele waarnemers aan boord uit Hellevoetsluis om de golfhoogten nabij de uitgelegde betonning voor de scheepvaart visueel te schatten. Dit schatten van golfhoogten zonder hulpmiddelen is zeer moeilijk en vrij onnauwkeurig. De onnauwkeurigheid neemt toe naarmate de golfbeweging hoger wordt; de golven worden dan, zoals ook elders bleek, steeds te hoog geschat. Door de lengte van de waarnemingsperiode kon uit de meetresultaten niettemin toch een min of meer aanvaardbaar resultaat worden gestedilleerd (zie figuur 2). Van de verkregen meetresultaten werd eveneens gebruik gemaakt bij de vaststelling van de kruinhoogte van de ringdijk rond de bouwput voor de spuisluis; deze werd daarbij bepaald op NAP

+8,00 m. De dijk werd berekend op een waterstand van NAP +3,50 m, die met een frequentie van eenmaal per 50 jaar voorkomt en nagenoeg overeenkomt met de hoogste waterstand, die te Hellevoetsluis optrad tijdens de stormvloed op 23 november 1954. Gedurende de bouw van de afsluitingswerken in het Haringvliet werd deze waterstand echter nimmer bereikt; de hoogst opgetreden waterstand bleef hier ruim 4 dm onder (zie figuur 3).

Om de golfloop op een met bitumen beklede dijk na te gaan is in de periode januari 1958 tot februari 1962 een serie metingen verricht aan de noordwestzijde van de bouwput voor de spuisluis. De golfloop werd hierbij visueel bepaald aan de hand van op de ringdijk geschilder-



Figuur 3. Stormvloeden opgetreden tijdens de uitvoering van de afsluitingswerken in het Haringvliet. Onder een stormvloed wordt in dit verband verstaan een getij waarbij in één of meer van een aantal hoofdwaarnemingspunten aan de Nederlandse kust het grenspegel wordt bereikt of overschreden. Onder een grenspegel wordt verstaan een waterstand die gemiddeld eenmaal in de twee jaar wordt bereikt of overschreden.

de vakken. Tijdens deze golfoplopmetingen, die alleen bij noordwesterstorm plaatsvonden, zijn tevens visuele golfwaarnemingen verricht aan een ter plaatse vast opgestelde golfmeetbaak. Bovendien kon worden beschikt over de golfregistraties van een nabij gelegen golfmeetpaal, die later zal worden besproken. De metingen werden verricht bij waterstanden, die varieerden van NAP +1,50 m tot NAP +2,85 m. Mede door het warrelige golfbeeld ter plaatse vertoonden de meetgegevens onderling een grote spreiding, waardoor geen bevredigend resultaat werd verkregen.

Nadat het tracé van de afsluiting was vastgesteld en de plaats van de bouwput voor de spuisluisen bekend was geworden, dienden meer en nauwkeuriger gegevens omtrent de golfbeweging te worden verkregen ter bepaling van onder andere de in de toekomst te verwachten krachten op de schuiven van de spuisluisen.

Niet alleen dienden de golfhoogtefrequenties bij de verschillende omstandigheden te worden bepaald, ook moest een aantal belangrijke onderzoeken worden verricht naar bijvoorbeeld de vorm en samenstelling van de golven, de golfrefractie en de golfenergie. Als eerste stap hiertoe is in 1956 en 1957 een aantal stalen golfmeetpalen geplaatst en werden hierop registrerende golfmeetinstrumenten opgesteld.

Eén van de twee typen registrerende golfmeetinstrumenten, die bij de bouw van de afsluitingswerken in hoofdzaak zijn gebruikt, is de golfamplitudeschrijver van ir. Wemelsfelder. De verticale beweging van het wateroppervlak aan de golfmeetpaal wordt hierbij door een vlotter gevolgd en mechanisch overgebracht op een schrijfstift. De schrijfstift registreert vervolgens de beweging door deze in te krassen op waspapier. Om papier te besparen is de constructie van het instrument zodanig, dat de registratie zeer gedrongen wordt weergegeven en bovendien steeds wordt onderbroken. Hierdoor verkrijgt de registratie van de golfwaarnemingen de vorm van een aantal naast elkaar gelegen blokjes. Van elk tiende blokje wordt het eerste gedeelte in een uitgerekte vorm weergegeven, zodat hierin ook de golven afzonderlijk goed kunnen worden onderscheiden.

Het andere type golfmeetinstrument is de elektrische stappenbaak met radiografische golfoverdracht. De aan de golfmeetpaal verticaal gemonteerde stappenbaak bestaat uit een met staaldraad verstevigde bundel elektrische kabels, waaraan op onderling gelijke afstanden van 4 of 5 cm elektroden zijn bevestigd. De golfbeweging wordt hierbij bepaald aan de hand van het steeds wisselende aantal elektroden, dat zich onder water

bevindt en aldus door het zeewater wordt kortgesloten. De verkregen informatie worden vervolgens langs radiografische weg overgebracht naar de registratie-apparaat, die staat opgesteld in Hellevoetsluis. Daar kunnen de opgevangen signalen worden verwerkt tot geschreven informatie en/of worden vastgelegd op ponsbanden.

Tijdens een aantal simultane metingen aan één der golfmeetpalen in 1959 en 1960 zijn de resultaten, die met de beide registrerende golfmeetinstrumenten zijn verkregen, met elkaar vergeleken. Gedurende enige metingen in 1960 werd bovendien gebruik gemaakt van een filmcamera om de werkelijke golfbeweging te kunnen vaststellen. Hierbij is gebleken, dat de beide golfmeetinstrumenten zowel de vorm als de hoogte der golven goed weergeven, zij het dat de golfamplitudeschrijver de golfhoogte circa 10% te laag aangeeft. Ditzelfde percentage is ook gebleken uit latere onderzoeken.

Ten aanzien van het gebruik kan worden gesteld, dat de golfamplitudeschrijver bijzonder bedrijfszeker is en voor het doel – het verzamelen van golfhoogtefrequenties bij verschillende omstandigheden – zelfs het aangewezen instrument is. Voor een meer gedetailleerde bestudering van de golven is dit instrument niet geschikt. De elektrische stappenbaak met radiografische golfoverdracht leent zich daarentegen zeer goed voor een meer uitgebreide studie van de golfbeweging, mede doordat over ponsbanden kan worden beschikt, die door een computer kunnen worden bewerkt. Daarnaast geeft dit instrument directe informatie over de golfbeweging ter plaatse. De bedrijfszekerheid van dit instrument – dat tegenwoordig wordt uitgerust met een gladde baak, waarbij de elektroden de vorm van ringen hebben verkregen en niet meer buiten de baak uitsteken – doet niet onder voor die van de golfamplitudeschrijver.

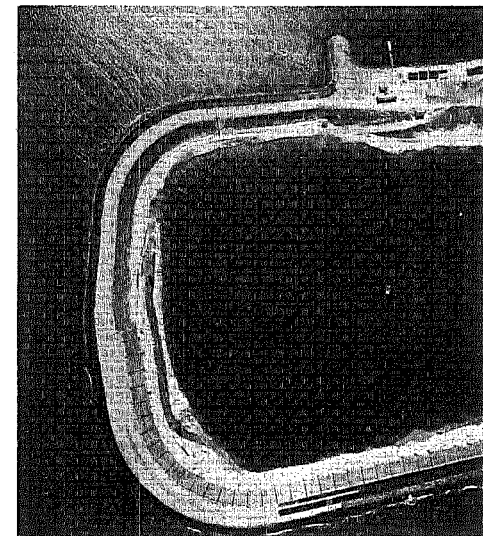
De eerste registratie verkregen met de golfamplitudeschrijver dateert uit november 1956, terwijl de eerste radiografisch overgebrachte registratie in december 1957 plaatsvond. In de periode van 1956 tot 1962 zijn op deze wijze de registraties verkregen van een viertal golfmeetpalen nabij de bouwput voor de spuisluisen en van een tweetal golfmeetpalen op de rand van het zeegebied voor

de mond van het Haringvliet (zie figuur 2). In 1963 en 1964 werd in het laatstgenoemde gebied het aantal meetpunten met een zestal uitgebreid ter verdieping en aanvulling van de reeds verkregen kennis over de golfbeweging aldaar.

Na het gereedkomen van de spuisluis werd ter weerszijden van het Rak van Scheelhoek nog een tweetal golfmeetpalen geplaatst. Hiermede werd de vereiste informatie over de golfbeweging verkregen, nodig voor de bepaling van de hoogte van de betonblokkendam en de daarop te verwachten golfaanval gedurende de bouw.

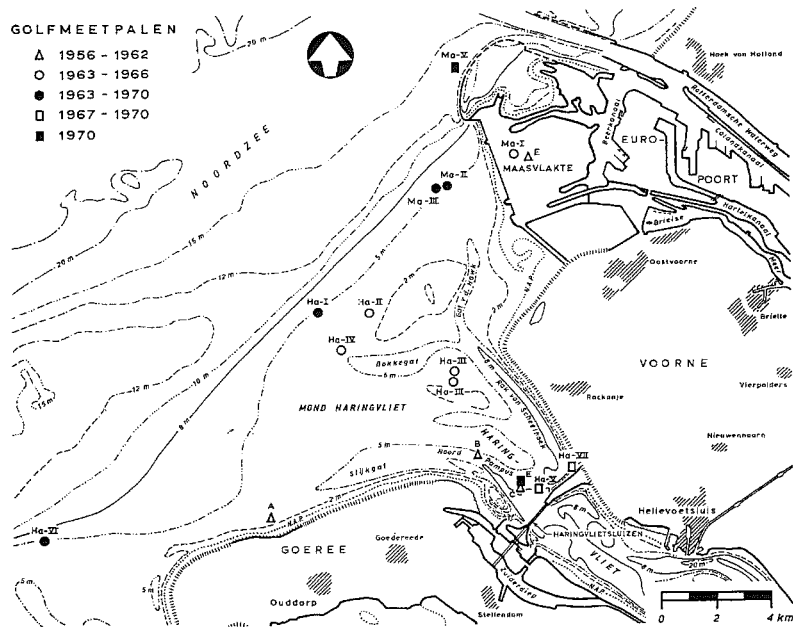
Ten behoeve van toekomstige studies over de krachten, die in werkelijkheid in de schuiven optreden als gevolg van golfaanval, is nog in 1970 een golfmeetpaal op 1250 m uit de spuisluis geplaatst (zie figuur 4).

Het golfpatroon tijdens storm nabij de grote bouwput gefotografeerd door een fotoverkenningsvliegtuig van de Koninklijke Luchtmacht.

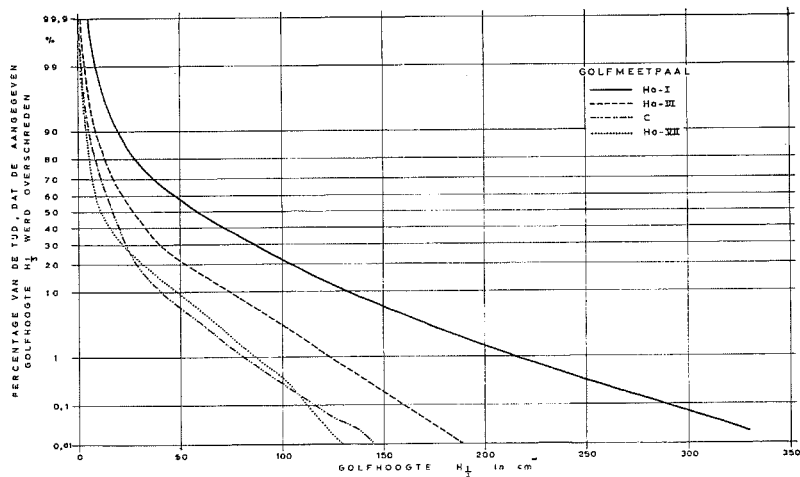


GOLFMEEET PALEN

- △ 1956 - 1962
- 1963 - 1966
- 1963 - 1970
- 1967 - 1970
- 1970



Figuur 4. De opstelling van de golfmeetpalen in het Haringvliet in de periode 1956-1970 en de frequentiekrommen voor golfhoogten $H_{\frac{1}{2}}$ in de mond van het Haringvliet (onder)



De hydrometrische begeleiding van de Haringvlietwerken

Verder zijn in 1957 golfwaarnemingen verricht met behulp van een 8 mm-radar. De optredende golfpatronen nabij de in aanleg zijnde bouwput voor de spuisluzen werden zichtbaar gemaakt op een radarscherm, dat vervolgens werd gefotografeerd. Uit deze radartoto's konden zeer belangrijke gegevens worden verkregen over onder meer de voortplantingsrichtingen der golven en de optredende golfrefracties onder de diverse omstandigheden. Tegenwoordig worden de golfpatronen tijdens storm vastgelegd door met behulp van vliegtuigen luchtfoto's op schaal 1:6 000 te maken.

Tot slot zij nog vermeld dat tijdens de diverse onderzoeken steeds weer is gebleken, dat de golfbeweging in de mond van het Haringvliet een zeer grillig karakter vertoont.

De golfbeweging wordt namelijk niet alleen bepaald door de optredende waterstanden en de steeds wisselende winden, maar ook in zeer belangrijke mate door de aldaar voorkomende ondiepe onderwaterdelta met enkele diepere geulen. Daarnaast oefent ook de eb- en vloedbeweging invloed uit op het golfbeeld. Het golfpatroon is hierdoor bijzonder gecompliceerd.

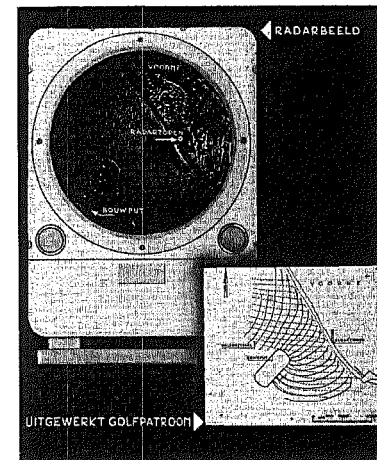
Bij de interpretatie van de verkregen meetgegevens is inmiddels duidelijk gebleken, dat de golfbeweging is samengesteld uit golven, die vanuit de Noordzee komend tijdens hun voortplanting naar de spuisluis in hoogte afnemen, en uit golven, die door de lokale windsituatie boven de onderwaterdelta zijn ontstaan (zie figuur 4).

Stroommetingen

De eerste indruk van de stroombeweging in het Haringvliet werd verkregen door de uitvoering van een groot aantal stroommetingen in 1956 ten behoeve van de vaststelling van het tracé van de afsluiting.

Deze en latere metingen werden als regel simultaan verricht vanaf meerdere, ten anker liggende vaartuigen van het type motorvlet.

Gemeten werd vanaf het wateroppervlak naar de bodem en op dezelfde meetdiepten terug. Gezien de getijduur - 12 uur en 25 minuten - werd als regel 13 uur achtereenvolgens gemeten. Aanvankelijk mat men stroomsnelheid en -richting met afzonderlijke meetinstrumenten. Sedert 1965 is het



mogelijk om beide grootheden gelijktijdig met één instrument te meten.

Op 13 februari 1957 ving de bouw van de ringdijk om de toekomstige bouwput voor de spuisluis aan. Begonnen werd met de bouw van de westelijke dijk. Volgens de uitkomsten van het modelonderzoek zou de stroom steeds sterker worden naarmate de dambouw meer in noordelijke richting vorderde. Daarmede ontstond kans op ontgroningen, waardoor een snelle voortgang van de werkzaamheden zou worden belemmerd. Het aanbrengen van een bodembescherming zou bij het later weer afbreken van het dijklichaam veel extra moeite betekenen. De oplossing is toen gevonden in het bouwen van een betugelingsdam op ongeveer 70 m binnenwaarts van de buitenste dijk. Deze dam kon dan later in den droge worden opgeruimd. Bij het sluiten van het stroomgat in de betugelingsdam is gebruik gemaakt van een aantal caissons. Alvorens het echter zover was, waren er tal van stroommetingen uitgevoerd in het sluitgat. Tijdens de laatste meting liep de stroomsnelheid op tot boven 2 m/sec.

De afsluiting van het Haringvliet

Bij het verder uitbouwen van de ringdijk werden de kopmetingen voortgezet; opmerkelijke stroomsituaties kwamen echter niet meer voor. Op 12 november 1957 werd de ringdijk tijdens laagwater gesloten.

Metingen ten behoeve van de uitvoering van werken waren toen voorlopig niet meer nodig, daar de bouw van de spuisluis zich de eerstvolgende jaren binnen de ringdijk voltrok. Dit betekende echter niet, dat de werkzaamheden rond de ringdijk waren afgelopen. Integendeel, er moest een uitgebreid peil- en meetprogramma worden uitgevoerd om eventuele gevaren, die de ringdijk zouden kunnen bedreigen, tijdig te onderkennen.

Tevens konden de resultaten van het modelonderzoek in de werkelijkheid worden gecontroleerd, waartoe metingen werden verricht in wervelstraten en op steile en flauwe taludhellingen om de eventuele snelheidsvariëaties te leren kennen. Uit deze metingen bleek het stroombeeld langs de noordwestzijde van de ringdijk in werkelijkheid ongunstiger te zijn dan in het model. De bezinking moest dientengevolge in 1958 en 1961 worden uitgebreid.

Na de bouw van de ringdijk was het doorstroomprofiel in de mond van het Haringvliet met 20% verminderd. Daar een nieuwe evenwichtssituatie zich slechts geleidelijk aan instelde was regelmatig controle van de stroomsituatie noodzakelijk.

Met dit doel werden talrijke stroommetingen verricht in een referentiepunt en in het Noord-Pampus en in het Rak van Scheelhoek.

Bovendien werden zowel in de as van het tracé van afsluiting als in een tweetal meettraaien op 1800 m ter weerszijden daarvan simultane metingen met 12 tot 17 vaartuigen verricht.

Van september 1957 tot juni 1967 vonden 8 van dergelijke uitgebreide afvoermetingen plaats, waaruit bleek, dat de Deltageul 10-12% van de totale afvoer door het Haringvliet gedurende het getij verwerkte. Een uitzondering hierop deed zich voor tijdens de meting op 21 mei 1964, toen de Deltageul slechts 8% van de totale afvoer bleek te verwerken.

Het Zuiderdiep nam tot de afsluiting daarvan in 1964 minder dan 1% voor zijn rekening.

Het Rak van Scheelhoek was duidelijk tot hoofdstroomgeul geworden.

Na het openzetten van de spuisluizen op 1 oktober 1968 bleek de afvoerverdeling weer vrijwel overeen te komen met die op 5 en 6 april 1957, toen de bouw van de ringdijk nog geen twee maanden in uitvoering was. Opmerkelijk was toen ook, dat de trog langs de noordwestkant van de bouwput tot op 15 meter boven de bodem vrijwel stroomloos was geworden. Hiervan is gebruik gemaakt om deze snel op te klappen in het kader van de drempelopbouw voor het wintersluitgat in het Rak van Scheelhoek. In de periode van opbouw van deze drempel in het Rak van Scheelhoek en tijdens het daarop opstorten van de betonblokkendam nam de afvoer door het Rak van Scheelhoek snel af. Nadien bleek door de poreuze blokkendam nog slechts 9% van de totale afvoer van het Haringvliet te stromen.

Aan het stroommeten vanaf vaartuigen is het bezwaar verbonden, dat dit slechts goed mogelijk is bij een betrekkelijk geringe golfbeweging. Bovendien kunnen deze metingen bezwaarlijk langere tijd continu worden uitgevoerd.

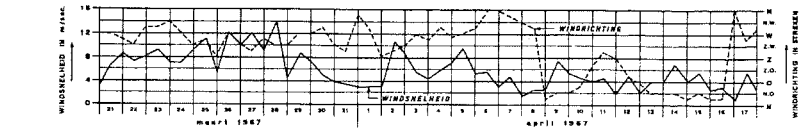
Nadat in 1966 de beschikking was verkregen over enkele 'Flachseestrommesser', werden hiermede metingen verricht in de beide hoofdgeulen van het Rak van Scheelhoek ter plaatse van het tracé van de afsluiting. Met dit meetinstrument, dat op de bodem wordt verankerd, kunnen stroomsnelheid en -richting op een nader te bepalen meethoogte boven de bodem continu gedurende 28 dagen achtereenvolgend worden gemeten.

Uit de verkregen meetresultaten bleek, dat de maximale stroomsnelheid onder invloed van getij en wind (op- en afwaaiing) bij een oppervlakteafvoer van circa 3000 m³/sec gedurende eb en vloed aldaar kon variëren tussen 0,70 en 2,25 m/sec (zie figuur 5).

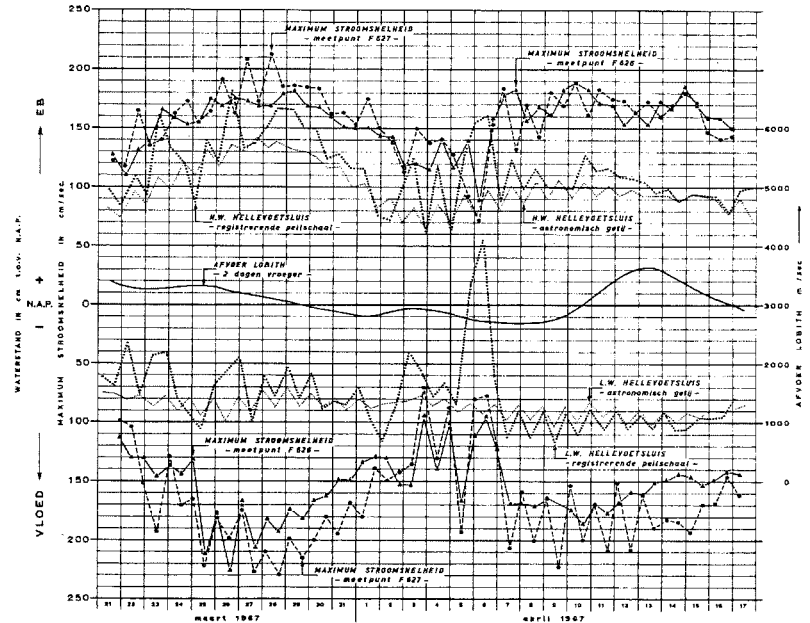
Het karakter van het Rak van Scheelhoek bracht met zich mede, dat gevreesd moest worden voor stroomaanval op de Voornse oever zeewaarts van de afsluiting. Ter bewaking van deze oever werden meerdere simultane stroommetingen in de loop der jaren langs deze kust verricht.

De beschreven stroommetingen werden nog aangevuld met drijvermetingen om inzicht te ver-

Figuur 5.

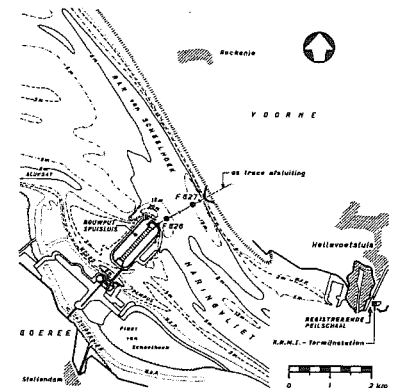
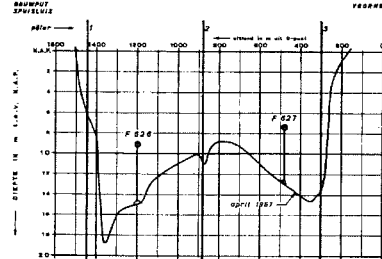


Windsnelheid en windrichting waargenomen door het KNMI-terminstation te Hellevoetsluis.

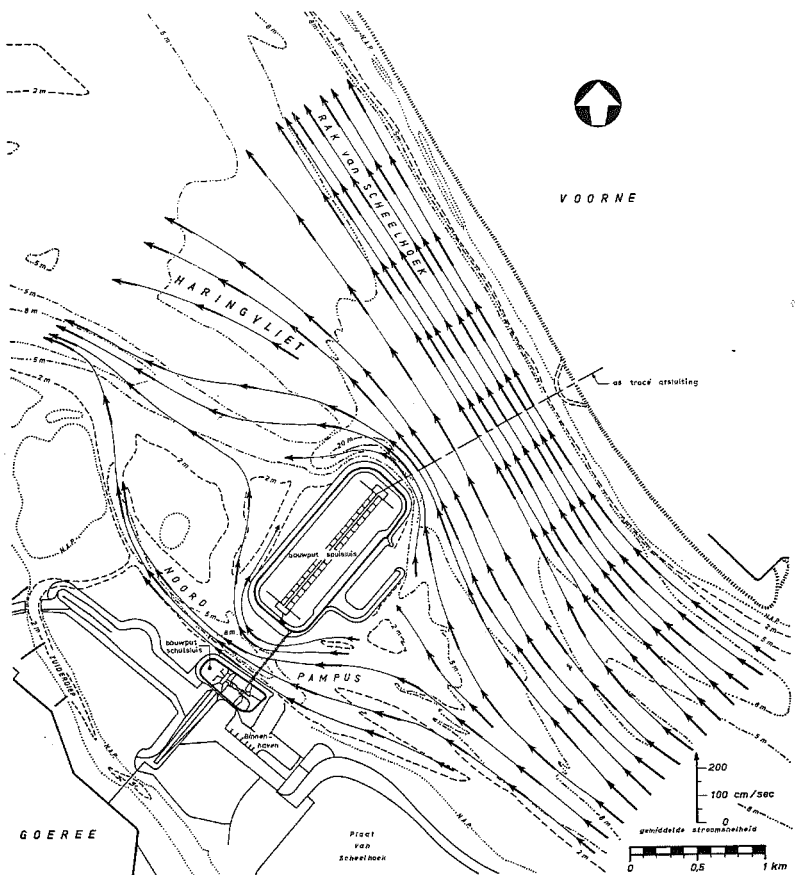


Maximum stroomsnelheden tijdens eb en vloed, gemeten met de 'Flachseestrommesser' (astronomisch- en opgetreden getij) in de as van de afsluiting.

Dwaarsprofiel in de as van het afsluitingstracé, gemeten met 'Flachseestrommesser'.



Situatie in de omgeving van het tracé van de afsluiting in het Rak van Scheelhoek.

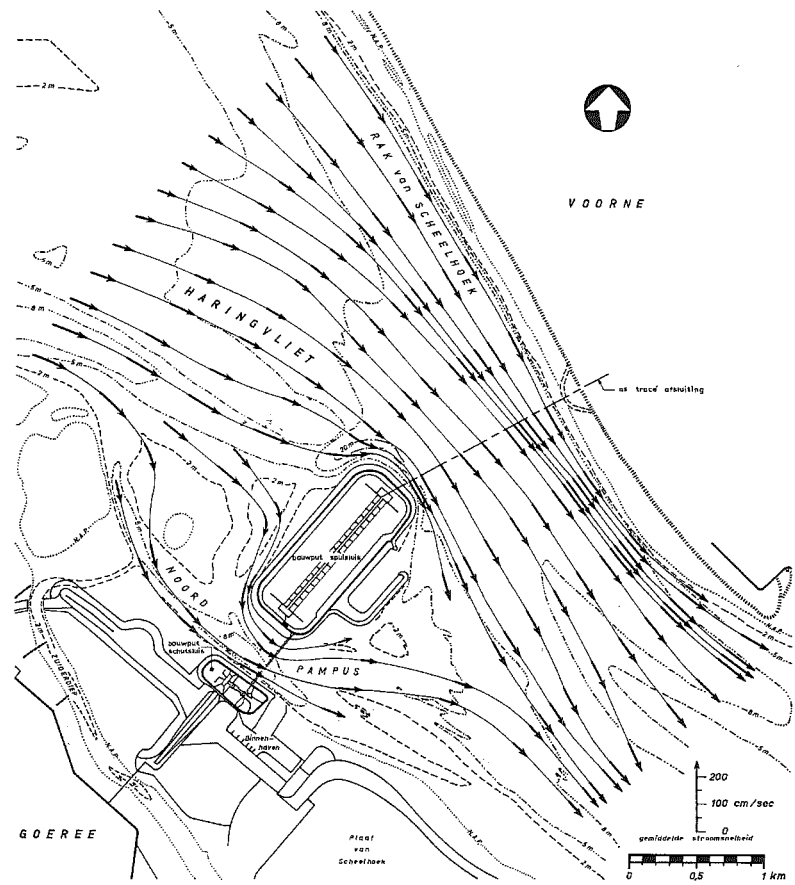


Figuur 6. Stroomsituatie in de omgeving van de grote bouwput tijdens maximum ebstroom onder gemiddelde omstandigheden van afvoer en getij (1965).

krijgen in de stroombanen in een bepaald gebied. Hiervoor worden koppelstokdrijvers gebruikt, waarvan de posities binnen het drijfvlak visueel worden ingemeten. Aan deze meetmethode zijn als nadelen verbonden, dat een groot aantal waarnemers nodig is, de uitwerking van de meetresultaten veel tijd neemt en slechts een beperkt aantal drijverbanen kan worden bepaald.

In 1957 werd voor het eerst hier toe gebruik gemaakt van een 8 mm-radaropstelling, geplaatst op een duintop op Voorne. De drijvers werden

uitgerust met radarreflectoren, waardoor deze als lichtende puntjes zichtbaar werden op het beeldscherm. Deze techniek opende de mogelijkheid om de stromingstoestand in een vrij omvangrijk gebied gewaar te worden. Door enkele meetvaartuigen werd een groot aantal drijvers te water gelaten, hetgeen even zoveel lichtende puntjes op het radarscherm opleverde. Afhankelijk van de drijversnelheid (= stroomsnelheid) werd het radarscherm met tussenpozen van enkele minuten gefotografeerd, waarbij de tijdstippen van foto-



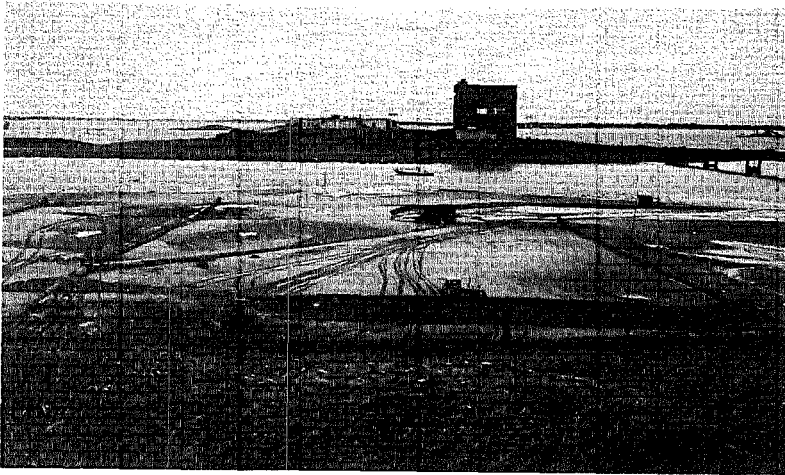
Figuur 7. Stroomsituatie in de omgeving van de grote bouwput tijdens maximum vloedstroom onder gemiddelde omstandigheden van afvoer en getij (1965).

graferen nauwkeurig werden opgenomen en genoteerd. De baan van elke drijver werd zo met een reeks opnamen vastgelegd. De opeenvolgende negatieven werden nadien op één kaart geprojecteerd, waardoor de drijverbanen konden worden ingetekend.

Nadat in 1964 de radioplaatsbepaling volgens het Decca-systeem ook betrouwbaar was geworden voor de mond van het Haringvliet nabij het tracé van de afsluiting, konden de opeenvolgende posities van de drijvers direct tijdens de meting

worden bepaald met vaartuigen, uitgerust met deze plaatsbepalingsapparatuur. Elk vaartuig volgt daartoe meerdere drijvers.

In 1964 en 1965 kon de stroomsituatie rond de bouwput voor de spuisluis worden vastgelegd met behulp van drijvermetingen. Daarbij bleek, dat aan weerszijden van deze bouwput een aanmerkelijke 'stroomschaduw' aanwezig was (zie figuren 6 en 7). Hiervan is naderhand gebruik gemaakt voor het baggeren van de toeleidingsgeulen naar de spuisluis voordat de ringdijk werd opgeruimd.



Stroommeting in oktober 1968 tijdens de afsluiting van het Noord-Pampus.

De afsluitingen van Zuiderdiep en Noord-Pampus werden begeleid met de uitvoering van stroommetingen in de sluitgaten. Bijzondere omstandigheden deden zich daarbij overigens niet voor.

Tenslotte werden tijdens en na de afsluiting van het Rak van Scheelhoek stroommetingen verricht in diverse openingen van de spuisluis met onder meer het doel de afvoercoëfficiënten van de sluisopening te bepalen. De maximum gemiddelde stroomsnelheid in de onderscheiden sluisopening liep op van 2,20 m/sec tot bijna 3,70 m/sec op het moment dat de blokkendam voltooid was. De maximum gemeten stroomsnelheid aan de oppervlakte bedroeg 4,38 m/sec!

Tijdens deze metingen leverde de verankering van de vaartuigen bijzondere problemen op. Ankers waren hier niet te gebruiken. Ieder vaartuig werd vastgelegd aan nylonreids, die dwars over de sluisopening waren gespannen tussen de bolders in de kolkmuur.

Bijkens de gemeten stroomsnelheden in de onderscheiden sluisopening wordt de afvoer zeer gelijkmatig verdeeld over de gehele sluis; terwijl

de momentane stroomsnelheid over de volle breedte van de sluisopening tot op korte afstand uit de pijlers nagenoeg gelijk is.

Peilingen

In 1956 werd de bodembescherming ter plaatse van de toekomstige ringdijk rond de bouwput voor de spuisluis aangebracht, waarna in 1957 met de dijk aanleg werd begonnen.

Vóóraf was de bodemligging nauwkeurig vastgesteld aan de hand van uitgevoerde peilingen.

Deze peilingen werden daarna frequent voortgezet ter bewaking en begeleiding van het werk in uitvoering.

Voor het verrichten van dit peilwerk gebruikte men een vaartuig, dat voor de dieptemeting tussen wateroppervlakte en bodem is uitgerust met een - registrerend - hydrografisch echolood. Het peilen geschiedde volgens raaien. Tijdens de peiling vond meting van de rijzing of daling van de waterspiegel gedurende het getij plaats aan een peilschaal in het opnamegebied. Daarbij werden tijdstip en waterstand elke 10 minuten genoteerd.

De plaatsbepaling op het water leverde echter aanvankelijk problemen op. Ter oplossing daarvan werd in het water binnen de toekomstige ringdijk een vijftal palen in de bodem gespoten. Het steeds opnieuw bepalen van de positie van het peilvaartuig ten opzichte van een van deze palen geschiedde met een afstandsmeter. De moeilijkheid daarbij was, dat van de te varen raai slechts één punt op het water was uitgezet; het uitzetten van een tweede punt was niet mogelijk. Om die reden werd een raai tijdens het loden zodanig gevaren, dat de bewuste paal steeds samenvoert met een markant punt (duintop, boei, enzovoort) op de achtergrond. De richtingen naar deze markante punten werden naderhand vanuit de paal bepaald en vastgelegd aan een bekende richting tussen paal en een in coördinaten bekend punt op de wal.

Bij deze peilingen werd dus nog niet gewerkt volgens een vóóraf vastgelegd raaiensysteem. Naarmate het werk vorderde werd zoveel mogelijk gemeten vanaf het inmiddels gereedgekomen gedeelte van de ringdijk.

Op 12 november 1957 werd de ringdijk van de bouwput aan de Haringvlietzijde gesloten. Tegelijk met het baggermateriaal werd een peilvlet in de bouwput ingesloten voor het regelmatig opnemen van de stand van het opschonen en het onder profiel brengen van de bodem. De keuze van de peilraaien vond zodanig plaats, dat deze loodrecht stonden op de lengte-as van de bouwput. De plaatsbepaling geschiedde daarbij met een afstandsmeter vanuit een vaste meetlijn op de ringdijk.

Op 11 maart 1958 werd de ringdijk tijdelijk geopend om het drijvend materiaal uit de bouwput te laten.

Na voltooiing van de ringdijk rond de bouwput moest het onderwatertalud met aangrenzende bodem periodiek worden gelood. Deze peilingen waren noodzakelijk voor het tijdig onderkennen van eventuele ontgrondingen en voor het kunnen handhaven van de minimum vaardiepte voor de werkvaart naar de werkhaven.

Voor deze peilingen werd een meetlijnenstelsel uitgezet, dat met perkoenen op de kruin en met verstrepen op het talud werd verkleid.

Weldra bleek dat twee gebieden - de noordzijde

van de bouwput en de Deltageul - veel aandacht opeisten. De bodem in beide gebieden bleef uitermate bewegelijk in de periode tussen het gereedkomen van de bouwput in november 1957 en de opruiming daarvan in april 1967.

Langs de noordzijde van de bouwput had sterke trogvorming plaats.

Van de Deltageul maakte de werkvaart tussen Hellevoetsluis en de bouwput voor de schutsluis gebruik. Hierdoor voeren tevens de vissersvaartuigen uit Stellendam van en naar zee. Regelmatig verondiepte de Deltageul, deels door natuurlijke aanzanding en deels omdat de geul zich verlegde als gevolg van zandwinning in de naaste omgeving.

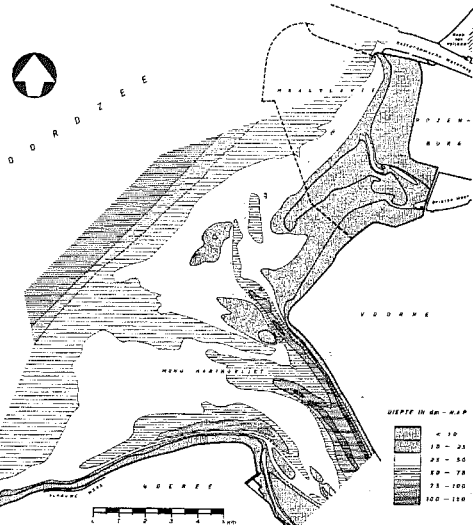
Beide gebieden werden elke veertien dagen gelood; indien noodzakelijk werd de Deltageul door baggeren en zuigen weer op diepte gebracht.

De aanleg van de bouwput voor de spuisluis bracht wijziging in de hydraulische situatie. De afvoer door het Rak van Scheelhoek nam toe, waardoor het doorstroomprofiel groter werd. Ter weerszijden van de bouwput ontstond een 'stroomschaduw'.

Het was zonder meer te verwachten, dat dientengevolge ook bodemveranderingen in de wijdere omgeving zouden optreden. Om dit te kunnen vaststellen werd regelmatig (4 à 6 maal per jaar) een gebied tot 3 km aan weerszijden van de as van de spuisluis gelood. In dit verband zij opgemerkt, dat zeewaarts hiervan de onderwaterdelta met aangrenzend kustgebied eenmaal per jaar werd opgenomen.

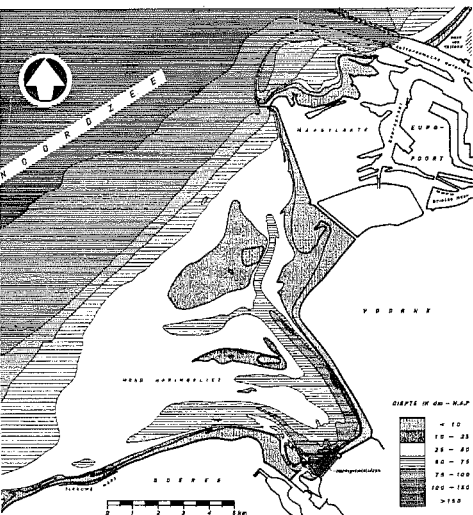
Daar het Haringvliet hier 3 tot 4 km breed is, werd voor deze lodingen een meetlijnenstelsel aan de zuidzijde van het Haringvliet uitgezet met behulp van grote, hoge en vertuide bakens. De afstand tussen peilvaartuig en meetlijn werd daarbij bepaald door hoekmeting met een sextant.

Later werd voor de plaatsbepaling in dit gebied overgegaan op radioplaatsbepaling volgens het Decca-Survey-systeem, dat in 1957 in werking trad. Dit plaatsbepalingssysteem biedt als voordelen dat het peilen onafhankelijk van het zicht geschiedt volgens vaste raaien - de 'Decca-lanes' - waarbij het in de raai blijven tijdens het varen voortdurend is te controleren. Daarmede is het uitzetwerk voor meetlijnen komen te vervallen.



Figuur 8. Bodemfiguratie in 1956.

Figuur 9. Bodemfiguratie in 1970.



Deze radioplaatsbepaling maakt het mogelijk om sneller te kunnen peilen, terwijl de onderlinge vergelijking van de uitkomsten van opeenvolgende lodingen een meer betrouwbaar resultaat oplevert. Blijkens de resultaten van de lodingen van de mond van het Haringvliet zijn daar in de periode 1956-1970 aanmerkelijke bodemveranderingen opgetreden (zie figuren 8 en 9). Deze bodemveranderingen reiken niet verder dan de dieptelijn van NAP —7,50 m langs de zeezijde van de Hinderplaat. In tegenstelling tot vroeger — in de periode 1872-1933 verdiepte de mond van het Haringvliet — is dit gebied tussen 1956 en 1970 een halve meter ondieper geworden door sedimentatie.

De toename van de afvoer door het Rak van Scheelhoek bracht met zich mede, dat ook de oever van Voorne moest worden bewaakt. Voor dit doel werd deze oever viermaal per jaar opgenomen.

Tijdens de uitvoering van deze oeverlodingen moest de afstand vanuit de meetlijn tot het vaartuig steeds opnieuw worden bepaald met een afstandsmeter. Deze wat omslachtige werkwijze werd in 1966 gewijzigd met de ingebruikname van het 'Atlas-Radiolog'.

Met dit instrument worden de afstandsverschillen langs radiografische weg gemeten. Belangrijke voordelen daarbij zijn, dat de afstandsmeting met grote nauwkeurigheid geschiedt, terwijl een registratie op schaal wordt verkregen door de koppeling van de plaatsbepaling aan het papiertransport van een echolood, hetgeen het uitwerken aanmerkelijk vereenvoudigt. Alleen de beginafstand moet nog met de afstandsmeter worden bepaald.

Vóórdat de bouw van de betonblokkendam in het Rak van Scheelhoek een aanvang nam, was reeds een drempel met bodembescherming aangebracht. Deze bodembescherming werd regelmatig gelood volgens een raaiensysteem, dat evenwijdig liep aan de oever van Voorne en nagenoeg loodrecht stond op de as van de drempel.

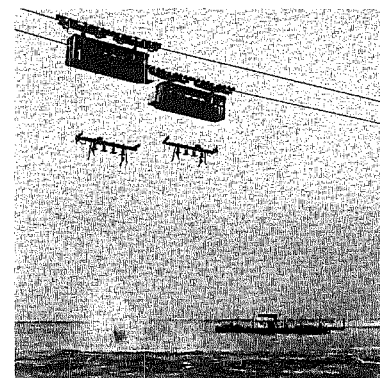
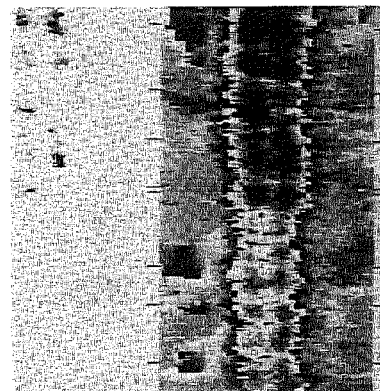
Voor deze peilingen werd als vast punt een richtpaal gebruikt, die aan de rivierzijde van de afsluiting was geplaatst. Om de raai te markeren werd voor het tweede punt (voorpunt) gebruik gemaakt van een vlotje, dat van raai tot raai

tussen twee boeiëties kon worden verhaald. De afstanden tot de richtpaal als nulpunt werden bepaald door hoekmeting met een sextant.

Tijdens het opstorten van de blokkendam werd het raaiensysteem evenwijdig aan de as van de afsluiting gelegd. Vanwege het continue storten van betonblokken was het te riskant om onder de kabelbaan door te varen. Deze werkwijze was echter niet gunstig voor het bepalen van de omvang van eventuele ontgroningen buiten de bodembescherming en de daarbij optredende taludhellingen. Aan dit bezwaar werd tegemoet gekomen door de bodembescherming met aangrenzend gebied tevens te loden met een speciaal karteringsvaartuig, het m.s. 'Krabbe'.

Langs zij van dit vaartuig zijn de 41 echoloden van de 'Bodenkartenschreiber' aangebracht, waarmee een diepteregistratie ter breedte van 40 m wordt verkregen. Als resultaat verschijnt een hoogtekaart van de bodem in diverse gradaties grijs (zie figuur 10). Dit instrument werd tevens gebruikt voor het loden van het onderwatergedeelte van de blokkendam, hetgeen mogelijk bleek tot 60% van het doorstroomprofiel beneden gemiddeld HW was geblokkeerd.

Figuur 10. Registratie van de blokkendam op 14 februari 1970 met de 'Bodenkartenschreiber'.

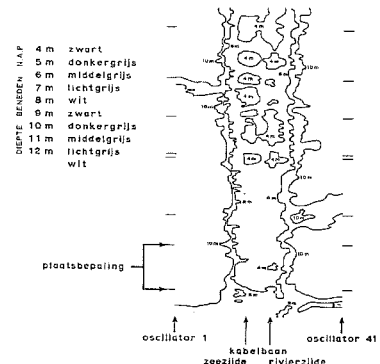


Het karteringsvaartuig 'Krabbe' aan het loden boven de bodembescherming nabij de blokkendam.

Blijkens de resultaten van deze lodingen begon het Rak van Scheelhoek reeds te verondiepen nog vóórdat de blokkendam op hoogte was. De toeleidingsgeulen tot de spuisluis verdiepten daarentegen aanmerkelijk.

Op 2 november 1970 is met het dichtzetten van de schuiven in de spuisluis de afsluiting van het Haringvliet een feit geworden.

In het Haringvliet zal de bodemligging nu nog maar weinig op natuurlijke wijze veranderen. In de mond van het Haringvliet is de bodemontwikkeling een nieuwe fase ingegaan, waarop de golven ongetwijfeld meer invloed zullen uitoefenen dan de aanmerkelijk verzwakte stroombeweging. Slechts de spuistroom tijdens hoge oppervlatafvoeren kan daarop een 'storende' invloed uitoefenen.



De functie van de Haringvlietsluizen binnen het waterbeheersingssysteem van het noordelijk deltabekken

Het Haringvliet vormt vanouds de belangrijkste afvoerweg van het opperwater van Rijn en Maas naar zee. Aan de andere kant was het Haringvliet ook één van de grote zecarmen, waarlangs de getijbeweging op zee zich diep landinwaarts kon voortplanten.

Door de afsluiting van het Volkerak in 1969 werd reeds bereikt dat de uit de Oosterschelde komende getijgolf de wateren ten noorden van de Volkerakdam niet meer kon bereiken, waardoor de getijbeweging op de noordelijke deltawateren werd afgezwakt.

Door de afsluiting van het Haringvliet en het in werking treden van de Haringvlietsluizen op 2 november 1970 vormden de noordelijke deltawateren een bekken dat nog slechts via de Nieuwe Waterweg met de zee in open verbinding staat. Daarnaast is er nog de regelbare verbinding met de zee via het spuisluizencomplex in de Haringvlietdam. Haringvliet en Hollandsch Diep vormen met de Amer de zuidrand van het zogenaamde noordelijke deltabekken, terwijl de Nieuwe Waterweg en de Nieuwe Maas de noordrand vormen. De Noord, de Dordtsche Kil, de benedenloop van de Oude Maas en het Spui zijn als het ware kortsluitingen tussen het eigenlijke bekken langs de zuidrand en de getijwateren langs de noordrand.

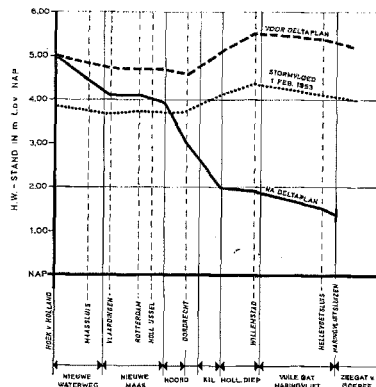
Sinds het in werking treden van de Haringvlietsluizen is het hydraulisch regime op vele wateren van het noordelijk deltabekken in belangrijke mate veranderd. De getijdruk uit het zuidwesten is vervallen, zodat de getijbeweging op zee zich nog slechts via de wateren langs de noordrand op het noordelijk deltabekken kan voortplanten. Verder wordt het bekken gevoerd door de grote rivieren Waal, Lek en Maas.

Gezien de vele en veelsortige belangen die het zuidwesten en middenwesten van ons land bij het water, zowel in waterstaatkundig, economisch als milieuhygiënisch opzicht hebben, dienen de regelmogelijkheden die de Haringvlietsluizen op het gebied van de waterbeheersing bieden zo optimaal mogelijk te worden benut. Op de vraag hoe

in het gecompliceerde hydraulische systeem van het noordelijk deltabekken met zijn vele vertakkingen, waarin zowel de getijbeweging als de afvoer van opperwater een belangrijke rol spelen, een zo effectief mogelijk gebruik kan worden gemaakt van de Haringvlietsluizen, zal in het hiernavolgende nader worden ingegaan.

De afsluiting van het Haringvliet heeft in de eerste plaats tot doel de bescherming tegen stormvloed. De hoge waterstanden die vroeger in het noordelijk deltagebied konden optreden tijdens stormvloed – al of niet samenvallend met hoge rivierafvoeren – zullen nu aanzienlijk worden verlaagd. Doordat immers tijdens iedere HW-periode op zee de Haringvlietsluizen worden gesloten kan tijdens een stormvloed het verhoogde zeegetij nog slechts via de Nieuwe Waterweg het noordelijk deltabekken binnendringen. Tengevolge van de wrijvingsweerstand, de traagheid en de komberging ondergaat het verticale getij gedurende de voortplanting naar het Haringvliet een niet onaanzienlijke verandering. De HW-standen en tijverschuiven nemen af en de faseverschuiving wordt groter. Door de relatief grote hydraulische weerstanden van de nauwe tussenwateren Noord, Spui en Dordtsche Kil is het waterstandsverlagend effect aan de zuidrand van het noordelijk deltabekken het sterkst. Ter illustratie is in figuur 1 een vergelijking gemaakt tussen de HW-standen in het noordelijk deltabekken bij een theoretische stormvloedstand te Hoek van Holland van NAP +5 m en een Bovenrijnafvoer te Lobith van 3000 m³/sec bij een open en een gesloten Haringvliet en Volkerak. Ter vergelijking zijn ook de tijdens de stormvloed van 1953 waargenomen HW-standen ingetekend.

De in de afsluitdam van het Haringvliet opgenomen Haringvlietsluizen hebben op zichzelf tot doel het – afhankelijk van de getij-omstandigheden op zee en de opperwaterafvoer van de grote rivieren – gedurende iedere LW-periode op zee lozen van een zodanige hoeveelheid opperwater, dat er op het noordelijk deltabekken en later ook op het zuidelijk deltabekken in zowel kwantitatief als kwalitatief opzicht op optimale wijze wordt tegemoetgekomen aan de belangen van de waterhuishouding. Bij het manipuleren met



Figuur 1. Verloop van de stormvloedstanden bij een hypothetische stormvloed met een topstand van NAP + 5,00 m te Hoek van Holland en een Rijnafvoer van 3000 m³/sec vóór en na de uitvoering van het Deltaplan.

de segmentschuiven van de Haringvlietsluizen moet echter worden voorkomen dat op de noord-zuid gerichte nauwe tussenwateren te hoge stroomsnelheden gaan optreden, zulks in verband met de scheepvaart, de erosie van het rivierbed en de stabiliteit van de dijken. Ook moet worden voorkomen dat door het stuwen van het opperwater de normale waterstanden op het noordelijk deltabekken relatief te hoog worden. Deze standen vormen namelijk de uitgangstoestand bij een plotseling optredende stormvloed.

Het bovenstaande houdt in dat gestreefd moet worden naar een zo evenwichtig mogelijk afweging van de belangen die de waterhuishouding, de scheepvaart en de veiligheid bij het water hebben. Als zodanig vormen deze drie belangengroepen de drie belangrijkste facetten van de waterbeheersing van het noordelijk deltabekken.

Het resultaat van deze afweging zal tot uitdrukking moeten worden gebracht in een waterverdelingsprogramma. Dit verdelingsprogramma zal tenslotte door middel van de Haringvlietsluizen, zijnde de belangrijkste bedieningspost van het waterbeheersingssysteem van het noordelijk deltabekken, moeten worden gerealiseerd.

Opdat het spuisluizencomplex in de Haringvlietdam de hem toegedachte functie binnen het waterbeheersingssysteem kan vervullen, is voor deze sluizen een lozingsprogramma opgesteld. Hierin is afhankelijk van de afvoer- en getij-omstandigheden een zo gunstig mogelijk spui-opening gekozen. Bij deze keuze speelt – binnen het raam van de waterloopkundige mogelijkheden – het waterhuishoudkundig facet van de waterbeheersing een belangrijke rol. Het betreft hier in de eerste plaats de watervoorziening van de bevolking, de industrie en de landbouw. Vervolgens zijn van belang de doorspoeling van polder- en recreatiewateren en het onderhouden van koelwatercircuits ten behoeve van de energiewerking. Tenslotte dienen in dit verband ook de afwateringsbelangen te worden genoemd, te weten: de lozing van het neerslagoverschot c.q. het kwelwater van polders en hoge gronden, de lozing van stedelijk en industrieel – al dan niet gezuiverd – afvalwater alsmede de lozing van het doorspoelwater van polders. Vele van de hier genoemde belangen vergen een adequate bestrijding van de zoutpenetratie uit zee, terwijl een voldoende zelfreinigend vermogen op de grote rivieren, meren en bekkens aanwezig moet blijven.

De waterhuishoudkundige belangen blijken vaak in zekere mate tegengesteld aan die van de scheepvaart. De scheepvaartbelangen betreffen in waterloopkundig opzicht het beschikbaar blijven van voldoende vaardiepte en -breedte en het voorkomen van te hoge stroomsnelheden of hinderlijke stromingstoestanden op de verschillende riviertakken en splitsingspunten.

De belangen van de waterhuishouding eisen dat zo zorgvuldig mogelijk wordt omgegaan met het opperwater dat de grote rivieren ons land binnenvoeren. Doordat tijdens iedere HW-periode op zee de Haringvlietsluizen gesloten blijven, wordt het Haringvliet gevrijwaard van een directe zoutpenetratie vanuit zee. Verder zal tijdens perioden met normaal lage tot extreem lage afvoeren moeten worden voorkomen dat het opperwater nutteloos naar zee afstromt. Onder deze omstandigheden zullen de Haringvlietsluizen dan ook tijdens de LW-periode op zee nagenoeg geheel gesloten moeten blijven. Dit zal zeer vaak en soms langdurig het geval zijn; in totaal ruim 50% van de tijd. De lozing van opperwater blijft onder deze om-

* Waterbouwkundige bij de afdeling Waterhuishouding van de Deltadienst, Den Haag.

** Ingenieur bij de Waterloopkundige afdeling van de Deltadienst, Den Haag.

standigheden beperkt tot een kleine hoeveelheid ten behoeve van de doorspoeling en verversing van het Haringvliet en de zoutbestrijding bij het spuilsuizencomplex.

Tijdens perioden met zeer hoge en extreem hoge afvoeren, die wateroverlast kunnen veroorzaken, zal om veiligheidsredenen zoveel mogelijk oppervlaktewater moeten worden geloosd. Dit wil zeggen dat dan de Haringvlietsluizen gedurende de LW-periode op zee geheel moeten worden geopend.

Gaande van lage naar hoge Rijnafoeren kan eerst bij een debiet te Lobith van circa 1700 m³/sec met betrekking tot de belangen van de waterhuishouding, de scheepvaart en de veiligheid een optimale toestand worden bereikt. Het belangrijkste criterium hierbij is de bescherming van het noordelijk deltabekken tegen een achterwaartse verzilting via het rivierenknooppunt bij Dordrecht. Tegelijkertijd kan hiermee worden bereikt dat de Hollandse IJssel, als belangrijkste aanvoerweg van water voor het midden-westen van ons land veilig is gesteld. Hetzelfde geldt voor de inlaatpunten langs de Oude Maas: de Spijkensse-inlaatsluis ten behoeve van de waterbeheersing van de Brielse Maasboezem en de prise d'eau van het drinkwaterleidingbedrijf op de Berenplaat. Zou bij Bovenrijnafoeren groter dan 1700 m³/sec de bij lagere afvoeren toegepaste stuwung van oppervlaktewater worden gecontinueerd, dan zou dit, als gevolg van de daardoor veroorzaakte verdere stijging van de waterstanden en toeneming van de stroomsnelheden, ten koste gaan van de belangen van de veiligheid en scheepvaart. Met het stijgen van de rivierafvoer zal dan ook in toenemende mate oppervlaktewater via de Haringvlietsluizen moeten worden geloosd. Hiertoe dienen de Haringvlietsluizen voortdurend verder te worden geopend, tot bij een Bovenrijnafoer van circa 6000 m³/sec de sluisen tijdens de LW-periode op zee voor het eerst volledig geopend zijn. Deze toestand blijft uiteraard gehandhaafd tijdens het verder toenemen van de rivierafvoer.

Zouden bij Rijnafoeren lager dan 6000 m³/sec de Haringvlietsluizen volledig worden geopend, dan zouden de belangen van de waterhuishouding worden geschaad, doordat tengevolge van de te sterke lozing de oppervlaktewaterdruk op de noordrand te veel afneemt. Hierdoor zou op de benedenloop van de Oude Maas en de Noord zelfs

een vloedoverschot kunnen optreden, hetgeen funest is voor de verziltingsbestrijding op het noordelijk deltabekken.

Het hier in grote lijnen beschreven lozingsprogramma van de Haringvlietsluizen geldt alleen voor normale, dat wil zeggen niet te sterk afwijkende getij-omstandigheden op zee. In dit zogenaamde Normale Lozings Programma (NLP) is de tijdens de LW-periode op zee in te stellen spuiopening uitsluitend afhankelijk van de aanvoer van oppervlaktewater van de grote rivieren naar het noordelijk deltabekken. Tenslotte zij vermeld dat het openen van de segmentschuiven op het einde van de HW-periode op zee en het sluiten aan het begin van de volgende HW-periode steeds geschiedt als de waterdrukken ter weerszijden van de aanslagdrempel gelijk zijn; zulks ter voorkoming van het binnendringen van het zwaardere zoute zeewater.

De door de toepassing van het normale lozingsprogramma veroorzaakte water- en zoutbeweging op het noordelijk deltabekken

De invloed van het lozingsprogramma van de Haringvlietsluizen op de water- en zoutbeweging in het noordelijk deltabekken zal aan de hand van een aantal voorbeelden worden toegelicht. Deze hebben alle betrekking op een gemiddelde getijbeweging op zee. Het lozingsprogramma zelf is vastgesteld op basis van een groot aantal modelproeven in het elektrisch analogon 'Deltar'.

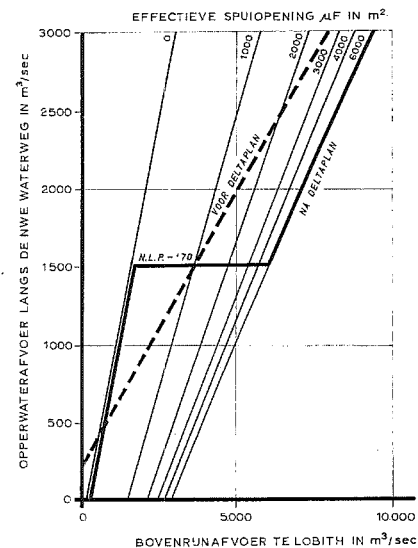
Door het meer of minder lozen met de Haringvlietsluizen heeft men binnen zekere grenzen de afvoerverdeling van het oppervlaktewater over het noordelijk deltabekken goeddeels in de hand. Hierbij is vooral de langs de Nieuwe Waterweg tot afstroming komende hoeveelheid rivierwater van belang. Hoe groter deze afvoer, hoe meer de verziltende invloed van de zee kan worden teruggedrongen. In dit verband dienen ook genoemd te worden de verondiepingswerken op de Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas, die eveneens een belangrijke rol spelen bij de verziltingsbestrijding.

In figuur 2 is de afvoer van de Nieuwe Waterweg weergegeven als functie van de Bovenrijn te Lobith. Als parameter is ingevoerd de effectieve spuiopening van de Haringvlietsluizen. Ten behoeve van de verziltingsbestrijding dient te worden gestreefd naar een afvoer langs de Nieuwe

Waterweg, groot circa 1500 m³/sec. Gaande van lage naar hoge Rijnafoeren, kan - volgens figuur 2 - bij nagenoeg gesloten Haringvlietsluizen, deze waarde eerst bij een afvoer te Lobith van circa 1700 m³/sec worden bereikt. Stijgt de Rijnafoer boven 1700 m³/sec dan dient de afvoer langs de Nieuwe Waterweg op 1500 m³/sec te worden gestabiliseerd, totdat de spuilsuizen voor het eerst geheel geopend worden; een en ander volgens figuur 2 bij een Rijnafoer van circa 6000 m³/sec. Zouden de Haringvlietsluizen bij een veel lagere Rijnafoer volledig worden geopend, bijvoorbeeld bij debieten van 4500 m³/sec en lager, dan zouden de Oude Maas en de Noord een vloedoverschot of met andere woorden een negatieve afvoer gaan vertonen. Een dergelijke toestand zou funest zijn voor de verziltingsbestrijding op het noordelijk deltabekken. Door de Haringvlietsluizen pas bij een Rijnafoer van circa 6000 m³/sec geheel te openen, kan worden bereikt dat op de benedenloop van de Oude Maas het ebvolume nog zoveel groter is dan het vloedvolume, dat de verziltende invloed van de zee tijdens de LW-stroomkentering beneden een toelaatbare waarde blijft en dat op de Noord en de Oude Maas een onslag van de afvoerrichting met het gevaar van stagnerend water wordt voorkomen.

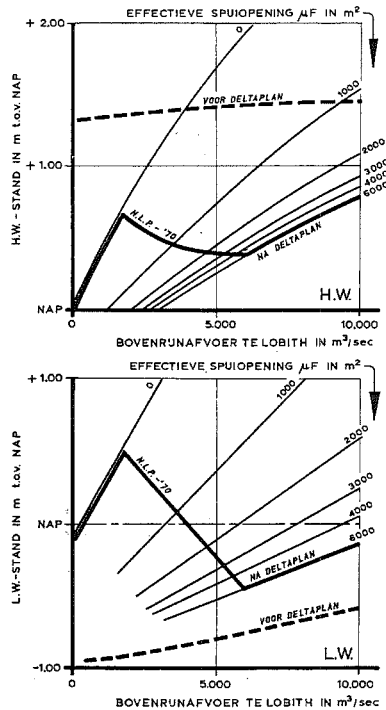
Het normale lozingsprogramma is met een dikke getrokken lijn in figuur 2 ingetekend. De bestaande toestand is met een dikke blokjeslijn weergegeven. Uit een vergelijking van beide lijnen blijkt het grote voordeel dat de uitvoering van het Deltaplan biedt voor de verziltingsbestrijding. Door het nagenoeg gesloten houden van de Haringvlietsluizen tot een Rijnafoer van 1700 m³/sec (maximum stuwung) kan aanzienlijk meer oppervlaktewater langs de Waterweg tot afstroming komen dan voorheen natuurlijkerwijze het geval was.

Langs de noordrand van het noordelijk deltabekken heeft de verticale getijbeweging slechts weinig veranderingen ondergaan. De HW-standen zijn iets lager en de LW-standen iets hoger geworden, waardoor het gemiddelde tijverschil is afgenomen; bij Rotterdam bijvoorbeeld van circa 180 tot 150 cm. De middenstanden zijn nagenoeg gelijk gebleven. Als gevolg van de eerder genoemde hydraulische oorzaken blijft er bij de voortplanting van dit getij op het Haringvliet-Hollandsch Diep



Figuur 2. Oppervlaktewaterafvoer langs de Nieuwe Waterweg als functie van de Bovenrijnafoer en de effectieve spuiopening van de Haringvlietsluizen.

nog slechts 15 cm of 10% over. Het duidelijkst komt dit tot uitdrukking als de Haringvlietsluizen tijdens de LW-periode op zee nagenoeg geheel gesloten blijven. Door de sterke stuwung van het oppervlaktewater nemen de middenstanden langs de zuidrand toe, terwijl het tijverschil slechts 10 à 20 cm bedraagt. Dit wil zeggen dat de waterstanden op het Haringvliet-Hollandsch Diep dan in sterke mate worden bepaald door de afvoer van de grote rivieren. Zoals figuur 3 laat zien lopen hierbij de middenstanden gemiddeld op van NAP + circa 20 cm bij een Rijnafoer van 600 m³/sec tot NAP + circa 60 cm bij een Rijnafoer van 1700 m³/sec. Daar volgens het NLP bij afvoeren groter dan deze waarde pas sprake is van lozing van overtollig oppervlaktewater, representeert deze afvoer het moment waarop in het NLP het maximum stuweffect optreedt.



Figuur 3. Hoogwater- en laagwaterstanden te Willemstad als functie van de Bovenrijnafvoer en de effectieve spuiopening van de Haringvlietsluizen.

Worden de Haringvlietsluizen bij het verder toenemen van de Rijnafvoer gedurende de LW-periode steeds meer geopend, dan dalen de middenstanden op het Haringvliet-Hollandsch Diep geleidelijk, totdat bij een Rijnafvoer van circa 6000 m³/sec de spuisluizen geheel geopend zijn, dat wil zeggen dat dan de lozing met een vrije waterpiegel gepaard gaat. Tegelijk met het dalen van de waterstanden neemt het tijverschil op het Ha-

ringvliet-Hollandsch Diep toe van 15 à 20 cm tot 80 à 90 cm.

Stijgt de Rijnafvoer boven 6000 m³/sec dan nemen – ondanks de tijdens de LW-periode geheel geopende sluisen – de middenstanden weer toe, terwijl het tijverschil nagenoeg gelijk blijft aan het tijverschil tijdens het moment, waarop volgens het NLP het maximaal lozingseffect werd bereikt, te weten bij een Bovenrijnafvoer van 6000 m³/sec (laagste gemiddelde middenstand, groot circa NAP, en grootste gemiddelde tijverschil, groot 80 à 90 cm; zie ook figuur 3).

Uit bovenstaande moge in eerste instantie blijken, dat de tijdens zeer hoge en extreem hoge rivierafvoeren optredende hogere waterstanden in overwegende mate worden bepaald door de hydraulische weerstand van de wateren tussen het noordelijk deltabekken en de bovenrivieren en niet door die van de Haringvlietsluizen.

Tevens zal het duidelijk zijn dat de eigenlijke vloed- en ebbeweging op het Haringvliet-Hollandsch Diep onder normale getijomstandigheden op zee zo goed als geheel is vervallen. Zij is vervangen door een – met de openvloegende HW- en LW-perioden op zee – periodiek verlopende afzwakking, respectievelijk versterking van de oppervlaktewaterafvoer. De stroom blijft dus langs de zuidrand van het noordelijk deltabekken steeds oost-west gericht. De mate waarin deze stroom succesievelijk wordt verzwakt of versterkt hangt af van de bovenafvoer en de daarbij gekozen effectieve spui-opening van de Haringvlietsluizen. Het behoeft geen nader betoog dat door het wegvallen van de horizontale getijbeweging de stroomsnelheden op het Haringvliet c.a. aanzienlijk zijn afgenomen en dat de door het lozen met de Haringvlietsluizen veroorzaakte waterstandsvarianties moeten worden opgevat als een kunstmatig ontwikkeld getij, ook wel schijngetij genoemd.

Een bijzondere situatie ontstaat op de eerder genoemde, noord-zuid gerichte, nauwe tussenwateren Noord, Spui en Dordtsche Kil. Op deze zogenaamde kortsluitingen tussen de getijwateren aan de noordrand en het eigenlijke bekken aan de zuidrand is, geheel overeenkomstig de verwachtingen, de horizontale getijbeweging (stromen)

toegenomen. Daarbij zijn de verticale en horizontale getijbeweging zodanig ten opzichte van elkaar in fase verschoven, dat rond de tijdstippen van HW en LW de grootste vloed-, respectievelijk ebstromen optreden. Vroeger traden korte tijd na deze tijdstippen juist de kleinste stroomsnelheden op. Lagen vroeger de stroomkenteringen dus omstreeks de tijdstippen van maximale en minimale waterstand, nu komen zij omstreeks de tijdstippen van halfijstand te liggen. Tevens is van belang dat de eb- en de vloedstroom op het Spui en de Dordtsche Kil van richting zijn veranderd. Dat wil zeggen dat thans bij normale of gemiddelde rivierafvoeren de ebstroom noordwaarts en de vloedstroom zuidwaarts is gericht.

Bij Rijnafvoeren waarbij volgens het NLP het oppervlaktewater in meer of minder sterke mate naar de noordrand wordt gestuwd zullen – als gevolg van de verhoogde middenstanden langs de zuidrand – de ebsnelheden op de Oude Maas, de Noord, de Dordtsche Kil en het Spui relatief worden versterkt en de vloodsnelheden relatief worden verzwakt. Het omgekeerde is het geval bij Rijnafvoeren, waarbij volgens het NLP maximaal wordt geloosd. Op de Dordtsche Kil is dan de stroom gedurende het gehele getij zuidwaarts gericht en kunnen vooral de zuidwaarts gerichte vloodsnelheden tamelijk hoge waarden bereiken.

De toepasbaarheid en de toetsing van het lozingsprogramma

De in dit artikel gegeven waarden met betrekking tot de afvoeren, waterstanden en stroomsnelheden moeten worden opgevat als richtwaarden of gemiddelden. Hun betrouwbaarheid en nauwkeurigheid wordt bepaald door de voor modelproeven en berekeningen aangehouden uitgangspunten. Zij gelden uitsluitend bij gemiddeld getij in zee en geven evenwichtstoestanden weer met betrekking tot de verschillende combinaties van de spui-opening

van de Haringvlietsluizen en de oppervlaktewaterafvoer. Vandaar dat het hieruit verkregen lozingsprogramma het Normale Lozings Programma (NLP '70) wordt genoemd. In werkelijkheid zullen steeds afwijkingen ten opzichte van gegeven waarden voorkomen. Het NLP '70 is in feite dan ook niet het volledige lozingsprogramma. Tijdens sterk afwijkende getijomstandigheden op zee – bij ijsbezwaar, sterke vervuiling van de wateren in het bekken, enzovoort – waarbij de uitgangspunten van het NLP '70 niet meer opgaan, zal een afwijkende lozingsprocedure moeten worden gevolgd. Hierdoor zullen er systematische afwijkingen ten opzichte van de volgens het NLP geldende waarden optreden.

Daarnaast kunnen er systematische afwijkingen worden veroorzaakt door kunstmatige wijzigingen in de rivierconfiguratie en door een mogelijk andere ontwikkeling van het geulenpatroon in de mondingsgebieden van het Haringvliet en de Nieuwe Waterweg dan voorlopig is aangenomen. Tenslotte is het NLP gebaseerd op een te verwachten waterstaatkundige toestand in het noordelijk deltabekken gedurende de periode 1970-1974.

Sinds de inwerkingtreding van het spuisluizencomplex is reeds gebleken dat de nauwkeurigheid van de uit de modelproeven verkregen resultaten, bevredigend is. Een verdere toetsing van de toegepaste berekeningsmethoden aan de hand van natuurmetingen zal worden uitgevoerd. Op grond van de bij deze toetsing verkregen inzichten kan het lozingsprogramma zonnodig worden gecorrigeerd. Deze toetsing dient te worden herhaald na iedere verdere stap in de waterstaatkundige ontwikkeling van het noordelijk deltabekken, zodat het waterbeheersingssysteem steeds met behulp van modelproeven en dergelijke kan worden aangepast aan de nieuwste eisen en ontwikkelingen.

Mijn Amerikaanse kennis was verwonderd toen hij bemerkte dat onze nationale luchthaven beneden het zeeniveau ligt en dat grote stukken van Holland en Zeeland dat lot delen.

Hij was onder de indruk van de voortdurende zorg die wij aan onze verdediging tegen het water besteden en had ontzag voor de landwinst die wij in de loop der tijden op vreedzame wijze hebben geboekt.

Hij bleef geïnteresseerd toen ik hem vertelde van de waterstaatkundige toestand in Nederland met zijn netwerk van rivieren, kanalen, vaarten en meren, met zijn stelsels van bandijken en zeedijken, met zijn vele inlaagdijken en binnendijken die schijnbaar doeleloos in het landschap liggen en met zijn boezemkaden, sluzen en gemalen die binnen de ring van hoofdwaterkeringen het aangrenzende land tegen wateroverlast moeten vrijwaren.

Maar het werd hem blijkbaar te machtig toen ik ook nog zijn aandacht vroeg voor de wijze waarop de waterstaat in Nederland door vele autonome lichamen wordt bestuurd en gecontroleerd! Hij vond het interessant maar wel eigenaardig. Daarin staat hij ongetwijfeld niet alleen.

Zo gaf dr. A. A. Beekman aan zijn standaardwerk 'Nederland als polderland' de treffende ondertitel mee van 'Beschrijving van den eigenaardigen toestand der belangrijkste helft van ons land'.

Over de geschiedenis van Zeeland zegt hij onder andere: *'In 't oog is te houden dat een groot aantal polders nu en dan inbraken - in de Middeleeuwen bij elken stormvloed - en herdijkt werden, terwijl anderen die aanhoudend worstelden tegen de vallen die aan hunne oevers knaagden, inlaagdijk na inlaagdijk legden en aldus groote oppervlakten verloren'*.

Wij kennen de zeer bewogen historie van Zuidwest-Nederland dat zoveel malen door zware stormvloeden werd geteisterd.

We weten hoe de St. Elisabethsvloed van 18 november 1421 de loop der benedenrivieren wijzigde en dood en verderf bracht aan de inwoners van het lage land. We kennen het trieste verhaal van de verloren landen van Saefinge, Schouwen

* Oud-hoogleraar Technische Hogeschool - Delft en oud-hoofd Deltadienst, Zwijndrecht.

en Zuid-Beveland. We kunnen lezen hoe de stad Reimerswaal nog kans zag zich na de St. Felixvloed van 1530 te handhaven tot latere overstromingen het doodvonnis voltrokken. Pas in 1632 verlieten de laatste bewoners de stad en werden haar muren, straatstenen, enzovoort publiek verkocht ten behoeve van de schuldeisers (Beekman). We lezen ook hoe het eiland Noord-Beveland door de rampzalige vloed van 1530 en in 1532 grotendeels verloren ging en het resterende deel werd verzwolgen door de Allerheiligenvloed van 1570. Maar gelukkig zien we hoe het daarna geleidelijk weer door de mens werd teruggewonnen tot een mozaïek van vele kleine polders. Maar opnieuw viel de zee aan en gingen stukken land verloren door dijkvallen langs zijn noordelijke oevers. We weten dat het gevaar van landverlies pas zal zijn bezworen wanneer de stromen die aan zijn gerafelde oevers 'knagen' tot stilstand zullen zijn gebracht door afsluiting van de Oosterschelde.

Men hoopt die afsluiting in het jaar 1978 te kunnen volbrengen. Men zal dat met recht een historisch gebeuren kunnen noemen omdat een door de zee bedreigd eilandentrijk dan zal zijn veranderd in een vreedig en gemakkelijk toegankelijk woon-, werk- en recreatiegebied.

Het staat wel vast dat men de bij de afsluitingswerken te verwachten technische problemen zal kunnen oplossen omdat men daarbij grote steun zal vinden in de bij vorige werken opgedane ervaringen en in de uitkomsten van tevoren verrichte uitgebreide onderzoeken aan mathematische en fysieke modellen. Maar bovendien omdat het dan beschikbare moderne en beproefde aannemersmaterieel met zijn vakkundige bemanning een vlotte uitvoering zal kunnen waarborgen.

Het zal natuurlijk een grote overwinning op de zee zijn en men zal allen die deze hebben bevochten lof toezwaaien. En terecht, want de triomf zal het resultaat zijn van kunde, wilskracht en goede samenwerking. Maar het zal op dat moment gepast zijn om de blik nog eenmaal naar het verleden te richten om te zien hoe generatie na generatie vorm heeft gegeven aan ons land van zand en slijk. En om te beseffen dat de vechters van toen de grondslag hebben gelegd voor de overwinning van nu. Ons ontzag voor wat men

vroeger presteerde neemt nog toe wanneer we ontdekken hoe groot vakmanschap en volharding moeten zijn geweest om grote werken met soms zeer kleine middelen tot stand te brengen.

Zo zal het bijvoorbeeld zeer gespannen hebben toen een eeuw geleden de laatste voorbereidingen werden getroffen voor de in 1871 uit te voeren afsluiting van het Sloe. Daarbij moest immers een dam gelegd worden door een getijgeul van 10 m diepte; een werk dat we ook vandaag niet dan met de uiterste zorg tot een goed einde zouden kunnen brengen.

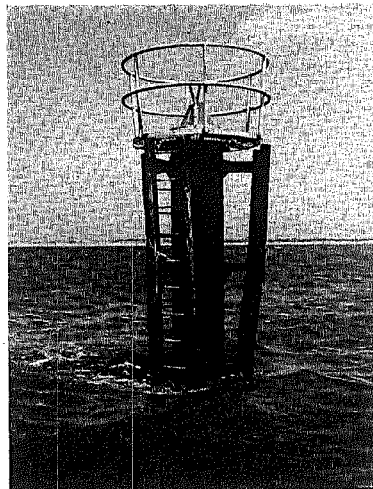
Men kan zich voorstellen dat de succesvolle bouw van de Sloedam inspirerend heeft gewerkt op de pioniers die toen reeds bezig waren om vorm te geven aan plannen tot afsluiting van de Zuiderzee. Maar zelfs wanneer in aanmerking wordt genomen dat men na de Sloe-afsluiting nog een schat van ervaring opdeed bij de uitvoering van een aantal grote waterstaatswerken, ook dan getuigden de Staten-Generaal van grote durf door het aannemen van de Wet van de 14e juni 1918 tot afsluiting en droogmaking van de Zuiderzee. Want dit werk van voor die tijd ongekende omvang zou de oplossing vergen van vele fundamentele, theoretische en technische problemen, die een groot en diepgaand onderzoek vorderden. De Afsluitdijk keert de zee nu al bijna 40 jaren en dwingt nog steeds bewondering voor zijn ontwerpers af.

De bij de Zuiderzeewerken en bij de in latere jaren uitgevoerde dijkbouw door getijstromen hebben geleidelijk het besef doen groeien dat ook het afgredelen van de Zeeuwse stromen geen onoverkomelijke technische moeilijkheden zou opleveren.

Na aanneming van de Deltawet gewaagde de voorzitter van de Tweede Kamer van het begin van *'een grootscheeps werk, dat tot in verre gestachten zal worden betiteld als vooruitziend, ingenieus, gedurfd en doortastend'*.

Hoe passend zijn deze waarderende woorden ook voor de Zuiderzeewerken, die een zo belangrijke stoot gaven aan de ontwikkeling van de Nederlandse waterbouwkunde. Van die ontwikkeling heeft de Waterstaat bij het ontwerp en de uitvoering van het Deltaplan een dankbaar gebruik kunnen maken.

De daarbij op te lossen vraagstukken waren ech-

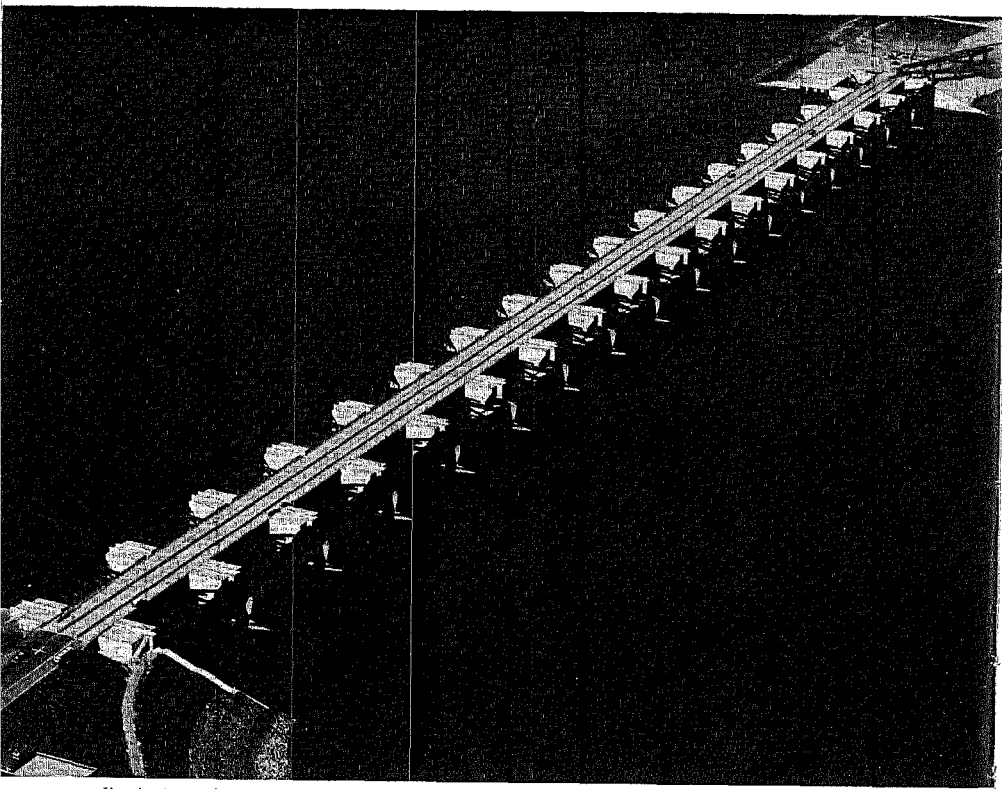


Het eerste zichtbare begin aan de afsluiting. Dit vaste meetpunt in het Haringvliet deed onder meer dienst om de exacte ligging van de eerste zinkstukken te bepalen (1957).

ter van zodanige aard en omvang dat nog veel kennis moest worden vergaard om de grote afsluitingen met succes ter hand te kunnen nemen. De uitvoering van het werk moest en moet nog begeleid worden door uitgebreide onderzoeken, die pas zullen worden afgesloten wanneer de dam door de Oosterschelde zal zijn voltooid.

De geslaagde uitvoering van de dammen door de Zandkreek en het Veerse Gat, door de Grevelingen en het Volkerak is echter evenals de succesvolle bouw van de beweegbare stormvloedkeringen in de Hollandse IJssel en het Haringvliet bemoedigend bij de voorbereiding van de grote werken in Brouwershavensche Gat en Oosterschelde.

Met het vergredelen van de Oosterschelde zal het Deltaplan voltooid worden. De afsluitdammen zullen de onbetrouwbare zee voorgoed buiten sluiten. Maar het beveiligde gebied zal open-



Veertien jaar nadat het eerste zinkstuk voor de grote bouwput aan de grond kwam is de afsluiting van het Haringvliet een feit; het ruim één kilometer lange sluiscomplex vormt het hart van deze afdamming.

liggen voor een opringende urbanisatie en industrialisatie.

Het is goed dat men zich steeds meer bewust is geworden van de noodzaak om de landelijke ontwikkeling in een weloverwogen ruimtelijke ordening te passen. Want een ongeordend vollopen van de vroegere delta zou onder meer

leiden tot verlies van de grote open ruimte in het hart van Zeeland, die ook na afsluiting van de zeegeten grote natuurlijke rijkdommen zal kunnen bevatten en ongekende mogelijkheden zal bieden voor de recreatie zoekende bewoners van de Randstad.

De industriële ontwikkelingszones langs de noord-

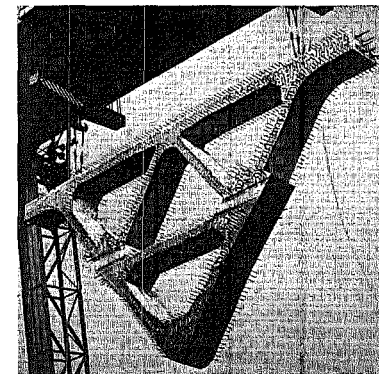
en zuidrand van de open ruimte kunnen langs de ostrand door een 'zware' transportas worden verbonden, zoals in verscheidene publikaties wordt voorgesteld. Door daarlangs enige concentraties van activiteiten te situeren, zou van die transportas een optimaal gebruik kunnen worden gemaakt. Reeds werd de mogelijkheid geopperd om de transportas tevens te benutten als toegang naar een in West-Brabant aan te leggen tweede intercontinentale luchthaven. Indien de te verwachten geluidshinder zich tegen dit denkbeeld zou verzetten, kan de afgesloten Oosterschelde misschien een aanvaardbaar alternatief bieden. Het lijkt immers niet uitgesloten dat daar de geluidstroggen grotendeels boven wijd open water kunnen worden geprojecteerd.

Een snelle voltooiing van het gehele Deltaplan schijnt in elk geval geboden om de ontwikkeling van Zuidwest-Nederland in goede planmatige banen te kunnen leiden.

Op de morgen van de 19de oktober 1970 meldde De Bilt een opkomende Noorwesterstorm die de zee bij Hoek van Holland ongeveer 1½ m boven het voorspelde astronomische hoogwater zou kunnen doen rijzen. In de namiddag van dezelfde dag sloot de Rijkswaterstaat de sluisen in het Haringvliet die daarmee voor de eerste maal hun beschermende taak gingen vervullen. Een historisch gebeuren want het overstromingsgevaar in het Noordelijk Deltagebied werd daarmee tot een bijna te verwaarlozen afmeting teruggebracht en de beheerders van het zoete water kregen er een machtig wapen tegen de opringende zee bij.

Dat was dan twintig jaren nadat de Haringvlietdam voor het eerst een duidelijke functie van beweegbare stormvloedkering kreeg in een groot Rijkswaterstaatplan. Want reeds enige jaren vóór de stormramp van 1953 hield de uiterst bekwame hoofdingenieur dr. ir. Joh. van Veen zich intensief bezig met studies tot afdoende verbetering van de waterstaatkundige toestand in Zuidwest-Nederland. De steeds dringender eis tot verbetering van de waterhuishouding en tot vermindering van

* Zie het artikel van ir. J. W. de Vries in 'Weg en Waterbouw' nr 11 en 12 van 1954 'Het plan tot afsluiting der zeearmen (Deltaplan) in het bijzonder bezien in verband met de voorgeschiedenis ervan'.



De laatste nablamoot hangt in de Nestumkraan om te worden gemonteerd in de zeventiende ligger aan de noordzijde van de spuilsuis. De nabla werd het symbool van deze Delta-hoofdafsluiting.

het overstromingsgevaar in het gebied van de Benedenrivieren leidde hem aanvankelijk tot voorstellen om enige eilanden samen te voegen. Zo zouden in een Vier-Eilandenplan Rozenburg, Voorne-Putten, Hoekse Waard en IJsselmonde door één dijkkring worden omsloten. Later werd dit ontwerp uitgebreid tot een Vijf-Eilandenplan door daarin ook het Eiland van Dordrecht te betrekken.

Andere ontwerpen voorzagen in beweegbare stormvloedkeringen in de Hollandsche IJssel, in de Noord, in de Beneden-Merwede en in de Dordtse Kil. De daaraan verbonden bezwaren leidden tenslotte naar een ontwerp waarin een beweegbare kering in het Hollandsch Diep was opgenomen, in een later stadium vervangen door een afsluitdam in het Volkerak en spuilsuisen in het Haringvliet.*

Toen lag dus in grote lijnen reeds het plan op tafel dat thans tot uitvoering is gebracht en dat onderdeel werd van een integraal Deltaplan op het moment dat de minister van Verkeer en Waterstaat in het najaar van 1952 (!) opdracht gaf om ook de technische mogelijkheid tot het afsluiten van het Brouwershavensche Gat en van de Oosterschelde te bestuderen.