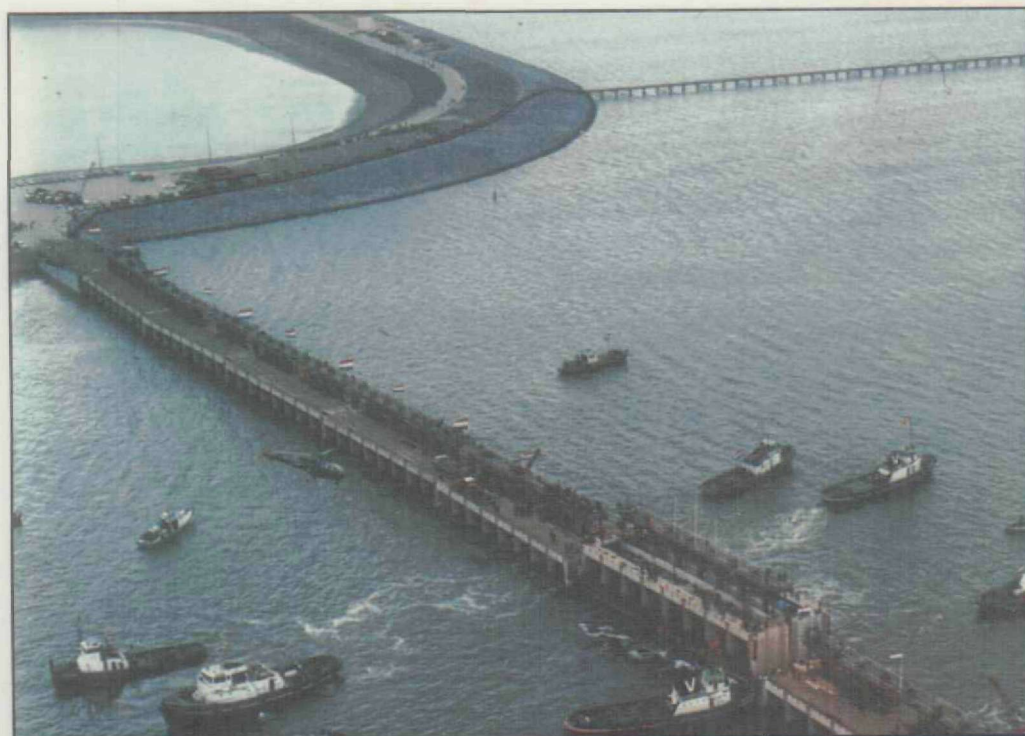


Z49-b36

# *Waterwerken in het Volkerak*



*Door  
Jan van Horne*

## Voorwoord

*In de novembermaand van de jaren 1404, 1421 en 1425 veroorzaakte de Sint-Elisabethsvloed erg veel leed en schade ten oosten van de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden. Vrij ver landinwaards ontstond een forse binnenzee, ongeveer begrensd door Willemstad, Werkendam, Papendrecht en Strijen. Min of meer waar de huidige Biesbosch ligt. De vloed kostte veel mensenlevens en moeizaam gewonnen polders stonden weer onder water.*

*Nadat het noodlot opnieuw toesloeg tijdens de januaristormen van 1953, nam Nederland zich voor dat die watersnoodramp de laatste moest zijn. Dat de mensen in dat gebied nooit meer mochten worden blootgesteld aan de gevaren van een overstroming door de Noorzee. Rijkswaterstaat –als rijksoverheidsdienst die verantwoordelijk is voor de 'droge voeten' van de Nederlanders- ontwierp het Deltaplan. Het plan omvatte naast veel andere maatregelen het voornemen om het Volkerak af te sluiten met een dam, waarin voor de scheepvaart een sluizencomplex zou worden aangelegd en waaroverheen een nieuw aan te leggen autoweg zou lopen. Dat alles gebeurde uiteindelijk in 1967. De meningen over de effecten van het Deltaplan lopen weliswaar uiteen, maar iedereen is het er mee eens dat een groot deel van Nederland er een stuk veiliger door is geworden.*

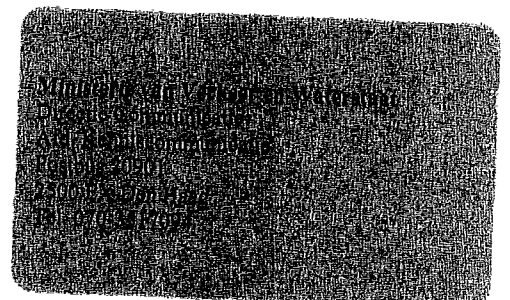
*Eén van de Rijkswaterstaters die vanaf het ontwerp tot de dag van vandaag verbonden is aan het sluizencomplex in de Volkerakdam, is de huidige sluismeester, Jan van Horne. De geschiedenis van de dam en de sluizen kent hij als geen ander. En niet alleen de geschiedenis van de Volkeraksluizen zelf, hij weet ook wat zich daar omheen heeft afgespeeld. Van archeologische vondsten en de mooie natuurgebieden die zijn ontstaan tot anekdotes over mensen die hebben gewerkt aan de dam en over 'hoog bezoek'. Het is zijn grote wens dat die wetenschap niet verloren gaat wanneer hij wordt gepensioneerd. Alles wat hij uit eigen ervaring weet en alle wetenschap die hij in de loop van de tijd heeft verzameld, heeft hij daarom gebundeld in dit boek.*

*Ik ben er bijzonder blij mee. Het een aanwinst voor iedereen die zich interesseert voor de plaatselijke en regionale geschiedenis of voor de Rijkswaterstaathistorie.*

*Fred Heuer,*

*hoofdingenieur-directeur Rijkswaterstaat*

*directie Zuid-Holland*





## *Inhoudsopgave*

1	Inhoudsopgave	pagina 3
2	Voorgeschiedenis	pagina 5
3	Het begin van de Volkerakwerken	pagina 7
4	De bouw van de Haringvlietbrug	pagina 19
5	Enkele grondmechaniscge aspecten met betrekking tot de werken in het Volkerak	pagina 27
6	Een Mesolithisch houten beeldje uit het Volkerak	pagina 29
7	De schutsluizen in de Volkerakdam	pagina 31
8	Koninklijk bezoek	pagina 53
9	De stortebedden voor de schutsluizen in het Volkerak	pagina 55
10	Filterglooijing en hun toepassing bij de noordelijke voorhaven van de Volkeraksluizen	pagina 59
11	Het onderzoek naar de maatregelen ter vermindering van windhinder voor de scheepvaart bij de Volkeraksluizen	pagina 61
12	De vormgeving en toepassing van geleidewerken bij duwvaart	pagina 65
13	Voorhavens	pagina 71
14	Wegen in de buitenpolder Maltha	pagina 83
15	Ontwerp van de caissons voor de afsluiting	pagina 85
16	De afsluiting van het Volkerak	pagina 91
17	Getij	pagina 111
18	De verziltingstoestand op de wateren van het Noordelijk Deltabekken na de afsluiting van het Haringvliet	pagina 119
19	De instrumentatie van de inlaatsluis in de Volkerakdam	pagina 127
20	Kunstwerk	pagina 129
21	De stormen van het najaar van 1973 en januari 1976	pagina 131
22	De wegverbinding over het Hellegatsplein	pagina 137
23	De regeringsbeslissing over de afsluiting van de Oosterschelde en de compartimentering	pagina 139
24	Een experimenteel lozingsprogramma voor de Volkeraksluizen	pagina 143
25	De beplanting van de Volkerakwerken	pagina 149
26	Toekomstige ontwikkelingen van het Krammer-Volkerak	pagina 151



# Voorgeschiedenis

Met de afsluiting van het Volkerak en het Haringvliet, twee werken die als een min of meer samenhangend complex werden beschouwd en die dan ook wat hun uitvoering betref in de tijd op elkaar waren afgestemd, werd een belangrijke fase van het Deltaplan beëindigd. Door de in 1969 gereedgekomen Volkerakdam was het noordelijk gedeelte van de Rijn-Maas-Schelde-delta voorgeoed van de rest van de delta afgescheiden. Het gehele Deltagebied viel uiteen in drie gedeeltes met ieder een eigen karakter:

- Het nog tamelijk ongebreidelde Schelderestuarium in het zuiden;
- Een middengedeelte met zeer brede en diepe zeegaten die nog in hoge mate ten prooi waren aan het spel van de getijstroom, doch die geheel van zee werden afgesloten;
- Het noordelijk Deltabekken, de eigenlijke Rijn-Maasdelta, met een ingewikkeld vertakt stelsel van merendeels tamelijk smalle rivierarmen.

De ontwikkeling van de structuur van de Delta die tenslotte tot deze driedeling had geleid, heeft een aantal eeuwen in beslag genomen. Beschouwt men een kaart van omstreeks 1300, dan is de aanzet van deze uiteindelijke structuur nog nauwelijks in het chaotische beeld van grillig verspreide eilanden en eilandjes te bespeuren. Sindsdien is het beeld echter sterk vereenvoudigd. Vele eilandjes zijn samengevoegd tot grotere eenheden en evenzo hebben de wateren zich tot grotere aaneengesloten partijen ontwikkeld. Men moet de invloed van de menselijke hand in deze hydrografische gedaanteverandering niet overschatten, hoewel men ook geneigd zou zijn de vereenvoudiging en duidelijker doortekening van de Deltastructuur aan kunstmatige ingrepen toe te schrijven. De mens heeft niet bewust gestreefd naar een bepaalde, eenvoudige figuratie, doch met zijn toentertijd nog betrekkelijk beperkte middelen slechts hier en daar modificaties kunnen aanbrengen waar de natuur hem daartoe de gelegenheid bood. De menselijke ingrepen, meestal bedijkingen van tot voldoende hoogte aangeslibd land, moesten in hoge mate parallel lopen met de hydrografische ontwikkelingen zoals die zich langs natuurlijke weg voltrokken.

Zo kon de eilandsamenvoeging Goeree-Overflakkee, die men nu wel als eerste aanzet tot de latere scheiding van noordelijk en zuidelijk Deltabekken mag zien, slechts tot stand komen doordat de geulen tussen de verschillende eilanden waaruit Goeree-Overflakkee is opgebouwd, geleidelijk dichtslibden. In het zuiden van de Delta werd de scheiding tussen Ooster- en Westerschelde, die aan het eind van de vorige eeuw door de afdamming van het Sloe en de Kreekrak tot stand kwam, vergemakkelijkt doordat het vermogen van deze twee waterlopen door natuurlijke verzanding en verslibbing sterk achteruit was gegaan.

Er had zich zo in de loop der tijden een betrekkelijk evenwichtig, in een aantal grote eenheden geleed systeem ontwikkeld. Naarmate deze eenvoudige structuur zich begon door te zetten werd het ook moeilijker voor de mens daar nog belangrijke veranderingen in aan te brengen. Slechts met zeer krachtige maatregelen zou het nog mogelijk zijn een ingreep te doen, die dan zeer gewelddadig zou ingaan tegen het karakter van het systeem.

Het Deltagebied had zijn natuurlijke afsluiting ongeveer gevonden. Verdere ontwikkeling, in die zin dat er, evenals in het zuiden, door aanzanding vereenvoudigingen in het stelsel zouden optreden, met name dat er door verzanding van het Volkerak een gemakkelijke scheiding tussen het midden en noorden van de Delta tot stand zou kunnen worden gebracht, was niet te verwachten. Zo'n ontwikkeling zou zeker niet door de natuur worden bevorderd en ook de mens streefde een dergelijke scheiding niet na. Integendeel, nog in 1931 bevorderde men ter wille van de scheepvaart naar en van het zuiden de stabiliteit en de diepte van het Hellegat, door er een stroomgeleidende dam in aan te leggen.

Hoewel de sluiting van het Sloe en van het Kreekrak in het zuiden dus een soortgelijke functie had in de hydrografische ontwikkeling van het Deltagebied als de latere afsluiting van het Volkerak in het noorden, was de afsluiting van het Volkerak waterstaats-technisch gezien een gebeurtenis geweest van een heel andere orde. De "gewelddadige amputatie" van het Volkerak heeft op het tijregime in de aan weerszijden aansluitende wateren dan ook veel ingrijpender uitwerking gehad dan de scheiding van de Ooster- en Westerschelde. In het zuiden zouden de gevolgen van de Volkeraksluiting nog wel merkbaar blijven tot de Oosterschelde was afgesloten.

De repercussies van de afsluiting van het Volkerak op het getijregime van het noordelijk bekken zijn daarentegen slechts van zeer tijdelijke aard geweest. Het effect ervan is nietig vergeleken bij wat thans door de afsluiting van het Haringvliet is bewerkstelligd. In het voorgaande is gesteld, en in zijn algemeenheid was dat juist, dat de menselijke activiteit voor wat betreft de structuur in hoofdlijnen van het Deltagebied slechts van gering belang kon zijn in verhouding tot de natuurlijke invloeden. In het noordelijk gedeelte van de Delta, met zijn minder krachtig ontwikkelde waterlopen, die meer het karakter van riviertakken dan van zee-armen hadden, kon het menselijk ingrijpen zich echter krachtig doen gelden. De waterbouwkundigen hadden zich reeds in de vorige eeuw met belangrijke modificaties en verbeteringen van het waterloopkundig stelsel in dit gebied bezig gehouden. We willen in dit verband verwijzen naar de 'Consideratien' van Cristiaan Brunings, waarin hij reeds in 1804 aandrang op de systematische verbeteringen van de stroombanen van Maas en Waal.

Te beginnen met deze vroegere studies en werken was het inzicht in het ingewikkelde stelsel van de noordelijke getijrivieren geleidelijk gerijpt, totdat de kennis op dit gebied in de laatste decennia met sprongen vooruit was gegaan.

De eerste belangrijke ingreep die van grote invloed was op het getijregime en de stroomverdeling in het rivierenstelsel van het noordelijk Deltabekken, was het graven van de Nieuwe Waterweg, die de oude verbinding van de noordelijkste Rijnarm met de zee, via de Brielse Maas, door een korte doorsteek naar Hoek van Holland verving.

Met de aanleg van de geleidedammen in zee bij Hoek van Holland werd in 1863 begonnen, met de eigenlijke doorgraving in 1866, terwijl het Scheur -de vroegere verbinding met de Oude-Maasmond, in 1879 werd afgesloten.

De uitvoering van dit werk ging gepaard met veel moeilijkheden en teleurstellingen, voornamelijk door de grote aanzandingen tussen de hoofden. Met baggeren alleen kon - toentertijd - niet voldoende worden bereikt. Pas in 1907 trad een meer bevredigende toestand in doordat men het vaarwater tussen de hoofden met lage dwarsdammen vernauwde.

Dit gedurfde werk was zijn tijd eigenlijk vooruit. Voor het eerst werden hier op grote schaal baggerwerken uitgevoerd in een riviermond aan zee, en voor het eerst werd men geconfronteerd met de ingewikkelde waterloopkundige verschijnselen die optreden waar zoet rivierwater en zout zeewater elkaar ontmoeten. De gestaag toenemende scheepsafmetingen stelden bovendien ook steeds verder gaande eisen aan de bevaarbaarheid en in het bijzonder aan de diepte van de nieuwe vaarweg. De ingenieurs werden doorlopend voor nieuwe problemen gesteld. De Nieuwe Waterweg is dan ook een belangrijke leerschool geweest voor de

Nederlandse waterbouwkundigen en bestudering ervan heeft een belangrijke bijdrage geleverd tot de kennis van getijstromen en de daarmee gepaard gaande zandverplaatsing in een gemengd zout - zoet milieu.

Als volgende belangrijke ingreep in het noordelijk Deltabekken moet het graven van de Nieuwe-Merwede worden genoemd. Dit werk beoogde de afvoer van rivierwater door de verwilderde Biesbosch te verbeteren. Deze belangrijke nieuwe rivierarm werd in de periode 1851 - 1885 gevormd door het verruimen en met elkander verbinden van een aantal bestaande killen.

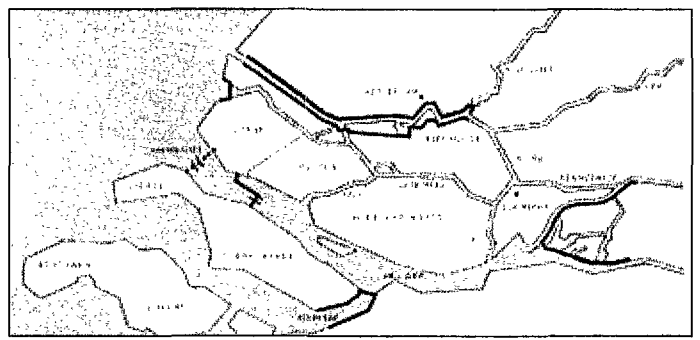
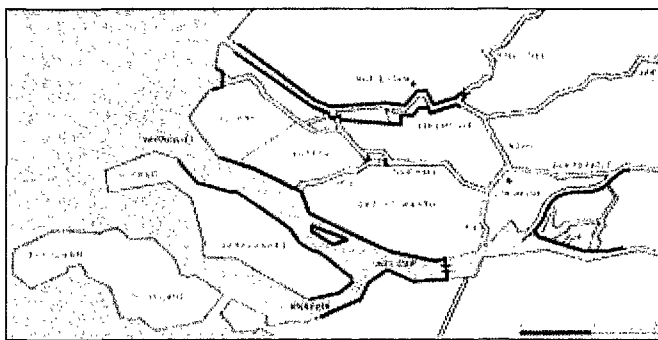
Iets later werd de scheiding van Maas en Waal voltrokken. Dit werk omvatte het graven van de Bergse Maas, normalisatie van de Amer, verruiming van het Heusdens kanaal, sluiting van de Heerewardense overlaten, verhoging van de Waaldijken, afsluiting van de Maas bij Andel en voorzieningen voor de afwatering van Noord-Brabant. De uitvoering van dit vrij omvangrijke en complexe werk nam de jaren 1888 - 1907 in beslag.

Vervolgens kan worden vermeld de werken tot verbetering van de Oude Maas, ten behoeve van de zeescheepvaart op Dordrecht. Deze rivierarm werd in de jaren 1925 - 1929 in belangrijke mate verruimd en ook overigens verbeterd, terwijl in aansluiting op deze werken de Krabbegeul werd gegraven, die de verbinding vormt tussen de Oude Maas en de zeehaven van Dordrecht. Het laatste belangrijke verbeteringswerk in het noordelijk Deltabekken dat in de periode voor de Tweede Wereldoorlog tot uitvoering kwam, was de reeds genoemde leidam in het Hellegat, die de stabilisering beoogde van de scheepvaartgeul die de verbinding vormde tussen Hollandsch Diep en Volkerak. De dam kwam in 1931 gereed. Het ontwerp van deze dam vereiste ook grondige studie.

Omtrent dezelfde tijd begon de meer systematische verzameling en bestudering van de getijbeweging en de daarmee verband houdende verschijnselen, zoals het zandtransport in de rivieren, getijgeulen en zeegaten. Men begon daardoor een veel beter inzicht te krijgen in deze moeilijke vraagstukken. Op basis van deze studies werden de eerste verstrekkende plannen opgemaakt tot verder ingrijpende verbeteringen in het rivierenstelsel van het noordelijk Deltabekken. Daarbij werden - evenals later bij het Deltaplan - reeds als voornaamste doelstellingen nagestreefd een veiliger situatie met het oog op stormvloed en een betere bescherming tegen zoutpenetratie vanuit zee. De gedachten begonnen uit te gaan naar een verkorting van de totale lengte der zeeeringen en rivierdijken door samenvoeging van eilanden.

Een eerste benadering volgens deze nieuwe lijn werd gevonden in het zogenaamde Viereilandenplan van 1938, dat de samenvoeging beoogde van de eilanden Rozenburg, Voorne-Putten, de Hoeksche Waard en IJsselmonde.

De dijk lengte zou daardoor met ongeveer 170 kilometer worden bekort, terwijl de verzilting door beperking van het getijvolume van het betrokken gebied zou worden tegengegaan. In het kader van dit plan pasten ook de afdamming van de Brielse Maas en van de Botlek, achter welke afdamming dan een zoetwaterbekken zou worden gevormd ten bate van de landbouw op Rozenburg en Voorne-Putten. Dit onderdeel van het plan werd uitgevoerd, in 1950 en 1951. Bij de uitvoering en met name bij de afsluiting van de mond van de Brielse Maas kon met vrucht gebruik worden gemaakt van de ervaringen die waren opgedaan bij de droogmaking van Walcheren. Tegen het Viereilandenplan rees overigens het bezwaar dat de haven van Dordrecht achter twee sluisen zou komen te liggen. Op het Viereilandenplan zijn derhalve enige varianten bedacht, waarvan hier slechts het Vijfeilandenplan genoemd wordt. Daarin werd het eiland van Dordrecht opgenomen in de groep eilanden die een gezamenlijke verdediging zouden voeren tegen het water. Nog altijd echter zouden de bestaande rivierdijken drastisch moeten worden verhoogd, en dat bleek in veel gevallen, met name in de omgeving van Dordrecht, niet uitvoerbaar. Daarom werd in een volgende opzet, en nu was inmiddels de Tweede Wereldoorlog al voorbij, getracht langs andere weg collectieve veiligheid te verkrijgen. Men overwoog met behulp van vier beweegbare stormvloedkeringen, en wel in de benedenmond van de Lek, de Kil en de Noord en in de bovenmond van de Benedenmerwede, stormvloed het binnendringen in het benedenrivierengebied te beletten, zodat de dijken zonder verhoging toch afdoende veiligheid zouden geven. Daarna werd een plan gemaakt dat voornamelijk gebaseerd was op de bouw van een stormvloedkering bij Klundert in het Hollandsch-Diep.



*Ontwerp voor stuw bij Klundert en Hellevoetsluis*

Voortgezette bestudering van de mogelijkheden die zulk een stuw bood, leidde tot verplaatsing ervan, alles nog steeds op papier, naar Tiengemeten, en nog verdere studie deed de stuw zelfs verhuizen naar de omgeving van Hellevoetsluis. Men ziet, het Deltaplan was in opmars. Sinds 1951 kwam ook de scheiding van het Haringvliet en het Volkerak in de plannen voor. De waterloopkundige studies in verband met deze plannen waren in 1952 al in zo'n ver gevorderd stadium, dat men zeggen kan: het noordelijk gedeelte van het Deltaplan is door de catastrofe van 1953 in zijn hoofdtrekken niet eens beïnvloed.

In het Waterloopkundig Laboratorium te Delft stond een hydraulisch model van het benedenrivierengebied, terwijl een elektrisch analoog van beperkte omvang ook reeds was gebouwd. Aldus stond een vergorderde studie en een arsenaal van wetenschappelijke hulpstukken de Deltacommissie ter beschikking toen haar gevraagd werd op korte termijn aanbevelingen te doen voor de constructie van een beveiligingssysteem tegen hoge stormvloed voor het gehele Deltagebied en in het bijzonder voor het ingewikkelde noordelijke Deltabekken. Slechts door de grondige ervaring, kennis en inzicht die in de loop der tijden en vooral in de laatste decennia in de werking van dit complexe systeem van getijgeulen en riviertakken was verkregen, werd het mogelijk, op tamelijk korte termijn een ontwerp voor afsluiting van dit gebied te maken. In dat ontwerp werd een kardinale plaats ingeruimd voor een grote uitwateringssluis als reguleringswerk, waarmee men de getijbeweging in dit gebied door een zorgvuldig berekend spuiprogramma voldoende in de hand zou kunnen krijgen, daarbij zoveel mogelijk met de waterstaatkundige belangen van het gebied rekening houdende.

# Het begin van de Volkerakwerken

- De tracés van de overbrugging van het Haringvliet en de afsluiting van het Volkerak.
- De werkhaven nabij Willemstad.
- De dam over de Hellegatsplaten.
- De dijk over de Hellegatsplaten.
- Terugblik op de uitvoering:
  - Het zandbedrijf
  - Het asfaltbedrijf;
  - Het kleibedrijf.
- De betonglooiing.
- Stabiliseren, asfalteren en bestraten van de verkeersbanen op de dijk over de Hellegatsplaten en op het verkeersplein.
- Dijkverhoging in West-Brabant langs het Volkerak.
- Sabina Henrica polder.
- Volkerakpolder.

## De tracés van de overbrugging van het Haringvliet en de afsluiting van het Volkerak

In 1958 werd een begin gemaakt met de aanleg van de dam over de Hellegatsplaten, die deel zal uitmaken van de scheidingsdam tussen het toekomstige Zeeuwse Meer en het Haringvliet, waarmee het Volkerak werd afgesloten. Deze dam dient als aardbaan voor de toerit van Flakkee naar de brug over het Haringvliet, die oostelijk van Tiengemeten was geprojecteerd.

Hieruit bleek, dat de overbrugging van het Haringvliet en de afsluiting van het Volkerak in een project waren samen gevoegd. De overwegingen, die hiertoe hebben geleid, worden in hetgeen volgt nader omschreven.

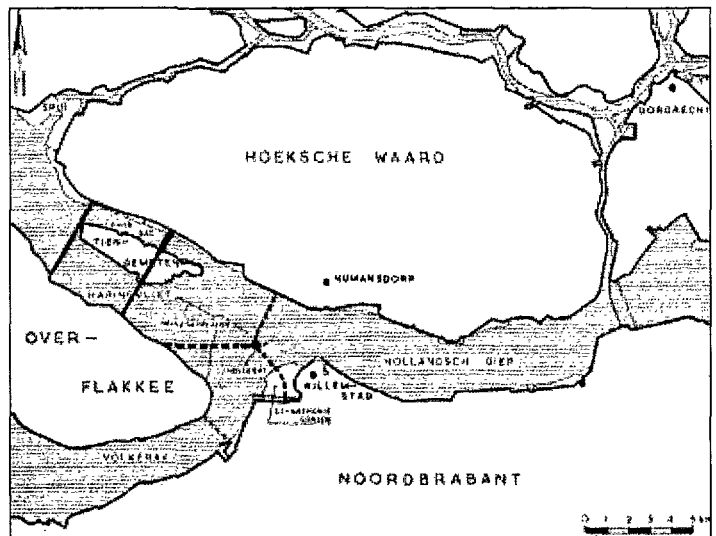
In de Memorie van Toelichting op de Deltawet werd er op gewezen, dat door de afdammingen een mogelijkheid werd verkregen om de Zeeuwse en Zuid-Hollandse eilanden door wegen te verbinden. Het zou dan echter noodzakelijk zijn om in aansluiting op deze afdammingen een nieuw wegennet aan het bestaande toe te voegen.

Tevens werd gewezen op de noodzaak om, teneinde een harmonisch wegennet te verkrijgen, behoudens de ontworpen afsluitdammen nog extra oeververbindingen tot stand te brengen in de vorm van dammen of bruggen.

Een van de voornaamste wegverbindingen, die aldus mogelijk werd gemaakt, was de nieuwe schakel tussen Rotterdam en Antwerpen, die als 'ZOOMSE WEG' werd aangeduid. Deze weg zou zowel het Haringvliet als het Volkerak kruisen.

De kruising met het Volkerak werd uiteraard verkregen door de te maken Volkerakdam. Voor de kruising met het Haringvliet zou een brug moeten worden gebouwd.

Plannen voor het maken van een overbrugging van het Haringvliet bestonden al geruime tijd. Reeds voor de oorlog was er een comité opgericht, dat zich in 1937 tot de Minister had gewend met het verzoek, een onderzoek naar de mogelijkheid van een vaste verbinding met het eiland Goeree-Overflakkee met de vaste wal van Zuid-Holland te willen instellen. Na de oorlog waren de plannen voor deze brugverbinding opnieuw naar voren gekomen en zij werden in 1947 geactiveerd door de Gedeputeerde Staten van Zuid-Holland, die een commissie instelden, belast met het onderzoek naar de mogelijkheid van een vaste verbinding.



Plan overbrugging bij het eiland Tiengemeten.

In 1952 werd geadviseerd om voor de overbrugging van het Haringvliet een brug te bouwen langs de westpunt van Tiengemeten. Daarop is de ramp gevolgd van 1 februari 1953 en, zoals het met vele plannen ging, geraakte daardoor de brug over het Haringvliet op de achtergrond.

Met het ontstaan van het Deltaplan lag het voor de hand na te gaan, of de afsluiting van het Haringvliet niet tevens zou kunnen worden benut voor de verlangde oeververbinding. Met het plannen van de afsluiting zeewaarts van Hellevoetsluis kon de dam wel dienen als oeververbinding met Goeree-Overflakkee. In het trace van een nieuwe weg Rotterdam - Antwerpen zou het echter niet passen. Naast deze afdamming aan de mond van het Haringvliet was men dus toch genoodzaakt om verder naar het oosten een brug te bouwen.

Toen het plan hiervoor opnieuw werd gezien, kwam een tracé naar voren, waarbij een brug geprojecteerd over het oostelijk deel van het eiland Tiengemeten, waarbij dus, evenals bij de aanvankelijke plaats van de brug, en het Vuil Gat ten noorden en het Haringvliet ten zuiden van dit eiland zou moeten worden gekruist.

Het Haringvliet is echter de weg, waarlangs het grootste gedeelte van het oppervlaktewater en het ijs van de Rijn en de Maas naar zee wordt afgevoerd. Ook wanneer het Deltaplan was uitgevoerd, zou het dezelfde taak moeten vervullen en daartoe misschien genormaliseerd moeten worden. Hierbij zou zich dan de vraag voordoen of de genormaliseerde rivier noordelijk of zuidelijk van Tiengemeten zou worden geleid.

Er waren verschillende omstandigheden, die pleitten voor laatst bedoelde oplossing. Wanneer de genormaliseerde rivier zuidelijk langs Tiengemeten werd geprojecteerd, behoefde dit eiland praktisch niet te worden aangetast en werd het gewenste profiel van de rivier geleidelijk verkregen door het verlenen van vergunningen voor het op grote schaal winnen van zand.

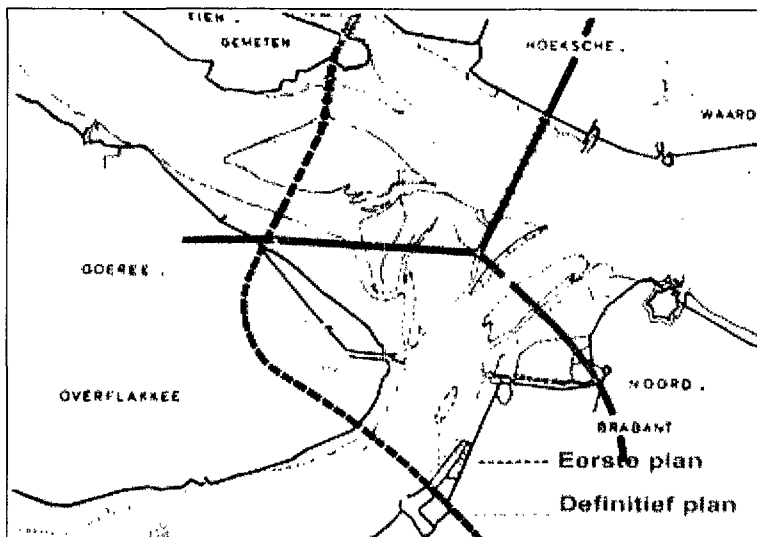


Wanneer daarentegen het betrekkelijk smalle Vuile Gat zou worden genormaliseerd, zou een groot gedeelte van het eiland Tiengemeten moeten worden opgeofferd en zou het moeilijker zijn om de werkzaamheden ter bereiking van de nieuwe toestand over een reeks van jaren uit te spreiden. De rivierverbetering zou dan in kortere tijd moeten worden uitgevoerd, minder kunnen worden aangepast aan de vraag naar zand en daardoor veel kostbaarder zijn.

Het Haringvliet zou echter pas kunnen worden genormaliseerd na de bouw van de afsluitdam. Wanneer reeds voor de totstandkoming van deze afsluiting belangrijke profielverruiming zou worden uitgevoerd, zou dit leiden tot een vergemakkelijking van het binnendringen van de vloedstroom en daarmee tot verhoging van de hoogwaterstanden in de omgeving van het Eiland van Dordrecht.

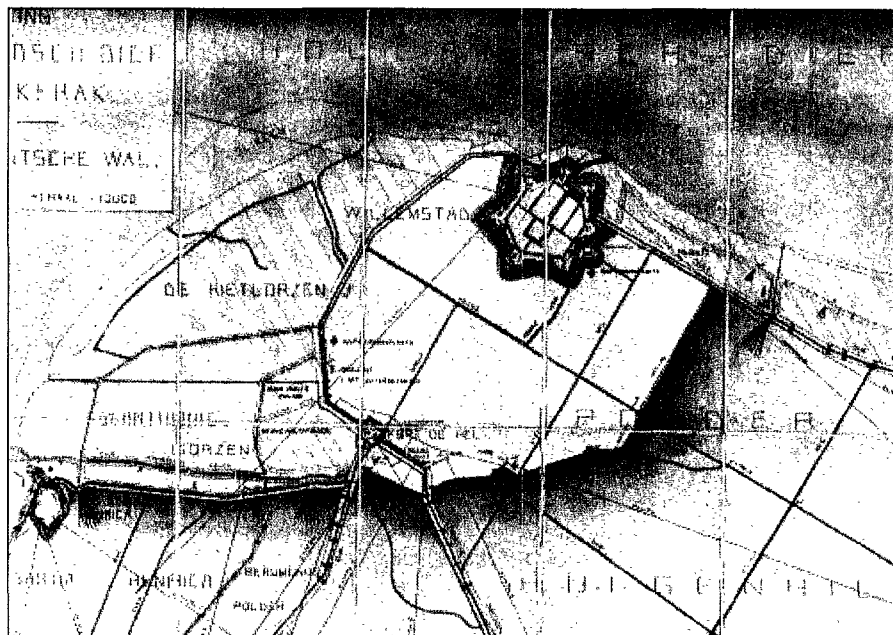
Dit betekende dat, bij spoedige bouw van een brug over de rivier bij Tiengemeten, met het oog op de bestaande hydrografische omstandigheden, zowel het Vuile Gat als het Haringvliet ten zuiden van het eiland zou moeten worden overspannen. Dit zou dus leiden tot de bouw van twee grote bruggen, wat de nieuwe oeververbinding zeer kostbaar zou maken.

Deze moeilijkheid kon ondervangen worden door het brugtracé nog verder in oostelijke richting te verschuiven tot even ten westen van Numansdorp. Dan was het inderdaad mogelijk een enkele brug te projecteren, die enerzijds was aangepast aan de bestaande omstandigheden en anderzijds paste bij een genormaliseerde rivier. Deze brug zou veel korter kunnen worden dan een overbrugging bij Tiengemeten en zou in uitvoering aanmerkelijk goedkoper zijn.



De afsluiting van het Volkerak was oorspronkelijk geprojecteerd even bovenstrooms van Dinteloord, waarbij o.a. rekening werd gehouden met het tracé van een brug over het eiland Tiengemeten. De wijze van uitvoering van deze dam en in het bijzonder van de bijbehorende kunstwerken, voorafgaande aan de eigenlijke afsluiting, zou grote problemen met zich meebrengen.

Bij het projecteren van de kunstwerken diende te worden overwogen, dat in de dam schutsluizen en grote inlaatsluizen moesten worden gebouwd. Hierbij was van belang dat de scheepvaart geen hinder van de stroming zou ondervinden. Voldoende afscheiding tussen de kunstwerken was daarom noodzakelijk. Voor de bouw van die kunstwerken moest veel ruimte worden gereserveerd. Die bouw zou reeds in een vroeg stadium der werken een belangrijke versmalling van de stroomgeul van het Volkerak veroorzaken. Slechts door uitvoering van veel baggerwerk zou kunnen worden vermeden, dat het doorstromingsprofiel van het Volkerak zou worden verkleind. Door het tracé van de afsluiting van het Volkerak in noordelijke richting te verplaatsen tot in het Hellegat, werd deze moeilijkheid voorkomen. Een bepaald gelukkige oplossing werd verkregen, wanneer de kunstwerkenbouw kon plaats hebben op de daartoe veel ruimte biedende Sint-Anthonie gorzen westelijk van Willemstad. Deze gorzen waren zo uitgestrekt, dat zich hier een zeer geschikte gelegenheid voordeed om een groot complex van schutsluizen te bouwen en daarnaast ruim bemeten inlaatsluizen, zonder dat de vaargeul, die zich richtte langs de stroomgeleidende dam in het Hellegat, behoefde te worden aangetast.



Rietgorzen bij Willemstad.

De verschuiving van het tracé van de Volkerakdam in noordelijke richting had echter nog een geheel ander aspect. De meer zuidelijke ligging had het nadeel, dat ten noorden daarvan een stroomloze zijtak van het Haringvliet zou ontstaan. In deze zijtak zou zich ijs kunnen verzamelen, zouden bij hoge rivierafvoeren zandafzettingen kunnen plaatsvinden en tenslotte zou hier zout water kunnen achter blijven, wanneer voor het verdrijven van het ijs de Haringvlietssluzen geheel geopend werden. Wanneer de afsluiting in het Hellegat kwam te liggen, vervielen de genoemde bezwaren geheel.

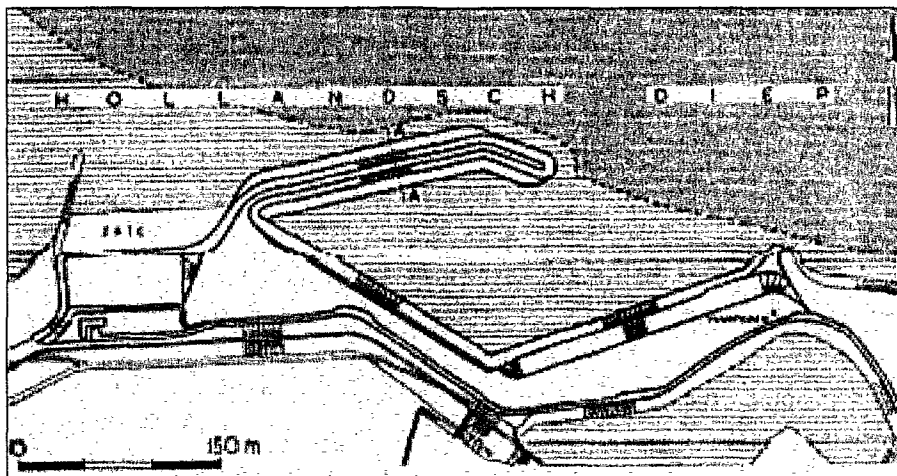
Voor het tracé van de Zoomse weg betekende de verschuiving van de Volkerakdam naar het noorden een bekorting. Naar verwacht mocht worden zou deze weg uitgroeien tot een van de belangrijkste verkeersaders van ons land. De plaats van de afsluitdam door het Hellegat en van de brug over het Haringvliet waren daarom, voor zover hier tegen geen hydraulische bezwaren bestonden, zoveel mogelijk aangepast aan de door het verkeer van deze weg te stellen eisen. De aftakking naar Overflakkee, die na

het gereedkomen van de Grevelingendam tevens van veel belang zou zijn voor Schouwen-Duiveland, werd op de Zoomse weg aangesloten juist ten zuiden van de brug. Daartoe werd een eiland opgespoten in de rivier, waarop een ruim verkeersknooppunt zou worden aangelegd.

Voor de verbinding met Overflakkee werd een nagenoeg westwaarts over de Hellegatplaten lopende dam ontworpen. Met de aanleg van de 4,5 km lange dam, waarmee ongeveer 2 jaar was gemoeid, werd in 1958 een begin gemaakt.

### De werkhaven nabij Willemstad

Ten behoeve van de uitvoering van de Volkerakwerken werd een werkhaven aangelegd. De haven, met een oppervlakte van 2 ha, ligt aan de zuidelijke oever van het Hollandsch-Diep, juist benedenstrooms van de bestaande haven van Willemstad. De afmetingen van de haven waren zeer bescheiden gehouden, daar bij de voortgang der werken reeds vrij spoedig meer beschut liggend wateroppervlak ter beschikking kwam, dat tijdens de uitvoering mede als werkhaven kon worden benut. Voor de aanloopperiode kon met deze kleine haven worden volstaan.



Ontwerp werkhaven bij Willemstad

Op 16 september 1957 werd een aanvang gemaakt met de uitvoering. De havendam was bestemd voor de opslag van zink- en stortsteen. De haventerreinen werden deels gebruikt voor opslag van materialen en deels aan de aannemers als werkterrein ter beschikking gesteld.

Westwaarts van de dam werd een zate opgespoten, aansluitend op een terrein voor de opslag van rijshout.

Een gedeelte van het haventerrein werd bestemd voor de bouw van een directiekeet. Ten behoeve van de aanvoer per as werd 600 meter weg aangelegd, de Lantaarndijk, aansluitend op het bestaande wegennet van de gemeente Willemstad. De haventerreinen reikten grotendeels tot 3.00 m + N.A.P. De haven werd uitgebaggerd tot 5.00 m - N.A.P.

Het belangrijkste gedeelte van het werk bestond uit de bouw van de 250 meter lange havendam. De kruin van de dam is 5.00 meter breed en ligt op 3,00 meter + N.A.P. De kruin en de aansluitende taluds werden afgedekt met koperslaktegels. Op N.A.P. werden ter weerszijden van de dam, 9,00 meter brede bermen aangebracht, afgedekt met mijnsteen. Op deze bermen kon 20.000 ton steen worden opgeslagen. Tussen perskaden van mijnsteen werd de dam boven het peil van 4 meter - N.A.P. opgespoten. Het gedeelte van de kop, dat beneden 4 meter - N.A.P. lag, werd opgebouwd uit zinkstukken en zand, dat met onderlossers werd aangevoerd. Gezien de zeer slechte bodemgesteldheid ter plaatse werd een gedeeltelijke grondverbetering aangebracht. Ondanks het ongunstige jaargetijde, waarin dit werk werd gemaakt, verliep de uitvoering vlot.

Ook werd in IJmuiden het directievaartuig "Ventjager" gebouwd voor het bedrag van f 100000,-. Dit vaartuig heeft vele jaren als zodanig dienst gedaan bij de Volkerakwerken.

### De dam over de Hellegatplaten

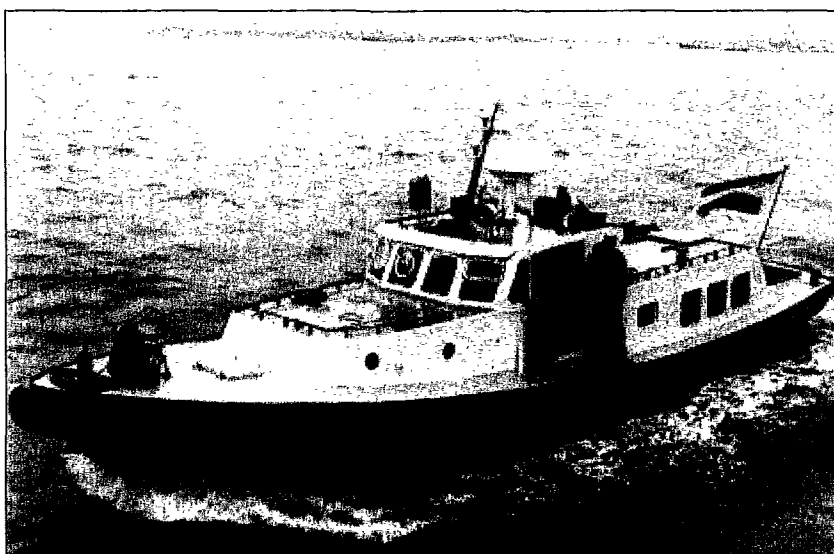
Reeds eerder is medegedeeld, dat in 1958 een aanvang werd gemaakt met de bouw van een dam over de Hellegatplaten. Deze dam vormde het eerste onderdeel van het complex werken dat zowel de afsluiting van het Volkerak als de overbrugging van het Haringvliet omvatte.

Het tracé doorsneed het uitgestrekte platengebied, gelegen in het Haringvliet tussen de stroomgeleidende dam in het Hellegat en de noordoostelijke oever van Goeree-Overflakkee.

Door een aantal landaanwinningdammen werd de opslibbing van deze in een wantij gelegen platen bevorderd, zij het in een zeer laag tempo. In de as van de dam lag het terrein grotendeels rond N.A.P. Het werd evenwel doorsneden door een drietal geulen waarvan de meest westelijke, het Ventjagersgaatje, de belangrijkste was. Deze geulen verzorgden de komberging van het platengebied.

Door de aanleg van de dam was geen merkbare invloed op de stroom onder normale getijomstandigheden in het Volkerak en Hellegat te verwachten. Tegen de aanleg van de dam in een vroeg stadium der Volkerakwerken bestond dan ook geen enkel bezwaar. De ongeveer 4,5 km lange dam loopt van het Hellegat nagenoeg westwaarts. Hierdoor werd een goed tracé van de verbindingsweg met de Grevelingendam verkregen. Ook eiste dit plan zo weinig mogelijk bestaande cultuurgrond op van het eiland Flakkee.

Het tracé van de dam is ongeveer halverwege licht naar het noorden uitgebogen, zodat de weg die op de dam werd aangelegd esthetisch beter zou voldoen.



Het oostelijke gedeelte van de dam bestaat over ongeveer 450 meter uit een onbekleed zandlichaam. De belopen zijn zeer flauw en werden met rijsschuttingen, stro en stuifgraan tegen verstuiving beschermd. Naderhand werd dit damgedeelte opgenomen in het verkeerseiland, dat werd opgespoten, zodat een kostbare bekleding achterwege kon blijven. De 15 meter brede kruin is gelegen op N.A.P. + 4,50 meter, de belopen kregen grotendeels een helling van 1 : 20.

De dam werd over een lengte van 4 km opgebouwd uit zand met beklede belopen onder een helling van 1 : 4.

Zolang het Haringvliet niet was afgesloten werd gerekend op de mogelijkheid van de zeer hoge waterstand van N.A.P. + 4 meter die in de huidige toestand eens per

50 jaar voorkwam en op een opwaaiing van 2,50 meter aan de noordzijde van de dam. Derhalve werd de dam aan die zijde tijdelijk verhoogd met een tuimeldijk waarvan de kruin op N.A.P. + 6,75 meter werd geprojecteerd. Na de voltooiing van de Haringvlietafsluiting zou bij hoge uitzondering een waterstand van N.A.P. + 2,80 meter worden overschreden, waarbij een golfloop kon worden verwacht van 1,75 meter. De tuimeldijk kon dan worden verwijderd, zodat een dam overbleef met een hoogte van N.A.P. + 4,70 meter langs de buitenkruinlijn en van N.A.P. + 5,10 meter in de as. De kruinbreedte van ongeveer 40 meter bood dan voldoende ruimte voor een autosnelweg met gescheiden rijbanen, een fietspad en een weg voor langzaam verkeer.

Voorlopig zou alleen deze laatste als een 5 meter brede klinkerweg worden aangelegd ten behoeve van de bereikbaarheid van het werk.

Aangezien de bouwplaats, met uitzondering van het Ventjagersgaatje, niet bereikbaar was voor drijvend materieel werd afgezien van het gebruik van perskaden van klei of mijnsteen, daar deze constructiemethode in dit geval te kostbaar zou worden. Men dacht de platen door opspuiten met zand tot boven het peil van hoogwater te brengen en de dam daarna tussen perskaden van zand op te bouwen.

In verband met de geringe stroomsnelheden over de platen en hun betrekkelijk hoge ligging behoefde bij deze werkwijze geen abnormaal zandverlies verwacht te worden. Bij de afsluiting van het Ventjagersgaatje zouden de stroomsnelheden tot ruim 2 m/sec kunnen oplopen. Men kon daarbij gebruik maken van silex, een materiaal dat voldoende weerstand bood tegen de stroomsnelheden en dat goedkoop verkrijgbaar was. Dit gesteente kwam vrij bij de mergelwinning voor de cementindustrie en bezit een S.G. van 2,7 tot 2,8.

De belopen aan de noordzijde van de dam en van de tuimeldijk werden afgedekt met een bitumineuze bekleding. Tussen de asfaltbekleding van het blijvende werk en die van de tuimeldijk werd een doorgaande betonband aangebracht, waardoor naderhand bij het verwijderen van de tuimeldijk de bekleding van het blijvende werk niet zou worden beschadigd.

Aan de zuidzijde van de dam wordt het beloop afgedekt met een 50 cm dikke kleilaag, die tot 3,00 meter boven N.A.P. met betonblokken van 15 cm dikte werd verdedigd.

In het beloop van de noordzijde werd een 2 meter brede kreukelberm aangebracht op NAP + 1,25 meter, die werd afgedekt met een vlijlaag van basalt op een folie van gebitumeerd glasvezelweefsel.

De steen van de asfalt- en betonbekleding werd ontworpen op een hoogte van NAP + 1,25 meter, dat is ongeveer het peil van gemiddeld hoogwater. Door deze hoge ligging werd de mogelijkheid van een goede uitvoering der bekleding vergroot. Tussen de teenconstructie en het oorspronkelijke terrein werden stranden gespoten onder een flauwe helling. Aan de noordzijde waar de golfaanval het sterkst was, werd aan dit strand een overhoogte gegeven om te voorkomen dat bij enige afslag de teenconstructie in gevaar zou komen. Het strand verminderde uiteraard de golfloop tegen het dijktafsluitingsgebied.

Om verstuiving van het strand tegen te gaan werd een beplanting aangebracht. In samenwerking met Staatsbosbeheer en de directie van de Wieringermeer werd onderzocht aan welke vegetatie in het hier voorkomende milieu de beste levenskansen werden geboden.

Voor het werk was (exclusief het onvermijdelijke zandverlies) een hoeveelheid van 1,8 miljoen m<sup>3</sup> zand benodigd. Hiervan werd 300.000 m<sup>3</sup> gezogen voor de mond van de haven van Dintelsas, waar de scheepvaart hinder ondervond van een zandplaat. Het overige zand werd gewonnen op een plaat in het Hellegat aan de Brabantse oever, waar ten behoeve van de sluisen die hier werden gebouwd, veel zand moest worden verwijderd.

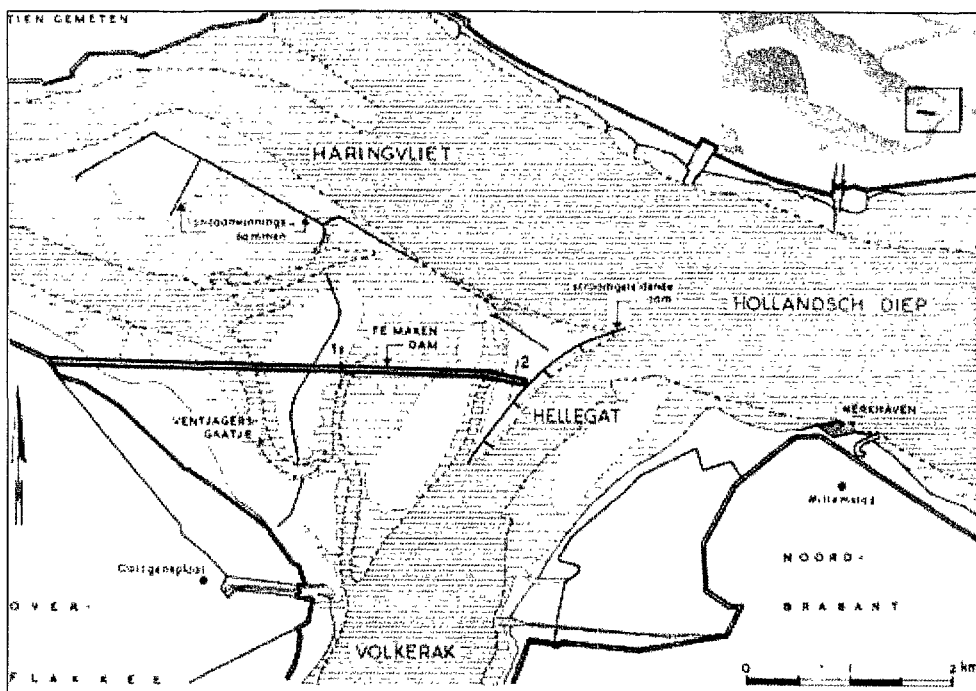
De aanbesteding van het werk vond plaats op 13 mei 1958.

Er werden 18 inschrijvingen ontvangen, waaronder twee alternatieve aanbiedingen. Deze alternatieve inschrijvingen waren gebaseerd op een andere zandwinplaats namelijk in de onmiddellijke omgeving van het werk, langs het tracé van de dijk.

Dit was volgens het bestek niet toegestaan, daar dit gebied bestemd was voor landaanwinning en de voorgeschreven zandwinplaatsen zodanig waren gekozen dat werk met werk kon worden gemaakt.

Van de 16 inschrijvingen volgens bestek werd het laagst ingeschreven door het Hollandse Aannemersbedrijf Zanen en Verstoep N.V. te 's-Gravenhage voor f 5 788 000,-

Het werk diende in 17 maanden te zijn voltooid.



Met het werk werd begonnen bij het oostelijke einde van de dam. De ligging aan goed vaarwater, dicht bij de aangewezen zandwinplaatsen en de sluiting van het Ventjagersgaatje in een later stadium van het werk, maakten een aanvang op dit punt het meest aantrekkelijk.

In verband met de zeer drukke scheepvaart vlak langs de Hellegatsdam en de plaatselijk grote stroomsnelheden, werd er van afgezien de perszuiger nabij het begin van het werk in het Hellegat te stellen. Het zeer intensieve verkeer met zandbakken zou de scheepvaart in de plaatselijk nog geen 500 meter brede geul ongetwijfeld in gevaar brengen. Wel werd toegestaan in het Hellegat een steiger te bouwen voor aanvoer van materialen t.b.v. de asfalt- en glooiingwerken. Gelet op de overige frequentie van de bij deze steiger aankomende en vertrekkende schepen was dit voor de scheepvaart aanvaardbaar. De perszuiger werd gesteld nabij het zuidelijk einde van de stroomgeleidende dam in het Hellegat. Daar hier geen voldoende diepte aanwezig was, werd eerst een insteek gezogen. De uitkomende specie werd rechtstreeks in het werk geperst met de perszuiger " Ammerstol". Uit deze insteek werd 300 000 m<sup>3</sup> zand gezogen, welke hoeveelheid na beëindiging van het werk weer door de aannemer werd aangevuld.

Het overige zand werd gewonnen aan de overzijde van de vaargeul op de aan de Brabantse oever van het Hellegat gelegen zandplaat ongeveer ten westen van de perszuiger, met uitzondering van 300.000 m<sup>3</sup> die bij de vluchthaven van Dintelsas moest worden verwijderd in verband met het ontstaan van een ondiepte voor de mond van de haven.

Het zand van de winzuigers werd met bakken bij de perszuiger geklapt. Deze werkwijze had het voordeel, dat bij mist of onwerkbaar weer, wanneer het transport met bakken uitviel, het werk niet direct behoefde te worden stilgelegd. Tevens kon met een minimum aan bakken en sleepboten worden volstaan. Nadat 700 meter dijk was gespoten, werd de persleiding omgelegd over de platen, waarmede een belangrijke bekorting van de persleiding werd bereikt.

Op 1 juli 1958 werd het eerste zand in de dijk geperst. Met een weekcapaciteit van 70 000 m<sup>3</sup> was na 13 weken reeds 1/3 gedeelte van de totaal benodigde zandhoeveelheid in het werk geperst. Het kruisen van de eerste twee geultjes leverde geen enkele moeilijkheid op. Het voornemen bestond, zolang de weersomstandigheden dit toelieten, het persbedrijf voort te zetten. Daartoe werd een steiger gebouwd van 200 meter lengte over het Ventjagersgaatje, dat op 15 oktober 1958 voor de scheepvaart definitief werd gesloten.

Voor de asfaltbetonbereiding werden eind juli twee asfaltmenginstallaties aangevoerd met een theoretische verwerkingscapaciteit van 70 ton per uur. Deze beide machines werden opgesteld op een gedeelte van het opgespoten zandlichaam nabij de steiger in het Hellegat, waar zand, grind en bitumen werden aangevoerd.

Medio augustus werd met een machine de productie begonnen. Eind augustus kwam het asfaltbedrijf in volle gang met een dagproductie van 600 ton asfaltbeton.

Het asfalt werd verwerkt op het geëgaliseerde en met een bulldozer verdichte noordelijke zandbeloop van de dam, tussen de teenconstructie (bovenzijde op hoogwater) en de gewapende betonband op NAP - 4,80 meter.

#### **De dijk over de Hellegatplaten**

Begunstigd door het goede weer konden goede vorderingen worden gemaakt bij de aanleg van de dijk over de Hellegatsplaten. In de periode van 1 juli tot 31 december 1958 werd 1,4 miljoen m<sup>3</sup> zand in het werk gebracht waarbij de gemiddelde persafstand ca. 2 km bedroeg. Door de grote capaciteit van de perszuiger ' Ammerstol' was het voor de drie winzuigers ' Frankrijk ', ' Gaasterland ' en ' Corrie ' met een zuigbuis-diameter van resp. 50, 50, en 30 cm niet goed mogelijk voldoende zand aan te voeren. Om stagnatie te voorkomen enerzijds en omdat anderzijds de zandwinplaats niet voldoende ruimte bood om een vierde zuiger in te zetten, werd besloten de zuigput van de perszuiger met 100 000 m<sup>3</sup> uit te breiden. Naderhand moest de aannemer deze put weer geheel laten volklappen, waardoor een hoeveelheid van ca. 400 000 m<sup>3</sup> benodigd was.

Het benedenstort, dat tot ca. NAP + 2 meter reikte, sloot reeds aan tegen de banddijk van Overflakkee.

Het profiel in het Ventjagersgaatje vertoonde nagenoeg geen wijzigingen. In twee maanden werd op het diepste punt van de geul, waar de bodem op NAP - 4 meter lag, een verdieping van 40 cm. gemeten.

Gelet op de lage temperaturen en de voor asfalt ongunstige weersomstandigheden werd het asfaltbedrijf op 20 november stilgelegd. Bijna 10 000 m<sup>3</sup> asfaltmengsel werd reeds verwerkt, zodat in 1959 nog 20 000 m<sup>3</sup> moest worden aangebracht.

De noordwesterstorm met windkracht 9 op 16 oktober 1958, waarbij een hoogwaterstand van NAP + 290 cm werd gemeten, had aan het werk geen schade aangericht. De brede stranden boden een uitstekende bescherming. De golven werden op grote afstand van de teen van de dijk gebroken, zodat de golfoploop minimaal was. Het enige zandverlies aan het onbeschermd dijkgedeelte werd veroorzaakt door verstuiven. De aannemer had per strekkende meter 5 m<sup>3</sup> zand extra in het werk gebracht voor eventuele verliezen. De stranden die onder 1 : 30 werden afgewerkt zijn wel iets flauwer geworden. Hierin was tevoren reeds voorzien door het spuiten van een overmaat zand.

Het plan voor de sluiting van het Ventjagersgaatje werd in bestek 167, dienst 1958 - 1960 voor het maken van een dam over de Hellegatsplaten nauwkeurig vastgesteld. Deze sluiting zou dienen te geschieden door de bouw van een silexdam op een van tevoren aangebrachte bodembezinking.

De sluiting mocht eerst tot stand worden gebracht nadat de ter weerszijden van het sluitgat gelegen damvakken, beide ter lengte van ongeveer 2 km over de volle lengte een kruinhoogte van ten minste NAP + 4 meter hadden bereikt. Eind januari 1959 was het werk zover gevorderd, dat met de sluiting kon worden begonnen.

De bouw van de dam over de Hellegatplaten werd aangevangen nabij de stroomgeleidende dam in het Hellegat. Voor de aanleg van het vak gelegen tussen het Ventjagersgaatje en Flakkee werd de persleiding via een 200 meter lange steiger over het sluitgat gevoerd. Op deze steiger werden twee meetposten geplaatst zodat vele stroommetingen konden worden uitgevoerd. Deze metingen wezen uit, dat bij doodtij de stroomsnelheden zeer gering waren. Op grond van deze metingen werden aanvullende berekeningen opgesteld waaruit bleek, dat in het sluitgat tijdens doodtij, de maximale stroomsnelheden bij vloed gedurende hoogstens een uur ca 1,60 m/sec, bij eb gedurende ongeveer drie uren ca 1,40 m/sec zouden bedragen. In de overige 8 uren zouden de snelheden bijna steeds beneden de 1 m/sec blijven.

Op grond van deze resultaten werd door de aannemer voorgesteld het gat door middel van het persen van zand tijdens een doodtij periode te sluiten. Na overleg met de directie werd dit plan als volgt vastgesteld.

- In het sluitgat zal een bodemvoorziening worden aangebracht van 2375 m<sup>2</sup> bestaande uit : een stuk van 45 x 35 meter en twee stukken van 20x20 meter. De stukken worden bestort met steen, stukgewicht 10/80 kg. , tot een hoeveelheid van 350 kg/m<sup>2</sup>.
- Aansluitend aan deze bestorting zal een krib worden gebouwd van silex ter lengte van 20 meter met zijbelopen van 1 : 2 en een

beloop grenzend aan het sluitgat onder 1 : 5. Tevens zal aansluitend aan de bezinking en de silexdam een bestorting van silex worden aangebracht ter dikte van 50 cm en ter breedte van 10 meter. In totaal zal 4500 ton silex worden gebruikt.

→ De aansluiting van de krib met het achterliggende damvak zal met behulp van zand geschieden.

→ Het gat zal worden gesloten door middel van het persen van zand, uitgaande van de tegenover de kop van de krib gelegen oever met behulp van 2 motorzuigers te weten:

1. ' Ammerstol ', geraamde productie 1000 m<sup>3</sup> per uur;
2. ' Frankrijk ', geraamde productie 500 m<sup>3</sup> per uur.

Daar volgens de raming ongeveer 110.000 m<sup>3</sup> zand in profiel moest worden geperst zou bij een netto productie van 1500 m<sup>3</sup> per uur deze dam in 3 etmalen kunnen worden gemaakt.

Letting op het gunstige getij in de week van 16 t/m 21 februari 1959 werd de aanvangsdatum van de sluiting vastgesteld op 11 februari 1959.

De uitvoering van deze sluiting is zeer vlot verlopen, al werd bij het transport van silex en zinkstukken grote hinder ondervonden van de zeer dichte mist. In de periode van 29 januari tot 4 februari werden de stukken geplaatst en van 2 tot 11 februari werd de silexdam met aansluitende bestorting aangebracht. De zinkstukken werden gemaakt op de zate bij de werkhaven in Willemstad waar tevens de silex lag opgeslagen. De vaarafstand naar het werk bedroeg ca 12 km. via het Hollandsch-Diep en het Haringvliet. Op de werkhaven werd de silex met een dragline op auto's geladen en op de steiger overgeslagen op oplossers en zolderbakken. Voor het transport van de silex werd gebruik gemaakt van drie lossers van 100 m<sup>3</sup>, negen zolderbakken van 100 ton, twee sleepboten en twee motorvletten.

In de dam werd de silex tot NAP - 1,50 meter geklapt, in totaal een hoeveelheid van 1600 ton. Met behulp van een drijvende kraan met een knijperinhoud van 2 m<sup>3</sup> werd de overige silex van de zolderbakken overgeslagen. Bij de verwerking van de silex bleek dat het nodig was, dit materiaal met grote eenheden in het werk te brengen. De fijne delen spoelen dan minder uit. Het verdiende aanbeveling de belopen niet steiler te nemen dan 2 : 5, daar door uitspoelen aan de teen het gemaakte beloop steiler werd. Gebleken was, dat silex goed bestand was tegen stroomsnelheden van 1,75 m/sec.. Het materiaal kon zonder bezwaar geklapt worden. In de periode van 9 tot 11 februari werd in de aansluiting van de silexdam met het achterliggende damlichaam 10 000 m<sup>3</sup> zand in depot geperst, om bij eventuele stroomaantasting met behulp van draglines en bulldozers ontgrondingen te kunnen aanvullen. De persafstand van de Ammerstol bedroeg ca. 2500 meter, van de Frankrijk 450 meter. De Ammerstol beschikt over 2 motoren van 1000 pk elk, die zowel gekoppeld als afzonderlijk konden werken. Door naast deze zuiger ook de Frankrijk in te zetten, werd een continu zandbedrijf gewaarborgd.

Op 12 februari s morgens om 6 uur werd begonnen met het persen van het zand in het sluitgat. Er ontstond vrij spoedig een brede, vlakke zandplaat die bij laagwater een breedte had van 300 meter met langshellingen van 1: 80 tot 1: 100 en dwarshellingen van 1: 60 tot 1: 70. Aan het einde van het stort vormden zich twee gebogen, symmetrische zandafzettingen, die de vorm van een tang aannamen en die zich rond het silex bastion sloot. In het midden hiervan vormde zich een meertje.

Naarmate het doorstromingsprofiel kleiner werd, namen de stroomsnelheden toe, totdat een maximum werd bereikt, waarna de snelheden afnamen. Het doorstromingsprofiel beneden NAP bedroeg bij de aanvang van de sluiting 510 m<sup>2</sup>. In het sluitgat bedroegen de maximum stroomsnelheden bij hoogwater: 12 februari bij 70 % van het doorstroomprofiel 1,60 m/sec; 13 februari bij 40 % van het doorstroomprofiel 1,75 m/sec; 14 februari bij 25 % van het doorstroomprofiel 0,80 m/sec.

Op 14 februari om 17.00 uur werd de ' Frankrijk ' stilgelegd en in reserve gehouden. Op zondag 15 februari had de geul bij hoogwater nog een breedte van ongeveer 50 meter en een diepte van 50 cm. Daar bij het persen veel zand buiten het profiel kwam, werd het persbedrijf gestaakt en werd met behulp van 4 draglines en 2 bulldozers een zanddam opgeworpen met een kruinhoogte van NAP + 3 meter en een kruinbreedte van 4 meter.

De productie van de zuigers had de geraamde productie ver overtroffen. De Frankrijk perste in 55 draaiuren uit de later opgemeten zuigput 64 000 m<sup>3</sup>, hetgeen een netto productie van 1160 m<sup>3</sup> per uur betekent. De ' Ammerstol ' behaalde een productie van 1525 m<sup>3</sup> per uur. In 118 draaiuren werd 180 000 m<sup>3</sup> zand in het werk gebracht, gemeten in het werk. De gezamenlijke netto productie bedroeg derhalve 2685 m<sup>3</sup> per uur.



*De dam over de Hellegatsplaten*

De zandverliezen waren te stellen op 15 %, dit is de zandhoeveelheid, die buiten het profiel werd geperst. Aan de zuidzijde werd meer zand buiten het profiel geperst dan aan de noordzijde, hetgeen te verklaren is uit het feit dat de zuigput van de ' Frankrijk ' zeer fijn zand opleverde, terwijl het zand van de ' Ammerstol ' veel grover was. Op 20 februari 1958 was de zanddam in het sluitgat over het volle profiel gereed.

Het afsluiten van het Ventjagersgaatje heeft nog een geheel ander verhaal. Personen die bij de afsluiting betrokken waren vertelden dat het theoretisch niet mogelijk zou zijn om het Ventjagersgaatje zonder zinkstukken af te sluiten. Het zinkstuk voor de afsluiting lag al klaar in de werkhaven. De afsluiting zou gepaard gaan met enig feestelijk vertoon. De uitnodigingen waren verstuurd en de hapjes en drankjes waren reeds besteld. Rijkswaterstaat met de aannemers zou tonen waarin een klein Land groot kon zijn. Echter daags voor de afsluiting werd de wind wat onstuimig. Met bezorgde blikken werd naar de lucht gekeken. Er werd getwijfeld of de dichting van deze geul volgens plan kon verlopen. Gelukkig was de volgende dag de wind gaan liggen. Niets kon de feestelijkheden nog in de weg staan. Maar toen het licht geworden was en men de toestand in ogenschouw nam bleek dat door de golfslag tegen de opgespoten dammen, zonder dat een waterbouwkundige hier aan te pas was gekomen, het complete Ventjagersgaatje dicht was gespoeld. Door de aannemer werd meteen adequaat gereageerd. Met de grootste spoed werd met graafmachines een stroomgat gecreëerd, om het klaarliggende zinkstuk op feestelijke wijze af te zinken.

Voor het inmiddels uitgevoerde damgedeelte op de Hellegatplaten werden de te verwachten zakkingen berekend. Daar in het algemeen een zandige grondslag aanwezig was, was geen evenwichtsverlies te duchten. Alleen nabij de oever van Flakkee, waar vrij slappe klei- en veenlagen voorkwamen, moest op grond van evenwichtsberekeningen geadviseerd worden tot toepassing van een beperkte grondverbetering.

De nabij Willemstad te bouwen sluizen zullen van een paalfundering worden voorzien. De aansluitende dijkvakken zullen echter aan grote zakkingen onderhevig zijn. De funderingspalen van de sluis zullen daarbij door zg. negatieve kleef met een extra omslaggerichte kracht belast worden. Ook over deze zaak bracht het laboratorium advies uit.

### **Terugblik op de uitvoering**

Op 27 oktober 1959 vond de eerste oplevering plaats van de 4,5 kilometer lange dam over de Hellegatplaten. Dit damgedeelte, dat een onderdeel vormt van de ruim 7,5 kilometer lange afsluitdam in het Volkerak, werd in 17 maanden voltooid.

De dam bestaat geheel uit zand, de noordzijde is van asfaltbekleding voorzien, de zuidzijde werd afgedekt met klei, gedeeltelijk beschermd door betonblokken. Een stuk ter lengte van ongeveer 500 meter, aansluitend aan de stroomgeleidende dam in het Hellegat, werd niet bekleed, omdat dit later zou worden opgenomen in een groot verkeersknooppunt, dat op een kunstmatig eiland in het Haringvliet zou worden aangelegd.

### **Het zandbedrijf**

Het damprofiel met flauwe onbeschermden stranden onder helling van 1: 30, respectievelijk reikend aan de noordzijde tot NAP +2,25 meter en aan de zuidzijde tot hoogwater was geheel aangepast aan een gemakkelijke wijze van uitvoering. Het zandlichaam werd in drie lagen opgebouwd. De eerste laag tot NAP + 2 meter werd zonder perskaden gespoten, zoals eerder werd medege-deeld. Dit vond zoveel mogelijk plaats bij opkomend water, omdat het fijne zand anders onder een te flauwe helling uitvloeide. Het in het bestek voorgeschreven strandbeloop van 1: 30 was op deze wijze zeer goed te realiseren.

Op het gespoten strand werden met behulp van draglines en bulldozers perskaden opgeworpen van zand, terwijl tussen de kaden de 2de en 3de laag gespoten werden. De belopen werden, nadat de vereiste zandhoeveelheid aangebracht was, onder het verlangde profiel van 1: 4 gebracht. Het tuimeldijkje met belopen van 1: 3 werd gelijktijdig aangebracht met het afwerken van de taluds. Bij de beschutte ligging van het werk en de hoge ligging van het platengebied ( ongeveer half tij) bleek deze werkwijze inderdaad eenvoudig. Golf noch stroom hebben enige moeilijkheid veroorzaakt en zo konden snelle vorderingen worden gemaakt. Veel hinder werd ondervonden van de wind. In het bestek was bepaald, dat de bekende A.V. bepalingen betreffende het verwerken van asfalthoudende materialen volledig van toepassing zouden zijn op het aanbrengen van asfaltbeton. Ten aanzien van grindasfaltbeton kon de Directie ontheffing van deze bepalingen verlenen en toestaan, dat dit materiaal ook in de periode van 1 november tot 1 maart bij gunstige weersomstandigheden verwerkt mocht worden. De verwerking van grindasfaltbeton werd stopgezet op 20 november 1958. Het zandbedrijf ging toen evenwel door. Met de kleiaanvoer kon men pas beginnen nadat de Flakkeese oever was bereikt, omdat de klei van een op het eiland gelegen polder werd betrokken. Zo ontstond de situatie, dat het zandlichaam over 4,5 kilometer was aangebracht en nagenoeg nog geen bekledingen waren gemaakt. Aangenomen kon worden, dat 25 000 'a 30 000 m<sup>3</sup> is verstoven en 2 werkweken verloren waren gegaan ten gevolgen van het stuiven. Door de aannemer waren geen maatregelen genomen om het stuiven tegen te gaan. Wel werd een overmaat zand gespoten voor stof verliezen. Ondanks dit was tenslotte een kostbaar langstransport van zand noodzakelijk om de plaatselijk soms zeer sterk afgenomen gedeelten op de gewenste hoogte te brengen.

### **Het asfaltbedrijf**

Volgens het bestek diende de asfaltbekleding te worden uitgevoerd in twee lagen. De onderlaag in grindasfaltbeton, de bovenlaag in asfaltbeton. De hechting tussen de twee asfaltlagen geniet ondanks de voorzorgsmaatregelen, die voor een goede uitvoering werden getroffen een twijfelachtige reputatie. Dit was een gevolg van verontreiniging van het oppervlak van de onderlaag, die zelfs een goede uitvoeringsmethode, waarbij de bovenlaag zo snel mogelijk werd aangebracht na gereedkomen van de onderlaag, niet was te voorkomen. Vooral bij een werk als het onderhavige waar met zandverstuivingen voortdurend rekening diende te worden gehouden, speelde dit een uiterst belangrijke rol. Om een goede kleeflaag tussen de boven- en onderlaag te verkrijgen, werd deze zo snel mogelijk na het gereedkomen van de onderlaag aangebracht. De praktijk bracht met zich mee, dat in het gunstigste geval aan het eind van de dag de gereedgekomen onderlaag werd behandeld. Het 's morgens gereed gekomen gedeelte was dan veelal reeds met zand vol gestoven en het aan het einde van de dag gemaakte gedeelte was vanwege de hoge temperatuur nog niet goed te behandelen, omdat het bitum grotendeels door het te warme oppervlak werd geabsorbeerd.

Een juiste dosering van warme bitumen op een warm beloop was praktisch niet goed uitvoerbaar. Plaatselijk werd te weinig, elders te veel bitumen aangebracht. Het eerste veroorzaakte een onvoldoende hechting, het laatste kon aanleiding zijn tot het afschuiven van de bovenlaag over de onderlaag. Ook toepassing van asfaltemulsie bood hier geen bevredigende oplossing.

Verschillende malen werd geconstateerd, dat de hechting bestial onvoldoende was. Dit heeft er toe geleid na te gaan of het voor de kwaliteit van de bekleding niet beter zou zijn de kwalitatief twijfelachtige en kostbare hechtlaag te elimineren door de totale dikte van de bekleding in een laag aan te brengen. Immers vond het ontstaan van het twee-lagen systeem zijn oorsprong in het feit, dat aanvankelijk een zeer belangrijk prijsverschil bestond tussen de goedkope zandasfalt onderlaag en de dure bovenlaag van asfaltbeton. Daarnaast leefde de gedachte, dat asfalt bezwaarlijk in dikke lagen kon worden verwerkt, omdat dan geen goede verdichting mogelijk zou zijn.

Ten aanzien van het prijsverschil tussen de boven- en onderlaag kon worden gesteld, dat dit thans gering is, t.w. F 8,00 per m<sup>2</sup>. Dit geringe prijsverschil was een gevolg van het feit, dat aan de samenstelling van de onderlaag hogere eisen werden gesteld. Hierbij dient te worden bedacht, dat het in een laag werken het asfalt veel goedkoper maakt. Bij een twee-lagen systeem moest iedere m<sup>2</sup> tweemaal worden geharkt en gewalst en was voor een goede hechting tussen de lagen een kostbare kleeflaag nodig. Bovendien was de productie van de asfaltmolens ingesteld op de in de onderlaag te verwerken hoeveelheden, die meestal groter waren dan in de bovenlaag. Iedere dag waarop bovenlaag werd gedraaid kon de productie van de molens dan ook slechts ten dele worden benut.

Als voorbeeld kan worden genoemd, dat bij dit werk gedurende 4 dagen van de week met twee molens onderlaag werd gedraaid en 1 dag per week met slechts een molen bovenlaag.

Zou de letter van het bestek nauwkeurig worden gevolgd, dan zou in feite om de dag de bovenlaag moeten worden aangebracht op het de vorige dag gereedgekomen vak van de onderlaag, waarbij de productiekosten op onverantwoorde wijze zouden stijgen. Gesteld kon worden, dat bij het inwerken in een laag, met dezelfde materiaalkosten als bij een twee-lagen systeem, een belangrijke besparing op de verwerkingskosten was te bereiken.

Wat de verdichting betreft, kan worden opgemerkt, dat de ervaringen opgedaan in de wegebouw er op wezen, dat de grootste dichtheid kon worden bereikt bij het werken in dunne lagen. Deze ervaring kon echter niet kritiekloos worden overgedragen op de dijkbouw.

Hier immers werd de bekleding aangebracht onder een helling, waarbij bovendien een vaste fundering ontbrak. Ook de eisen, die gesteld werden aan de draagkracht en de stroefheid van het oppervlak was hier veel geringer. Dit kwam tot uiting in een andere samenstelling van het asfaltmengsel. Omdat het walsen op een dijktaflood moeilijker was dan op een weg, werd in de dijkbouw gestreefd naar een zo vet mogelijk mengsel als met het oog op verwerking nog juist mogelijk was. Door dit hogere bitumengehalte werd dan zonder dat met zware walsen werd gewerkt toch een geringe holleruimtepercentage van het asfaltbeton bereikt.

Teneinde te kunnen vaststellen of ook bij dikkere lagen dan de gebruikelijke een voldoende dicht materiaal zou zijn te maken, werden op het buitenbeloop van de dam over de Hellegatplaten enige kleine proefvlakken gemaakt met een bekleding van een laag asfaltbeton. De laagdikte, die over het grootste gedeelte 22 cm. was, nam nabij de teen toe tot 70 cm.

Voor de verdichting werden lichte trilwalsen gebruikt.

Toen na onderzoek van proeftegels, de resultaten goed bleken te zijn, werd besloten de nog te maken bekleding uit te voeren in een laag. Van de totale asfaltheveelheid van ongeveer

30000 m<sup>3</sup> werd 30 % in een laag verwerkt. Het gemiddelde percentage aan holle ruimten was daarbij 6,6. Het bleek, dat de holle ruimten groter werden naarmate het werk vorderde, wat waarschijnlijk moest worden geweten aan de langdurige droogte, waardoor de verdichting van het zandbeloop met behulp van bulldozers steeds minder mogelijkheden bood.

Ter vergelijking zij vermeld, dat de dunne deklaag van asfaltbeton, over het gedeelte waarin twee lagen werd gewerkt, een gemiddeld holle-ruimtepercentage gaf van 5,03 %, de onderlaag van grindasfaltbeton een percentage van 8,3 %. Het verschil met eenlaag systeem bleek dus gering te zijn en op grond van deze resultaten is dan ook het werken in een dikke laag onder soortgelijke omstandigheden als hier aanwezig waren aan te bevelen.

Er moet nog worden opgemerkt, dat op dit werk gebruik werd gemaakt van zichzelf voortbewegende trilwalsen. Hierbij is de indruk verkregen dat waarschijnlijk gunstiger resultaten zullen zijn te bereiken met aan de bovenzijde van het talud opgehangen trilwalsen, waarbij het gewicht van de wals loodrecht op het talud aangrijpt.

### **Het kleibedrijf**

De klei, benodigd voor de bekleding van het zuidelijk dambelooop, werd verkregen door afgraving van een polder op Flakkee. De grond werd met een dragline ontgraven over een laagdikte variërend van 40 tot 50 centimeter. Het transport geschiedde per spoor door zes treinen, elk met 13 karren. De grootste vervoerafstand bedroeg ruim 5,5 km, de kleinste 1,5 km. Met de uitvoering werd begonnen nabij het oostelijk einde van de dam, zodat aanvankelijk kon worden volstaan met 1 N.C.K. dragline, emmerinhoud 750 liter, in de klei-put. Door het geringer worden van de vervoersafstand moest ongeveer halverwege het werk een tweede dragline in de put worden ingezet. Door de goede aanleg van de spoorbaan waren de ontsparingen minimaal, zodat het kleibedrijf, mede begunstigd door het droge weer, weinig stagnatie ondervond.

In een periode van 20 weken werd een gemiddelde week productie van 2580 m<sup>3</sup> bereikt. Voor de totaal benodigde hoeveelheid klei van ruim 50 000 m<sup>3</sup> moest ca. 12 ha worden afgegraven. Nadat dit was geschied, werd het terrein 1 meter diep geploegd. De daarbij bovenkomende grond had een hogere cultuurwaarde dan de aan het terrein ontleende bouwvoor. In overleg met de cultuurtechnische dienst kon op deze wijze werk met werk worden gemaakt.

### **De betonglooiing**

Van de 26500 m<sup>2</sup> bekleding werd de helft uitgevoerd met zeshoekig gevormde blokken volgens het systeem Pit, de andere helft met diabolvormige blokken van systemen De Hoop. Het probleem bij de verwerking van de blokken was hoofdzakelijk een transportprobleem waarbij het lossen van de auto's in het dambelooop een belangrijke, meestal tijdrovende, dus kostbare factor was, terwijl bij deze handeling veel blokken werden beschadigd.

Begonnen werd met de blokken in het talud te lossen via een plank, waarover het blok naar beneden gleed.

Daar op deze wijze een groot aantal blokken beschadigde, werd overgegaan tot het lossen met behulp van een boven het talud opgestelde transportband, die verrijdbaar was in de asrichting van de dam. De machine werd door een 6 PK. motor aangedreven en had een lengte van 15 meter. De band was uitgevoerd in rubber, waarop op regelmatige afstanden van 25 cm. rubber blokken waren aangebracht. Het apparaat heeft uitermate goed voldaan en beschadigingen aan de blokken waren bij deze werkwijze minimaal.

De uitvoering van het werk was bijzonder vlot gegaan. Op vrijwel alle onderdelen konden de producties die als uitgangspunt hadden gediend voor de opstelling van het werkplan worden gerealiseerd.

Het zandbedrijf liep sneller dan was geraamd, mede omdat de uitzonderlijk zachte winter geen enkele stagnatie had veroorzaakt. De afwerking van het lichaam had meer tijd gekost dan was voorzien, zodat het werk toch nog langer duurde dan de snelle vorderingen tijdens de bouw deden vermoeden.

De lage rivierwaterstanden waren oorzaak, dat de klinkers op de kruin van de dijk gemaakte 5 meter brede klinkerweg niet op tijd konden worden aangevoerd, zodat een gedeelte van het straatwerk in de onderhoudstermijn moest worden uitgevoerd.

Om het eiland Goeree-Overflakkee uit z'n isolement te halen, als de Haringvlietbrug in 1964 gereed kwam, was het derhalve nodig het grondwerk te maken voor de wegverbinding tussen het zuidelijk landhoofd van de brug en de reeds in 1959 gereed gekomen dijk over het Hellegatplatengebied.

Het te maken grondwerk impliceerde tevens het maken van het ontworpen verkeersplein. Daarvan kwam in juni 1962 de zuidelijke oprit naar de toekomstige wegverbinding Rotterdam-Zuiden van het land gereed.

Genoemd werk werd opgedragen aan Aannemerscombinatie ' Willemstad ' te Willemstad, die er in maart 1963 mee begon. Door de zandzuiger ' Dordrecht II ' werd zand gezogen uit het platengebied ten zuidwesten van de stroomleidam in het Hellegat. Via een 2,5 kilometer lange leiding werd dit zand in het te maken werk geperst.

In ruwe vorm geschetst werd een plateau met een driehoekige vorm - basis 500 meter en hoogte 500 meter - opgeperst tot NAP + 3 meter. Ten oosten sloot dit plateau aan tegen de zuidelijke oprit en ten zuiden werd de basis gevormd door de in 1959 gereedgekomen dijk over de Hellegatplaten. Aan de westkant van het plateau werd een aardebaan gemaakt, aflopende vanaf een globale hoogte van NAP + 13 meter, bij het zuidelijke landhoofd van de brug tot een hoogte van NAP + 5 meter op de dijk over de Hellegatplaten.

Rest nog te vermelden dat in totaal 800 000 m<sup>3</sup> zand aan het beschreven grondwerk diende te worden verwerkt. De westelijke aardebaan kreeg aan de buitenzijde een asfaltbeloop met een helling van 1:4 tussen NAP + 1,25 meter en 5 meter, waarvoor 15 000 ton asfaltbeton diende te worden verwerkt.

Voortgegaan werd met het persen van zand in het te maken verkeerscircuit en de toeleidende op en afritten. In de bestaande zuidelijke oprit van de overbrugging van het Haringvliet werd een doorgraving gemaakt ter plaatse waar mettertijd de hoofdverkeersweg Rotterdam - Zuiden des lands met een viaduct over de weg Flakkee - Rotterdam zou worden gevoerd.

Er was reeds ca. 750 000 m<sup>3</sup> zand geperst en gedeeltelijk reeds zodanig afgewerkt dat de asfaltaannemer kon beginnen met het aanbrengen van asfaltbeton op het beloop aan de westelijke buitenzijde van het werk. Met de aanvoer van materieel en materialen daartoe werd een aanvang gemaakt. Het resterende grondwerk kon worden afgewerkt, waarna de kleibekledingen werden aangebracht. De eerder genoemde zandzuiger ' Dordrecht II ' werd begin augustus vervangen door de zandzuiger ' Holland VI ', daar eerst genoemde zuiger ver bij de geraamde productie ten achter bleef. De zuiger ' Holland VI ' kon een meer op de eisen van dit werk afgestemde capaciteit ontwikkelen.

Eind september 1963 kon het persen van zand in het te maken verkeerseiland worden beëindigd. Het westelijke beloop was toen reeds afgewerkt, zodat de aannemer van het asfaltwerk kon beginnen met het aanbrengen van de bekleding van asfaltbeton.

Voordien was aan de teen van het beloop een voorziening, bestaande uit een houten damwand en een kreukelberm van steen 10 tot 60 kilogram op een folie van nylonweefsel, genaamd ' Nymplex ' aangebracht.

De aannemer gebruikte voor het verwerken van het asfaltbeton op het beloop een spreidmachine. De aangebrachte en gespreide specie werd direct achter deze machine verdicht. De eerste resultaten met deze machine konden met betrekking tot de verdichting gunstig genoemd worden. Voor het asfaltwerk was tot december van de totaal te verwerken hoeveelheid van 15 000 ton ongeveer 3000 ton verwerkt. Doordat de steeds weer invallende vorst, gepaard ging met droge krachtige oostelijke winden, was het asfaltwerk ( in totaal 15 000 ton te verwerken ) ernstig vertraagd. Verwacht mocht worden dat het asfalteren eerst begin april 1964 gereed zou komen. Inmiddels was het grondwerk ook tijdens de winterperiode met kracht voortgezet. Na 1 december werd vanwege de ingevallen winter geen specie meer verwerkt. Een spoedig gereedkomen van het grondwerk was gewenst, omdat in verband met de openstelling van de brug over het Haringvliet nabij Numansdorp een tijdige aanvang van de stabilisatie en verhardingswerkzaamheden van de verkeersbanen op het circuit noodzakelijk waren. Het afwerken van het grondwerk vond ondanks de vorst goed voortgang

Van de overige werkzaamheden waren gereedgekomen:

- De steenconstructie van de grenendamwand met een hoogte van 2 meter en een dikte van 0,06 meter, inclusief gording en aansluitende kreukelberm van kunststofweefsel ( zgn. Nymplexgaas ) met steenbestorting van steen 10/60 kilogram;
- De levering van klei - 5000 m<sup>3</sup> - was voltooid, hoewel het verwerken nog gedeeltelijk moest plaatsvinden.

Met het verwerken van 11 000 m<sup>3</sup> ter beschikking gestelde klei werd voortgegaan terwijl met het plaatsen van rijsschuttingen, het inleggen van stro en het bezaaien met gerst een aanvang werd gemaakt.

Door verschillende omstandigheden moest het werk van het grondlichaam met glooiing op de Hellegatplaten, enige malen worden uitgesteld. Op 13 juni 1964 vond dit voor de eerste maal plaats.

### **Stabiliseren, asfalteren en bestraten van de verkeersbanen op de dijk over de Hellegatplaten en op het verkeersplein**

Reeds in de zomer van 1963 werd begonnen met het stabiliseren van de verkeersbaan op de dijk over de Hellegatplaten. Op de rijbaan vanaf de Bommelsche zeedijk tot 3,5 kilometer in oostelijke richting kwam men daarmee gereed. Het stabiliseren geschiedde met een speciaal daartoe ontworpen machine over een breedte van 7,90 meter en over en diepte van 0,15 meter met cement en water - de z.g.n. mix in place methode -. Het lag in de bedoeling het stabiliseren van de verkeersbanen op het grondlichaam van het circuit aan te vangen in de eerste weken van april 1964, waarna tegen het einde van april een begin kon worden gemaakt met het aanbrengen van de verhardingen. Deze verhardingen bestonden uit een bitumineus wegdek met een breedte van 7,25 meter, bestrate parkeerplaatsen, recreatiebermen en een 5 meter brede parallelweg voor langzaam verkeer.

In een schema was vastgelegd in welke volgorde de verschillende werkzaamheden in samenhang met het grondwerk van het verkeersplein dienden te verlopen. Daarbij werd er vanuit gegaan, dat bij de opening van de brug over het Haringvliet nabij Numansdorp het verkeer doorgang moest kunnen vinden.

Het tijdschema van de wegenwerkzaamheden op het grondlichaam van het verkeersplein kon niet geheel worden nagekomen. Het stabiliseren van de onderbaan ondervond een belangrijk oponthoud, doordat de machines van de aannemer langer dan was voorzien moesten worden ingezet bij de noordelijke aansluiting van de brug over het Haringvliet in de Hoeksche Waard. Op het verkeersknooppunt splitst de weg zich in twee banen. Bij openstelling van de brug moest een baan, de zuidelijke, gereed zijn. Om de zuidelijke aansluiting toch nog voor de openstelling van de brug te kunnen verwirkelijken werd besloten de aardebaan uit de richting Flakkee naar de brug over 1600 meter niet te stabiliseren, doch te voorzien van een zware fundering, een 6 cm dikke laag grinzand-asfalt. Door deze wijziging kon het werktempo belangrijk worden opgevoerd, zodat - 26 juni 1964 - de gehele weg-



aansluiting uit de richting Flakkee gereed was tot op 150 meter ten zuiden van de brug. Deze laatste afstand werd van een klinkerbestrating voorzien aangezien men zettingen verwachtte in de grondaanvulling tegen het landhoofd van de brug.

De wegaansluiting van de brug in de richting Flakkee, de andere baan dus, werd gestabiliseerd en moest daarna nog van een asfaltdek worden voorzien. De parallelweg voor langzaam verkeer, een 5 meter brede klinkerweg, was eveneens voltooid tot 150 meter ten zuiden van de brug en moest alleen nog worden aangesloten op het landhoofd.

#### **Dijkverhoging in West-Brabant langs het Volkerak**

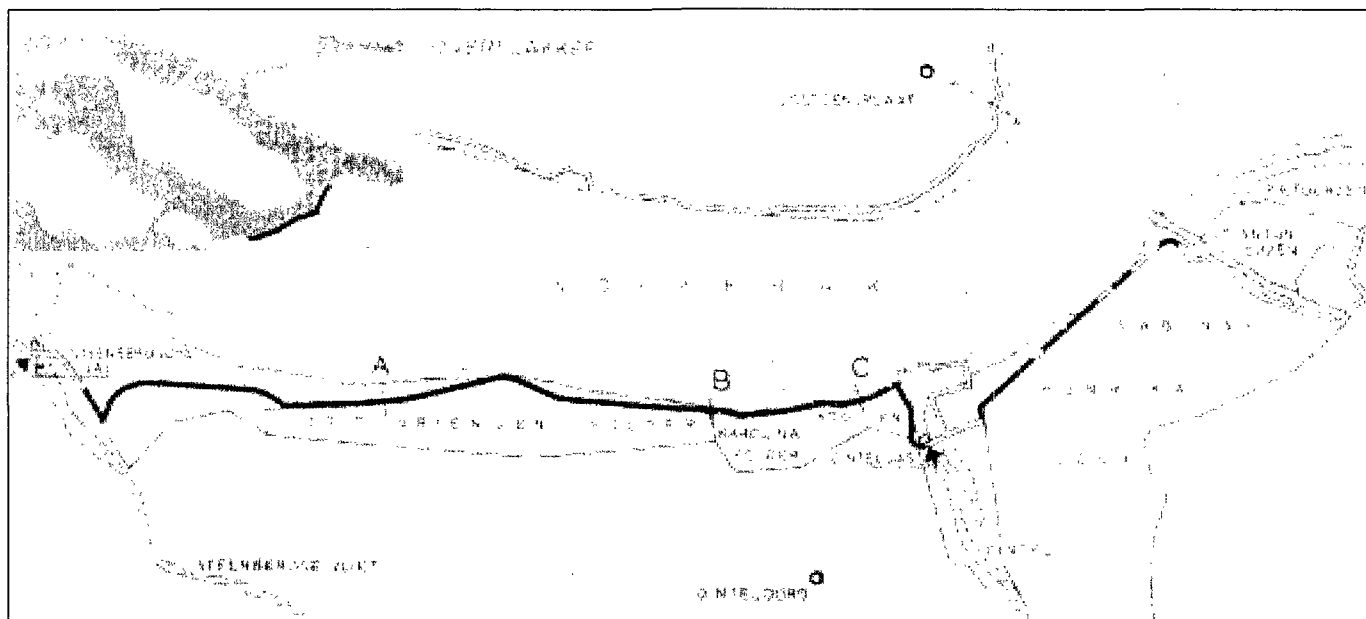
Door de afdamming van de Grevelingen en het Volkerak zou het tijverschil op het Volkerak worden vergroot; de ebstanden zouden wat lager en de vloedstanden zouden hoger zijn. Deze toestand zou tenminste 10 jaar voortduren, tot het moment waarop ook de Oosterschelde was afgesloten.

De verwachting aangaande het verhoogde vloedpeil werd ten grondslag gelegd aan de bepaling van de nieuwe kruinhoogten van de dijken langs de Sabina Henricapolder en de Volkerakpolders. Deze twee dijkvakken resp. 2800 meter en 8500 meter lang, werden tijdens de stormvloed van 1 februari 1953 op verschillende plaatsen ernstig werden beschadigd. Direct na de ramp werden weliswaar plaatselijke verzwaringen uitgevoerd, maar toch boden deze dijkvakken een duidelijk geringere veiligheid dan de aangrenzende, zodat verzwaring en verhoging noodzakelijk werd geacht. De stormvloedstand, die voor de hoogte van de dijken in dit gebied maatgevend moest worden geacht, was bepaald op een peil dat na de afsluiting van het Volkerak ongeveer eens per eeuw werd overschreden.

De werken werden deels uitgevoerd in het kader van de werken tot verbetering van de zwakke schakels in de bestaande hoogwaterkering van West-Brabant en waren deels te beschouwen als aanpassingswerken die voortvloeiden uit de uitvoering van het Deltaplan.

De werken werden door en vanwege het Hoogheemraadschap 'De Brabantse Banddijk' aanbesteed, gegund en gefinancierd, terwijl de Rijkswaterstaat de bestekken voorbereidde en als directie optrad.

Vooruitlopend op de totstandkoming van de bijdrageregeling werden door het Rijk voorschotten verleend van 45 % voor zover de werken waren te beschouwen als verbeteringen van z.g. zwakke plaatsen en van 100 % voor zover de dijkverhoging verband hield met de stormvloedverhoging ten gevolge van de afsluiting van het Volkerak.



*Dijkverhoging langs het Volkerak*

#### **Sabina Henricapolder**

De kruin van de dijk, die na de ramp reeds tot NAP + 6,10 meter was verhoogd, werd nu over de gehele lengte op deze hoogte gebracht. De kruinbreedte werd 2,50 meter, het buitenbeloop kwam onder een helling van 2 : 7, het binnenbeloop onder een helling van 4 : 11.

De dijkverzwaring werd deels aan de binnenzijde, deels aan de buitenzijde aangebracht. De buitendijkse verzwaring werd geheel uitgevoerd met klei, de binnendijkse met zand dat met een kleilaag ter dikte van 50 centimeter werd afgedekt.

Over een lengte van 750 meter werd aan de binnenzijde een cunet voor een weg aangelegd aansluitend aan een brede oprit over de dijk. Dit geschiedde op verzoek van de gemeente Fijnaart, die dit onderdeel financierde, in verband met de in dit gebied geprojecteerde industriële vestigingen.

De benodigde 23 000 m<sup>3</sup> klei zijn ontleend aan de Anthoniegorzen; 55 000 m<sup>3</sup> zand werd gezogen in het Volkerak voor de haven van Dintelsas en rechtstreeks in het werk geperst.

Het werk, werd op 10 maart 1960 opgedragen aan de laagste inschrijver C.V Gebr. Van den Heuvel te Zierikzee voor een bedrag van f 205000, -.

#### **Volkerakpolders**

De kruin van deze dijk werd verhoogd tot een peil van NAP + 6,50 meter bij Dintelsas, verlopend naar NAP + 6,15 meter bij Steenbergse sas. De verzwaring van het dijklichaam geschiedde hier geheel aan de binnenzijde door middel van zandaanvulling, afgedekt met een kleilaag. De maten en hellingen van het nieuwe profiel waren geheel overeenkomstig de dijkverzwaringen langs de Sabina Henricapolder.

De verzwaring geschiedde als volgt: van de klei van het binnenbeloop werd eerst, op ca 15 meter afstand uit de binnenteen, een perskade gevormd. Tussen deze perskade en het afgegraven binnenbeloop werd zand geperst. Vervolgens werd dit zand in profiel gebracht en tenslotte weer met klei van de perskade afgedekt. De afgraving aan het binnenbeloop bedroeg ca, 60 000 m<sup>3</sup>. Daarnaast moest nog 70 000 m<sup>3</sup> worden aangevoerd. In totaal moest 500 000 m<sup>3</sup> zand worden verwerkt, dat ontleend werd aan het Volkerak.

Over een lengte van 750 meter werd de buitenzijde van de dijk bekleed met betonblokken. Deze glooiing verkeerde in slechte staat en moest geheel worden vernieuwd, waarbij de teen van NAP + 30 centimeter tot NAP - 1 meter werd verlaagd. De ter plaatse aanwezige berm zou met 1 meter worden verhoogd tot NAP + 3,50 meter.

Beneden het peil van NAP + 1,70 meter werd het beloop afgedekt met koperslakblokken van 20 bij 33 cm. Ter dikte van 20 centimeter. Daarboven werd een 15 centimeter dikke asfaltbetonlaag aangebracht. Ter reducering van de golfploop werden drie rijen asfaltribbels van 15 bij 25 centimeter geprojecteerd.

Ter plaatse van de scheiding van de Drie Vriendenpolder en de Kooi en Karolinapolder werd de dijk gekruist door twee uitwateringsluizen. De verzwaring werd hier over een lengte van 150 meter achterwege gelaten, daar deze sluizen de grote belastingen ten gevolge van de verzwaring naar verwachting niet konden opnemen. De dijk werd op deze plaats verhoogd met beton-elementen systeem Beverkop aan de buitenzijde en met Ipro keien op het binnenbeloop.

Het werk werd in januari 1961 aanbesteed en moest op 1 augustus 1962 gereed zijn.

Met het werk werd op 8 mei 1961 een aanvang gemaakt. Het zou op 1 september 1962 voor de eerste maal voltooid moeten worden opgeleverd. De aannemer was het Aannemingsbedrijf Oosterwijk N.V. te Rotterdam; de aannemingsom bedroeg f 3 187 700, -

De 8,5 kilometer lange dijkvak dat voor verhoging en verzwaring in aanmerking kwam werd gesplitst in twee gedeelten. In 1961 werd begonnen met de verbetering van het noordelijk deel, dat aansloot bij Dintelsas en dat een lengte heeft van ca. 2,5 kilometer. Het tweede gedeelte, ten zuiden hiervan, kwam in 1962 aan de beurt.

Zoals gezegd werd aangevangen met de verbetering van het noordelijke deel langs de Kooi- en Karolinapolder, de Kleine Karolinapolder en het gedeelte van de Markdijk tot de sluis van Dintelsas. Tegelijkertijd werd de vernieuwing van de glooiing over de ca. 750 meter aangevat. Hierbij moest de teenvoorziening worden verlaagd van NAP tot NAP - 1 meter. Aangezien de laagwaterstanden hoger bleken te zijn dan werd verwacht hadden met name de laatst genoemde werkzaamheden vertraging ondervonden. Dit had tot gevolg dat het dijkvak niet voor de gestelde termijn, het begin van de herfst 1961, gereed kon zijn. Het buitenbeloop en de kruin waren omstreeks het midden van november zover klaar dat men het winterseizoen echter met een versterkte dijk kon ingaan.

Het grondwerk aan de binnenzijde van de dijk werd voortgezet. Met uitzondering van enkele onderdelen, die eerst in het voorjaar 1962 ter hand konden worden genomen.

Ingevolge de bepalingen van het bestek mochten aan de dijk in de periode tussen 15 oktober 1961 en 15 maart 1962 geen werkzaamheden worden uitgevoerd. Aan de aannemer werd echter toegestaan het noordelijke gedeelte van de dijkverbetering af te werken, omdat daarbij voor de veiligheid geen gevaar viel te duchten. Voor de rest werd het werk echter nagenoeg geheel stilgelegd. Ten einde de achterstand die verkregen werd niet nog groter te maken heeft men een regeling getroffen die het mogelijk maakte de verzwaring van het zuidelijke dijkgedeelte, langs de Drie Vriendenpolder, aan te vatten zonder dat daarbij de bepalingen van het bestek werden overtreden. De werkwijze was zo dat het zand ter verzwaring van de dijk langs de binnenzijde reeds werd aangebracht, terwijl in de dijk zelf voorlopig niet werd gegraven. Pas na 15 maart 1962 volgde de afgraving van het binnentalud, waarvan de klei nodig was voor de bekleding van het opgeworpen zandlichaam. De kans dat het werk tijdig voor het komende najaar gereed kwam werd op deze wijze sterk vergroot.



# De bouw van de Haringvlietbrug

- De brug bij Numansdorp.
- De toeritten en de onderbouw van de brug bij Numansdorp
- De toeritten.
- De onderbouw.
- De noordelijke toerit
- De zuidelijke toerit.

## De brug bij Numansdorp

In een ander hoofdstuk is aangegeven hoe de keuze van het tracé van een brug over het Haringvliet door het Deltaplan is beïnvloed en de motieven die hebben geleid tot het samenbrengen in een zelfde plan van de reeds lang nagestreefde brugverbinding en de afsluiting van het Volkerak.

De dam over de Hellgatplaten was binnen dit plan niet alleen een gedeelte van de afsluiting van het Volkerak, doch was tevens als een begin te beschouwen van de vaste oeververbinding tussen het eiland Flakkee en het vaste land van Zuid-Holland.

Het is duidelijk dat de brug bij deze opzet eerst zijn volle betekenis zou krijgen wanneer ook de aansluiting met Noord-Brabant was gereed gekomen. Het belang van de brug voor het eiland Flakkee en na de aanleg van de afsluitdam van de Grevelingen echter ook voor het eiland Schouwen-Duiveland, was evenwel van dien aard dat werd besloten om met de bouw reeds eerder aan te vangen.

In juli 1960 werd hierover overeenstemming bereikt tussen de Minister van Financiën en van Verkeer en Waterstaat enerzijds en de door belanghebbenden opgerichte N.V. Brugverbinding Goeree-Overflakkee en Hoeksche waard anderzijds. Overeengekomen werd dat de vennootschap de brug voor eigen rekening zou bouwen, onderhouden en exploiteren. Dat wilde zeggen dat de brug tegen betaling van bruggeld voor elke verkeersdeelnemer dag en nacht toegankelijk zou worden gesteld. Het Rijk zou de bestekken voor de bouw opmaken, op de uitvoering toezicht houden en voor het tijdige tot stand komen van de wegaansluitingen, waaronder ook de opritten, zorg dragen. Het was de bedoeling dat het Rijk de brug na het gereedkomen van de afsluiting zou overnemen en de tolheffing beëindigen.

De brug, die medio 1964 gereed zou kunnen zijn, werd voorshands ingericht met twee gescheiden rijbanen van 7,25 meter breedte voor snelverkeer en een parallelweg van 5,50 meter breedte voor langzaam verkeer.

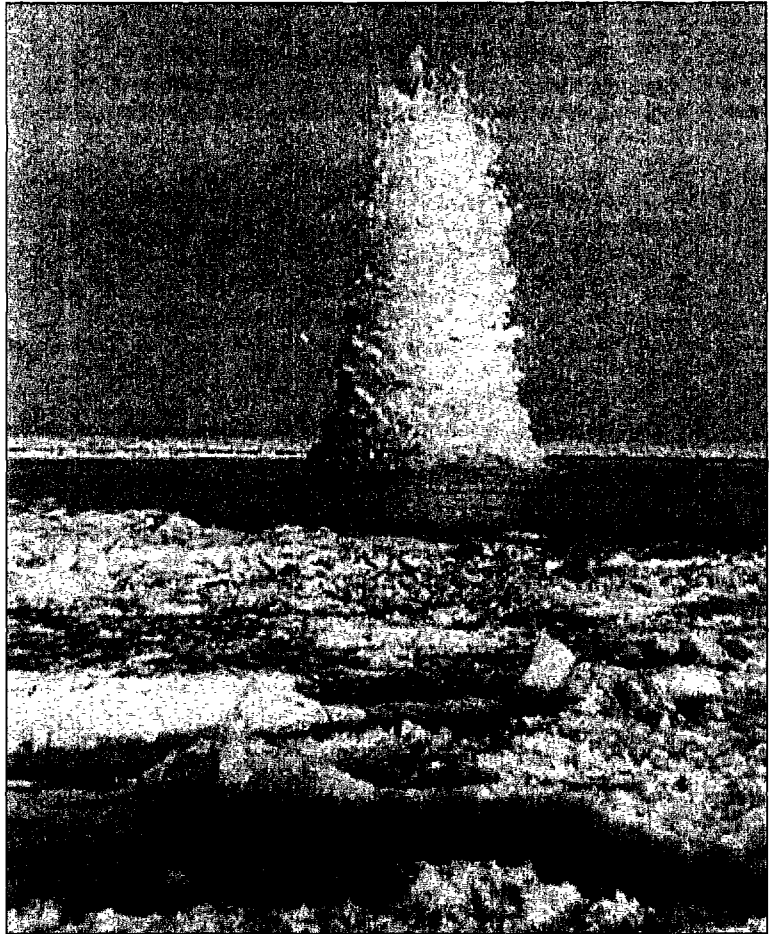
De totale lengte van de brug bedraagt ongeveer 1200 meter, samengesteld uit tien overspanningen van 106 meter en een beweegbare brug (bascule brug) met 35 meter overspanning en een zijoverspanning van 80 meter tussen de basculekelder en het noordelijke landhoofd. De brug werd in een flauwe verticale boog gelegd met de onderkant van de middenoverspanning van het vaste gedeelte op NAP + 14 meter, overeenkomstig de geprojecteerde bruggen over het schutsluizencomplex in het Volkerak. Aan de einden, waar de brug onder een helling van 1:50 aansluit op de toeritten, ligt de onderkant op ongeveer NAP + 9 meter.

Op deze wijze zou het wegverkeer vrijwel niet door pleziervaart met jachten worden gehinderd. Het beweegbaar gedeelte was voor eventuele industriële ontwikkelingen in het ontwerp opgenomen.

In verband met de eisen, die uit een oogpunt van rivierbeheer aan de brug waren gesteld, had in het waterloopkundig laboratorium 'De Voorst' een uitgebreid onderzoek plaats gevonden. Aan de hand van een model was nagegaan in hoeverre de lengte van de brug zou kunnen worden beperkt door een gedeelte van de oeververbinding uit te voeren als een, aanmerkelijk goedkopere, zanddam.

Zoals eerder is beschreven, diende de brug zo te worden aangelegd dat verschillende mogelijkheden tot normalisatie van het Haringvliet open bleven. Met name moest de rivier zonodig met ruime bogen, waarvan de straal op ongeveer tienmaal de rivierbreedte was te stellen, zuidelijk van het eiland Tiengemeten worden geleid, waarbij het Vuile Gat moest kunnen worden afgesloten.

Bovendien moest de mogelijkheid van ijsafvoer onder de brug onder alle omstandigheden verzekerd blijven, waarbij ook met de afmetingen van afzonderlijke ijschotsen rekening diende te worden gehouden.



*Landmijn ontploft onder het ijs in het Haringvliet.*

In verband met dit laatste werd op grond van ervaringen bij de Moerdijkbruggen geëist dat de afstanden tussen de brugpijlers niet kleiner mochten zijn dan bij deze bruggen, d.w.z. tenminste 100 meter.

Bij de bepaling van de totale benodigde ijsafvoerende breedte moest in aanmerking worden genomen dat onder de huidige omstandigheden ijs niet alleen uit de nieuwe Merwede werd aangevoerd, doch ook op het Hollandsch Diep zelf werd gevormd. Geschiedde de afvoer van deze ijsmassa's toen grotendeels via het Volkerak, na afsluiting hiervan zou alleen nog de weg naar zee via het Haringvliet beschikbaar zijn. Jarenlange studies en verschillende waarnemingen wettigden echter het vertrouwen dat de ijsvorming op het Hollandsch Diep en op de Merwede was te beperken. Bijvoorbeeld zou het losraken van tussen de kribben gevormde ijsvelden kunnen worden tegengegaan. Bovendien was tijdens herstelwerkzaamheden aan de Moerdijkbruggen in de jaren na de laatste wereldoorlog gebleken dat aldaar de problemen bij een breedte van 600 'a 700 meter niet oplosbaar waren. Op grond hiervan werd het verantwoord geoordeeld de totale ijsafvoerende breedte van de nieuwe brug op rond 1000 meter te stellen.



*Drijfs bij de in aanbouw zijnde Haringvlietbrug*

Daar de door de basculebrug te overspannen opening en de daarbij aansluitende zijoverspanning voor de ijsafvoer ongeschikt zijn, zou de totale lengte van de brug ten minste 1200 meter bedragen.

Deze maat vormde het uitgangspunt voor het modelonderzoek naar de wijze waarop de rivier ter plaatse van de geprojecteerde brug zou kunnen worden 'ingesnoerd' voor de hoeveelheden water die onder verschillende omstandigheden moesten worden doorgelaten. Hierbij was onder meer te denken aan de huidige getijbeweging, aan de getijstromen die optraden als het Volkerak was afgesloten en aan de hoge rivierafvoeren die zouden worden geloosd door de grote uitwateringssluizen bij Hellevoetsluis. Het bleek dat het uitbouwen van een landhoofd aan de noordzijde in de aldaar bestaande diepe geul grote moeilijkheden zou opleveren en ernstige ontgrondingen ten gevolge zou hebben. Aan de zuidzijde bleek het uitbouwen van een dam op minder bezwaren te stuiten, mits voor enige geleiding van de stroom en enige verdieping van de rivier ter plaatse van de brug werd gezorgd.

Een dergelijke verdieping was bovendien gewenst ten behoeve van het drijvende materieel dat nodig was bij het maken van de pijlers, bij de montage van de brug of tijdens ijsbreken. Daar de weg te baggeren hoeveelheid zand voor het maken van de aansluitende weggedeelten kon worden gebruikt, behoefde dit geen extra kosten met zich te brengen.

Het bleek dat bij de gekozen totale bruglengte van 1200 meter tevens aan de verschillende eisen van normalisatie van de rivier kon worden voldaan, terwijl ook voor een ernstige aanval van de stroom op de oostkop van Tiengemeten niet behoefde te worden gevreesd. Bij de keuze van de overspanning van het beweegbare gedeelte werd met de mogelijkheid van het passeren van zeer grote schepen rekening gehouden. Het lag daarom voor de hand dit gedeelte te bouwen over de diepe geul aan de noordzijde. Om te voorkomen dat schepen, die van deze opening gebruik moesten maken, door de dwarsstromingen uit hun koers zouden geraken, was het noodzakelijk dat de basculebrug op ca. 80 meter afstand van het landhoofd werd ontworpen. Ook om constructieve redenen was het niet wenselijk de grote basculekelder dichter bij het zandlichaam van de oprit te projecteren.

Nadat aldus de algehele opzet was bepaald werd nog onderzocht welke stroomsnelheden zouden zijn te verwachten tijdens het maken van beide opritten. Hierbij werd het verloop van de stroomsnelheid en het stroombeeld, in het geval de uitbouw rivierwaarts vanaf het land geschiedde, vergeleken met het gedrag van de rivier wanneer begonnen zou worden met het maken van geleidedammen in de rivier en van daaruit naar het land werd toegewerkt.

Uit de resultaten van het onderzoek werd afgeleid dat aan de laatste werkwijze de voorkeur moest worden gegeven.

De stroomsnelheid in de dan steeds kleiner wordende opening aan de landzijde kon daarbij oplopen tot 1,50 m/sec.

Het sluiten van deze opening was derhalve te vergelijken met de afdamming van het Ventjagersgatje, waarover in een ander hoofdstuk mededelingen zijn gedaan.

#### **De toeritten en de onderbouw van de brug bij Numansdorp**

Hierboven is een beschrijving opgenomen van de brug bij Numansdorp over het Haringvliet. Daarin is vermeld dat de totale lengte van de brug werd bepaald op 1220 meter en dat, door de sterke insnoering van de ter plaatse ongeveer 1800 meter brede rivier, de aanleg van stroomgeleidende dammen langs de koppen van de toeritten noodzakelijk waren.

De buitendijks gelegen gedeelten van de toeritten met de geleidedammen kwamen ook in uitvoering. Deze werkzaamheden, waarmee ongeveer een jaar gemoeid was, werden door het Rijk gefinancierd. Het benodigde zand werd in het midden van de rivier gewonnen, zodat de rivierbodem wat dieper werd en de versmalling van de bedding enigermate kon worden gecompenseerd.

De bouw van de elf pijlers en van de oplegpunten voor de brug van beide toeritten, de landhoofden, werd aanbesteed. Deze werkzaamheden zouden bijna drie jaar in beslag nemen. Ze werden gefinancierd door de N.V. Brugverbinding Goeree-Overflakkee en Hoeksche-Waard.

#### **De toeritten**

De noordelijke toerit, die ongeveer 300 meter in het zomerbed van de rivier steekt, werd aangelegd door de Deltacombinatie te Hellevoetsluis, de aannemerscombinatie die op de Plaats van Scheelhoek een onderdeel van de afsluitingswerken in het Haringvliet in uitvoering had. De aannemingssom bedroeg f 3 275 000, -.

Het eerste wat aan de noordzijde moest gebeuren was het maken van een grondverbetering onder de kop van de toerit. Dit hield in dat de aanwezige slappe grondlagen tot een diepte van NAP -11,50 meter werden weggebaggerd. Deze lagen zouden anders onder het gewicht van de toerit gedurende enkele jaren sterk worden samengedrukt en opzij worden geperst. Zowel voor de later aan te brengen wegaansluiting als voor de fundering van het landhoofd van de brug zou dit tot ongewenste gevolgen leiden. Bovendien konden na het verwijderen van de slechte grond de belopen van de dammen steiler worden gemaakt.

Na het baggerwerk werd het ontgraven gedeelte met zand opgevuld en kon een begin worden gemaakt met de bouw van de ruim 400 meter lange geleidedam.

Het onderste gedeelte daarvan bestaat tot NAP - 1,50 meter geheel uit zand. Met behulp van onderlossers werd het zand in lagen geklapt. Elke laag werd aan de rivierzijde zo snel mogelijk met zinkstukken beschermd tegen wegspoelen door de stroom. De helling van de opbouw bedroeg aan deze kant 1: 5. Aan de landzijde werd het beloop niet verdedigd en kwam het aanmerkelijk flauwer te liggen. Op deze basisconstructie werd vervolgens een rug van mijnsteen aangebracht met de bovenkant iets boven het peil van gemiddeld hoogwater. In de luwte buiten de stroom kon achter deze rug de rest van het zand worden gespoten.

Wanneer het zand in de vorm van de dam was afgewerkt werd op de kruin en aan de rivierzijde daaroverheen mijnsteen uitgespreid en verdedigd met 1000 kg stortsteen per m<sup>2</sup>. Om uitspoeling van de mijnsteen te voorkomen werd het gedeelte dat onder water lag van een tussenlaag van grof grind voorzien. Boven water werden de holle ruimten tussen de stenen met gietasfalt gepenetreerd.

Deze betrekkelijk zware verdediging was nodig in verband met de afvoer van ijsschotsen langs de rivier.

Inmiddels werd met de aanleg van de eigenlijke toerit, die eveneens vrijwel geheel uit zand werd opgebouwd, een begin gemaakt. Aan de kop zal de toerit reiken tot een hoogte van NAP + 13,25 meter, naar het noorden dalend tot ongeveer NAP + 7 meter bij de rivierdijk.

Het zand dat ten dele door onderlossers werd geklapt en ten dele werd gespoten heeft door de stroom een flauw beloop verkregen. Het was economisch aantrekkelijk gebleken om dit flauwe beloop aan weerszijden van de toerit tot boven de dagelijkse hoogwaterstand voort te zetten. Op de eerste plaats omdat bij een flauwe helling (strand) bijna geen verdediging nodig was en de benodigde grotere hoeveelheid zand goedkoper was dan een glooiing op een steiler beloop. Op de tweede plaats omdat bij een flauwe helling een grondverbetering achterwege kon blijven.

Boven het 'strand' werd een steiler talud ontworpen dat tegen verstuiving door wind en wegspoelen door golven of regen werd afgedekt met klei waarop een grasmat. Om de belopen machinaal te kunnen maaien werd een helling van 1: 3 gekozen. Voor de afvoer van hooi e.d. werd in dit talud op NAP + 5 meter een drie meter brede berm geprojecteerd.

Dit dwarsprofiel zou echter niet terstond in zijn definitieve vorm kunnen worden afgewerkt. Dit in verband met het gevaar voor evenwichtsverstoringen in de ondergrond, als gevolg waarvan een gedeelte van de toerit zou kunnen afschuiven en naastliggende grond zou kunnen worden opgeperst. De stabiliteit werd verzekerd door de belopen tijdelijk flauwer (1:5) en de berm 25 meter breder te maken. Na enkele jaren zouden de slappe lagen in de ondergrond onder het gewicht van de toerit zoveel zijn samengedrukt dat geen gevaar voor afschuivingen meer aanwezig was. De extra hoeveelheid zand die in het tijdelijke profiel moest worden verwerkt werd dan verwijderd en bij de aanleg van het binnendijks gelegen weggedeelte weer benut. Tot zo lang zou het zand zoveel mogelijk worden vastgehouden door het inleggen van stro en het inzaaien met stuifgraan.

Voor zover de toerit op de bekade gorzen was gelegen kregen de belopen reeds dadelijk geheel hun uiteindelijke vorm.

De zuidelijke toerit werd aangelegd door de aannemerscombinatie Willemstad voor een bedrag van f 5 050 000, -.

Doordat deze toerit ruim 400 meter in het rivierbed stak en daarbij een kleine geul afsneed, was de aanstroming bij eb zodanig dat hier ook aan de oostzijde een geleidedam noodzakelijk was. Deze dam die bijna 700 meter lang werd zou op overeenkomstige wijze worden gemaakt als die bij de noordelijke toerit. Aangezien de grondslag minder slecht was, kon een grondverbetering achterwege blijven.

De toerit verschilde van die aan de noordzijde in zoverre dat vooralsnog slechts een klein gedeelte aan de kop definitief werd afgewerkt. Voor het overige werd volstaan met het aanbrengen onder een globaal profiel van het zandlichaam van de toekomstige hoofdverkeersweg over de Volkerakdam, de z.g Zoomse weg. De aansluitingen van deze weg met Flakkee over het reeds gereedgekomen dijkvak op de Hellegatplaten werden in de volgende jaren tot stand gebracht. Daarbij zou dan de gehele verkeerssituatie ter plaatse aan de orde komen, met wegen voor langzaam verkeer en bijbehorende viaducten.

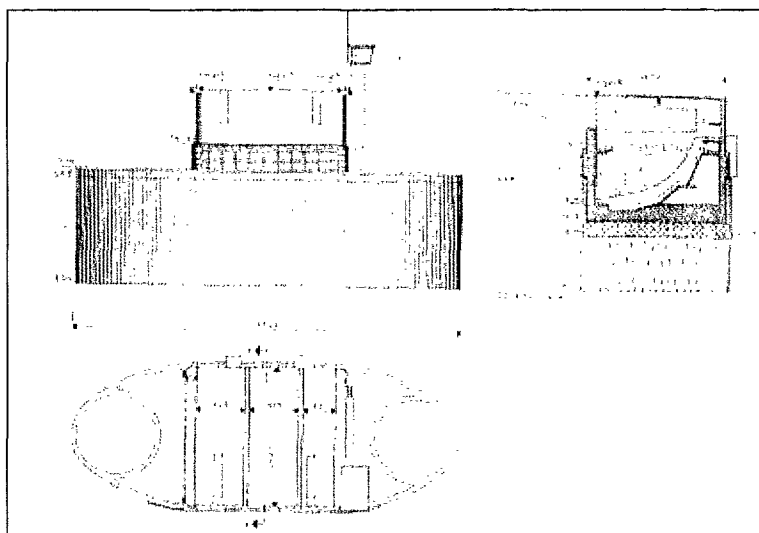
### De onderbouw

De onderbouw van de brug over het Haringvliet bestaat uit een zuidelijk en een noordelijk landhoofd, tien pijlers en een kelderpijler.

De pijlers 1 t/m 7, gerekend van zuid naar noord, werden geplaatst in een betrekkelijk ondiep gedeelte van de rivier, de pijlers 8 t/m 10 in een diepe geul. Tussen pijler 10 en de kelderpijler bevindt zich een vrije doorvaartopening van 35 meter waarover een beweegbare brug werd gelegd.

De beide landhoofden vormen de steunpunten van het einde van de brug. Anderzijds begrenzen zij het grondlichaam van de toeritten. In verband met de hoogte van de brugligger zullen de landhoofden zijdelingse druk van het aansluitende grondlichaam te weerstaan hebben.

Het laboratorium van grondmechanica te Delft had een onderzoek ingesteld naar deze druk en naar de verplaatsing die de landhoofden als gevolg daarvan zouden ondergaan. In verband met de uitkomsten van dit onderzoek bleek het onmogelijk voor de beide land-



Zij- en bovenaanzicht met dwarsdoorsnede van de kelderpijler

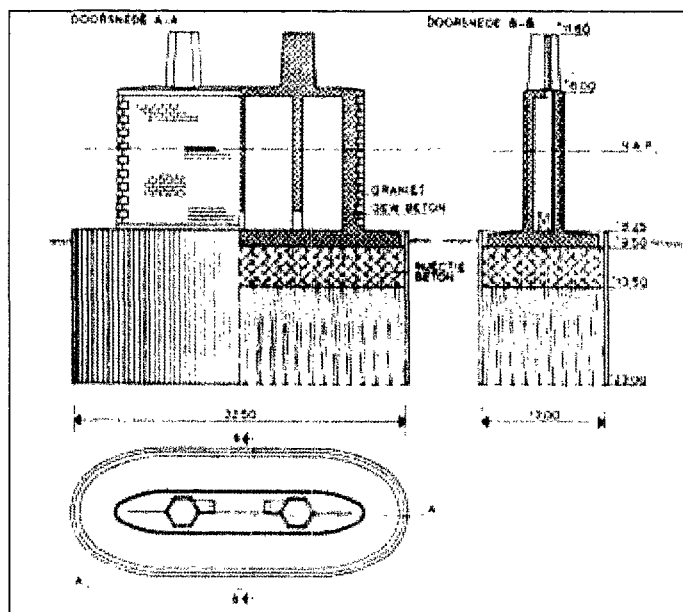
hoofden een lichte constructie toe te passen. Zij werden uitgevoerd volgens het L-vormige type, zoals indertijd ook bij de Moerdijkbrug was geschied.

Elk landhoofd werd samengesteld uit een funderingsplaat, ter dikte van gemiddeld 1 meter, een voorwand, twee zijwanden met achterwaarts uitkragende vleugels en vijf verstijwingwanden. Het geheel werd uitgevoerd in gewapend beton.

De landhoofden werden gefundeerd op palen die onder het zuidelijke hoofd 25 meter en onder het noordelijke hoofd 21,50 meter lang zijn. Om het optreden van scheuren tijdens het transport en het heien van deze zeer lange palen te voorkomen, werden zij vervaardigd van voorgespannen beton. De onderkant van de funderingsplaat kwam bij beide landhoofden op NAP + 3 meter te liggen.

De bouw van de pijlers vond plaats binnen een kuip van stalen damwand. Evenals de landhoofden werden de pijlers 1 t/m 7 gefundeerd op palen van voorgespannen beton. Alvorens de palen werden geheid werd de kuip tot de gewenste diepte uitgebaggerd. Het heien geschiedde van vaste heisteigers, waarop zich een rijdende stelling bevond. De lengten van de palen, varieerde tussen 19,50 meter en 25 meter, werd geen gebruik gemaakt van een drijvende stelling. Door de op- en neergaande beweging van het water werden daarbij ongewenste buigspanningen in de palen geïntroduceerd. De palen werden weggeheid tot aan de waterspiegel; later werden ze afgehaakt op 0,50 meter boven de onderkant van de funderingsplaat.

De afgehaakte paaleinden, ter lengte van 5 tot 7,50 meter, konden bij andere werken opnieuw van dienst zijn. Na het heien van de palen werd de kuip aan de onderzijde afgesloten door een plaat van onder water gestort beton, de z.g. koek. Het storten van beton onder water geschiedde volgens het injectiesysteem. Hierbij werd eerst een laag grind aangebracht, die vervolgens door pijpen werd geïnjecteerd met een mengsel van cement, zand en water en een toeslag om deze mortel wat langer dan normaal 'levend' te houden. De aldus gestorte koek verharde onder water krimpvrij. Dan werd de kuip leeggemalen, waarna de rest van de opbouw in den droge kon gebeuren. De dikte van de koek moest zodanig worden bepaald, dat de kuip niet kon gaan drijven. De opbouw van de pijler bestond uit een funderingsplaat, waarin de funderingspalen werden opgenomen, een hol pijlerlichaam, een afdekplaat en twee kolommen waarop de staalconstructie van de brug kwam te rusten. Ook al deze onderdelen werden uitgevoerd in gewapend beton. Wanneer de pijler tot boven de waterstand was opgetrokken brandde men de stalen damwand vlak boven de funderingsplaat onder water af. De afgebrande stukken konden elders opnieuw worden gebruikt.



Doorsnede pijlers 1 tot 7

Van de pijlers 1 t/m 7 kwam de onderkant van de ruim 4 meter dikke koek op NAP - 9,50 meter te liggen. De funderingsplaat zou daaronder nauwelijks boven de rivierbodem uitsteken. Dit gaf een rustige waterbeweging rond de pijlers, waardoor de kans op ontgronding beperkt bleef, terwijl de scheepvaart geen hinder van deze constructie zou ondervinden. Het pijlerlichaam zelf werd enigszins gestroomlijnd. De uitwendige vorm ervan was bepaald in overleg met het Waterloopkundig Laboratorium te Delft op grond van modelproeven.

Doordat het lichaam van de pijler hol werd uitgevoerd werd een belangrijke gewichtsbesparing verkregen. De wanden werden in hun geheel 1 meter dik voorzien van een bekleding met een metselwerk van granietkeien aan de langszijde en van granietblokken op de koppen. Een dergelijke bekleding heeft tot doel de pijler te beschermen tegen beschadigingen die door ijs en scheepvaart konden worden veroorzaakt. De bouw ging als volgt: eerst werd een wand gemaakt van gewapend beton, dan werd op enige afstand hiervan, van het graniet een muur gemetseld en vervolgens werd tussen beide een vullag gestort.

Pijlers van deze constructie werden reeds meermalen toegepast, o.a. bij de bruggen bij Moerdijk en Gorinchem. Een vergelijkende berekening had uitgewezen dat dit een economische wijze van bouwen was en dat snel en veilig kon worden gewerkt.

Bij de berekening van de fundering was uitgegaan van de normale verticale belasting, namelijk het eigen gewicht van de pijler en de brug en de gelijkmatig verdeelde mobiele verkeersbelasting. In horizontale richting was gerekend op remkracht, scheepsstoten en ijsdrukken. Deze krachten werden ten dele door de palen naar de draagkrachtige grondlagen overgebracht. Daarbij kan worden opgemerkt dat het aantal funderingspalen voor elke pijler verschillend is, in verband met het feit dat de toegelaten drukken op de ondergrond variëren van 35 tot 50 kg/cm<sup>2</sup>. Voor een ander deel ontleent de pijler haar stabiliteit tegen horizontale krachten aan het diep in de grond stekende stalen damwand. Een dergelijk damwandscherm maakte de pijler bestand tegen grote ijsdrukken die in deze richting kunnen worden uitgeoefend.

De pijlers 8 t/m 10 kwamen te staan in gedeelte van het Haringvliet waarin zich een geul bevindt tot ongeveer 20 meter beneden NAP en dat bestemd was voor een doorvaart van grotere scheepstypen. Door opstorting en bezinking zou de bodem van deze geul plaatselijk tot NAP - 15 meter omhoog gebracht worden.

De funderingsplaten voor de pijlers 8, 9 en 10 werden dieper gelegd dan de overige. De onderkant van de koek kwam hier op NAP - 13,50 meter, terwijl de damwanden tot 23 en 25 meter beneden NAP reiken. Voor pijler 9 werd de rivierbodem opgehoogd tot NAP - 15 meter, waarna binnen het veld van zinkstukken de voor de brugpijler uitgespaarde ruimte, met Moezelgrind werd bestort. Tussen de brugpijlers 10 en 11, waarvan de meest noordelijke de basculekelder voor het beweegbare gedeelte van de brug werd, is de toekomstige vaargeul tot NAP - 11 meter gebaggerd. De constructie en vorm van de pijlers zijn dezelfde.

In verband met de gesteldheid van de ondergrond moest de paalfundering zeer diep worden aangebracht. Wanneer betonpalen zouden worden toegepast, die tot de waterspiegel werden weggeheid, zou de lengte van de palen ontoelaatbaar groot worden. Daarom werd bij de pijlers 8, 9 en 10 gebruik gemaakt van stalen kokerpalen, elk ter lengte van 17,50 meter, die met behulp van

zogenaamde 'oplangers' met het boveinde tot ca. 9 meter onder water werden weggeslagen. De prijs van stalen kokerpalen was weliswaar hoger dan die van palen van voorgespannen beton maar men kon met een geringere paallengte volstaan en bovendien met minder palen, omdat de doorsnede van de paal en daarmee de kracht die op de paal kon worden toegelaten groter was. De kokerpalen werden met dichtgelaste bodem ingeheid en voor het storten van de funderingsplaat met beton gevuld.

Pijler 10 heeft door zijn functie een enigszins afwijkende constructie: tussen deze pijler en de kelderpijler bevindt zich de vrije doorvaartopening met de beweegbare brug. In verband hiermee werd de damwand aan de doorvaartzijde hoger opgetrokken dan bij de overige pijlers en werd aan deze zijde geen naar buiten uitstekende funderingsplaat aangebracht. De granietbekleding kon daardoor achterwege blijven.

Wel werden ten behoeve van de scheepvaart aan de doorvaartzijde tussen NAP + 1,30 meter en NAP + 6 meter horizontaal en verticaal hardhouten wrijfgordingen en vulklossen aangebracht. De ruimten tussen binnenbetonwand en damwand werden gevuld met injectiebeton.

De basculekelder werd ontworpen volgens gesloten type, zodat binnendringen van vuil en water bij geopende brug praktisch was uitgesloten. De pijler bestaat uit een gewapend betonnen bak, waarvan de zijwanden boven NAP + 6 meter bestaan uit betonnen kolommen met daartussen metselwerk. Het dak van de kelder is te beschouwen als een losse brugplaat, samengesteld uit liggers van voorgespannen beton.

Evenals de andere pijlers werd de kelderpijler gebouwd binnen een kuip van stalen damwand. De fundering bestaat uit palen van voorgespannen beton die in de funderingsplaat werden opgenomen. De diepte van deze plaat werd vooral bepaald door de lengte van de staart van de basculebrug. Deze bedraagt 15,20 meter, terwijl het draaipunt op NAP + 12,40 meter kwam te liggen. Aldus kwam de bovenkant van de vloer op een diepte van NAP - 3,25 meter, de onderkant van de 2,50 meter dikke koek op NAP - 8,75 meter.

De binnenwerkse maten van de kelder bedragen 23,50 X 21,50 meter bij een hoogte van 17,20 meter. Bij een bouwwerk van deze grootte was toepassing van dikke wanden vaak niet te vermijden. Dergelijke dikke wanden brengen echter het risico mee van scheurvorming tijdens het storten, door krimp van het beton. Ter wille van de waterdichtheid van de kelder werden daarom speciale maatregelen getroffen. De damwandkuip werd tot boven het peil van normaal hoogwater opgetrokken, daarna werd de betonwand ter dikte van 1,20 meter gestort en vervolgens werd de ruimte tussen damwand en betonwand met injectiebeton opgevuld. Zonodig kon bij het storten van de betonwand gebruik worden gemaakt van een systeem van waterpijpen in het verhardende beton teneinde deze te koelen en de krimp tegen te gaan.

Langs de doorvaartzijde kwamen hardhouten wrijfgordingen en vulklossen evenals bij pijler 10. De drie andere zijden van de pijler werden bemetseld met granietkeien; op de vier hoeken kwamen granietblokken.

Behalve voor het bewegingswerk van de brug werd in de kelder nog ruimte gereserveerd voor hoogspannings- en laagspanningsapparaat en een dieselaggregaat.

Tegen de oostzijde van de kelder werd een trappenhuis gebouwd dat naar het bedieningshuis voert. Van hieruit kon de brugwachter op een hoogte van NAP + 20,70 meter, het scheepvaart- en wegverkeer goed overzien.



*Eerste overspanningen Haringvlietbrug.*

Aan weerszijden van de kelderpijpen werden stroomgeleidende wanden ontworpen. Deze bestaan elk uit een gedeelte van een cirkelvormige kuip van stalen damwand die door gebogen schermen, eveneens van damwand, aangesloten werden aan de kuip van de kelder. Aldus ontstond een zelfde stroomlijn als bij de andere pijlers. Tevens vervullen de stroomgeleiders een functie ten dienste van de scheepvaart. Ter geleiding van de schepen door de doorvaartopening werden bovendien over een lengte van 250 meter een tiental dukdalven geplaatst, elk bestaande uit zes gekoppelde stalen kokerpalen.



Het maken van de onderbouw werd op 7 maart 1961 openbaar aanbesteed. Er waren 29 inschrijvingen. Het werk werd gegund aan de laagste inschrijfster, de N.V. tot aanneming van werken v/h H.J. Nederhorst te Gouda, voor een bedrag van f 8 713 000, -

Er werd een werkkerrein ingericht, een hulphaven aangelegd en er werden hulpsteigers geheid.

In mei 1961 werd met het heien van de damwand voor de pijlers 2 en 3 begonnen. De eerste overspanning van de stalen brug zou, volgens het tijdschema, in maart 1962 gelegd worden. In de tweede helft van 1963 kon de basculebrug worden gemonteerd en in mei 1964 kon de brug in zijn geheel voltooid.

Op donderdag 13 september 1962 werd de eerste overspanning ingevaren van de brug bij Numansdorp over het Haringvliet. Het 106 meter metende bruggedeelte, dat 830 ton woog, was geplaatst op twee elevatorbakken, elk met een draagvermogen van 1000 ton. Vier sleepboten trokken de sleep naar de opening tussen de tweede en derde pijler van de brug aan de zijde van Goeree. De tweede van de in totaal tien overspanningen zou, naar verwacht werd, omstreeks maart 1963 worden aangebracht.

In maart werd begonnen met de aanleg van de noordelijke en zuidelijke toeritten. De uitvoering van de noordelijke toerit werd opgedragen aan de Deltacommissie te 's-Gravenhage, de uitvoering van de zuidelijke toerit aan de aannemerscombinatie Willemstad.

### **De noordelijke toerit**

Ter plaatse van de onder de kop aan te brengen grondverbetering werd ruim 165 000 m<sup>3</sup> kleihoudende specie weggebaggerd. Deze werd voor de helft geborgen in een kleidepot, gelegen langs het zuidelijke gedeelte van de stroomgeleidende dam in het Hellegat. De rest werd op de zandplaten ten zuiden van de dijk over de Hellegatplaten gevloeid, een gebied dat later wellicht voor inpoldering in aanmerking kwam.

De opbouw van de leidam met zand, zinkstukken en mijnsteen was over ongeveer 200 meter gevorderd.

Aan de oever van de Hoekse Waard was men begonnen met het maken van de grondverbetering voor de toerit.

De opbouw van de leidam met zand, zinkstukken en mijnsteen kwam in zoverre gereed dat met het dichten van het sluitgat tussen deze dam en de oever van de Hoekse Waard kon worden begonnen. De sluiting geschiedde met zand dat door de perszuiger in het gat werd gespoten. Teneinde de zandverliezen ten gevolge van de stroom te beperken was een minimum zandproductie voorgeschreven van 55 000 m<sup>3</sup> per week. Hiertoe werd dagelijks gewerkt van 5 tot 21 uur. Zaterdags en zondags werd niet gewerkt.

De sluiting vond plaats in de periode 14 augustus tot en met 31 augustus 1961. Er werd rond 158 000 m<sup>3</sup> zand aangebracht, tot de sluitdam een gemiddelde hoogte had van NAP + 1,80 meter. Het zand werd via drie leidingen, te weten een ebleiding, een vloedleiding en een z.g. steunstraal in het sluitgat geperst. Deze leidingen werden resp. 15 meter ten oosten, 5 meter ten westen en 40 meter ten westen van de as van de sluitdam gelegd. Gedurende de ebperiode werd uitsluitend via de ebleiding zand geperst, gedurende de vloed alleen via de vloedleiding. Het doel daarvan was het door de stroom uitwaaiende zand zoveel mogelijk binnen het profiel van de dam te houden. Op het stort werd aan de westzijde van de vloedleiding een kade opgebouwd tot NAP + 2,50 meter. Ten westen van deze kade maar nog binnen het profiel van de te maken dam werd via de steunstraal bij vloed telkens een bepaalde hoeveelheid zand gespoten om de sluitdam aan die zijde meer massa te geven.

De grootste stroomsnelheid gedurende de sluiting werd gemeten tijdens eb op 23 augustus en bedroeg 1,12 meter per seconde. Door deze matige maximale snelheid bleven de zandverliezen gering.

Na 31 augustus werd de sluitdam versterkt en voorlopig tot NAP + 3,50 meter opgetrokken, waarna begonnen werd met het aanvullen van de op de vaste wal van de Hoekse Waard gegraven grondverbetering.

De bekleding van de leidam met lichte en zware steen vond goede voortgang. In de derde week van augustus werd begonnen met het penetreren van de stenenbekleding met gietasfalt. Hiertoe werd een drijvende asfaltmengmachine tot vlak bij het werk gevaren. Met behulp van dukw's waarin roerketels waren geplaatst werd de specie naar de leidam gevaren. De voertuigen kwamen daar uit het water en brachten de specie op de te penetreren plaats.

Nadat in de periode tussen 14 en 31 augustus 1961 het sluitgat tussen de leidam en de vaste oever van de Hoekse Waard met zand was dichtgespoten kon de opbouw van de sluitdam in snel tempo worden voltooid. Eind november was vrijwel al het zand in de toerit aangebracht en kon het zandlichaam verder worden afgewerkt en bekleed.

Zoals reeds eerder vermeld werd de asfaltspecie, bestemd voor het penetreren van de leidam en de bekleding van het toeritlichaam, aanvankelijk geproduceerd op een drijvende asfaltinstallatie en met behulp van dukw's naar het werk vervoerd. Deze werkwijze bracht, door de geringe aanvoersnelheid en de moeilijkheden die werden ondervonden bij het uit het water komen van de dukw's, een zo geringe productie met zich mee dat naar een meer doelmatige methode moest worden omgezien. Daartoe werd de asfaltinstallatie op het strand geplaatst. De specie kon nu, ook bij niet al te hoge vloedstanden, via een over het strand aangelegde verhoogde zandbaan naar het werk worden gereden. Al met al heeft het tot half november geduurd voordat het penetreren van de stenenglooiing kon worden afgesloten.

Op 20 maart 1962 vond de eerste oplevering plaats van de noordelijke toerit. Deze werd gevormd door het eigenlijk toeritgedeelte en een stroomgeleidende dam aan de rivierzijde. Het toeritgedeelte bestaat geheel uit zand, het is met klei bekleed en heeft aan weerszijden een flauw hellend, onbeschermd strand. De geleidedam is tot NAP - 1,50 meter opgebouwd uit zand beschermd met zinkstukken. Daarboven bestaat zij uit een mijnsteenkern, afgedekt met grof grind en stortsteen. De beschermde kop van stortsteen is aan de rivierzijde vanaf de binnenkruin tot de lijn van NAP met gietasfalt gepenetreerd. Aan de landzijde heeft de geleidedam, die tot NAP + 2 meter reikt, evenals het toeritgedeelte een onbeschermd strand. Tegelijk met de werkzaamheden voor de toerit werden bodemverdedigingen aangebracht op de plaatsen waar twee van de pijlers van de brug en de kelderpijler voor de basculebrug kwamen.

De werkzaamheden begonnen met het verwijderen van de slappe grondlagen onder de kop van de toerit. Het baggerwerk hiervoor verliep overeenkomstig het werkplan. In totaal werd ruim 165 000 m<sup>3</sup> specie verwijderd; voor zover het kleihoudend was werd het in een depot achter de stroomgeleidende dam van het Hellegat geperst. De geraamde weekproductie bedroeg 20 000 m<sup>3</sup>, de werkelijke productie heeft daarmee steeds gelijke tred gehouden. Tezelfdertijd werd de opbouw van de geleidedam aangevat en wel vanaf het westelijke einde. Na een moeilijk begin kon het werk in een vlot tempo worden voortgezet. De opbouw van de mijnsteenkern volgde op het aanbrengen van de bezinkingen op de voet. Het dichten van het gat tussen de vaste oever en de geleidedam vond plaats tussen 14 en 31 augustus 1961. Na de sluiting kon het werk snel worden voltooid. In het met zand gedichte gat werden met behulp van draglines en een bulldozer perskaden opgeworpen, waartussen, weer in vier lagen, een

zandlichaam werd opgespoten. Hierbij werd in de periode tussen 31 augustus en half december 1961 ruim 420.000 m<sup>3</sup> zand aangebracht. De gemiddelde weekproductie was geraamd op 30.000 m<sup>3</sup>, de opgeleverde hoeveelheid per week bleef daarbij nagenoeg niet ten achter. Berekend op grondslag van de middelen van vervoer bedroeg de totale zandaanvoer 532.000 m<sup>3</sup>. Dit betekent dat voor de verliezen, klink en verstuuving 21 % in rekening kon worden gebracht.

Nadat het zandlichaam de vereiste hoogte had bereikt, werd het onder profiel gebracht en afgedekt met klei.

Het zandbedrijf had na het gereedkomen van de geleidedam een zo vlot verloop dat het werk binnen de in het bestek gestelde datum kon worden opgeleverd.

#### **De zuidelijke toerit**

De grondbezinking en de bodemverdediging voor brugpijler 1 kwamen gereed. Het uitgespaarde veld voor de pijleropbouw werd bestort met een laag Moezelgrind, ter dikte van 0,05 meter. De opbouw van de zuidelijke leidam, eveneens met behulp van zand, zinkstukken en mijnsteen, was over ca 100 meter gevorderd.

De vervaardiging van de zinkstukken vond plaats te Willemstad op twee zaten van elk ruim 120 meter lengte. De wiepen werden vrijwel geheel machinaal gemaakt met behulp van zes wiepmachines. De productie van vervaardigde en gezonken zinkstukken bedroeg maximaal 10.000 m<sup>2</sup> per week.

Van de zuidelijke toerit kwam de opbouw van de leidam zover gereed dat ook hier met het dichten van het overblijvende sluitgat kon worden begonnen, nadat het opritgedeelte vanaf de dijk over de Hellegatplaten was gevorderd tot aan de NAP-lijn op de oever.

Evenals aan de noordzijde was een minimale zandproductie per week voorgeschreven; deze was wegens de stroomsnelheden hier bepaald op 150.000 m<sup>3</sup>.

De werkzaamheden ten behoeve van de stenenbekleding van de leidam naderden hun voltooiing. Met het aanbrengen van giet-asfalt werd aangevangen in de tweede week van september 1961. De methode van aanbrengen is dezelfde als aan de noordzijde en



geschiedde met dezelfde apparatuur.

#### *Haringvlietbrug met Hellegatsplein*

Het dichten van het sluitgat aan de zuidzijde geschiedde in de periode tussen 4 en 22 september 1961. Het zand werd door drie zuigers in het sluitgat gespoten, waarvan er twee aan de zuidzijde en een aan de noordzijde lagen. Op 22 september 1961 had de sluitdam een hoogte van ongeveer 2 meter boven NAP bereikt en was er ca.576.000 m<sup>3</sup> zand verwerkt. Evenals bij de noordelijke toerit werd hier afhankelijk van het getij of alleen aan de ebzijde of alleen aan de vloedzijde van de as van het werk gespoten om de zandverliezen zoveel mogelijk te beperken. Daar de tong van het zandstort de neiging vertoonde naar het noordoosten af te buigen moesten de persleidingen aan de zuidzijde tijdens de sluitingswerkzaamheden in westelijke richting worden verplaatst. De hoogste gemiddelde stroomsnelheid die gedurende de sluiting werd gemeten was 1,75 meter per seconde.

In totaal bedroeg het zandverlies als gevolg van stroom 25 %. Na september werd begonnen met het penetreren van een gedeelte van de leidam, terwijl het toeritgedeelte over een lengte van 1200 meter werd verhoogd en afgewerkt.

Op 25 juni 1962 werd de zuidelijk toerit voor de eerste maal voltooid opgeleverd. Ook deze bestaat uit het eigenlijke toeritgedeelte

en een stroomgeleidende dam aan de rivierzijde. Het toeritgedeelte werd ook op de zuidelijke oever geheel uit zand opgebouwd. De belopen en stranden werden tegen verstuiving beschermd door rijsschermen en ingezaaide gerst. De geleidedam heeft dezelfde constructie als aan de noordelijke zijde, zij bestaat uit zand en zinkstukken tot NAP - 1,50 meter, met daarboven een mijnsteenkeren, afgedekt met grof grind en stortsteen. De stortsteenbekleding is vanaf de binnenkruin tot aan de NAP lijn op het buitenbeloop gepenetreerd met gietasfalt. De kruin van de geleidedam reikt tot NAP + 2 meter, terwijl aan de binnenzijde eveneens een onbeschermd strand ligt. Ten behoeve van de onderbouw van de brug werd op de plaats waar een van de brugpijlers kwam een bodemverdediging aangebracht.

Langs het tracé van de ontworpen geleidedam waren voor de aanvang van de werkzaamheden diepten gemeten van 5 meter tot 7 meter beneden NAP. Proeven in het waterloopkundig laboratorium wezen uit dat de werkzaamheden het minst door de stroom zouden worden gehinderd indien met de aanleg van de geleidedam begonnen werd. Aldus werd het werk, evenals op de noordelijke oever, vanaf de rivierzijde aangevat. De aanleg van de geleidedam geschiedde ook nu uitgaande van het westelijke einde. De opbouw ervan met zand en zinkstukken had een snel verloop. De geraamde productie van 3000 m<sup>2</sup> zinkstukken per week kon gemakkelijk worden behaald, doordat de aannemer op ruime schaal gebruik maakte van het z.g. 'zinken op stroom'.

Het voordeel van de methode bestaat hierin dat men niet langer behoeft te wachten tot de kentering van het tij, zodat de bezinkingen in een hoog tempo konden worden afgewerkt. Voor de aannemer betekende de toepassing van deze zinkwijze bovendien een belangrijke besparing, daar de ruime tijd welke ter beschikking stond het gebruik van minder arbeidskrachten toeliet.

Zodra de bezinkingen gereed waren werd de mijnsteenkeren van de bovenbouw aangebracht. De sluiting van het gat tussen de zuidelijke oever en de geleidedam vond plaats tussen 4 en 22 september 1961.

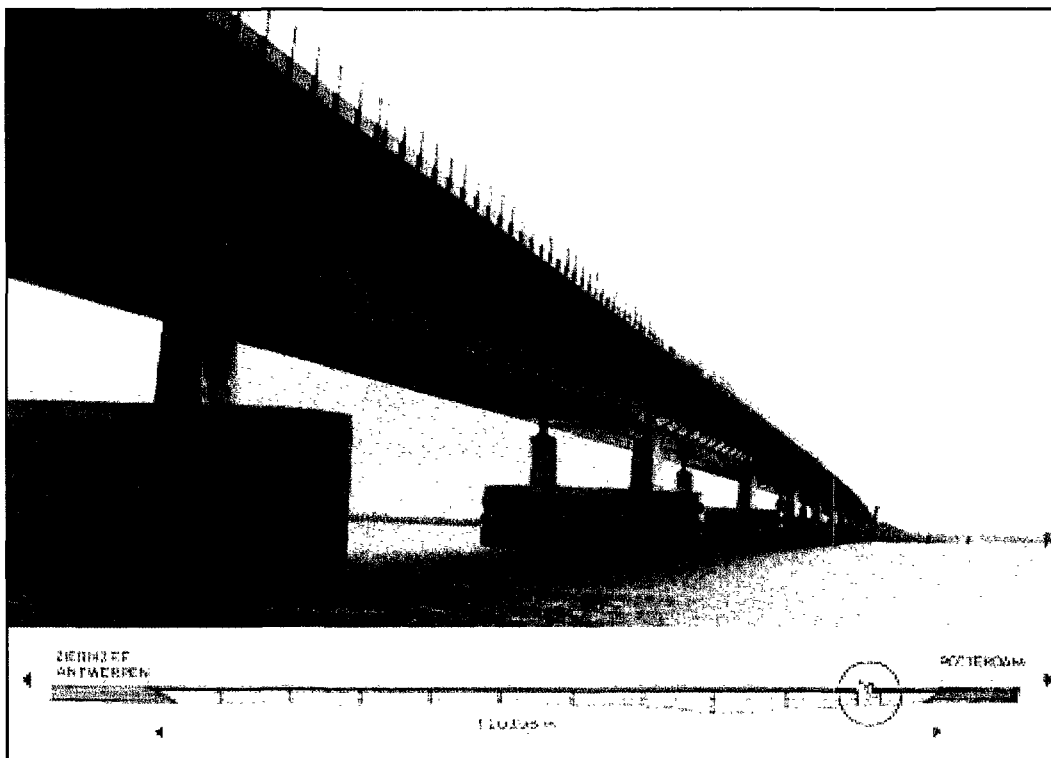
Voor begin september was in het tracé van de toerit naar de Hellgatdam op de zuidelijke oever reeds een zandlichaam tot een hoogte van NAP + 2,50 meter aangebracht. Na de sluiting werd de verdere opbouw van het toeritgedeelte snel en zonder onderbreking voltooid.

Evenals aan de noordzijde werd ook hier het zandlichaam in een viertal lagen opgebouwd. Nadat het de vereiste hoogte had gekregen, werd het onder profiel gebracht, waarbij veel hinder werd ondervonden van de voortdurend krachtige wind. Op verschillende dagen kon door het verstuvende zand niet normaal worden gewerkt. De oplevering van het werk moest in verband daarmee met een maand worden verlengd. Ook het inleggen van de belopen en van de kruin met stro en het inzaaien met gerst ondervonden vertraging door de wind.

Overigens was het werk uiterst vlot verlopen. Met name de opbouw van de geleidedam geschiedde, zoals werd gezegd, sneller

dan verwacht voor-  
moest wor-  
schreven  
thode van  
op stroom.

wacht was,  
namelijk  
den toege-  
aan de me-  
het zinken



Haringolietbrug

# Enkele grondmechanische aspecten met betrekking tot de werken in het Volkerak

Indien in of op een homogene zandbodem met goede pakkingdichtheid wordt gebouwd kunnen de grondmechanische vraagstukken over het algemeen met voldoende nauwkeurigheid worden opgelost met behulp van betrekkelijk eenvoudige berekeningen. Daarentegen scheppen heterogene samenstellingen van de bodem of bijzondere grote afmetingen van de te bouwen constructie dikwijls zulke gecompliceerde problemen, dat tegen aanvaardbare kosten alleen algemene beschouwingen en benaderde berekeningen of enkele metingen worden verricht. Dit is ook van toepassing voor enkele grondmechanische vraagstukken die zich hebben voorgedaan bij de voorbereiding en het begin van de bouw van de schutsluizen in het Volkerak met bijkomende werken. De bodem ter plaatse bestaat beneden ca. NAP - 10 meter voornamelijk uit zand en van NAP - 10 meter tot NAP - 4 'a 5 meter uit klei. Die klei is afgedekt met een veenlaag met daarboven slibhoudend zand. We hebben hier dus te doen met een zeer slappe, betrekkelijk ondoorlatende laag tussen twee meer weerstand biedende en meer doorlatende lagen.

Daartegenover staat dat een sluis met de onderkant op NAP - 8 meter, dus juist in de slappe laag gefundeerd, diep genoeg is en de gewenste vrije doorvaarthoogte onder het vaste deel van de overbrugging van de sluis onmiddellijk naast dit kunstwerk zeer hoge opritten vereist, nl. tot ca. NAP + 17 meter. De voornaamste hieruit voortvloeiende problemen betroffen:

- De fundering van de sluis;
- Het ontgraven en leegpompen van de bouwput;
- De ontwatering van het boven de kleilaag gelegen grondpakket;
- De stabiliteit van de opritten, zowel tijdens de ophoging zelf als tijdens de ontgravingen in de naaste omgeving;
- De horizontale krachten van de slappe laag op de fundering door de grote verticale belading door de opritten.

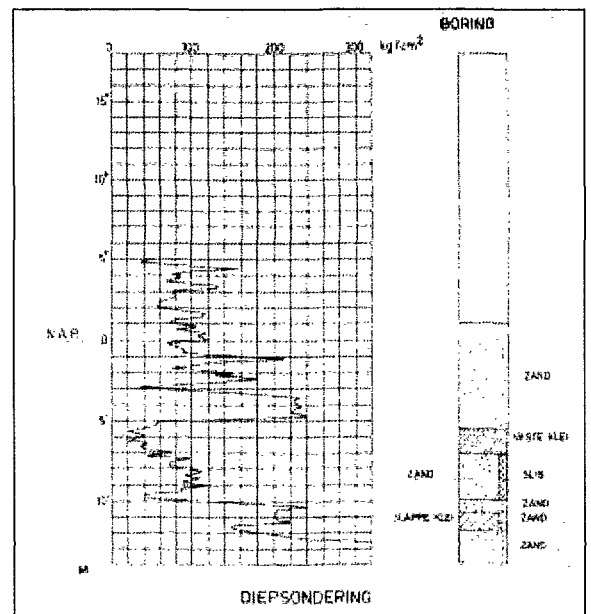
Voor de fundering van de sluisen kwam o.m. in aanmerking een fundering op korte palen (tot ca. - 12 meter) of een fundering op staal. In het laatste geval moest en keuze worden gemaakt tussen de grondverbetering tot ca. NAP - 10 meter en een dieper leggen van de sluisvloer dan voor de scheepvaart noodzakelijk was. Daardoor zou rechtstreeks op de tweede zandlaag gefundeerd kunnen worden. Van deze mogelijkheden was de fundering op palen de minst aantrekkelijke, omdat deze duurder zou zijn en meer tijd zou vragen.

Van de funderingsmogelijkheden op staal koos men en grondvesting onmiddellijk op de diepe zandlaag omdat deze een bepaald technische voordeel bood en niet duurder zou worden dan de oplossing met grondverbetering. Bij de laatste methode bleek een goede verdichting toch nog altijd een moeilijk of kostbaar punt zou blijven. Voor deze oplossing was dus een diepere ontgraving noodzakelijk, waarbij gekozen moest worden tussen een ontgraving in den natte en in den droge. Zonder bijkomende problemen zou een ontgraving in den natte in verband met de kosten altijd de voorkeur genieten. Een natte ontgraving tot de volle diepte hield in dit geval echter in, dat reeds in een vroeg stadium een verbinding zou worden gemaakt tussen het water in de put en de diepe zandlaag. Deze zandlaag had een grote doorlatendheid en stond in rechtstreekse verbinding met het open buiten water in het Hellegat. Doordat in het tussenliggende terrein de ondoorlatende laag onaangeroerd bleef, was daar geen vrije waterspiegel mogelijk. In berging van het opdringende getijdewater kon alleen worden voorzien door elastische vervorming van het korrelskelet van bovengenoemde zandlaag.

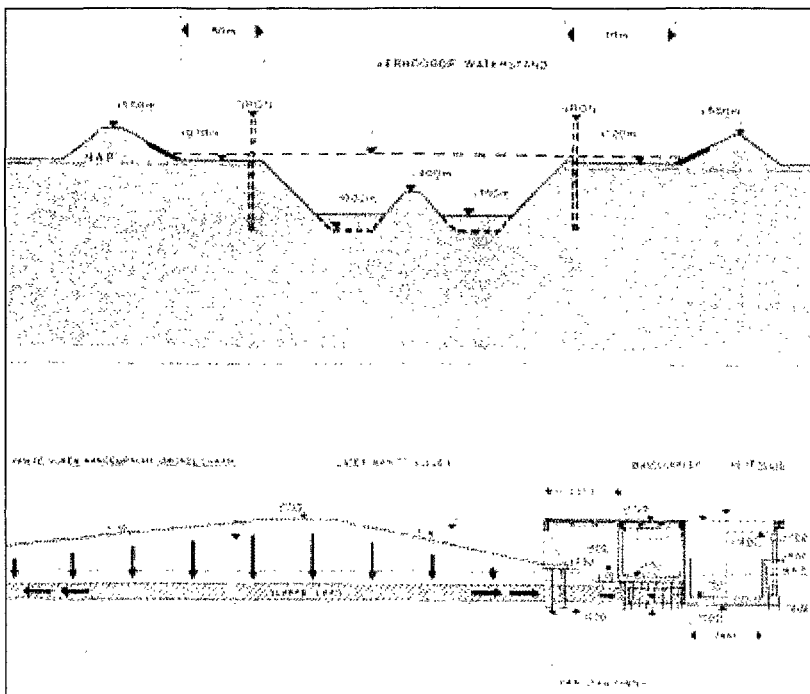
In een dergelijk grondpakket kon het verticale getij ver doordringen. Onder de bouwput was daardoor nog een duidelijk merkbaar getij te verwachten, zodat voorzieningen zouden moeten worden getroffen om het optreden van wellen tegen te gaan. Hiertoe zou of in een vroeg stadium een diepe bemaling moeten worden aangebracht of een hogere waterstand in de put moeten worden gehandhaafd. Het eerste was kostbaar. Het laatste vereiste een doorlopende aanvulling van het door de zandzuiger uitgezogen water met pompen. Bovendien moest hierbij gebruik worden gemaakt van een zuiger met een groter ontgravingbereik. Uiteindelijk zou de waterstand tot boven het bestaande maaiveld moeten worden opgezet. Dit maakte ten eerste een taludvoorziening aan de binnenkant van de bouwput noodzakelijk; ten tweede zou de plaatsing van de bronnen voor de bemaling in den natte moeten plaatsvinden, omdat de bemaling moest kunnen beginnen voor de waterstand in de put mocht worden verlaagd. Besloten werd tenslotte de goedkopere ontgraving in den natte tot NAP - 7,50 meter, en de resterende meters tot NAP - 10 meter in den droge uit te voeren. Deze maat van NAP - 7,50 meter was zodanig gekozen, dat het gewicht van het water in de put vermeerderd met het gewicht van de resterende 2,5 meter klei groter was dan de maximaal te verwachten waterdruk onder de kleilaag o.a. door het getij. Dank zij deze maatregel zou de putbodem niet kunnen openbarsten. Tijdens de natte ontgravingen kon het peil in de put zonder extra kosten tussen NAP en NAP - 0,50 meter worden gehandhaafd, door bij buitenwaterstanden hoger dan de binnenwaterstand water in te laten door een tweetal in de bouwputdijk liggende buizen.

Bij het droogmalen van de put moest de waterstand eveneens steeds hoger worden gehouden dan het bemalingniveau onder de put om een naar boven gericht verhang in de putbodem, dat de oorzaak zou kunnen zijn van het openbarsten van de overgebleven kleilaag, te voorkomen. Om dit verhang te controleren waren in het middeneiland tussen de sluisen, dus midden tussen de naast de put aangebrachte bronnen, waterspanningsmeters geplaatst.

De bemaling van de put omvatte in principe alleen het onder de kleilaag gelegen zand. Door behalve de filterkop ook de daarboven gelegen zuigbuis van een bemalingsput tot aan het maaiveld toe met doorlatend stortmateriaal te omgeven, kon men ook het water uit het boven de kleilaag gelegen pakket doen afstromen naar de te bemalen zandlaag. Vanzelfsprekend kon hiermee niet al het boven de klei en veenlaag toestromende water worden afgevoerd. Tussen de bronnen zal de grondwaterstand opbollen en zal het grondwater toch bij het bouwputpakket blijven uittreden. Om de stabiliteit te verzekeren werden de taluds met een flauwe



helling ontworpen en over de hoogte waarover water uittreedt, met grind afgedekt. Het water werd opgevangen in greppels, die aan de twee lange zijden van de bouwput over de volle lengte waren aangebracht. Vervolgens werd het door een open bemaling aan de kopeinden van de put weggepompt. Alleen bij de ophoging voor de opritten naar de overbrugging van de sluizen was een steiler talud noodzakelijk om in een vroeg stadium een zo groot mogelijk deel van de ophoging te kunnen aanbrenge. Vanwege het steiler talud en de te verwachte grotere wateraan drang ten gevolge van de ophoging werd een grindlaag uitsluitend over de hoogte waar water uittrad, niet voldoende geacht om de stabiliteit van de grote ophoging te waarborgen. Ten einde de voortgang van het werk niet te vertragen werd bij de ophoging een verticaal drainage naar de te bemalen diepe zandlaag aangebracht. Dat deze ophogingen zo vroeg mogelijk moesten worden uitgevoerd, hing eveneens samen met de eigenschappen van de ondergrond. Door de slappe, ondoorlatende lagen tussen NAP - 10 meter en NAP - 5 meter moest op flinke zettingen worden gerekend, die pas na jaren tot staan zouden komen. Een andere, zo mogelijk nog belangrijker reden om de ophogingen zo snel mogelijk aan te brengen, was de horizontale verplaatsing in de slappe laag door de grote verticale belasting, die door deze ophogingen werd veroorzaakt. Bij verhindering van deze verplaatsing door de sluiswanden of de paalfunderingen van de landhoofden en de kelder van de basculebrug, werden zeer grote horizontale krachten op deze bouwde len uitgeoefend.



*Dwarsdoorsnede met grondlagen*

Andere mogelijkheden behalve de ophogingen waren een grondverbetering of een versneld tot stand laten komen van de zettingen door drainage van de ondoorlatende lagen met zandpalen. Deze oplossingen waren echter kostbaar en kwamen alleen in aanmerking als er geen gelegenheid bestond de aanpassing van de samendrukbare lagen door een tijdig aangebrachte voorbelasting te doen plaatsvinden.

Wat de verplaatsingen betrof, wanneer er voor gezorgd werd dat deze zoveel mogelijk hadden plaatsgevonden voor de bouw van de kunstwerken, mocht worden verwacht dat de horizontale krachten aanzienlijk kleiner werden. Om het resterende deel van de aanpassing van de slappe laag een zo gering mogelijke belasting op de paalfundering te doen geven, moest het palenplan zo worden ontworpen, dat een horizontale verplaatsing van de grond zo min mogelijk werd belemmerd.

Dit werd bereikt door de palen onder de landhoofden en de dicht bij de ophoging te plaatsen palen onder de kelder van de basculebrug in paalschermen te plaatsen, evenwijdig aan de verplaatsingsrichting van de grond. De voorste, het zwaarst door horizontale krachten belaste palen, konden bovendien steunen op de daarachter staande palen. Op negatieve kleef moest veiligheidshalve wel worden gerekend aangezien betrekkelijk kleine grondverplaatsingen ook zettingen met zich meebrachten en deze reeds voldoende waren om deze negatieve kleef tot volle ontwikkeling te brengen.

In verband met de stabiliteit van de ophoging zelf mocht die evenmin ineens worden aangebracht. Met behulp van waterspanningsmetingen werd de mate van aanpassing van de slappe laag nagegaan en kon voorts worden bepaald, wanneer een volgende verhoging kon worden aangebracht. Het Laboratorium voor Grondmechanica, waarmee over al deze problemen steeds nauw overleg had plaatsgevonden, stelde als eis dat de stijghoogte van het water in de slappe laag nooit groter mocht worden dan de hoogte van de ophoging op dat moment. Bepaald werd dat de opritten tot een hoogte van NAP + 10 meter mochten worden opgespoten en dat de verdere opbouw in den droge moest plaats vinden.

Een soortgelijk stabiliteitsprobleem deed zich voor bij het baggeren van de bouwput tussen de twee ophogingen. Ook hier moesten de waterspanningen in en onder de ophogingen beneden een bepaald niveau dalen voor de tegen afschuiving steun gevende lagen mochten worden weggebaggerd.

Deze problemen kwamen naar voren na het bekend worden van de algemene bodemopbouw en de dimensionering van de te bouwen kunstwerken. Het bodemonderzoek met behulp van boringen en sonderingen echter blijft altijd beperkt tot steekproeven. Verrassingen tijdens de uitvoering waren dan ook allerminst uitgesloten. Dit was ook hier het geval, ondanks een vrij dicht net van boringen.

Nadat de put was drooggevalen bleek de putbodem op enkele plaatsen een te geringe draagkracht te bezitten. Vermoedelijk betrof het hier opvullingen van krekens die zich in een vroeger tijdperk in deze zandlaag een weg hadden gebaan. Op twee plaatsen kon met eenvoudige maatregelen worden volstaan. Daar lag de draagkrachtige laag op NAP - 11 meter resp. NAP - 11,50 meter (dus 1 tot 1,5 meter onder de putbodem) zodat een ondiepe, in dunne lagen verdichte grondverbetering betrekkelijk eenvoudig en met geringe kosten was aan te brengen.

Twee andere gevallen brachten echter grotere moeilijkheden met zich mee. In het ene geval bestond de zwakke plaats uit zand met een slechte pakkingdichtheid, in het andere geval uit klei en veen. De draagkrachtige laag lag hier op ca. NAP - 15 meter. Om de inmiddels begonnen sluisbouw zo weinig mogelijk op te houden was een snelle voorziening gewenst. Extra aangebrachte bronnen waren niet in staat tijdig een voldoende waterstandsverlaging te bewerkstelligen. Daardoor was het onmogelijk op de normale manier een in dunne lagen verdichte grondverbetering aan te brengen. Alleen de klei en het veenpakket werden daarom vervangen door zand. Beide zwakke plaatsen werden vervolgens door verdichten op diepte tot de vereiste kwaliteit gebracht. Bij dit proces werd met behulp van een trilapparaat dat in de grond wordt gebracht de pakkingdichtheid van het zand vergroot. Gelukkig hoefde men dit effectieve maar kostbare procédé behalve in twee betrekkelijk kleine gebieden nergens toe te passen.

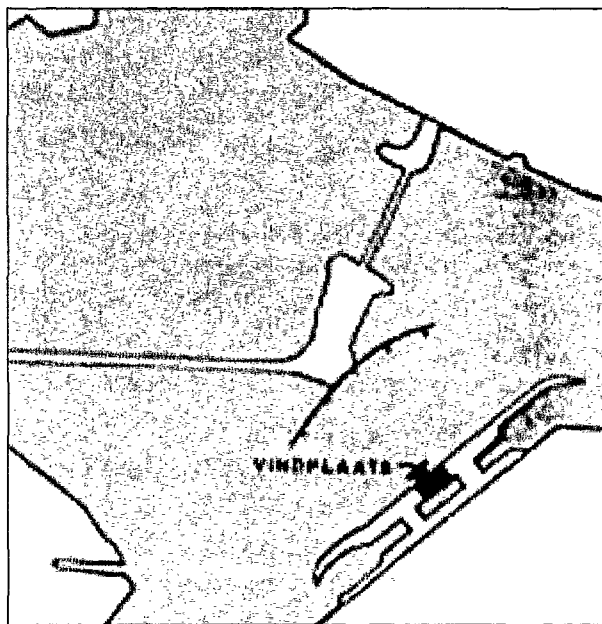
## Een Mesolithisch houten beeldje uit het Volkerak

Op 21 april 1966 vonden twee grondwerkers, de heren M. Ten Hove en A. Roelants, bij de aanleg van het bouwdok voor de doorlaatcaissons in het Volkerak naast het schutsluizencomplex op N.A.P. - 8 meter een klein houten beeldje.

De heer Roelants nam het beeldje 's avonds mee naar huis om het zijn vrouw te tonen en leverde het de volgende dag in bij de opzichter. Deze meldde de vondst aan het hoofd van de Deltadienst, die het beeldje terstond liet verzenden naar de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek in Amersfoort.

In Amersfoort wekte het 'houten mannetje uit Willemstad' verbazing en aanvankelijk twijfel. Het 12,5 centimeter hoge beeldje was uit eikenhout gesneden en stelt een menselijk gezicht voor op een basis met gegolfde zijkant. Het was niet duidelijk of het een man of een vrouw moest voorstellen. De sporen van de bewerking zijn in de vorm van facetjes en kerven nog op vele plaatsen zichtbaar. De aard van het instrument waarmee het beeldje vervaardigd is, laat zich niet met zekerheid vaststellen. Was het werkelijk zo oud als de grote diepte waarop het gevonden werd, deed vermoeden?

Een gesprek met de opzichter en de vindsters schonk het vertrouwen, dat het hier geen recent maaksel betrof. Een verkenning van de vindplaats verschafte nadere inlichtingen over de vondstomstandigheden. De vondst was gedaan bij het vlak maken van de bodem van het bouwdok. Dwars door het bouwdok liep van west naar oost een ongeveer 50 meter brede pleistocene zandrug, waarvan de top lag op ca. N.A.P. - 8 meter, dus juist ter hoogte van de bodem van de bouwput. De zandrug was overdekt met een veenlaag, die op de top slechts enkele centimeter dik was, maar tegen de flanken een grotere dikte bezat. Op het veen rustte een 10 meter dik kleipakket. Het beeldje was gevonden in de oostelijke helft van de bouwput op een hoog punt van de pleistocene rug, tussen de wortels van een eikenboom die daar vele duizenden jaren geleden had gestaan. Zonder de aanwezigheid van het veen zou het houten voorwerp reeds lang zijn vergaan. Het toeval wilde, dat de heer Roelants er met zijn schep op stootte.



Bij een bezoek aan de bouwput op 2 mei 1966 was de vindplek zelf al niet meer te bezichtigen. Er was ter plaatse een vloerlaag van schoon zand aangebracht. Wel kon het veen in de onmiddellijke nabijheid bemonsterd worden. De monsters zijn naderhand door drs. W.A. Casperie in het Biologisch-Archeologisch Instituut van de Rijksuniversiteit te Groningen pollenanalytisch onderzocht. In het westelijk deel van de bouwput werd vervolgens nog een oudheidkundig onderzoek verricht in de pleistocene zandrug. Er zijn bij dit onderzoek echter geen vondsten meer voor den dag gekomen. Dat de werklieden behalve het beeldje ook nog delen van een kano zouden hebben gevonden, is slechts een gerucht gebleken.

Een datering langs archeologische weg was niet te verkrijgen. In de eerste plaats leverde, zoals gezegd, de opgraving in het bouwdok geen nadere gegevens op. In de tweede plaats is de vondst uniek: goede parallellen van elders waren tot op heden niet bekend. Een houtmonster, aan de onderzijde van het beeldje genomen, werd echter inmiddels via de  $^{14}\text{C}$  methode gedateerd door prof. Dr. J.C. Vogel, van het natuurkundig Laboratorium van de Groningse universiteit. De uitkomst was: omstreeks 4450 jaren voor Christus, dat is aan het einde van het tijdvak dat de archeologen Mesolithicum noemen (in Nederland 8000-4000 voor Christus), en ongeveer in het midden van de klimatologische periode van Atlanticum (5500 - 3000 voor Christus). Deze datering is in overeenstemming met de resultaten van Casperie's stuifmeelonderzoek. Het veenlaagje waarin het beeldje bewaard gebleven was, bleek van Atlantische ouderdom te zijn. Het bevatte onder meer een vrij hoog percentage stuifmeel van de els. Jelgersma had trouwens enige jaren geleden al in Willemstad op een diepte van ongeveer 9 meter een veenlaag aangetroffen, die blijkens het  $^{14}\text{C}$  onderzoek eveneens uit het midden van het Atlanticum dateerde.

In het Atlanticum drong de zee voor het eerst sinds de laatste ijstijd het gebied binnen dat thans Nederland heet.

De millennia hadden het landschap in deze streken zien veranderen van een barre toendra in een oerwoud van loofbomen, waarin op de hoge gronden de eik en in de lagere gedeelten de els domineerden. Vanuit de inzinking in het terrein was bovendien de veenvorming begonnen. De kustlijn was aanvankelijk zeer ver verwijderd geweest. Engeland had lange tijd deel uitgemaakt van het continent. Gaandeweg was de zee echter dichterbij gekomen, Engeland was een eiland, en met de stijging van het grondwater die daarvan het gevolg was, hield de uitbreiding van het veen gelijke tred.

De stuifmeelinhoud van het veen in de bouwput aan het Volkerak wees er op dat de vochtigheid ter plaatse sterk was toegenomen in vergelijking met de periode die aan de veenvorming voorafging.

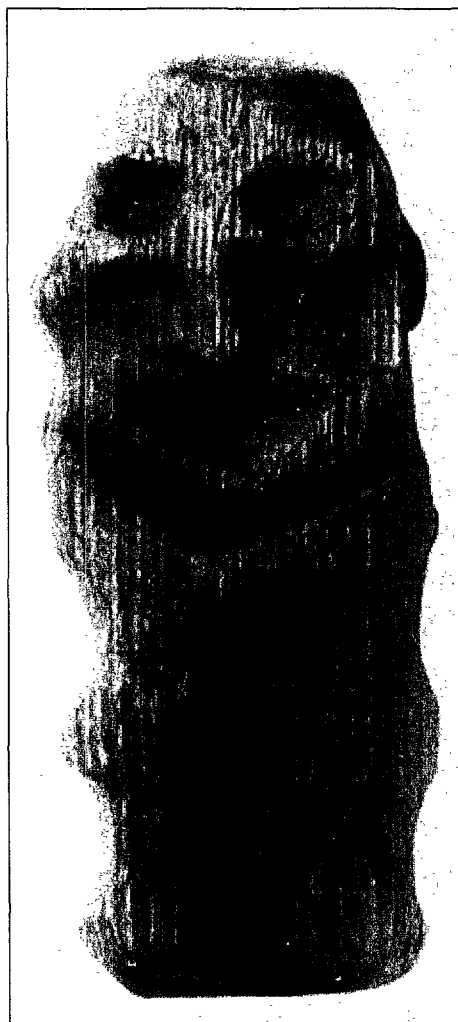
Uit de toename van het percentage ganzevoetachtigen (Chenopodiaceae) bleek verder dat de zee gedurende de periode van de veenvorming naderbij kwam. De kustlijn zal omstreeks 4500 voor Christus niet meer ver geweest zijn van de vindplaats van het beeldje. Toch zijn de sedimenten die direct op het veen rusten, niet onder directe invloed van de zee afgezet. Het onderste deel van het kleipakket boven het veen is nog tijdens het Atlanticum in betrekkelijk korte tijd in een zout milieu gesedimenteerd. In de nabijheid van de vindplaats moet zich een zoetwaterestuarium bevonden hebben van waaruit de sedimentatie plaatsvond.

Pollenanalyse en  $^{14}\text{C}$  datering verschaffen ons gegevens over het tijdstip waarop en het landschap waarin de vervaardigers van het beeldje leefden. In het cultuurstadium waarin zij verkeerden, dat van het Paleolithicum, is de mens nog geheel van de hem omringende wereld afhankelijk. Hij was voor zijn levensonderhoud aangewezen op natuurlijke voedselbronnen. Hij leefde van de jacht en vulde zijn rantsoen aan met de eetbare planten die hij in het wild aantrof. Voedselproductie was in dit deel van de wereld nog onbekend. Landbouw en veeteelt werden in ons gebied eerst in het Neolithicum, dus vanaf 4000 voor Christus, geïntroduceerd.

De ingrijpende veranderingen in landschap en klimaat hadden het levenspatroon van de jagersbevolking niet onberoerd gelaten.

Met de toendra's was het grote jachtwild, waaronder het rendier verdwenen. De mesolithische jagers moesten zich aan de uitbreiding van de loofbossen aanpassen. Het wild dat in de bossen leefde, bestond slechts uit kleine diersoorten. De visvangst ging derhalve een steeds belangrijkere rol spelen en de bevolking werd voor haar bestaan van open water afhankelijk. In deze richting wijst de uit 6000 voor Christus daterende kano, vervaardigd uit een dennenstam, die in 1955 in het ven van zuidwest Drenthe bij Passe gevonden is. Tot in het begin van het Atlanticum kwamen op de hoge gronden van Nederland, de zandgronden in het oosten en zuiden, nog wel watervlakten voor in de vorm van meren en brede rivieren. De toenemende veengroei deed het open water hier echter gaandeweg verdwijnen. Kort na 5000 voor Christus breekt de mesolithische bewoning van de hoge gronden af. De lager gelegen gebieden meer naar het westen hebben echter langer en goede bestaansmogelijkheden geboden.

De zoetwatervlakten in de nabijheid van de vindplaats van ons houten beeldje moeten op een bevolking van jagers en vissers wel een grote aantrekkingskracht hebben uitgeoefend. Onder het water van de Noordzee en de vaak meters dikke kleipakketten van noordelijk en westelijk Nederland bevinden zich ongetwijfeld vele paleolithische en mesolithische bewoningssporen. Zij kunnen alleen bij toeval gevonden worden. Ook de ontdekking van het beeldje van Willemstad is aan een samenloop van toevallige factoren te danken. De betekenis van deze vondst voor de archeologie is tweeledig. Het beeldje is het eerste tastbare bewijs voor de bewoning van Nederland aan het einde van het Meolithicum. Daarnaast heeft het grote waarde als een van de oudste menselijke afbeeldingen van Noord-West-Europa. Welke betekenis het voorwerp voor zijn oorspronkelijke bezitters had, weten wij niet en zullen wij vermoedelijk ook nooit te weten komen. Is het in het veen verloren of daar met opzet gedeponneerd? Het blijven vragen.



*Deze bijdrage is verzorgd door de Rijksdienst voor het Oudheidkundig Bodemonderzoek.*

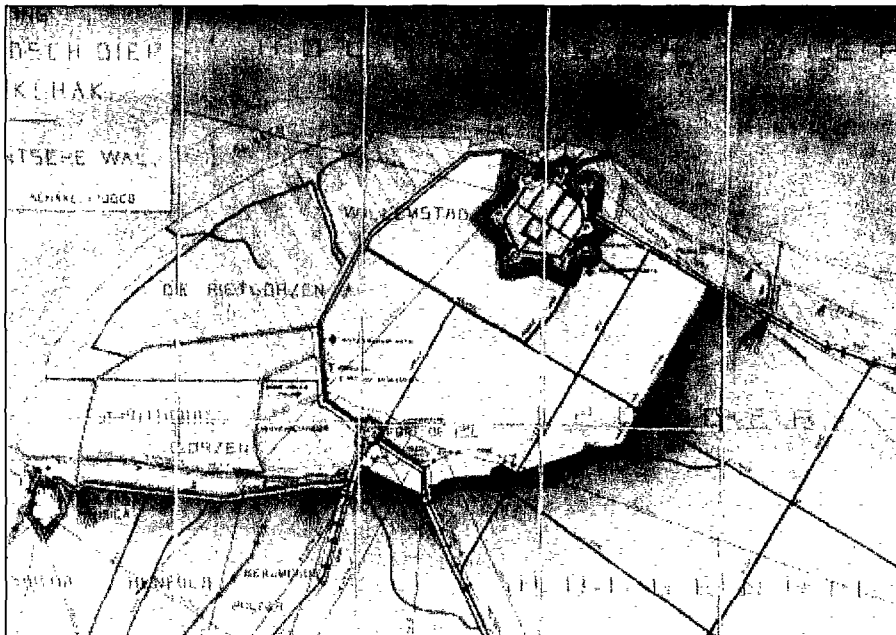
# De schutsluizen in de Volkerakdam.

- Inleiding.
- De bouwput voor de schutsluizen in het Volkerak.
- De opzet van het sluisencomplex.
- De constructie van de schutsluizen.
- Het drainagesysteem achter de L-muren van de Volkeraksluizen
- De ringdijk en de aanvulling der sluissterreinen.
- Geleidewerken en wachtplaatsen voor de Volkeraksluizen.
- Uitbreiding wachtplaatsen voor de Volkeraksluizen.
- De uitbreiding van het sluisencomplex in het Volkerak.
- Deurenbergplaats met loswal en uitzichtplateau nabij het sluisencomplex.
- De bouw van de derde schutsluis.
- Bouwput voor een spui- en jachtensluis in de Volkerakdam.
- Toeleidingswerken naar de derde sluis en de jachtensluis.

## Inleiding

Het Volkerak is een van de drukst bevaren wateren in ons land. In 1959 passeerden 99.000 schepen met een laadvermogen van 50.000.000 ton. Het gemiddelde laadvermogen was ongeveer 500 ton. Ongeveer drievierde gedeelte hiervan werd gevormd door de doorgaande vaart tussen Antwerpen en de Rijn via het Kanaal door Zuid-Beveland. Het overige deel bestond uit vaart via het Kanaal door Walcheren en die op de verschillende havens langs de Zeeuwse wateren.

Het was duidelijk dat ten behoeve van deze scheepvaart voorzieningen moesten zijn getroffen wanneer het Volkerak aan de noordzijde werd afgesloten. Zoals bekend, was in het ontwerp voor de afsluiting een tweetal schutsluizen opgenomen. Aangezien volgens het tijdschema van de Deltawerken uiterlijk in het vroege voorjaar van 1966 met de afsluitingswerkzaamheden in de vaargeul een begin werd gemaakt, moesten de sluisen voor die tijd gereed zijn. Met dit doel voor ogen werd nabij Willemstad een bouwput gemaakt, waarbinnen de sluisen in den droge konden worden gebouwd.



De rietgorzen bij Willemstad waar de bouwput werd aangelegd

## De bouwput voor de schutsluizen in het Volkerak

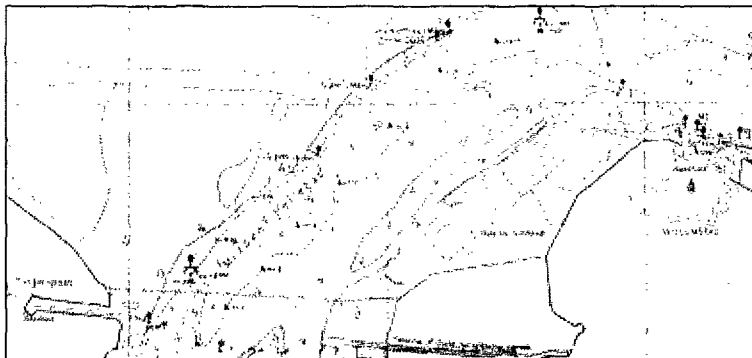
Het Volkerak maakte deel uit van de drukke scheepvaartweg Schelde - Rijn. In het plan voor de Volkerakdam werd daarom een complex schutsluizen opgenomen van grote capaciteit.

Deze sluisen moesten in gebruik komen voordat de afsluiting van het Volkerak, die was voorzien in het jaar 1967, zou zijn voltooid. Omdat de voorbereidende werkzaamheden voor de sluiting in de vaargeul van het Hellegat moesten plaats vinden en hierbij een intensief gebruik werd gemaakt van drijvend aannemersmaterieel, moest de scheepvaart, voor een veilige doorvaart, omstreeks 1 januari 1966 door de schutsluizen geleid worden.

Het was daartoe noodzakelijk dat nog in dat jaar een stormvloedvrije bouwplaats voor het sluisencomplex tot stand werd gebracht. Daartoe werd in de buitenpolder Maltha, gelegen bewesten Willemstad, een omringdijk gemaakt, waarbinnen de bouwput werd uitgegraven tot de diepte waarop de sluisvloeren werden aangelegd.

Deze omringdijk sloot een rechthoekig werkterrein in, waarvan de lengte ca. 850 meter en de breedte 350 meter was.

Het lag in de bedoeling om de buitenpolder van Maltha ongeveer gelijktijdig met het gereedkomen van het schutsluisencomplex van een hoogwaterkerende dijk te voorzien. Dit ter vervanging van de aanwezige bekading die enige malen per jaar overliep, waardoor de buitenpolders werden geïnundeerd. Met de aanleg van het



Kaart met bouwput



noordelijk deel van deze bedijking werd op hetzelfde moment een aanvang gemaakt als met de bouwput voor de schutsluizen. Dit dijkvak sloot aan op de bestaande banddijk even bewesten de werkhaven van Willemstad.

Tot de werken ten behoeve van de bouwput zouden tevens behoren:

- Een werk en opslagterrein, buiten de omringdijk van de bouwput gelegen.
- Een toegangseul, die het genoemde werkterrein verbond met het Hollandsch-Diep. Deze toegangseul zou in een later stadium van de werken worden verbreed en dan deel uit maken van de noordelijke voorhaven.
- Een wegverbinding naar de bouwplaats, via de zuidelijk van Willemstad gelegen Noordlangeweg. De weg zou geschikt worden gemaakt voor zwaar aannemersverkeer. In aansluiting op deze weg zou een nieuwe weg worden aangelegd over de banddijk en door Maltha naar de bouwput.
- De einden van de toeritten naar de brug, die het verkeer van de toekomstige Zoomweg over de sluisen zou leiden. Door deze ophoging terplaatse van de te maken landhoofden nu reeds aan te brengen kreeg de vrij slappe ondergrond ruimschoots gelegenheid zich te consolideren, waardoor een bijzonder ongunstige belasting van de landhoofden werd vermeden.



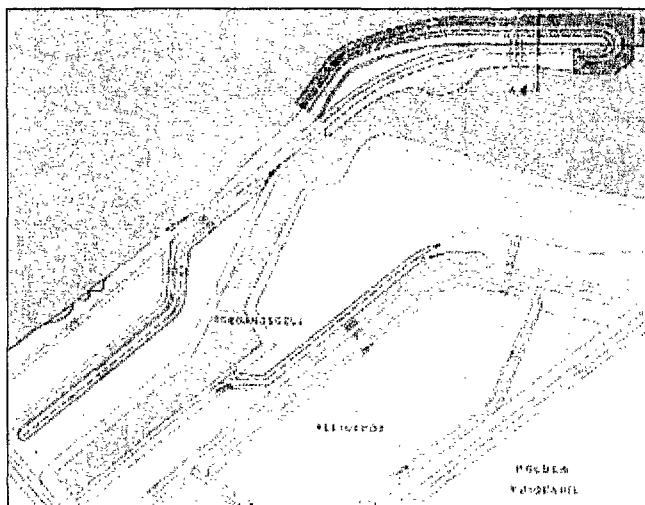
*Bouwput schutsluizen in 1962*

De bouwput werd met betrekkelijk flauwe belopen ontworpen. Dit vond onder meer zijn reden in de aanwezigheid van een kleilaag op ongeveer 5 meter diepte. Bij bemaling van de put zou uit het daarboven liggende zandpakket water uittreden, waardoor het evenwicht van een steiler talud zonder meer niet zou zijn verzekerd. Ter plaatse van de brugopritten, die zo dicht mogelijk tegen de toekomstige landhoofden moesten worden aangebracht, is om de stabiliteit van het iets steilere talud te verzekeren een afdekking met grindzand en grind opgenomen.

De oevers van de noordelijke voorhaven behoefden een verdediging tegen haalgolven. De waterstanden waren hier dezelfde als op het Haringvliet en zouden in de toekomst gedurende maanden achtereen nauwelijks beneden NAP + 70 cm dalen. Onder bepaalde omstandigheden kon de waterstand echter ook belangrijk lager zijn, terwijl toen nog met een laagwaterstand van NAP - 80 centimeter werd gerekend.

Voor de uiteindelijke situatie was het dus gewenst de teenconstructie van een in de droge te onderhouden verdediging (betonglooiing) boven NAP + 70 centimeter aan te brengen. Beneden dit peil was een bekleding vereist, die weliswaar in de natte moest kunnen worden onderhouden en vernieuwd, doch blootgesteld aan licht en lucht een redelijke duurzaamheid bezat. Besloten werd het aanwezige fijne zand af te dekken met enkele lagen grover materiaal, namelijk met 0,10 m grindzand, 0,20 grind en per m<sup>2</sup> 350 kg lichte stortsteen 5 - 40 kg. De materiaalafmetingen werden, overeenkomstig de resultaten van filterproeven uit de Amerikaanse vakliteratuur, zo gekozen dat elke laag het uitspoelen van onderliggend materiaal praktisch verhinderde.

Het dwarsprofiel van de ringdijk werd bepaald voor een waterstand van NAP + 4 meter, een stand die onder de huidige omstandigheden gemiddeld bijna eens per eeuw werd bereikt of overschreden. De binnenbelopen werden niet verdedigd; de helling hiervan werd daarom 1: 4 gesteld. Tegen versterven van het fijne zand werd een 20 centimeter dikke laag teelaarde aangebracht die met gras werd ingezaaid. De buitentaluds werden, waar dit economisch aantrekkelijk was, voorzien van een zeer flauw hellende teen, die slechts met klei en een grasmat zou worden verdedigd. Het werkterrein werd tegen versterving met stro ingeegd en met stuifgraan ingezaaid. De oever kreeg boven NAP + 0,75 meter een tijdelijke verdediging in de vorm van een laag mijnsteen van 0,5 meter dikte.



*Situatie noordelijke voorhaven*

Op de dijk naar Willemstad zou in de toekomst een weg worden aangelegd. In verband met de te verwachten zettingen werd de kruin van de weg voorlopig met een laagje teelaarde afgemaakt en ingezaaid met graszaad.

Het buitenbeloop langs het Hollandsch-Diep werd beneden NAP + 2 meter gevormd door een strand, dat boven hoogwater met teelaarde werd afgedekt. Boven NAP + 2 meter werd een betonglooiing toegepast, reikend tot NAP + 3 meter. Het gedeelte langs de voorhaven werd van NAP + 0,75 meter tot + 2,50 meter met betonblokken verdedigd. Beneden deze glooiing werd bij het voltooiën van de haven een laagsgewijs opgebouwde filterconstructie aangebracht, die ten doel had onderliggend materiaal tegen uitspoeling te beschermen.

Aan de noordzijde van de bouwput werd het huidige maaiveld geëgaliseerd, en beplant. De bedoeling was dat hier enige ervaring werd opgedaan met verschillende boomsoorten, die te zijner tijd een windscherm moesten vormen aan weerszijden van het sluisencomplex.

Het werk werd op 24 mei 1960 aanbesteed. De laagste van de elf inschrijvers bleek een combinatie van twee Belgische en twee Nederlandse maatschappijen, te weten:

- Amsterdamse Ballast Mij N.V. te Amsterdam;
- Enterprise Ackermans en van Haaren N.V. te Antwerpen;
- N.V. Baggermaatschappij 'Holland' te Hardinxveld;
- Societe Generale de Dragage M.V. te Brussel.

Op 20 juni 1960 werd het werk aan deze combinatie gegund voor een bedrag van f 2 570 000, Onderaannemer voor het droge grondwerk was het C.V. Gebr. v.d. Heuvel te Zierikzee. Het zink- en gloopingswerk werd uitgevoerd door de N.V. Jac. G. van Oord te Utrecht.

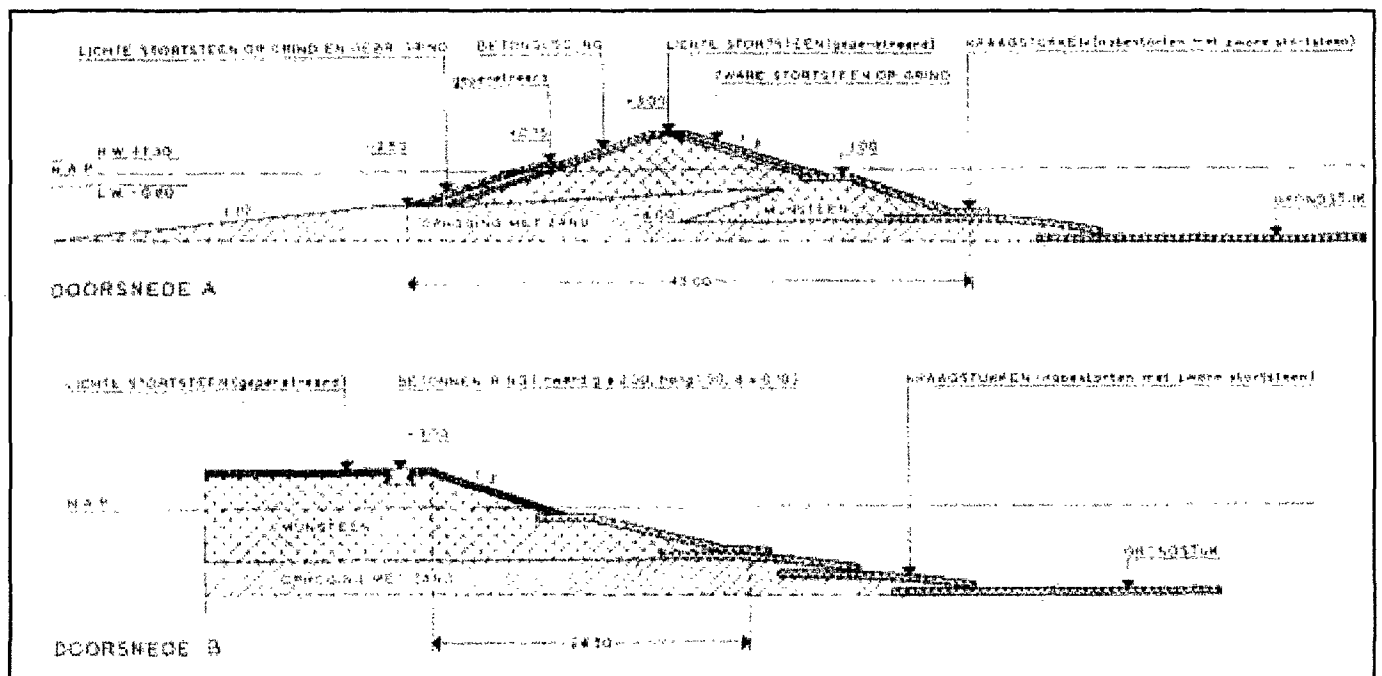
Van het werk dat in negen maanden diende te worden voltooid, werden thans (juli 1960) met het droge grondwerk goede vorderingen gemaakt. Ter plaatse van de bouwput en de toegangseul werd 25 000 m<sup>3</sup> teelaarde verwijderd. Met vrachtauto's werd deze grond naar het terrein gebracht waar onderzocht werd welke boomsoorten het meest in aanmerking kwamen om ter zijner tijd een windscherm langs het sluzencomplex te vormen. Voorts werden perskaden gemaakt met een gezamenlijke lengte van 8 km. Terwijl bij het maken van sloten en grondverbeteringen 15 000 m<sup>3</sup> grond werd ontgraven. Acht draglines en een bulldozer werden daarbij ingeschakeld.

De filterglooiing, die op de onderste gedeelten van de belopen der brugopritten en langs het werkkerrein werden geprojecteerd en die in de droge moesten worden aangebracht kwamen half augustus 1960 gereed. Ongeveer 8000 ton grindzand, grind en Maassteen was daarvoor per schip in de werkhaven aangevoerd en met vrachtauto's in het werk gebracht.

Eerst daarna kon met het natte grondwerk begonnen worden. Met behulp van een grondsluis werd een cutterzuiger, de 'Zwalm', binnen de kade gebracht die de buitenpolder waarin het werk grotendeels moest worden uitgevoerd omgaf. Met deze zuiger werd ter plaatse van de bouwput 70 000 m<sup>3</sup> specie ontgraven en rechtstreeks in de te maken ringdijk verwerkt. Het zeer fijne zand, waaruit de grond voornamelijk bestond, nam in het stort een langshelling aan van 1: 250 tot 1: 300.

Aangezien dit materiaal bovendien sterk met slib was verontreinigd, werd het niet geschikt geacht voor de aanleg van de ruim 15 meter hoge opritgedeelten. Volgens het bestek diende hiervoor 435 000 m<sup>3</sup> zand te worden gewonnen in het Hellegat. Het zand werd gezogen met de 'Holland VI' en via een drijvende leiding rechtstreeks in het werk geperst. Op deze wijze werd 60 000 m<sup>3</sup> verwerkt.

Ook met de aanleg van de ca 200 meter lange havendam aan de noordzijde werd een aanvang gemaakt. Het zinkwerk daarvoor met een oppervlak van 6500 m<sup>2</sup> kwam gereed, terwijl van de in totaal 27 500 ton benodigde mijnsteen de helft werd verwerkt. Voor het aanbrennen van deze mijnsteen werd met behulp van de baggermolen 'Holland VII' aan de binnenzijde van de dam een geul gegraven. Deze geul werd enigszins verruimd ten behoeve van de cutterzuiger 'Arlesienne' die werd aangevoerd voor het maken van de toeleidingsgeul en de aangrenzende dijkvakken.



Dwarsdoorsnede noordelijke havendam

In het najaar van 1960 is de buitenpolder Maltha, waarin de werken waren gelegen, voor de vierde maal ten gevolge van hoge waterstanden tijdens stormen ingelopen.

Desondanks konden met het natte materieel goed vorderingen worden gemaakt.

Voor het maken van de toeleidingsgeul en de bouwhaven werd 160 000 m<sup>3</sup> grond uitgegraven en in de verschillende dijkvakken geperst, terwijl uit de bouwput 300 000 m<sup>3</sup> grond was verwijderd. In de opritgedeelten werd 300 000 m<sup>3</sup> verwerkt.

Ten gevolge van het uitzonderlijk natte seizoen en het inlopen van de polder kon geen aanvang worden gemaakt met het transport van de in totaal benodigde 70 000 m<sup>3</sup> bekledingsklei, die tevens in de buitenpolder moest worden ontgraven. Er werd een begin gemaakt met de aanleg van de voor dit kleitransport benodigde zandbanen, zodat einde januari 1961 de afwerking en bekleding van de dijkprofielen ter hand kon worden genomen.

In de havendam werd 20 000 m<sup>3</sup> mijnsteen verwerkt. De dam reikt toen tot NAP + 1,50 meter. Nabij de kop waren aanzienlijke verdiepingen opgetreden. De oorspronkelijke diepte van NAP - 3,50 meter was toegenomen tot NAP - 11 meter. Teneinde de stabiliteit van de kop van de dam te verzekeren is een extra bezinking van 3000 m<sup>2</sup> aangebracht.

De buitenpolder Maltha was opnieuw twee maal ingelopen. De laatste maal gebeurde dit op 21 maart 1961, waarbij zo geen materiële schade dan toch ernstige stagnatie werd veroorzaakt in de uitvoering van het droge grondwerk. Met name de kleiwinning, waarmee medio februari een aanvang werd gemaakt, en de afvoer van de klei naar de geprofileerde ringdijk van de bouwput moesten gedurende tien dagen geheel worden stopgezet.

Met het natte materieel konden daarentegen goede vorderingen worden gemaakt, ofschoon het gehele werk o.m. door het uitzonderlijk natte seizoen en het voortdurend inlopen van de buitenpolder niet binnen de in het bestek gestelde termijn gereed zou zijn. Het zuigen en wegpersen van zand uit de bouwput en toegangsecul kwam gereed, waarna begonnen werd met het wegcutteren van de slappe kleilaag. De specie werd geperst in het gereedgekomen kleidepot.

De toegangsecul tot de bouwput werd met 20 meter verbreed, zodat deze geul bij de werken tevens als bouwhaven kon dienen. De vrijgekomen 50 000 m<sup>3</sup> specie werd in de te maken ophoging verwerkt.

Als aanvulling op het werk zijn binnen de ringdijk van de bouwput twee terreinen opgespoten. Het ene terrein met een inhoud van 47 000 m<sup>3</sup> had afmetingen van 270 X 40 meter en was bestemd voor de bouw van de centrale machinehal voor de schutsluizen en de bouw van de dienstwoningen ten behoeve van het sluispersoneel.

Het tweede terrein vormde en depot van 50 000 m<sup>3</sup> en was bestemd voor plaatselijke aanaardingen van de sluizen tijdens de bouw van het kunstwerk.

De zandwinning voor de aanleg van de 16,75 meter hoge opritgedeelten van de brug over de schutsluizen was gereed. Ruim 435 000 m<sup>3</sup> zand werd geperst in twee ca. 10 meter hoge plateaus. Met het verder op den droge op hoogte brengen van de opritten was inmiddels ook een aanvang gemaakt.

De havendam, gelegen aan de noordwestzijde van het te maken sluiscomplex waren op een hoogte van NAP + 4 meter gebracht. Begonnen werd met de aanvoer en de verwerking van betonblokken en -banden voor de bekleding van de dam.

Voorts was het egaliseren met teelaarde van het terrein ter grootte van 450 X 70 meter gelegen langs de westzijde van de toegangsecul gereedgekomen. Op deze strook werd begonnen met het planten van 55 000 bomen en struiken als proefbeplanting om na te gaan hoe en waarmee de oevers van het sluiscomplex dienden te worden beplant om de hinder van dwarswinden voor de scheepvaart zoveel mogelijk te beperken.

Nadat bij het uitwerken van het sluisontwerp was gebleken dat de bouwput ruim 40 meter naar het noorden moest worden verlengd, werd ook dit laatste deel ontgraven. De bouwput was thans in zijn geheel tot op de vereiste diepte van NAP - 7,50 meter gebracht. De ca. 200 000 m<sup>3</sup> kleigrond die beschikbaar kwam werd in een kleidepot geperst. De cutterzuiger 'Zwalm', die sinds midden augustus 1960 in de bouwput werkzaam was, werd via een grondsluis naar buiten gebracht.

Het profileren van de ringdijk van de bouwput en van de hoogwaterkerende dijk langs de oostzijde van de noordelijke invaart, alsook het aanbrengen van de kleibekleding, maakte goede vorderingen. Op verschillende plaatsen langs de ringdijk, de havendam en de hoogwaterkerende dijk was men reeds bezig een glooiing van Iprokeien of betonblokken aan te brengen.

De geul langs de noordwestzijde van de buitenpolder Maltha was, vermoedelijk als gevolg van de zandwinning voor de brugopritten, in betekenis toegenomen. Daardoor was een gedeelte van de oever met de daarop uitlopende flauwe buitentalud van de havendam weggespoeld. Door het aanbrengen van een silixbestorting kon verdere uitschuring worden voorkomen.

De westelijke oprit van de brug over de schutsluizen werd in den droge omhoog gebracht en afgewerkt. Door het ineggen van stro en het aanbrengen van rijshouten schermen werd de oprit tegen verstuiwen van het zand beschermd.

De nieuwe wegverbinding tussen de Westdijk en het werkterrein van de bouwput kwam gereed evenals de verbetering van de Noordlangeweg. In genoemde wegverbinding werd 1800 m<sup>3</sup> schrale beton verwerkt voor de fundering. Op deze fundering werd een toplaag van koudasfalt (Vauatol) aangebracht ter dikte van 3 centimeter.

Op 15 oktober 1961 had de eerste oplevering plaats van de bouwput voor de Volkeraksluizen. Behalve de bouwput zelf omvatte het bestek een toeleidingsgeul met havendam, dijken, opritgedeelten en een werkterrein.

De ontgraving van de bouwput werd verricht door de cutterzuiger 'Zwalm' die via een grondsluis in de put werd gebracht en na het gereedkomen van het werk weer langs deze weg werd verwijderd. De waterstand in de put varieerde tussen NAP - 0,50 meter en NAP. Zij kon worden geregeld door de buitenwaterstanden boven half tij water in te laten via twee buizen in de dam van de grondsluis.

De bouwput moest tot NAP - 7,50 meter worden uitgediept. Tot 4 meter beneden NAP bleek de uitgebaggerde specie zand te zijn, daarbeneden lag een kleilaag. Het zand kon bij de werken worden gebruikt, de klei werd in een depot gespoten.

De werkzaamheden hebben van 28 augustus 1960 tot 9 juni 1961 geduurd. Om de voortgang van het werk te bespoedigen werd na half november 1960 dag en nacht doorgewerkt. Daarbij werd een gemiddelde weekproductie bereikt van 18 000 m<sup>3</sup>.

Het plan voor het maken van de toeleidingsgeul en de havendam was om eerst de geul te baggeren en vervolgens met het beschikbaar komende materiaal de havendam op te werpen. Door de zeer sterke stroom ondervond het baggeren echter grote moeilijkheden, zodat een andere wijze van uitvoeren overwogen moest worden. Men besloot eerst de havendam te bouwen en pas daarna in de luwte van de dam de toeleidingsgeul te baggeren. Deze werkwijze werd met succes toegepast. De afwijking van het bestek wat de volgorde van uitvoering betrof heeft echter tot gevolg gehad dat ook de constructie van de dam enigszins moest worden gewijzigd. Het bestek schreef voor dat het zandlichaam moest worden opgebouwd met materiaal uit de toeleidingsgeul en daarna met zinkstukken moest worden afgedekt. Bij de nieuwe werkwijze werden echter de zinkstukken direct op de bodem gezonken. Op deze grondbezinkingwerken werden mijnsteenruggen gestort die als kaden dienden voor het bergen van het zand dat uit de bouwput werd gezogen en direct in het werk werd gespoten. Om tijdens het voortbouwen van de mijnsteenkaden ontgrondingen voor de kop van de dam tegen te gaan werden de bezinkingen uitgebreid. Ook om de kop werd, teneinde de stabiliteit van de dam te verzekeren, een extra bezinking aangebracht.

De lengte van de havendam bedraagt 300 meter. Aan de zeezijde werd de dam afgedekt met een laag mijnsteen ter dikte van 1 meter, waarover voorts stortsteen werd uitgespreid met een blokgewicht dat variërend van 60 tot 300 kilogram. De binnenzijde van de havendam werd tot NAP + 2 meter afgedekt met betonblokken, daarboven bestaat het beloop uit een 75 centimeter dikke kleilaag.

Met het graven van de toeleidingsgeul kon op 28 augustus 1960 worden begonnen. Het maaiveld ter plaatse lag op NAP + 1 meter, de diepte van de insteek diende NAP - 5 meter te worden. Het zes meter dikke grondpakket werd met de cutterzuiger, Arlesienne ' in twee sneden van ongeveer 3 meter dikte verwijderd. Aanvankelijk werd gewerkt met een capaciteit van 50 uur per week. Half november moest ook hier, om het tempo te bespoedigen, tot continubedrijf worden besloten. Er werd gewerkt van maandagochtend 9 uur tot vrijdagmiddag 3 uur. De gemiddelde weekproductie bedroeg 18 000 m<sup>3</sup>.

Het zand voor de opritten (435 000 m<sup>3</sup>) werd met behulp van de grondzuiger 'Holland VI' gewonnen in het Hellegat en direct in het werk gespoten. De zuiger was daartoe door een 200 meter lange drijvende leiding verbonden met een perssteiger van 300 meter lengte. Het bestek bepaalde dat de opritten tot een hoogte van NAP + 10 meter moesten worden opgespoten en dat de verdere opbouw tot NAP + 16,75 meter naderhand in den droge diende te geschieden. De vorderingen van de werkzaamheden werden afhankelijk gesteld van de waterspanningen in de ondergrond die regelmatig werden gemeten. Het opspuiten van de opritten heeft plaatsgevonden in vijf lagen. Door afwisselend de zuidelijke en de noordelijke oprit met een laag van ca. 2 meter op te hogen, waardoor de belastingen betrekkelijk langzaam werden vergroot, kreeg de ondergrond voldoende gelegenheid zich te consolideren. Het werk werd dan ook zonder onderbreking voortgezet. Ongeveer drie maanden na het opspuiten was het zand voldoende droog en werd een aanvang gemaakt met het droge grondwerk. Om verstuiving tegen te gaan werd het stro ingeegd en werden stuifschermen geplaatst.

De betonglooiingen werden uitgevoerd met blokken van het systeem 'Diabool' in dikten van 15 en 20 centimeter. De verschillende onderlagen van klei of mijnsteen werden daarbij afgedekt met een 10 tot 20 centimeter dikke afzetlaag van grindzand. Het aanbrengen van deze laag heeft goed voldaan.

De afdekklagen, die langs de havenoever in de tijzone beneden de betonglooiing werden toegepast en die bestaan uit grindzand en grind, zijn voor een deel aangebracht in een bemalen sleuf. Waar dit niet mogelijk was ontstonden bij het verwerken enige moeilijkheden door het uitzakken van de belopen. Het verdiende dan ook aanbeveling dergelijke afdekklagen op taluds in den droge aan te brengen.

De uitvoering van het werk werd door verschillende omstandigheden belangrijk vertraagd. Volgens het bestek diende het in negen maanden klaar te zijn; in werkelijkheid heeft het 16 maanden in beslag genomen. Het uitzonderlijk natte weer en het regelmatig inlopen van de buitenpolder Maltha hadden de wegen maandenlang onbegaanbaar gemaakt.

Met de bouw van de schutsluizen werd omstreeks november 1961, een aanvang gemaakt.

### **De opzet van het sluizencomplex**

Zolang de Oosterschelde nog niet was afgesloten zou het waterpeil ten zuiden van de Volkerakdam in het algemeen wisselen tussen NAP + 2 meter en NAP - 2 meter. Ten noorden van de dam, op het afgesloten Haringvliet, zou de waterstand zich veelal bewegen tussen NAP en NAP + 1 meter. In een later stadium, wanneer het Zeeuwse Meer tot stand zou komen, zal de waterstand ten zuiden van de dam niet meer aan zulke grote schommelingen onderhevig zijn, maar afhankelijk van het seizoen tussen NAP - 50 centimeter en NAP + 50 centimeter gelegen zijn. Gedurende de eerste periode moesten de hoge waterstanden aan de zuidzijde worden verwacht. De sluizen werden in verband daarmee gebaseerd op stormvloedstanden tot NAP + 5 meter.

Aan het bepalen van de capaciteit van de schutsluizen was een uitgebreid onderzoek naar de samenstelling, het gedrag en de ontwikkeling van de scheepvaart ter plaatse vooraf gegaan. Bij het ontwerpen werd in het bijzonder rekening gehouden met de eis het oponthoud voor de scheepvaart ten gevolge van het schutten zoveel mogelijk te beperken. Opeenhoping van schepen voor de sluizen moest kunnen worden voorkomen of binnen enkele uren worden weggewerkt. Vooral na perioden van mist of ijsgang, waarin de scheepvaart gestremd was geweest, is dit van belang. Om aan deze eis te voldoen werd de capaciteit van de sluizen bepaald op gemiddeld 40 schepen per uur, wat ook voldoende was voor drukke dagen, waarop 400 'a 500 schepen per dag zouden moeten worden doorgeschut. De afmetingen van de sluizen werden in verband hiermee, na een onderzoek betreffende de tijden van in- en uitvaart, als volgt vastgesteld. Elk van de beide sluizen werd 24 meter breed, zodat in normale geval verschillende schepen naast elkaar in de kolk konden liggen, terwijl duwkonvooien met een maximale breedte van 23 meter in hun geheel konden worden doorgelaten. De kolkbreedte werd hiermee gelijk aan de van de bij Terneuzen en in het nieuwe Hartelkanaal ontworpen sluizen. De lengte van de kolk werd op 320 meter gesteld.

In elk van beide sluiskolken zouden gemiddeld 20 schepen, zonder moeizaam manoeuvreren, tegelijk ligplaats kunnen vinden. Het oppervlak van de sluiskolk zou dan nog slechts voor ongeveer 80 % door schepen in beslag zijn genomen, zodat men over enige reserve beschikte.

Om het sluisbedrijf zo vlot mogelijk te doen verlopen, werd aan weerszijden van elke schutsluis over een lengte van 450 meter een ruime meergelegenheid geprojecteerd, waar de schepen hun beurt konden afwachten zonder het uit de sluis varende tegemoetkomende verkeer te hinderen en van waaruit zij de sluiskolken snel konden binnenvaren.

Ten behoeve van schippers die met het oog op dreigende storm, invallende duisternis of mist e.d. de tocht wensten te onderbreken werden afzonderlijke wachtplaatsen ingericht in de voorhavens. Hun schepen zouden echter wel zo spoedig mogelijk na aankomst worden doorgeschut, teneinde opeenhoping van vaartuigen te voorkomen die tot overbelasting van de sluizen zouden kunnen leiden.

De gang van zaken bij de sluizen kon als volgt worden voorgesteld:

Na het passeren van de havenhoofden vinden de schepen een bijna 1000 meter lang bekken voor zich, waarin het algemeen vrijwel geen golven kunnen doordringen en waar geen stroom staat. Door de aanwezigheid van windschermen (o.m. een beplanting van hoog opgaande bomen) werd bovendien de kans op afdrijven zoveel mogelijk beperkt. Hier kon dus zonder bezwaar vaart worden geminderd en koers worden gezet naar de wachtplaats die met behulp van seinlichten door het sluispersoneel werd aangeduid. Midden op sluiseland zou daartoe een centrale bedieningspost worden ingericht. In de toekomst, als de vaart belangrijk drukker zou worden, kon hier zo nodig van radio en televisie gebruik worden gemaakt. De pleziervaart met jachten zal o.a. uit veiligheidsoverwegingen afzonderlijk ligplaats worden aangewezen.

Vanuit de wachtplaatsen konden de schepen vervolgens de sluis binnenvaren. In ruim een half uur zou een kolk geheel gevuld kunnen zijn. Het sluiten van de deuren achter de schepen, het op peil brengen van het water in de kolk en het openen van de voorste deuren zouden ongeveer een kwartier in beslag nemen. Wanneer het laatste schip de sluis had verlaten (het uitvaren van de schepen verloopt bijna tweemaal zo snel als het invaren) kon de kolk met tegemoetkomende schepen worden gevuld en het bedrijf in tegengestelde richting worden herhaald. Bij drukke vaart zou een sluis dus ongeveer elke twee uur in een zelfde richting kunnen worden binnengevaren. Op stillere tijden zou dit veel vaker het geval kunnen zijn.

Door de sluizen uit te rusten met een z.g. tussenhoofd halverwege de kolk was het oponthoud voor de scheepvaart te beperken.

Zodra de schepen die in de voorste kolk konden liggen gepasseerd waren, konden de deuren in het tussenhoofd worden gesloten. Hierna kon de waterstand in het voorste kolkgedeelte reeds op peil worden gebracht, terwijl de schepen in de achterste kolk nog bezig waren binnen te varen. De voordelen die deze wijze van schutten bood, zijn in het nevenstaande schemaanschouwelijk voorgesteld.

Door de aanwezigheid van een tussenhoofd werd niet alleen de duur van het doorschutten beperkt (gemiddeld zal het oponthoud voor een schip nog geen half uur behoeven te zijn) en dus de capaciteit van de sluis vergroot, maar werd ook het sluisbedrijf minder kwetsbaar. Indien b.v. aan een der deuren in een buitenhoofd schade zou ontstaan, waardoor deze gedurende langere tijd niet zou zijn te gebruiken, kon dankzij het tussenhoofd veelal nog met een halve kolk worden gesloten. Een verder voordeel was dat op stille uren (b.v. 's nachts) met halve kolken kon worden gewerkt ter beperking van de hoeveelheid zout water die, zolang de Oosterschelde nog niet was afgesloten, bij het schutten telkens uit het Volkerak op het afgesloten Haringvlietbekken werd gebracht.

Indien in de toekomst de scheepvaart door het Volkerak een zo sterke toename zou vertonen dat de capaciteit van de sluis gevaar liep tekort te schieten, bestond de mogelijkheid om naast de beide sluisen die thans zullen worden uitgevoerd nog een derde te bouwen.

De weg op de Volkerakdam, de z.g. Zoomse weg, werd over de zuidelijk sluishoofden geleid. Het was van groot belang dat deze route, die vermoedelijk zeer druk zou worden, zo min mogelijk door het scheepvaartverkeer werd gestremd. Anderzijds echter was het praktisch niet uitvoerbaar haar zo hoog te ontwerpen dat alle scheepvaart, waaronder drijvende bokken, jachten, coasters, vissersvaartuigen e.d., onder de weg door kon gaan. Er werd daarom tot een compromis besloten: de onderkant van de viaducten over de sluis kwam op NAP + 14 meter, voldoende voor vissersschepen en het gros van jachten. Voor schepen met grotere hoogte werd over de oostelijke sluis een basculebrug ontworpen.

### **De constructie van de schutsluisen**

De beide schutsluisen kregen elk de vorm van een goot waarvan waterdichte bodem en wanden een geheel vormen. Door deze waterdichte constructie van gewapend beton was het uitgesloten dat een verbinding tot stand kwam tussen de grondwaterstand en de waterstand in de sluis. Omdat bovendien de damwandschermen werden toegepast werden lekstromen onder de vloeren en aan weerszijden van de sluis op afdoende wijze bestreden.

Behalve het gekozen type werden nog andere ontwerpen in studie genomen. Zo werd o.m. een constructie onderzocht waarbij de kolkmuur werden gevormd door damwanden, die aan een betonplaat op betonpalen waren verankerd en waartussen een open vloer werd gelegd, afgedekt met stortsteen of een ander waterdoorlatende bekleding. De kosten van deze in technisch opzicht minder aantrekkelijke sluisstypen bleken echter niet zoveel lager te liggen dat de keuze hiervan verantwoord kon worden geacht. De ondergrond ter plaatse van de toekomstige sluisen was als volgt samengesteld:

De bovenste lagen van het terrein, tot een diepte van NAP - 5 meter, bestond uit fijn slibhoudend zand. Onder deze zandlagen bevond zich op de meeste plaatsen een dunne veenlaag. Beneden NAP - 5 meter volgde een kleilaag, waarvan de onderzijde op een peil variërend van ongeveer 5,50 meter tot 10 meter beneden NAP lag. Van de onderkant van de kleilaag tot plaatselijk ongeveer 15 meter beneden NAP strekte zich een slibhoudende laag matig fijn zand uit, terwijl daaronder een laag matig grof tot grof zand met groot draagvermogen werd gevonden.

Beneden het peil van ongeveer 10 meter beneden NAP was de grondslag slap en niet geschikt om te funderen. Daar de onderzijde van de sluisen op NAP - 8 meter tot NAP - 9 meter zou komen te liggen, d.w.z. slechts enkele meters boven de goede grondslag, kwamen drie methoden van funderen voor nader onderzoek in aanmerking. De eerste was het uitbaggeren van de slechte lagen en het aanvullen ervan met goed zand tot de onderzijde van de sluisvloeren. De tweede was het funderen van de vloeren op korte palen die met de punt tot gemiddeld NAP - 12 meter werden geheid. In de derde plaats was het mogelijk de slappe lagen te verwijderen en de vloeren van de sluiskolken iets lager te leggen dan voor de scheepvaart nodig was.

Deze derde methode bleek zowel uit technisch als financieel oogpunt de voorkeur te verdienen. Terwijl de drempels voor de sluisen op NAP - 6,25 meter kwamen te liggen, werden daarom de kolkvloeren beneden NAP - 7,50 meter aangelegd.

De beide sluisen werden zoals gezegd uitgerust met een buitenhoofd, een tussenhoofd en een binnenhoofd. Elk van de zes hoofden werd, in verband met het feit dat zowel van het Haringvliet naar het Volkerak als omgekeerd verval te verwachten was, voor zien van twee stel stalen puntdeuren. Aan dit type deuren werd de voorkeur gegeven omdat zij niet alleen eenvoudig te bedienen waren, doch ook snel verwisseld konden worden in geval van schade. Het vullen en ledigen van de kolk geschied door schuiven die in de deuren werden aangebracht. De deuren worden bewogen door hydraulische duwpersen die bij hoge waterstanden onder water konden komen te staan, maar ook dan bedrijfsklaar bleven. Het elektrisch gedeelte van de bewegingswerktuigen der deuren werd met het oog daarop watervrij of waterdicht opgesteld.

De basculebrug over de oostelijke kolk werd van staal gemaakt. De breedte ervan werd 32 meter, de overspanning bedraagt ca. 30 meter. De brug werd met twee enkele klappen uitgerust om het wegverkeer zo min mogelijk overlast te bezorgen wanneer reparaties en onderhoudswerken werden uitgevoerd. De kelder van gewapend beton, die geheel los van de sluismuur werd gefundeerd, zou als een geheel worden geconstrueerd. Zij werd uitgevoerd aan de Brabantse kant om het uitzicht van het sluispersoneel niet te belemmeren. Er werd overwogen deze kelder van een waterdichte bekleding te voorzien teneinde lekkage door krimp-scheuren te voorkomen.

Het vaste viaduct over het sluiseland en de westelijke sluis werd gemaakt van voorgespannen beton. De lengte van het viaduct werd 114 meter, verdeeld in drie overspanningen.

Het landhoofd aan de westzijde van het viaduct werd zo geconstrueerd dat het ook geschikt was voor de oplegging van een nieuwe basculebrug in het geval tot de bouw van een derde sluis werd overgegaan.

Ook bestond de mogelijkheid, indien de toeneming van het wegverkeer dit noodzakelijk maakte, meer noordelijk een tweede stel bruggen over de sluisen te bouwen, zodat het verkeer ook bij geopende brug doorgang kon vinden.

Behalve de centrale bedieningspost kwam op het sluiseland een kantoorgebouw en bij elk sluishoofd een afzonderlijke bedieningslessenaar voor het geheel mechanisch openen en sluiten van de deuren en schuiven.

Aan de oostzijde van het sluisencomplex werd een machinegebouw gebouwd, waarin de reserve dieselelektrische apparatuur en een magazijn met werkplaats werden ondergebracht.

Overigens werden ten behoeve van een goed bedrijfsvoering en een vlotte afwikkeling van het verkeer op en in de sluisen bolders, haalkommen, peilschalen en stopstrepen aangebracht.

Op de wachtplaatsen en in de voorhavens die op een later tijdstip werden gemaakt, werden voorzieningen als meerstoelen met drijfrahmen en afmeerstoelen met loopbruggen gemaakt. Het ontwerp hiervan was nog niet gereed. Verschillende problemen die o.m. verband hielden met de duwvaart vroegen daarbij om een oplossing.

De schutsluizen in de Volkerakdam werden op 10 januari 1962 onderhands aanbesteed. De laagste inschrijving werd gedaan door de Combinatie Schutsluizen Volkerak.

Deze combinatie werd gevormd door:

- N.V. Amsterdamsche Ballast Mij te Amsterdam;
- N.V. Internationale Gewapend Beton Mij te Breda;
- Ned. Aannemingsmij. V/h fa H.F. Boersma te 's-Gravenhage.

Op 22 januari 1962 werd het werk aan de Combinatie Schutsluizen Volkerak gegund voor een bedrag van f 21177 000, - Er werd begonnen met de inrichting van het werkterrein en met de aanleg van wegen in de bouwput. Ten behoeve van de aanleg van de bronbemaling werd door een open bemaling het waterpeil in de bouwput ca. 1 meter verlaagd tot NAP. De bronbemaling bestond uit 36 pompbronnen, waarbij voor de controle van het grondwaterpeil 21 waarnemingsbronnen werden geplaatst.

De aanleg van de hoofdwatleiding en van de hoogspanningskabel, alsmede het transforma-torgebouw tje ten behoeve van de elektriciteitsvoorziening kwam gereed.

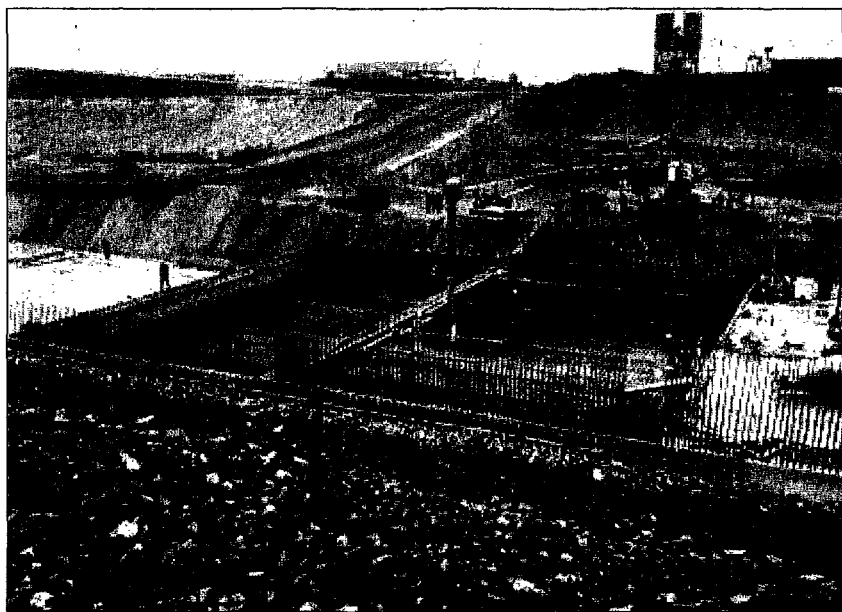
Nadat alle 36 pompbronnen voor de bemaling van het diepe grondwater waren geplaatst kon een aanvang worden gemaakt met het leegpompen van de bouwput. Toen de put droog viel was 600 000 m<sup>3</sup> water via een open bemaling verwijderd. Tijdens deze werkzaamheden bleek de grondwaterstand ter plaatse van de grondlichamen voor de toeritten van de brug onvoldoende snel te dalen. Om te voorkomen dat gronddeeltjes door het uit de belopen tredende grondwater zouden worden meegevoerd, waardoor een kans ontstond op evenwichtsverstoringen, werd besloten een 90-tal drainagepalen te plaatsen. De palen hadden een diameter van 30 centimeter, zij werden aangebracht tot in de beneden NAP - 10 meter gelegen zandlaag waarop de sluizen werden gefundeerd. Per etmaal werd de waterstand daarna met ongeveer 25 centimeter verlaagd, welk tempo tot het einde toe werd volgehouden.

Tijdens de bepalingswerkzaamheden werd 3,5 kilometer verharde weg aangelegd. Er werd gebruik gemaakt van een silex fundering van 20 centimeter dikte met een afdekking van grind en asfalt ter dikte van 5 centimeter. Mede dank zij deze goede wegen kon het droge grondwerk met grotere voortvarendheid worden aangepakt. Vier draglines en 23 vrachtauto's werden ingezet bij de verdere verdieping van de bouwput van NAP - 7,50 meter tot NAP - 10 meter. In totaal moest 180.000 m<sup>3</sup> grond worden uitgegraven en vervoerd.

Begin september 1962 werd begonnen met het heien van stalen damwand ten behoeve van de pijlers van de brug over de sluizen. Voor de rivierwaarts gelegen landhoofden werden de eerste paalschermen geheid. Drie van de zeven kranen die werden opgesteld kwamen in bedrijf. Met de montage van de vierde werd een aanvang gemaakt.

Nu het niveau van het diepe grondwater afgemalen was tot ongeveer 11 'a 12 meter beneden NAP was het mogelijk alle werkzaamheden ten behoeve van de sluizen in den droge uit te voeren. Om deze grondwaterstand te handhaven waren 32 pompbronnen in bedrijf.

Het waterbezwaar bedroeg ca. 1500 m<sup>3</sup> per uur. Er werd geloosd door twee afvoerleidingen in het Volkerak. Voorzieningen moesten worden getroffen om uit de belopen van de bouwput tredende ondiepe grondwater op te vangen om inkalven te voorkomen. Daartoe werd het beloop afgewerkt onder een helling van 1: 2 en over de onderste 3 meter bedekt met een drainage laag bestaande uit grof zand en grind ter dikte van ca 20 centimeter. Het gedeelte met de filterglooiing vormde het talud van een ondiepe sloot die in een bestaande berm was uitgegraven. Het uit de belopen tredende water alsook het oppervater werden in deze sloot opgevangen, in bassins verzameld en door vier klokpompen naar het Volkerak gevoerd. De slechte weersomstandigheden en het zeer moeilijk bereikbaar zijn van de stortplaatsen maakte dat de verdere ontgraving van de bouwput in begin november 1962 slechts langzaam vorderde. Na het invallen van de vorst had het grondwerk goed vorderingen gemaakt. Met 20 auto's werd gereden. Voor de paalschermen ten behoeve van het westelijke landhoofd van het viaduct werden 155 betonpalen van elk 13,50 meter lengte geheid. De stalen damwandkuipen voor de pijlers van het viaduct waren gereedgekomen, evenals de schermwanden voor een drietal moten van beide sluizen.



*Sluisloer in aanbouw*

Medio november werd een begin gemaakt met het storten van de werkvloeren voor de sluizen. In de tweede helft van december werden de funderingssleuf van een der pijlers van het viaduct en de eerste vloermoot van de westelijk sluis gestort.

In de maanden januari en februari 1963 heeft het werk ten gevolgen van de strenge vorst zo goed als stil gelegen. Begin maart werden de werkzaamheden hervat. Tegen het einde van maart werden vier sluisvloeren en twee funderingen van pijlers van het viaduct gestort, waarbij ca. 5.000 m<sup>3</sup> beton werd verwerkt.

Wel kon in de vorstperiode de uit de bouwput afkomstige grond, die was afgekeurd, naar de, onder normale omstandigheden

uitermate moeilijk bereikbare, stortplaatsen in de polder Maltha worden vervoerd. Het betrof een hoeveelheid van 35.000 m<sup>3</sup>. De ontgraving ten behoeve van de schutsluizen kwam hierdoor vrijwel gereed.

Tussen 1 april en 1 juli 1963 hadden de werkzaamheden aan de schutsluizen goede vorderingen gemaakt. In totaal werden 12 vloeren van beide sluisen gestort, waaronder begrepen de vloeren van de noordwestelijke hoofden.

Het opbouwen van de rijdende bekistingen voor de wanden van de schutkolken kwam gereed. De eerste twee wanden van de tweede sluis werden eind juni gestort. Bij het gereedkomen van de grote bouw-elementen, zoals de rijdende bekisting, zijbekisting enz., nodig voor de bouw van de twee schutsluizen, was een fase ingetreden, die een regelmatig verloop van de bouw kon doen verwachten. Van het viaduct over beide sluisen kwam het heiwerk van stalen damwand en betonpalen voor het westelijke landhoofd gereed.



*Sluisvloer met drempel.*

Begonnen werd met het heien van betonpalen voor het oostelijk landhoofd. Voortgegaan werd met de verdere opbouw van de pijlers. Het maken van de fabricageplaats voor de voorgespannen balken kwam nagenoeg gereed. Medio juni werd de stalen bekisting voor het vervaardigen van deze balken aangevoerd.

In een zeer hoog tempo werd het maken van de vloeren voor het sluisencomplex voortgezet. De vloermoten van de tussenhoofden waren reeds gepasseerd. Vanaf 1 april werden reeds 20 vloermoten gestort.

De opbouw van de wanden vorderde goed, alhoewel minder snel dan de vloeren. Van de eerste 4 moten van beide sluisen werden de wanden gestort. Ook hier werd gestreefd om het tempo op te voeren. Dit zou eerst gerealiseerd kunnen worden na het passeren van het benedenhoofd, waar de schutkolkwanden meer gelijkmatig van vorm waren en met de bekisting zonder wijzigingen gerepeteerd kon worden.

Tot nu toe was in totaal ongeveer 45.000 m<sup>3</sup> beton gestort, waarin ca. 5.000 ton wapeningsstaal werd verwerkt.

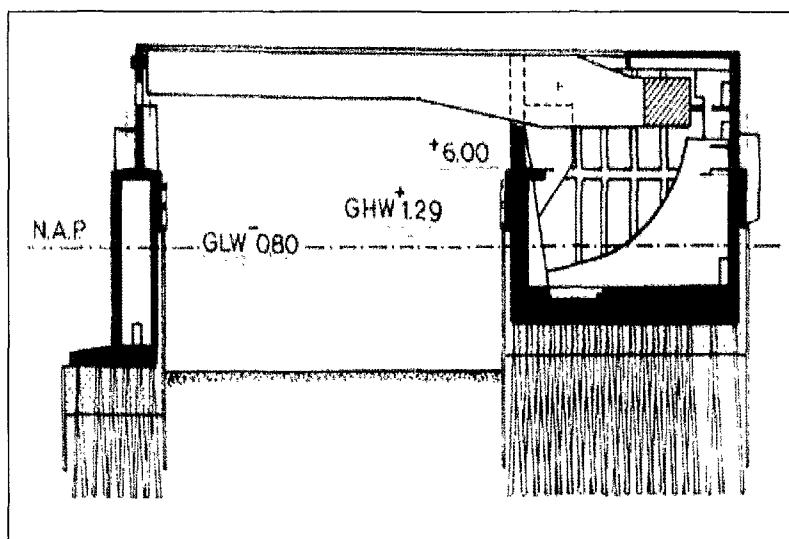
Van het viaduct kwam het landhoofd aan de rivierzijde en de eerstvolgende pijler gereed. Met de opbouw van de andere pijlers werd voortgegaan.

Het heien van de betonpalen voor het landhoofd van de aanbrug kwam gereed. Het heien van de betonpalen voor de basculekelder was in volle gang. Eerst werd een daartoe benodigde grondaanvulling aangebracht.

De afbouw van de fabricageplaats voor voorgespannen balken kwam gereed. Met de vervaardiging van 38 meter lange en 80 ton wegende balken, waarmede de drie overspanningen van het viaduct gemaakt zouden worden, werd begonnen.

Het hoge tempo van het maken van de sluisvloeren kon gehandhaafd worden. Door het invallen van de vorst werden de werkzaamheden aan de sluisbouw en het viaduct op 9 december 1963 onderbroken.

Het transport van grond voor aanvullingen kon echter ongehinderd worden voortgezet.



*Doorsnede basculebrug*

In totaal waren 40 vloermoten van de sluisen gestort, waaronder begrepen de 4 vloeren van de beneden- en tussenhoofden. Er bleven nog 16 vloeren te voltooien als mede de bovenhoofden. De opbouw van de schutkolkwanden vorderde gestaag. Verwacht werd dat, nu het benedenhoofd was gepasseerd, ook hiervan het tempo behoorlijk kon worden opgevoerd. De kopwanden van het sluiseland, die de verbinding vormen tussen beide sluisen, waren gereed. Van de fuiken die ter weerszijden op de sluisen aansluiten waren vier van de in totaal 8 te maken vloeren gestort.

Van het viaduct waren twee pijlers en het meest rivierwaarts gelegen landhoofd gereed. De opbouw van de volgende pijler en het landhoofd van de brug was in volle gang. De voorgespannen balken van het viaduct werden na de vorstperiode aangemaakt. Er werd ook een begin gemaakt met de fabricage van de eindblokken voor deze balken.

Van de 333 betonpalen voor de fundering van de basculekelder werden er 84 geheid.

Ter weerszijden van de schutkolkmuren (tweede sluis), nabij het viaduct, werden tot aan de bovenkant de grondaanvullingen voltooid. In het plateau waarop ook de dienstwoningen werden gebouwd, was een bouwput ten behoeve van het machinegebouw gegraven.

Hoewel de vorstperiode van de winter 1963-1964 niet zo'n indruk had gemaakt als de bijna drie maanden durende vorst in de winter 1962-1963 had de winter ook dit jaar vrij veel oponthoud veroorzaakt bij de uitvoering van de werken. De bouw van de

schutsluizen werd door de verschillende vorstperioden tot vier maal toe onderbroken, hetgeen een achterstand van ongeveer 1 ½ maand tengevolge had. Juist deze terugkerende onderbrekingen werkten remmend op de bouw. Niettemin was het storten van de sluisvloeren bijna voltooid. Er restte nog het storten van twee eindvloeren met de aangrenzende fuikvloeren.

De opbouw van de zeer bewerkelijke hoofden was in volle gang. Het eerste gedeelte van de wanden van het benedenhoofd van de tweede sluis werd gestort. Bij het maken van de wanden voor het schutkolkgedeelte werd het tempo opgevoerd. Men had nu het halverwege tussen het beneden- en tussenhoofd gelegen gedeelte bereikt.

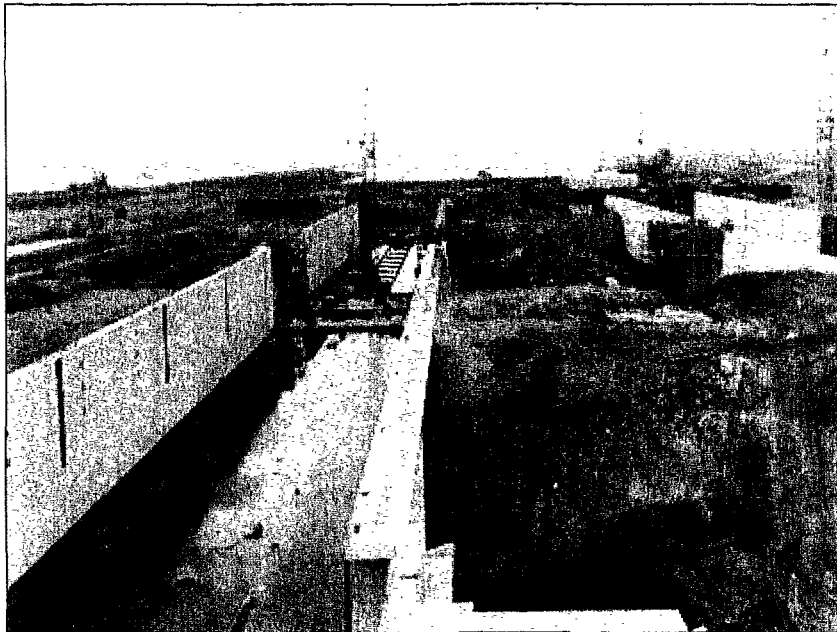
Voor het viaduct was men verder gegaan met de opbouw van pijler A en het landhoofd van de brug. Een begin werd gemaakt met het vervaardigen van de 38 meter lange voorgespannen balken. Van de 56 te maken balken waren er 4 gestort. Voor het op de pijlers brengen van deze 72 ton wegende balken werden hijstorens opgesteld en andere voorzieningen getroffen.

Het heien van de 333 betonpalen voor de basculebrug kwam gereed. Tevens werden de betonpalen voor het machinegebouw geheid.

De grondaanvullingen en ontgravingen ten behoeve van het sluizencomplex werden voortgezet.

In het voorjaar 1964 kwam men gereed met het storten van de sluisvloeren. Nu moesten alleen nog de twee aangrenzende fuikvloeren aan de Volkerakzijde worden gemaakt. Het storten van de schutkolkwanden maakt goede vorderingen; het tussenhoofd was in beide sluizen gepasseerd. De contouren van het sluizencomplex begonnen zich thans duidelijk af te tekenen, aangezien de wanden van het benedenhoofd gestort werden tot NAP + 1,25 meter en de opbouw van het tussenhoofd in volle gang was.

Er was in totaal 110.000 m<sup>3</sup> beton gestort, waarin ongeveer 10.000 ton wapeningsstaal was verwerkt. De opbouw van de beide laatste peilers voor het viaduct vorderde gestaag. Het vervaardigen en plaatsen van de 38 meter lange voorgespannen balken stagneerde door het volgende voorval.



*De sluiswanden zijn gereed*

Een zestal van deze liggers was geplaatst, tegen elkaar afgestempeld en aan de pijlers bevestigd. Gedurende de afvrijzingswerkzaamheden van de zevende ligger kantelde deze. Waarschijnlijk was reeds tijdens de kanteling de onderrand van de balk door de werking van de voorspankracht van 500 ton geknikt en uiteengespat, hetgeen uiteraard plaats kon vinden bij balken van deze constructie. Als gevolg hiervan werd de zesde balk of door het kantelen of door spattende stukken van de zevende balk geraakt en is zelf eveneens omgevallen en gebroken. Dit proces heeft zich als een kettingreactie voortgeplant op de overige balken, die alle zes vernield werden. Persoonlijke ongelukken deden zich niet voor.

De vloer van de basculekelder werd gestort. De diepwaterkelder van het machinegebouw kwam gereed. De grondaanvullingen ten behoeve van het sluizencomplex werden voortgezet. Het zwaartepunt vormden hierbij de aanvullingen ter plaatse van het centraal bedieningsgebouw op de middenberm. Het heiwerk voor dit gebouw vorderde goed.

De schutkolkwanden van beide sluizen kwamen medio oktober 1964 gereed. Met de afbouw van de benedenhoofden alsmede met het zuiver stellen van de onder- en zijanslagen werd een aanvang gemaakt. De wanden van beide tussenhoofden waren gestort tot N.A.P. + 1,25 meter. Tevens werd gewerkt aan de hierop aansluitende wanden, waarin de deurkassen zijn uitgespaard. De opbouw van de bovenhoofden vorderde gestaag. Van het viaduct kwam het laatste stort van de laatste pijler gereed.

Het vervaardigen en plaatsing van voorgespannen liggers op de reeds gestorte pijlers vorderde in snel tempo. Op enkele liggers na werd het tweede veld van 14 liggers geplaatst. Voorbereidingen werden gemaakt voor de afbouw van het eerste veld.

Ongeveer half oktober 1964 werden de wanden van de basculekelder gestort tot N.A.P. + 4,80 meter. De voorgespannen betonpalen voor het centraal bedieningsgebouw en compressorengedeeft werden geheid. Tevens werden stalen schermwanden geheid ter plaatse van de beneden- en middenhoofden. De grondaanvullingen ten behoeve van de gebouwen vorderden snel.

De beneden- tussen- en bovenhoofden bevonden zich in verschillende fasen van afbouw. Tevens werd gewerkt aan de erop aansluitende wanden, waarin de deurkassen waren uitgespaard. De benedenhoofden met aangrenzende wanden waren zo goed als gereed. Van de 8 fuikwanden die aan de zuidzijde aansluiten op het sluizencomplex, werden er vier gestort. De 38 meter lange voorgespannen liggers voor het viaduct kwamen gereed en werden op pijlers geplaatst. De afbouw van het eerste veld werd ter hand genomen. Begonnen werd met het maken van 24 meter lange voorgespannen liggers voor de aanbrug. Men was voorts bezig de wanden van de basculekelder tot N.A.P. + 12,65 meter op te trekken en de vloer van het centraal bedieningsgebouw te leggen.

Aan de zuidzijde van de sluizen werden stalen vleugelwanden geheid. Aan de noordzijde kwam een gedeelte gereed. In de periode april tot juli 1965 werden de werkzaamheden aan de beide 450 meter lange sluizen in een zeer hoog tempo voortgezet. De eindfase was nu ingetreden, en medio juli werd het laatste beton in de sluizen verwerkt. Totaal werd dan 150.000 m<sup>3</sup> beton gestort, waarin 13.000 ton wapeningsstaal werd verwerkt. De werkzaamheden aan het viaduct vorderden gestaag. Twee velden kwamen gereed en werden voorgespannen, terwijl men het derde en tevens laatste veld voor de bouwvakvakantie stortte. De wanden van de basculekelder waren nu gestort tot N.A.P. + 12,65 meter.



Alles werd nu gereed gemaakt voor het leggen van de 24 lange voorgespannen balken voor de aanbrug, en het inhangen - in september - van de basculebruggen.

Op het sluiseland werd voortgegaan met het compressorengedebouw en de gebouwtjes op de hoofden.

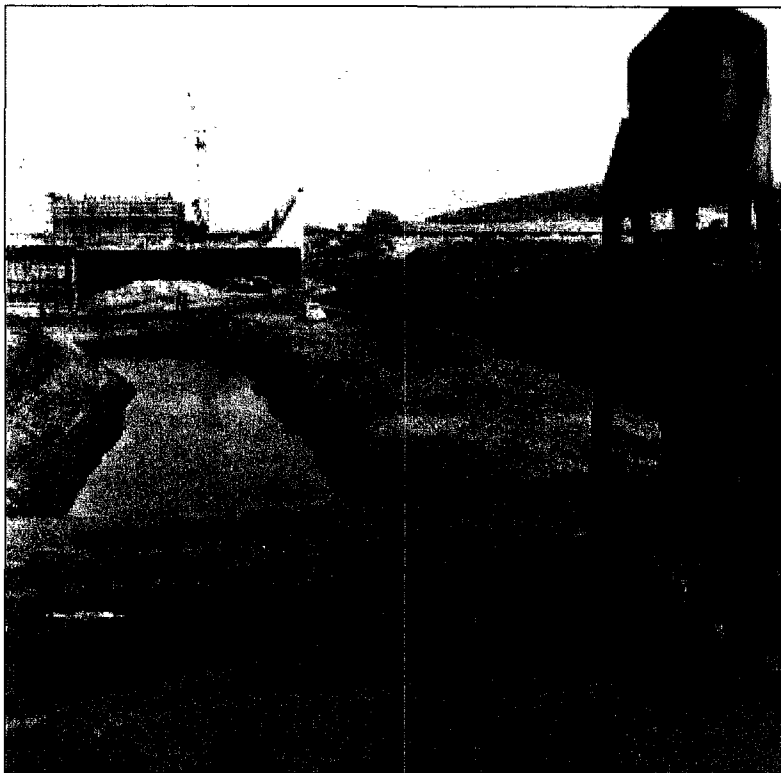
De grondaanvullingen ten behoeve van beide sluisen werden voortgezet terwijl achter de fuikwanden grinddrainages werden aangebracht.

Het maken van de stortebedden en aansluitende dijken aan beide zijden van de sluisen werd in geforceerd tempo ter hand genomen. Het gedeelte beneden N.A.P. + 0,75 kwam aan de Volkerakzijde nagenoeg gereed.

In juli 1965 kwam het betonwerk aan de beide sluisen gereed, geheel overeenkomstig het tijdschema dat maanden tevoren was opgesteld in verband met het invaren van de vierentwintig sluisdeuren en twee basculebruggen.

Om het stortebed aan de zijde van het Hollandsch-Diep en de taluds beneden N.A.P. + 0,75 meter in de eerste week van augustus gereed te krijgen moest met veertig arbeiders in de bouwvakvakantie worden doorgewerkt. Op 4 augustus kon worden begonnen met het inunderen van de bouwput. Daartoe werden eerst alleen de pompen van de bronbemaling ingeschakeld, daarna de zuiger ' Amsterdam ' en het tijdelijke pompstation voor de waterinlaat van het waterschap ' De Striene '. De capaciteit bedroeg toen 350 m<sup>3</sup> per uur. Op vrijdag 13 augustus 1965 werd in de bouwput een waterstand bereikt van N.A.P. Op 19 augustus werd de korte ringdijk aan de Hollandsch-Diep zijde doorgebaggerd, waardoor de sluisen met het buitenwater in verbinding werden gebracht. Vervolgens werd een vaargeul gebaggerd voor het inhangen van de sluisdeuren. Deze geul kwam tijdig gereed; van 8 t/m 10 september 1965 werden 12 sluisdeuren ingehangen.

Voor het afwerken van het sluisencomplex restte nu nog de zeer bewerkelijke bedieningsgebouwen en de verdere afbouw van viaduct en aanbrug. Het dek van de basculekelder kon eerst worden afgewerkt na het plaatsen van de twee basculebruggen.



*Brugkelder in aanbouw gezien vanaf de zuidzijde.*

*Sluis 1 met brugkelder.*

Begin september 1965 werd het werk ten behoeve van de stortebedden en dijken met oevervoorzieningen ter weerszijden aansluitend op het sluisencomplex voor de eerste maal opgeleverd, binnen de daartoe gestelde termijn.

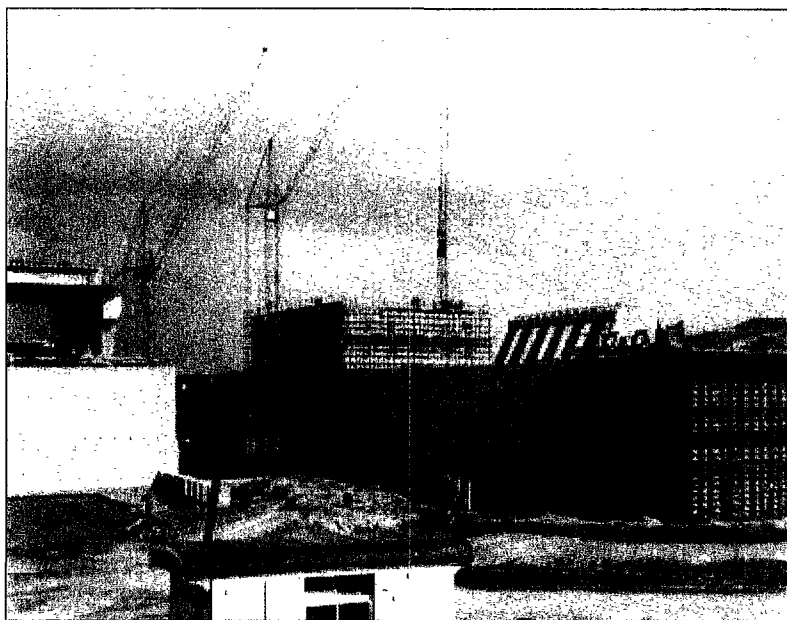
Op 1 augustus 1965 werd met de aannemerscombinatie ' Willemstad ' een onderhandse overeenkomst gesloten voor het doorgraven van het zuidelijk en noordelijk ringdijkgedeelte van de bouwput en het aanvullen van de sluiserterreinen voor een bedrag van f 2.237.500, -.

De cutterzuiger ' Holland XVIII ' was begonnen met het wegbaggeren van de korte ringdijk met aangrenzende terreinen aan de zijde van het Hollandsch-Diep. De uitkomende goede specie werd verwerkt in de aanvulling van het sluiseland als ook ten oosten van de eerste sluis.

De afbouw van de zeer bewerkelijke bedieningsgebouwen maakte in de periode oktober 1965 - januari 1966 goede vorderingen. De werkzaamheden aan het viaduct kwamen nagenoeg gereed, die aan de aanbrug werden nog voortgezet.

Op 13 oktober en 16 november 1965 werden respectievelijk de kleine en de grote basculebrug ingevaren. En op hun plaats gebracht. Na het ballasten van de staarten van de bruggen werd de verdere afbouw van de basculekelder ter hand genomen.

Op 17 en 18 november 1965 werden acht stalen puntdeuren in de eerste sluis ingehangen. Bij het sluiten van de deuren bleken de voorharren niet te sluiten. De opening tussen twee deuren varieerde van 12 tot 19 mm. Met behulp van een duiker werd de opening onder water nauwkeurig opgemeten. De bevestiging van de houten voorharren werd losgenomen, waarna de voorharren werden verwijderd. Hierna kon een stalen strip ter dikte van de gemeten opening worden geplaatst, en de voorharren opnieuw worden

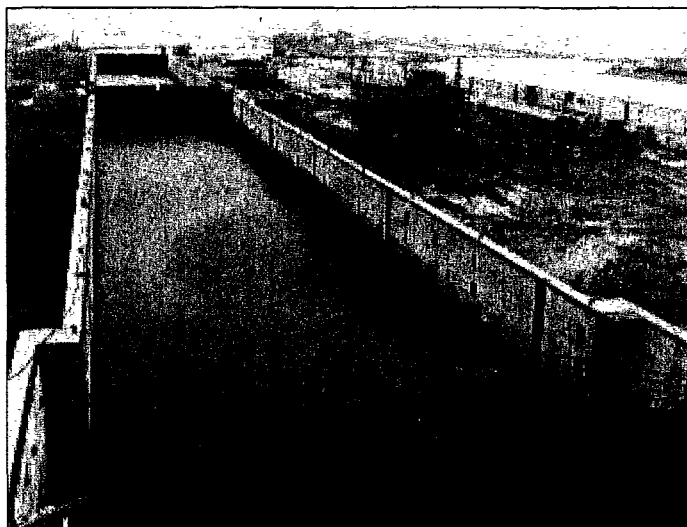


gemonteerd. Deze ingreep veroorzaakte geen vertraging in de voortgang van de andere werkzaamheden aan de sluis.

Bij de daarna te plaatsen deuren werd het mogelijk gemaakt kleine maatverschillen op eenvoudige wijze te corrigeren. Nog vier deuren werden begin januari geplaatst, terwijl in een tijdelijke deurenbergplaats twee reserve deuren werden opgeslagen. Deze deurenbergplaats was nabij gebouw K. Hier zijn nog de betonnen palen te zien waar de sluisdeuren op lagen. Aan de landzijde lagen de sluisdeuren op houten blokken. De definitieve deurenbergplaats kon eerst worden gebouwd wanneer de in gebruik zijnde werkterreinen aan de waterzijde konden worden ontruimd.

De grondaanvullingen voor het sluisencomplex vorderden snel.

Het op diepte baggeren van dat gedeelte van de voorhaven aan de Hollandsch-Diep zijde dat het sluisencomplex met de voorhaven verbindt, kwam gereed. Men begon ook met het wegbaggeren van de korte ringdijk met aangrenzende terreinen aan de Volkerakzijde.



*Bouw van de sluisen en bedieningsgebouw*

Op 6 december 1965 werd deze dijk doorgebaggerd, zodat het buitenwater ook van deze zijde met de sluisen in verbinding werd gebracht.

De uitkomende goede specie werd verwerkt in de sluisaanvullingen; de niet bruikbare specie werd geborgen in een gronddepot in de buitenpolder Maltha.

In de periode januari tot april 1966 kwamen de bedieningsgebouwen op het sluiseland gereed; de werkzaamheden aan het centraal bedieningsgebouw werden voortgezet.

Er werd begonnen met het aanbrengen van de ondersteuning en de daarop rustende bekisting voor het dek van de basculekelder. Het betonwerk van de aanbrug kwam gereed. Er resteerde nog het maken van de keerwanden en vleugels van het landhoofd van de aanbrug en het viaduct, alsmede de verdere afwerking. De grondaanvullingen ter plaatse van de landhoofden kwam gereed. De afbouw van de bedieningsgebouwen en het dek van de basculekelder werd voortgezet. Er werd een begin gemaakt met het aanbrengen van de zuilenbekleding op de taluds bij de landhoofden. Het werk was nu zover gevorderd, dat de eerste oplevering zou kunnen plaatsvinden op 15 oktober 1966. Door derden werd begonnen met het aanbrengen van bewegingswerktuigen op de sluisdeuren en de elektrische installatie.

De bouw van het schutsluisencomplex was voor wat het betonwerk aangaat voltooid. Op 26 januari 1962 nam dit werk een aanvang en op 15 oktober 1966 werd het voor de eerste maal door de aannemer opgeleverd.

De bewegingswerktuigen voor de sluisdeuren in de buitenhoofden werden gemonteerd en van hun elektrische installatie voorzien. In de middenhoofden werden deze voorzieningen pas later aangebracht. De basculebruggen werden ook van hun bewegingswerk voorzien. Er werd een aanvang gemaakt met het aanbrengen van de nautische beseining en de verdere inrichting van de voorhavens.

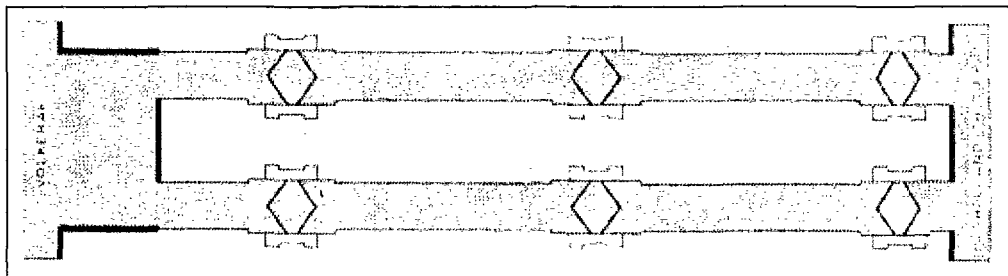
In de periode tussen juli en oktober 1967 kwam de nautische beseining in de voorhavens gereed; een proef met de basculebruggen over de sluisen was naar wens verlopen. Bij de hydraulische bewegingswerken voor de sluisdeuren waren echter moeilijkheden opgetreden, die door aanbrengen van vereenvoudigingen opgeheven werden, zodat de deuren bedrijfsklaar waren.

#### **Het drainagesysteem achter de L-muren van de Volkeraksluisen**

Het sluissterrein van de Volkeraksluisen werd aangelegd op een hoogte van N.A.P. + 5 meter. Het gedeelte van dit sluissterrein buiten de hoofden van beide schutkolken werd begrensd door L-vormige keermuren. De bodem van de havens buiten deze keermuren werd aan de noord en zuidzijde gebracht tot een diepte van respectievelijk N.A.P. - 6 en - 7 meter.

De achter de keermuur aan te brengen grondmassa zal een drukkracht gaan uitoefenen op deze muur. Bij buitenwaterstanden, lager dan het grondwaterpeil, zal ook het water in het grondmassief een horizontale drukkracht op de muur uitoefenen, in dezelfde richting als de gronddruk.

Om het buigend moment door die twee krachten op de openstaande wand van de L-muur te verkleinen werd besloten achter de muur een drainage systeem aan te brengen, waardoor de waterdruk op de muren en dientengevolge ook het buigend moment in belangrijke mate wordt gereduceerd.



*Plaats L muren met filter*

Het sluissterrein werd aangeaard met zand, dat gedeeltelijk in de naaste omgeving in de rivier werd gewonnen, en met behulp van een bakkenzuiger in het werk geperst werd. Het is duidelijk dat vooral tijdens dit werk grondwaterstanden zouden voorkomen, die - indien er geen drainagesysteem was - zeer grote waterdrukken op de keermuur zouden uitoefenen. Via de aan te brengen drainage en voor een klein gedeelte via de slecht doorlatende ondergrond zou het perswater kunnen afvloeien, totdat de normale

grondwaterstand, ongeveer gelijk aan N.A.P., was bereikt. De schommelingen in de grondwaterstand in het grondmassief ten gevolgen van het verticale getij aan de buitenzijde van de keermuur zouden gering zijn, daar de grondwaterstroom in het fijne aanvullingszand een grote weerstand ondervond.

Hoge grondwaterstanden konden ook verwacht worden wanneer bij stormvloed het sluissterrein enig tijd onder water had gestaan. Gedurende de overgangperiode, waarin het Volkerak was afgesloten en de Oosterschelde nog open was, had de waterstand van N.A.P. + 5 meter aan de zuidzijde van de Volkeraksluizen een gemiddelde overschrijdingskans van  $1,4 \times 10^{-2}$ , hetgeen wil zeggen dat deze stand gemiddeld eens in de honderveertig jaar bereikt of overschreden werd. Na de afsluiting van de Oosterschelde was de kans dat het sluissterrein bij stormvloed nog eens onder water zou komen te staan, maar dan via de noordzijde, zo klein, dat men er geen rekening meer mee moest houden.

Bij harde oostelijke winden treedt een verlaging van de zeestanden op. Men noemt dit verschijnsel afwaaiing. Ook bij afwaaiing konden grote wateroverdrukken tegen de keermuur verwacht worden, daar de grondwaterstand in het zandpakket achter de muur deze extra verlaging van de buitenwaterstand niet zo snel kon volgen.

Het doel van het drainagesysteem was, de grondwaterstand vlak achter de muur gelijk te houden met de variërende buitenwaterstand. Dit kon bereikt worden door achter de muur een pakket van grof materiaal aan te brengen, waarin de grondwaterstroom praktisch geen weerstand ondervond. Door gaten in de muur staat deze laag in verbinding met het buitenwater.

Voor een goede werking van het filter, het vermijden van wateroverdruk, kon evenwel niet worden volstaan met een dunne strook grof materiaal. Dan immers is de grondwaterstand in het grove materiaal wel gelijk aan de buitenwaterstand, maar in het fijne aanvullingszand bleef de grondwaterstand praktisch constant, en zo trad er bij een geringe dikte van het filter nog geen reductie van betekenis van de druk tegen de muren op. Bij een laagwaterstand van N.A.P. - 2 meter aan de buitenzijde van de L-muur zou bijvoorbeeld de grondwaterstand in het zandlichaam ongeveer N.A.P. liggen. Over een lengte van ongeveer 2 meter, gerekend vanaf de laag grof materiaal, vertoonde zich dan in het zandlichaam een verval van twee meter. Over deze kleine afstand kon het drukverschil in het grondwater niet volledig door horizontale schuifspanningen in de grond worden opgenomen, zodat de horizontale korrelspanning toenam. Deze vergroting van de horizontale korrelspanning zou tenslotte door de keermuur moeten worden opgenomen. Een reductie van de horizontale gronddruk op de muur werd wel bereikt als het filter horizontaal voldoende dikte kreeg.

Was men in staat, het verhang van de grondwaterspiegel kleiner te maken, met andere woorden, het verval over een grotere lengte te verdelen, dan konden de horizontale schuifspanningen in het massief de gehele grondwaterdruk opnemen en afleiden naar de ondergrond, zodat door het grondwater geen extra kracht op de openstaande wand van de keermuur werd uitgeoefend.

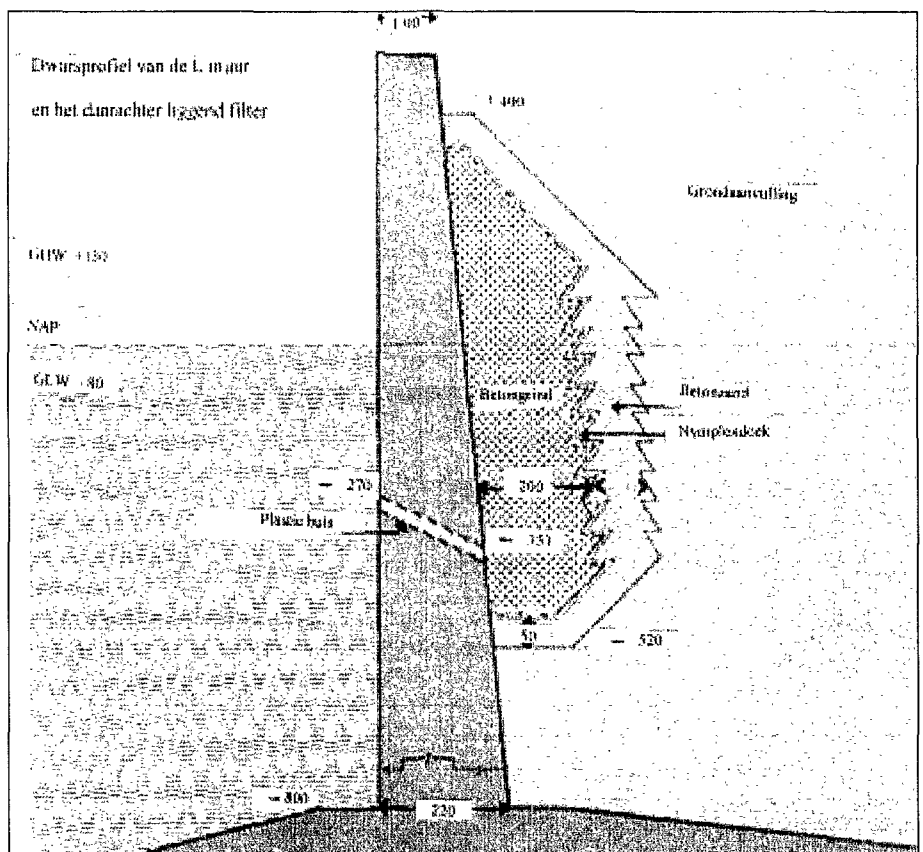
Bij het ontwerpen van het drainage systeem dienden de volgende vragen te worden beantwoord:

1. Welke materialen komen voor toepassing in aanmerking;
2. Op welke wijze moet het filter worden opgebouwd ( van grof naar fijn ), zodat de grensvlakken tussen de lagen van verschillend materiaal stabiel zijn. Door de grondwaterstroom mogen geen fijne deeltjes van de ene laag naar de andere worden meegevoerd;
3. Welke lengte moet het filter bij een bepaalde keuze van materialen krijgen, willen de schuifspanningen de hele stromingsdruk kunnen opnemen.

Als materialen werden betongrind en betonzand gekozen; deze materialen waren in voldoende mate en tegen redelijke prijzen verkrijgbaar, en hun samenstelling liep niet al te sterk uiteen.

De stabiliteit van de grensvlakken tussen betongrind en betonzand en fijn aanvullingszand werd met behulp van enkele proeven onderzocht in het laboratorium van de afdeling Waterhuishouding van de Deltadienst. Uit het onderzoek bleek, zoals te verwachten was, dat de overgang tussen betongrind en betonzand te plotseling was, en dat het grensvlak niet stabiel bleef. Deze moeilijkheid werd ondervangen door tussen deze twee lagen een gewezen doek van polyethyleen garen, zogenaamde Nymplex, aan te brengen. Dit doek is wel waterdoorlatend, maar laat het betonzand vrijwel niet door. Uiteindelijk werd voor het filter de volgende opbouw gekozen:

- Een eerste laag van betongrind met een gemiddelde dikte van twee meter, horizontaal gemeten;
- Een tweede laag van Nymplex doek ;
- Een derde laag van betonzand met een gemiddelde dikte van 0,80 meter, horizontaal gemeten.



Dwarsprofiel van L. muur met filter

De gaten in de L-muur werden gevormd door plastic buizen met een diameter van 19 centimeter, die voor het storten van het beton werden aangebracht op een onderlinge afstand van 1,60 meter hart op hart. Om uitspoelen van de betongrond te voorkomen werden de buizen in een schuine stand geplaatst en werd bij de opbouw van het filter rondom de opening van de buizen aan de achterkant van de muur zeer grof grind aangebracht.

De opbouw van het filter achter de L-muur vond in den droge plaats. Afwisselend werd in horizontale lagen van 0,50 meter eerst het betonzand aangebracht, dan het Nymplex doek omhooggerold, daarna de laag betongrond en tenslotte het fijn aanvullingszand omhoog gebracht. Door deze wijze van opbouw ontstond in het filter een zaagtandvorm. Na het gereedkomen van het hele drainagesysteem kon de rest van het sluissterrein met geperst zand worden aangevuld. Een moeilijkheid die bij bijna alle filterconstructies voorkwam, vormde het in het buitenwater aanwezige slib. Bij stijgend water stroomde het water door de gaten in de muur het filter binnen. Het was mogelijk dat het meegevoerde slib in het filtermateriaal tot bezinking kwam, zodat het filter op den lange duur verstopt raakt. Bij vallend water echter zouden dan de waterdrukken in het filter oplopen, en er bestond een redelijke kans dat het neergeslagen slib werd weggedrukt en weer naar buiten spoelde. Enige zekerheid hierover kon echter vooraf niet worden verkregen. In ieder geval werd bij de demensionering van de keermuur toch rekening gehouden met een wateroverdruk die overeenkwam met een waterstandsverschil van twee meter. Verwacht werd, dat bij het opsprengen van het sluissterrein het filter goede diensten zou bewijzen.

#### **De ringdijk en de aanvulling der sluissterreinen**

De sluissterreinen werden nagenoeg geheel onder profiel gebracht. Een aanvang werd gemaakt met het aanbrengen van de kleibekleding op deze terreinen. De aanvulling van de kil tussen het landhoofd en het bestaande grondlichaam kwam gereed. Hierin werd ca. 25.000 m<sup>3</sup> zand verwerkt. De taluds van dit grondlichaam werden afgedekt met klei.

In de periode oktober 1966 tot januari 1967 kwam het aanbrengen van de 30 centimeter dikke kleilaag gereed. Een begin werd gemaakt met de aanleg van wegverhardingen en paden langs de sluiscolken.

Op 1 februari 1967 werden deze werken voor de eerste maal voltooid opgeleverd. Na een onderhoudsperiode van 4 maanden vond de eindoplevering plaats.

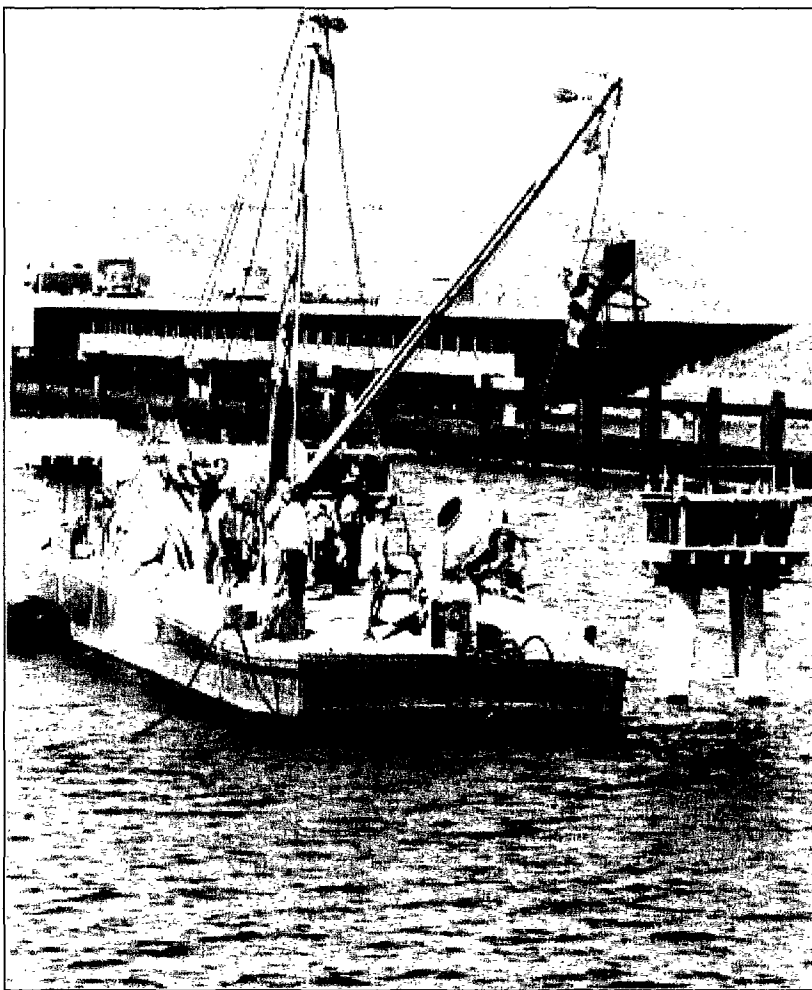
Op vrijdag 3 november 1967 te 09.00 uur werd het schutsluizencomplex voor de scheepvaart opengesteld. Hiermede werd een bouwtijd van ruim 7 jaar afgesloten die aanving toen midden 1960 met de aanleg van de bouwput werd begonnen.

#### **Geleidewerken en wachtplaatsen voor de Volkeraksluizen**

De geleidewerken werden voor een bedrag van f 15.956.853, - bij onderhandse overeenkomst opgedragen aan Mannesmann Nederland N.V. In mei 1965 werd begonnen met het inrichten van het werkterrein. Er werden 110 meter lange en 11 meter brede conserveringsloodsen gebouwd. In deze loodsen werden de stalen buizen en gewalste profielen door een straalprocédé metallistisch blank gemaakt, waarna in drie lagen 350 micron Inertol R werd aangebracht. Tevens werd een grote zaagloods gebouwd voor het verwerken van 3250 m<sup>3</sup> tropisch hardhout, azobe hout.

Het werkterrein werd over de gehele lengte bereikbaar voor twee 20-tons portaalkranen. De railbanen voor deze kranen leiden naar een aan de kop van het werkterrein gemaakte haven, waar de materialen werden gelost en geladen. Er werd begonnen met het heien van betonpalen voor de looppaden en wachtplaatsen aan de Hollandsch-Diep zijde, het vervaardigen van hardhouten beschermingsschorten voor de drijvende geleidewerken, en met de werkzaamheden ter conservering van de stalen buizen en andere stalen onderdelen.

Op de toeleveringsbedrijven was men bezig met het maken van betonpalen, betonnen loopbruggen en 30 meter lange secties en andere stalen onderdelen voor geleidewerken.



*Betonstorten voor poeren looppaden remmingwerk*

In de periode oktober 1965 - januari 1966, werd voortgegaan met het heien van de betonpalen voor de ondersteuning van de betonnen loopbruggen in de noordelijke voorhaven; stalen buispalen werden geheid voor de wachtplaatsen en de drijvende geleidewerken.

Het ter conservering staalstralen en in drie lagen aanbrengen van Intertol R op de drijvende en vaste secties, buispalen en schortbeslag werd voortgezet. De vervaardiging van hardhouten beschermingsschorten verliep in hoog tempo. Eind december 1965 werd met een bok de eerste drijvende sectie van dertig meter lengte gesteld.

Bij de jaarwisseling lagen reeds negen secties op hun plaats. De werken hadden een goed verloop.

Het heien van de betonpalen voor de ondersteuning van de betonnen loopbruggen in de noordelijke voorhaven kwam begin maart 1966 gereed, terwijl het heien van de stalen buispalen werd voortgezet.

In de noordelijke voorhaven werden de 300 meter lange drijvende geleidewerken aan weerszijden van de haven geplaatst en aan elkaar gelast.

Een begin werd gemaakt met het plaatsen en het vastlassen van de 30 meter lange secties voor de vaste geleidewerken. De dukdalven voor de centrale wachtplaatsen kwamen nagenoeg gereed.

Alle stalen buispalen voor de geleidewerken en wachtplaatsen in de noordelijke voorhaven werden geheid. De betonnen loopbruggen werden geplaatst en aaneengekoppeld. Voortgegaan werd met het ophangen van de hardhouten beschermingsschorten. In de zuidelijke voorhaven werd begonnen met het heien van voorgespannen betonpalen voor de ondersteuning van de betonnen loopbruggen.

Ter weerszijden van de voorhaven kwam het heiwerk over en gedeelte van 600 meter gereed. Er werd een begin gemaakt met het heien van stalen buispalen voor de drijvende geleidewerken. Het conserveren van de stalen onderdelen en het vervaardigen van hardhouten beschermingsschorten werd in een hoog tempo voortgezet.

De geleidewerken en wachtplaatsen in de noordelijke voorhaven kwamen, behoudens kleine afbouwwerkzaamheden, gereed.

In de zuidelijke voorhaven werden alle stalen buispalen voor de drijvende geleidewerken geheid. Hierna werd begonnen met het heien van de stalen buispalen van de vaste geleiding, zowel voor het midden als zijgeleiding. Voor de ondersteuning van de betonnen loopbruggen in de middengeleiding werden voorgespannen betonpalen geheid. Een begin werd gemaakt met het plaatsen en aaneenlassen van de 30 meter lange secties voor de drijvende geleiding.

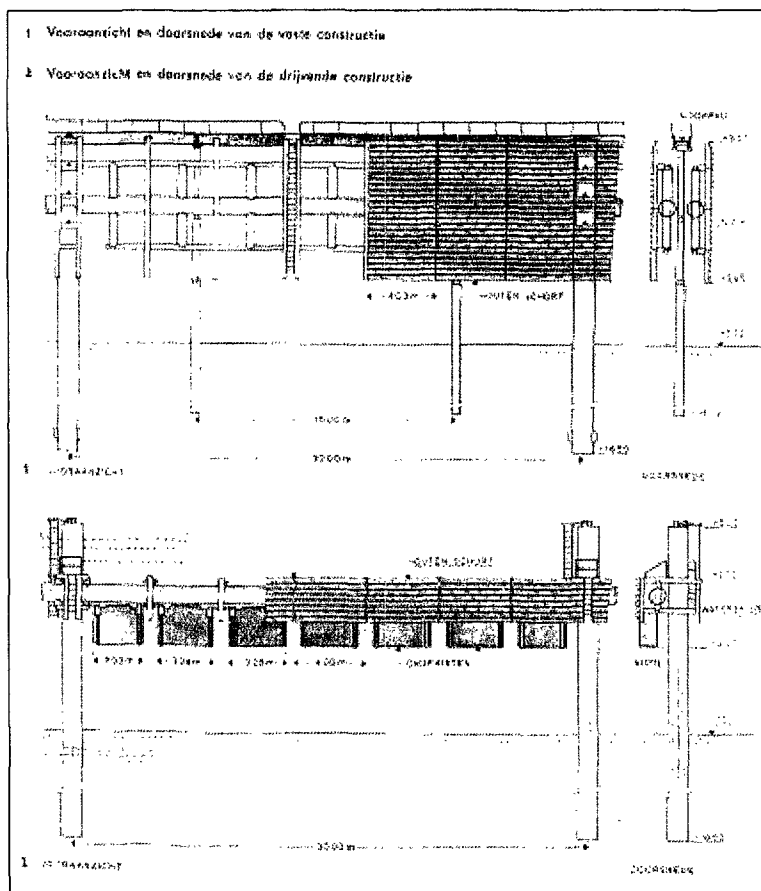
In de periode oktober 1966 tot januari 1967 kwam het heien van de stalen buispalen voor de geleidewerken in de zuidelijke voorhaven gereed. Voor de ondersteuning van de betonnen loopbruggen in de middengeleiding werden stalen palen geheid. De drijvende geleiding kwam geheel gereed.

Een begin werd gemaakt met het plaatsen en lassen van de 30 meter lange secties voor de laatste geleidewerken. Voortgegaan werd met het vervaardigen van de hardhouten beschermingsschorten, terwijl een begin werd gemaakt met de bevestiging ervan aan de vaste geleidewerken.

In de zuidelijke voorhaven kwamen het plaatsen en lassen van de 30 meter lange secties voor de vaste geleidewerken nagenoeg gereed. De hardhouten beschermingsschorten kwamen allen gereed; op een paar na werden ze op hun plaats aangebracht. Het werk kwam hiermede in zijn eindfase. Alleen de dukdalven voor de duw en conventionele vaart, die in verband met de werken van derden pas later kunnen worden gemaakt, moesten nog worden geheid.

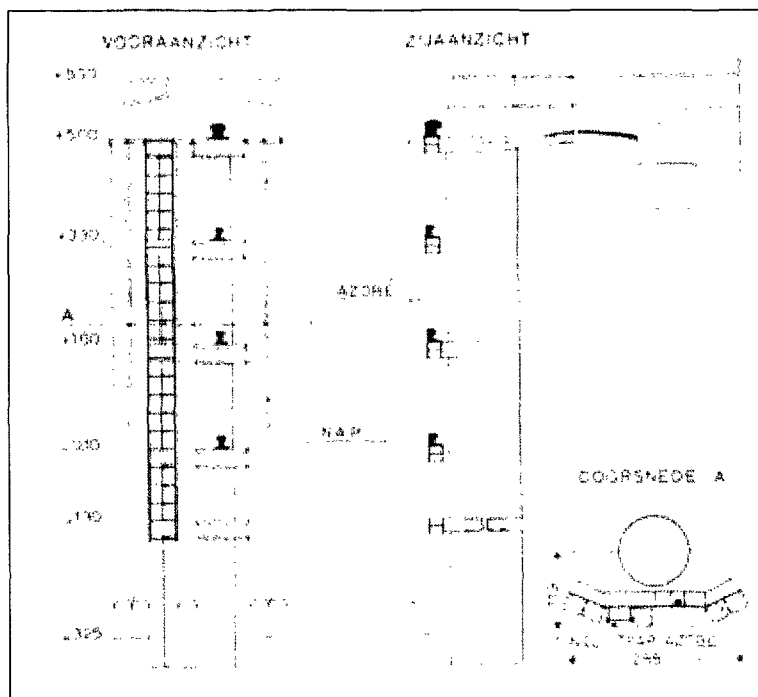
In beide voorhavens werden ligplaatsen gemaakt voor de schepen met ontplofbare of licht ontvlambare lading, en drijvende aanlegplaatsen voor de pleziervaart.

In de periode juli tot oktober 1967 kwamen de dukdalven voor de duwvaart en de conventionele vaart in de voorhaven aan de Volkerakzijde gereed. Ook de wachtplaatsen voor de schepen met licht ontvlambare lading waren gereed. Alle stalen palen ten behoeve van de nautische beseining werden geheid. Er werden peilmeethuisjes voor het verklikken en overseinen van de waterstanden in de voorhavens gebouwd. Het huisje aan de Hollandsch-Diepzijde kwam nagenoeg gereed.



Ontwerp vaste en drijvende remming

Ontwerp van een dukdalf



### **Uitbreiding van de wachtplaatsen in de voorhavens**

Na de ingebruikneming van de Volkeraksluizen bleek dat de bestaande wachtplaatsen uitbreiding vereisten. De uitbreiding werd voor een bedrag van f 1.846.624, - opgedragen aan Mannesmann Nederland N.V. te Rotterdam.

De aannemer was inmiddels in de noordelijke voorhaven begonnen met het heien van betonpalen voor de betonnen loopbruggen naar de dukdalven. In de noordelijke voorhaven waren de dukdalven en de betonnen loopbruggen in september 1969 nagenoeg gereed. In de zuidelijke voorhaven zijn de betonpalen voor de loopbruggen geheid.

In januari 1970 waren de werkzaamheden op enig verfwerk na gereed.

### **Deurenbergplaats met loswal en uitzichtplateau nabij het sluizencomplex**

Op 14 januari 1969 werd door de aannemer, de N.V. Aannemersbedrijf v/h van Dongen en van Hoven begonnen met de uitvoering van het bouwen van een deurenbergplaats met loswal en een uitzichtplateau. De aannemingsom bedroeg f 1.038.000, -. Het heiwerk voor de deurenbergplaats en voor het uitzichtplateau werd voltooid. Ook de vloer en een gedeelte van de opbouw van het uitzichtplateau waren gereed gekomen. De bekisting van de vloer van de deurenbergplaats werd uitgevoerd als hangconstructie, rustend op over de palen aangebrachte beugels. Medio juli werd de vloer gestort.

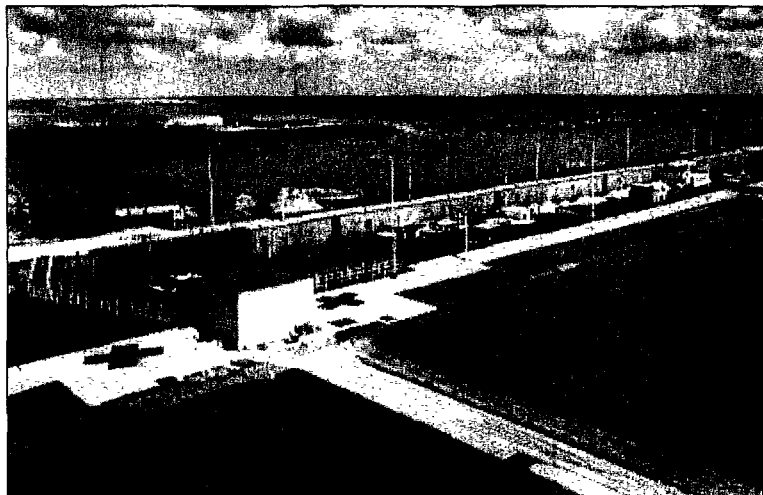
De betonnen onderbouw van de deurenbergplaats werd in september voltooid. Spoedig werd begonnen met de verdere opbouw bestaande uit een staalconstructie met aan de buitenzijde een beplating. Daarna kon de verdere afbouw plaatsvinden.

Van het uitzichtplateau werd het tweede stort voltooid, waarna een begin werd gemaakt met het stellen van de bekisting voor het derde stort.

Het stalen gedeelte van de bovenbouw van de deurenbergplaats werd in de periode oktober 1969/januari 1970 gemonteerd. Hierna werd in de staalconstructie een wand gemetseld, terwijl een begin kon worden gemaakt met het aanbrengen van beplating aan de buitenzijde.

Het betonwerk van het uitzichtplateau was voltooid. Met de afwerking werd een begin gemaakt.

Het uitzichtplateau was in mei gereed.



*Lege bouwput van caissons*

In april 1970 was de hele betonconstructie en het staalskelet van de deurenbergplaats voltooid en gemonteerd. Ook de dakbedekking en de wandbeplating waren aangebracht. De wanden werden verder opgemetseld. Begonnen werd met de verdere afbouw zoals stukadoorswerk en de aanleg van het sanitair. Ook met het grondwerk werd een aanvang gemaakt.

Hierna werd de centrale verwarming aangebracht en de aluminium deuren gemonteerd. Ook de overige resterende werkzaamheden, zoals het maken van remmingjukken, enig grondwerk en het aanbrengen van wegverharding waren gereed. Het gehele werk werd 24 juni 1970 voor de eerste maal opgeleverd en goedgekeurd.

### **Uitbreiding sluizencomplex**

Reeds in het eerste jaar na het in gebruik stellen van de Volkeraksluizen bleek de omvang van de scheepvaart door deze sluizen veel groter te zijn dan de bij het ontwerp van het complex gebruikte prognose, opgesteld in 1957, aangaf. De capaciteit van het schutsluizencomplex diende derhalve zo spoedig mogelijk te worden vergroot.

Kort na de ingebruikneming van het schutsluizencomplex in het Volkerak, op 3 november 1967, bleek dat het scheepsaanbod al zo groot was dat zich zelfs bij normale weersomstandigheden aanzienlijke wachttijden voordeden. De cijfers over 1968 toonden duidelijk aan hoe sterk het scheepvaartverkeer door het Volkerak was toegenomen.

In 1957 passeerden 99000 schepen met een totaal laadvermogen van 50 miljoen ton het Volkerak. In 1968 werden 170000 scheepspassages met een totaal laadvermogen van 120 miljoen ton geteld. Daarmee werd de prognose van 1957 met 45 % overschreden voor wat betrof het aantal geschutte schepen, en voor 40 % wat betrof het gemiddeld tonnage der schepen. Het aantal schepen was met 5 % cumulatief per jaar toegenomen, terwijl het passerend laadvermogen zelfs steeg met 8 % cumulatief per jaar.

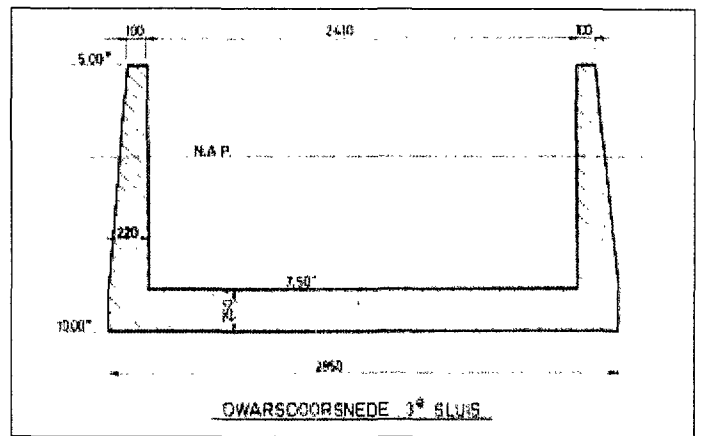
Daarbij moest men evenwel bedenken dat het verkeer door de Volkeraksluizen voor 30 % bestond uit zandschepen, komende van of op weg naar de Oosterschelde. Beschouwde men alleen het overige transport, dan bleek dit in aantal te zijn gestegen met 4 % per jaar cumulatief. Dit percentage was niet uitzonderlijk in vergelijking met de ontwikkeling elders. De naar men destijds meende ingebouwde overcapaciteit, bestemd om de verdere groei alsmede verkeerspieken na storm of mist op te vangen, was al meteen verdwenen. Het gehele vermogen bleek direct nodig voor het normale schutbedrijf. Wachttijden waren vanaf het begin onvermijdelijk. Zelfs onder normale omstandigheden liepen ze sinds de opening nog verder op door verdere toeneming van het scheepsaanbod en door vermindering van de maximum capaciteit van het complex ten gevolge van de grotere waterstandsverschillen na de afsluiting van het Volkerak op 28 april 1969.

De capaciteitsvermindering van 20% van de oorspronkelijke capaciteit zou tot aan de afsluiting van de Oosterschelde merkbaar zijn. Daarna zou het waterstandsverschil aanzienlijk afnemen. Uitgaande van een voortgaande stijging van het scheepsaanbod, zouden, als het sluizencomplex niet werd uitgebreid, ontoelaatbare wachttijden ontstaan, zeker wanneer door beschadiging of voor onderhoudswerkzaamheden een sluis tijdelijk uit moest vallen.

### **De derde schutsluis**

De noodzakelijke capaciteitsvergroting kon worden gevonden in de bouw van een derde schutsluis voor beroepsvaart en door de bouw van een afzonderlijke sluis voor de recreatievaart. Voor een derde schutsluis was al vanaf het eerste ontwerp van het complex ruimte gereserveerd. Ten behoeve van de afsluiting van het Volkerak werd het gereserveerde terrein in 1966 tijdelijk bestemd voor de aanleg van een bouwdok voor doorlaatcaissons.

De derde sluis zou dezelfde kolkafmetingen krijgen als de aanwezige sluisen en dus 320 X 24 meter meten. Ook de drempeldiepte op N.A.P. - 6,25 meter zou gelijk zijn aan die van de bestaande schutsluisen. De derde sluis werd echter niet met tussenhoofd uitgerust. Hiertoe werd besloten op grond van het feit dat de kleine capaciteitswinst die men in theorie kreeg door de constructie van een tussenhoofd niet opweegt tegen de extra kosten. Het bedrijf kon bij beschadiging van een deur toch nog redelijk functioneren met twee andere sluisen. Het was de bedoeling in het nieuwe complex elke sluis in principe nog maar voor doorvaart in een richting te gebruiken. Hierbij zou de nieuw te bouwen westsluis voor de afvaart, dus in zuidelijke richting, en de oostsluis voor de opvaart worden gebruikt, waarbij de middensluis aanbodsverschillen kon vereffenen. Dit systeem van schutten zou pas volledig kunnen worden gerealiseerd wanneer ook over de derde sluis een beweegbare brug zou komen te liggen. Alle hoge vaartuigen worden geschut door de oostsluis, die met zijn beweegbare brug een onbeperkte doorvaarthoogte biedt. De betrekkelijk geringe winst aan capaciteit die met deze vervolmaking zou worden verkregen, wou echter niet op tegen de hogere bouwkosten, de langere bouwtijd en het feit dat een voor het verkeer op de Zoomweg ongewenste situatie ontstond, wanneer het kort achter elkaar twee beweegbare bruggen ontmoette. Op grond van deze overwegingen werd besloten de derde sluis niet met een beweegbare brug uit te rusten.



### De jachtensluis

Gedurende de zomerperiode passeert een groot aantal jachten de Volkeraksluisen. In juli 1968 maakten ruim 1900 jachten van de sluisen te Willemstad gebruik, dat wil zeggen 35 % van alle jachten die de sluisen in het gehele jaar passeerden. In de maanden juni, augustus en september passeerden respectievelijk 17, 23 en 14 % van het jaaraanbod, dus in een periode van slechts vier maanden 90 % van het jaartotaal van 5445 jachten de sluisen. Bovendien werden tijdens de weekeinden bijna tweemaal zoveel jachten geschut als op een werkdag. Zo passeerden in juli 1968 op een gemiddelde dag tijdens het weekeinde 85 jachten de sluisen. Het spitsuur viel hierbij voor de afvaart tussen 9 en 13 uur en voor de opvaart tussen 12 en 16 uur.

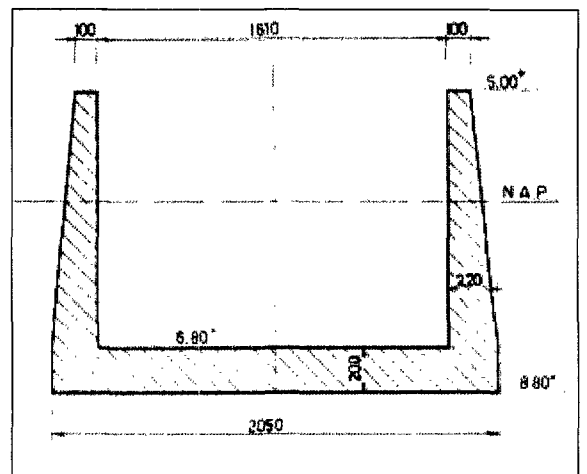
In 1969 bleek de recreatievaart met 20 % te zijn toegenomen ten opzichte van het voorafgaande jaar. Tijdens de spitsuren meldden zich op een gemiddelde weekenddag in juli van dat jaar 31 jachten om geschut te worden. Gezien de ontwikkeling van de watersport in Zeeland leek een groei van 20 % per jaar voor de eerstvolgende jaren een redelijke prognose. In 1975 moesten dan op een gemiddelde weekenddag 300 jachten worden geschut en konden zich tijdens een spitsuur op zo'n dag 110 jachten melden.

De recreatievaart werd zo goed mogelijk met de beroepsvaart meegeschut. Reeds onder de tegenwoordige omstandigheden liepen de jachten een vrij groot risico van beschadiging door de zware beroepsvaartuigen, en de beroepsvaart ondervond van de jachten veel vertraging. Het samengaan van de beroeps- en recreatievaart zou in de toekomst, ondanks de uitbreiding van het sluisencomplex in de zomermaanden leiden tot een te grote capaciteitsvermindering. Dit kon alleen worden voorkomen door het bouwen van een aparte sluis voor de jachten.

De recreatievaart bracht echter nog een probleem met zich. Uit de afgelopen jaren verkregen cijfers bleek dat 0,4 % van het aantal vaartuigen in de beroepsvaart een brugopening vroeg. Doch dat de brug moest worden geopend voor niet minder dan 8,21 % van de passerende jachten.

Voortgaande groei van het aantal jachten zou betekenen dat in 1975 op een gemiddelde weekenddag in juli 12 brugopeningen moesten worden gegeven met een totale openingsduur van ongeveer 1 ½ uur, en dat bij een brug die was gelegen in Rijksweg 19, die van Noord-Brabant via Haringvlietbrug en Heienoordtunnel met Rotterdam verbond en via de Beneluxtunnel ook met Den Haag!

Een globale prognose voor het wegverkeer op deze weg op een gemiddelde weekenddag in juli 1975 bedroeg 37000 voertuigen. Op grond van deze cijfers was het zonder meer duidelijk dat naar een oplossing gezocht moest worden die het aantal brugopeningen zoveel mogelijk beperkte. De oplossing werd gevonden door over de jachtensluis een vaste brug te ontwerpen met een doorvaarthoogte van N.A.P. + 19 meter, hetgeen een belangrijke vergroting betekent van de thans bij gesloten brug beschikbare doorvaarthoogte van N.A.P. + 14,70 meter. De verwachting was dat bij deze doorvaarthoogte op een gemiddelde dag in 1975 gemiddeld minder dan een brugopening nodig zou zijn. Men dacht nog in 1980 met 20 brugopeningen in een zomermaand te kunnen volstaan.



*Dwarsdoorsnede jachtensluis*

Bij het bepalen van de kolkafmetingen van de jachtensluis werd uitgegaan van de gedachte dat de sluis ook bij de voortzetting van de sterke groei van het aantal jachten nog 10 jaar na het gereedkomen voldoende capaciteit moest bezitten.

Aan de hand van de beschikbare cijfers was men tot de conclusie gekomen dat een sluis met een schutcapaciteit van 90 jachten per uur aan deze eisen voldeed.

Bij het bepalen van de sluisbreedte rees de vraag of de jachtensluis gedurende de winterperiode niet tevens als reservesluis voor de beroepsvaart gebruikt kon worden. Deze vraag kon, mede vanwege de doorvaarthoogte van N.A.P. + 19 meter zonder meer bevestigend worden beantwoord.

Op grond van deze nevenbestemming werden de kolkafmetingen bepaald op 142 x 16 meter. De drempeldiepte is, voor de bruikbaarheid voor hoge beroepsvaart, vastgesteld op N.A.P. - 6,25 meter en dus gelijk aan die van de andere sluisen.

### De inlaatsluis in de Volkerakdam

Tot aan de afsluiting van de Oosterschelde in 1978 zou het water ten zuiden van het Volkerakcomplex zouter zijn dan ten noorden van de sluisen. In de zomer van 1970 bedroeg het gemiddelde chloridengehalte in de zuidelijke voorhaven 10 à 12 milligram Cl<sup>-</sup>/L en in de noordelijke voorhaven slechts 0,3 à 0,5 milligram Cl<sup>-</sup>/L. Als gevolg hiervan werd bij elke schutcyclus een hoeveelheid zout van het Volkerak op het Haringvliet gebracht. Door het bouwen van de derde schutsluis en de jachtensluis zou een ontoelaatbare verhoging van het chloridengehalte op het Haringvliet optreden en van hieruit eveneens op het Spui en de Oude Maas. Hierdoor zouden zelfs het waterwinbedrijf op de Berenplaat en de watervoorziening op het Brielse Meer gevaar kunnen lopen.



*Bouwput inlaatsluis*

Nu deed zich de omstandigheid voor, dat het voor de beheersing van de waterstand en de waterkwaliteit op het toekomstige Zeeuwse Meer nodig bleek, om in de dam door het Volkerak een inlaatwerk naar het Zeeuwse Meer te bouwen.

Deze sluis zou niet voor 1978 gereed hoeven te zijn. Door deze inlaatsluis voor het Zeeuwse Meer vroeger te bouwen dan voor het primaire doel nodig was, kon het zoutbezwaar van de schutsluisen tijdig worden ondervangen. Bij eb kon het in het Haringvliet doorgedrongen zout immers grotendeels worden teruggespuid. Het lag daarom in de bedoeling dat gelijktijdig met de totstandkoming van de derde Volkeraksluis een inlaatsluis in de Volkerakdam gereedkwam.

Het ontwerp voor de inlaatsluis werd gebaseerd op uiteindelijke eisen, die dus gaan gelden op het ogenblik dat de Oosterschelde was afgesloten. In de periode daarvoor was de spuicapaciteit groter in verband met de veel lagere waterstanden op het Volkerak. Na de afsluiting van de Oosterschelde in 1978 werd de waterstand op het Zeeuwse Meer in het algemeen op N.A.P. gehandhaafd. Het waterstandsverloop op het noordelijk bekken hing af van de afvoer van de grote rivieren en het in verband hiermee toe te passen lozingsprogramma. Bij het ontwerp werd er van uitgegaan dat gemiddeld een debiet van 300 m<sup>3</sup>/sec moest kunnen worden opgevoerd. Dit betekende, uitgaande van de toestand na 1978, dat de inlaatsluis een nuttige doorsnede moest krijgen van ongeveer 500 m<sup>2</sup>.

Er werden twee modellen onderzocht, te weten een open inlaatsluis met drie openingen van 34 meter breedte elk, een drempel op N.A.P. - 5,00 meter, en een kokersluis met 4 x 2 openingen van 15 meter gelegen tussen N.A.P. - 6,00 meter en N.A.P. - 3,25 meter. Gezien het feit dat de doorlaat coëfficiënt van het eerste type 0,95 bedraagt en die van het tweede 1,5 volgde hieruit voor beide modellen een nuttig profiel van 500 m<sup>2</sup>. Bij een open inlaatsluis traden aanzienlijke ontgrondingen op, terwijl een kokersluis veel hogere eisen stelde aan afsluitmiddelen.

In het definitieve ontwerp werden vier openingen gemaakt met een drempel op N.A.P. - 4,25 meter en ieder een dagwijdte van 30 meter. Deze openingen werden gescheiden door gewapend betonnen pijlers, die ter plaatse van de drempel 8 meter breed zijn. Op deze pijlers werden de ophang- en bedieningselementen voor de afsluiting geplaatst.

Aan de benedenstroomse zijde van de drempel werden de pijlers voortgezet als 4 meter dikke stroomgeleidende wanden, waarop de overbrugging van de inlaatsluis kwam te rusten.

Tussen de gewapend betonnen voetplaten, waarvan de pijlers op staal gefundeerd zijn, bevinden zich gewapend betonnen vloeren, waarvan de bovenzijde ligt op N.A.P. - 4,25 meter ter plaatse van de drempel en op N.A.P. - 8 meter in het gedeelte achter de drempel. Op de vloer aan de benedenstroomse zijde werden op 23 meter van de drempel drie tetraëders met ribben van 2,50 meter geplaatst om bij verschillende stromingstoestanden aantasting van het op de betonnen vloer aansluitende stortebed te beperken. In bepaalde extreme verschillen tussen de waterstanden aan de bovenstroomse en de benedenstroomse zijde kon zgn. schietend water optreden, waarbij een lage waterdruk en zeer hoge stroomsnelheden ontstonden. De waterstroom trekt over tientallen meters vlak over de vloer achter de drempel. In deze situatie konden door de grondwaterspanning aan de onderzijde van de vloer opwaartse drukken optreden. Om deze opwaartse krachten op te nemen werden de vloeren met trekpalen (Vibropalen) aan de ondergrond verankerd.

De doorlaatopeningen van de inlaatsluis worden afgesloten met stalen hefschuiven waarvan de bovenzijde in gesloten stand op N.A.P. + 3,50 meter ligt. De schuiven werden opgehangen aan verticaal staande hydraulische vijzels waarmee zij verticaal bewogen kunnen worden.

De maximale belasting op deze aan de uiteinden van de schuiven geplaatste vijzels bedraagt bij heffen 165 ton trek- en bij dalen 100 ton drukkracht.

Bij de grootste uitslag bedraagt de totale lengte van de hydraulische cilinder en de vijzelstang 14 meter.

De vijzels werden scharnierend op gewapend betonnen opstanden opgelegd waarbinnen ruimten werden gemaakt voor de opstelling van de hydraulische en elektrische bedieningsapparatuur. De schuiven kunnen tot bij een watersverschil van 2 meter worden bewogen.

Horizontaal rusten de schuiven tegen doorgaande schuifgeleidingen die meteen als afdichting fungeren. In verband met de wrijving, die in het contactvlak optreedt bij beweging van de schuiven, werden de schuiven voorzien van aluminiumbronzen strip-pen, terwijl de schuifgeleidingen in staal werden uitgevoerd.

Bij de overgang van de inlaatsluis naar de aansluitende taluds werden de oevers aan de boven- en benedenstroomse zijde voorzien van grondkerende gewapend betonnen muren.



### De bouw van de derde schutsluis de spuisluis en de jachtensluis

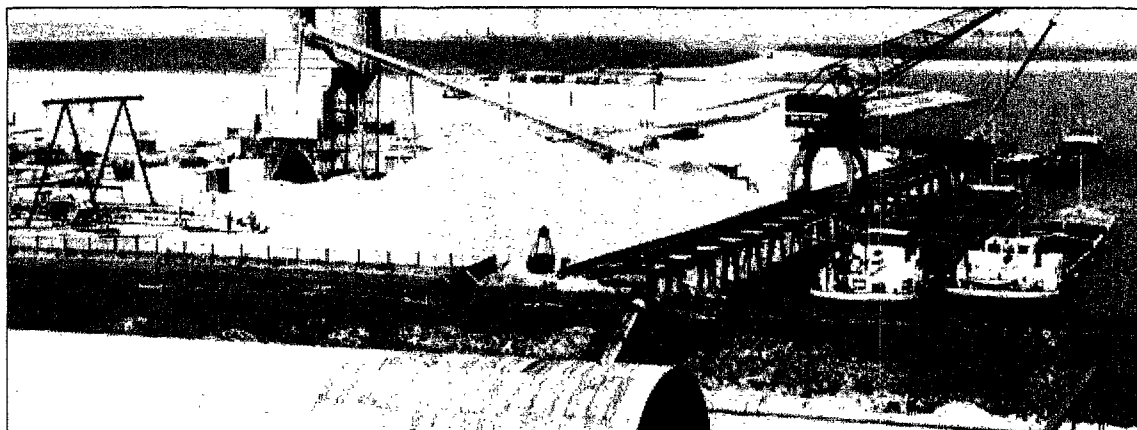
Het lag in het voornemen in de jaren 1971 t/m 1974 de onvoldoende gebleken capaciteit van de Volkeraksluizen te vergroten door naast de beide reeds bestaande schutsluizen een derde schutsluis te bouwen en de recreatievaart en de beroepsvaart - die bij het schutten hinder van elkaar ondervonden - te scheiden door de bouw van een afzonderlijke jachtensluis.

Bovendien zou in dezelfde periode een spuisluis worden gebouwd om het door het schutbedrijf veroorzaakte zoutbezwaar op het noordelijk Deltabekken tegen te gaan.

De jachtensluis en de spuisluis zouden gezamenlijk in dezelfde bouwput worden gebouwd. Het maken van deze bouwput werd opgedragen aan de Aannemerscombinatie "Willemstad" te Hardinxveld voor de som van F 2.353.700,-. Met het werk werd op 1 december 1970 een begin gemaakt. Nadat perskaden waren aangebracht op het gronddepot werd begonnen de bouwput uit te baggeren. Het grondverzet bedroeg in deze periode 200.000 m<sup>3</sup>. De verdediging van het binnenbeloop werd ontmanteld en afgevoerd, en een in de toekomstige bouwput gelegen lossteiger opgeruimd. Voor de aanleg van een werkterrein langs de voormalige uitvaargeul van de caissons werd begonnen met perskaden op te bouwen.

Tussen april en juli 1971 werd de oorspronkelijke ontwerpovereenkomst voor de aanleg van de bouwput gewijzigd, in verband met een ingrijpende verandering in het ontwerp van de fundering. De paalfundering die oorspronkelijk was voorzien werd in het nieuwe plan om financiële zowel als constructieve redenen vervangen door een grondverbetering. De nieuwe aanneemsom bedroeg f 4.810.000,-. Van het cutterwerk in de bouwput werd inmiddels 441.000 m<sup>3</sup> uitgevoerd.

Men begon mijNSTEEN te lossen in de kaden van het te maken werkterrein, van een losplaats en van de afsluitdam van de bouwput.



*Losplaats ten noorden van de inlaatsluis voor aanvoer materialen*

Zand werd uitgereden in de kade van de losplaats van de afsluitdam. Er werd zand geperst in het werkterrein en in de losplaats, alsook in een zanddepot ten behoeve van de genoemde grondverbetering. Het zandverzet bedroeg hier 395.800 m<sup>3</sup>.

In de periode oktober 1971/januari 1972 werd opnieuw de overeenkomst gewijzigd. Het zanddepot werd vergroot van 800.000 tot 1.670.000 m<sup>3</sup>, en de opruiming van de zandasfaltkade nabij de Geul van Maltha werden toegevoegd aan de te verrichten werkzaamheden. De oplevering werd in verband hiermede met een maand verlengd, tot uiterlijk 31 januari 1972. Naar verwachting zou het werk wel binnen die termijn klaar komen.

Op 27 maart 1972 werd het werk aan de bouwput voor een inlaat- en een jachtensluis in de Volkerakdam definitief opgeleverd. De bouw van een derde sluis met overbrugging, het aanpassen van de voorhavens en de bouw van een inlaat- en jachtensluis in de Volkerakdam werden op 4 april 1972 aanbesteed. Voor deze aanbesteding met voorafgaande selectie waren 6 aannemers uitgenodigd. In totaal werden 4 inschrijvingen ontvangen. Het laagst werd ingeschreven door de combinatie Dirk Verstoep Nederland N.V. te 's-Gravenhage, Hollandse Betonmaatschappij N.V. te Rijswijk en Amsterdamsche Ballast Beton en Waterbouw N.V. te Amsterdam, voor een bedrag van f 59.890.000,-. Het werk werd inmiddels aan deze combinatie opgedragen. Begin mei werd met de uitvoering begonnen. Het bestaande Directiekantoor werd uitgebreid, en er werden keten bijgeplaatst. Een bronbemaling voor de sluisbouw werd aangebracht, en een tijdelijke wegomlegging gerealiseerd ten behoeve van de overbrugging van de derde schutsluis. Deze wegomlegging werd gerealiseerd door aanleg van een baileybrug die reikte van het sluiseland tussen sluis 1 en 2 naar het gedeelte tussen sluis 3 en de inlaatsluis.



*Baileybrug gezien vanaf zuidzijde*



*Baileybrug met bouwput sluis 3*

Voor het verlengen van de bestaande overbrugging van de te bouwen derde schutsluis moesten eerst een pijler en een landhoofd worden gebouwd. Om deze werkzaamheden te kunnen uitvoeren worden in de periode juli tot oktober 1972 150.000 m<sup>3</sup> grond ontgraven.

De bouwput voor de derde sluis werd met behulp van een bronbemaling geheel droog gezet. Men begon de bouwput tot de aanlegdiepte van de sluis verder te ontgraven. De bronbemaling voor de bouwput van de inlaat- en jachtensluis werden geplaatst. De bemaling was in volle gang. Zodra deze bouwput droogviel werd begonnen met het op diepte ontgraven ter plaatse van de pijlers van de inlaatsluis en de pijlers van de ernaast liggende overbrugging. Daarna werd grondverbetering toegepast. Met de opbouw van een betonmortelinstallatie werd ook begonnen.

Voor het verlengen van de overbrugging bij de derde sluis werden in de periode oktober 1972 tot januari 1973, 370 betonpalen geheid. Er werd een begin gemaakt met de opbouw van de pijler en het landhoofd.

De eerste twee vloermoten van de derde sluis werden gestort.

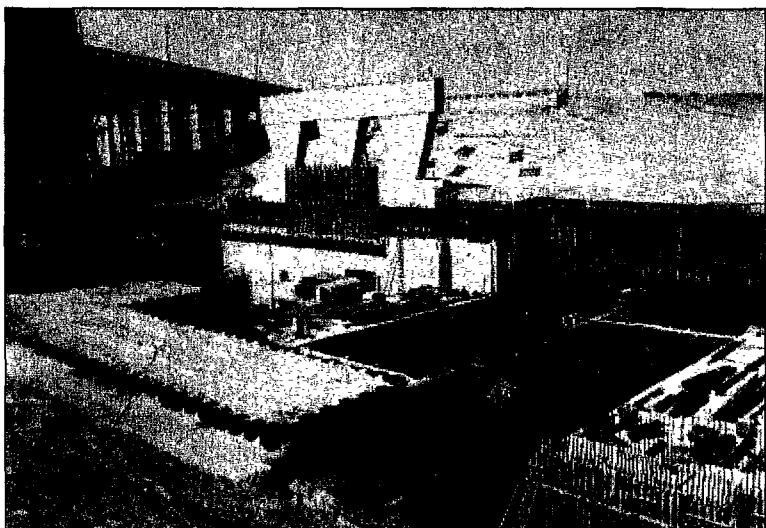


*Grondwerk in de bouwput van sluis 3*

De grondverbetering onder de peilers van de overbrugging van de inlaatsluis en de pijlers van de jachtensluis werden aangebracht. De bouw van de pijlers was vertraagd omdat ter plaatse van twee pijlers het zand moest worden verdicht; naar bleek uit de te lage sondeerwaarde was de ondergrond er te los. Een gedeelte van de damwand werd geheid terwijl de vloer van een vleugelwand gestort werd.

Op het Hellegatsplein werd naast de autosnelweg een terrein in gereedheid gebracht voor de productie en opslag van voorgespannen liggers. Er moesten 260 liggers worden gemaakt, het grootste deel ter lengte van 38 meter en met een gewicht van 80 ton. Op 1 maart 1973 werd met de productie begonnen.

De vloeren van de derde sluis waren medio april 1973 gestort. De wanden van de eerste moot van deze sluis waren inmiddels gereedgekomen.



*Zuidelijk hoofd van sluis 3*

De bouw van de damwandschermen van de inlaatsluis werd nagenoeg voltooid. De vleugelwanden van deze sluis waren in uitvoering.

De voetplaten van de pijlers van de overbrugging van de derde sluis werden inmiddels aangebracht. Tussen deze pijlervoeten werden vibropalen aangebracht ten behoeve van de er op aan te brengen stortebedvloeren van 1 meter dik.

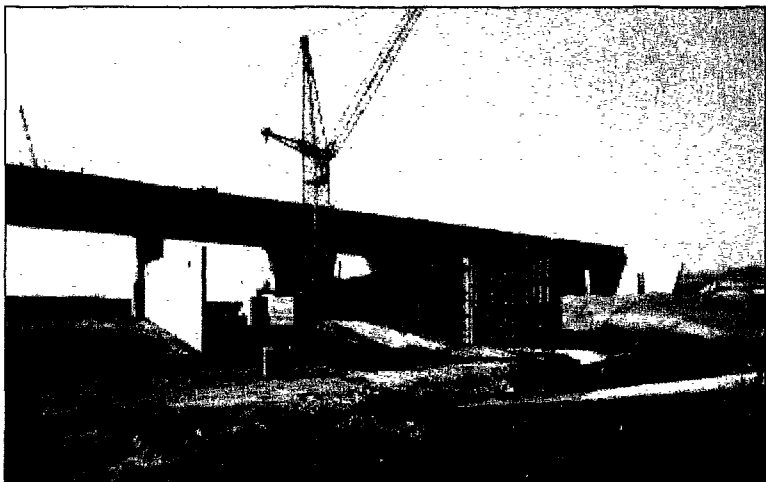
Met het aanbrengen van de eindblokken voor de voorgespannen liggers voor de overbrugging werd begonnen.

In de bouwput van de jachtensluis werd een aanvang gemaakt met het uitvoeren van grondverbetering en het heien van schermwanden voor de sluis.

Omdat de werken voor het verlengen van de bestaande overbrugging in het najaar van 1973 moesten worden opgeleverd, werd met man en macht gewerkt om het tijdschema aan te houden. De pijler en het landhoofd waren inmiddels gereed gekomen evenals de 28 voorgespannen liggers. In de bouwvakantie van 1973 werd begonnen met het plaatsen van deze liggers met behulp van een 500-tons kraan.

De bouw van de derde sluis verliep zeer voorspoedig. De vloeren waren gereed, terwijl inmiddels van 14 moten ook de wanden waren gestort. De opbouw van het bovenhoofd was in volle gang.

De vloerplaten van de pijlers van de inlaatsluis waren nagenoeg gereed gekomen, terwijl er verder werd gegaan met het maken van de vloerplaten voor de vleugelwanden. Tussen de pijlervoeten van de overbrugging werden inmiddels vibropalen en de 1 meter dikke vloeren van het stortebed aangebracht.



*Bouw inlaatsluis*

Nadat de schermwanden van de jachtensluis waren aangebracht is daar begonnen met het maken van de werkvloeren. Men was bezig met het aanbrengen van het betonijzer voor de eerste vloermoot.

Voor de overbrugging van de inlaatsluis was het eerste gedeelte van de pijleropbouw van 2 pijlers gereedgekomen, van N.A.P. - 8 meter tot N.A.P. + 5 meter. Voor de overige pijlers werd begonnen met het laatste gedeelte van de opbouw, van N.A.P. + 5 meter tot N.A.P. + 17 meter.

Voortgegaan werd met het maken van de voorgespannen liggers.

De verlenging van de bestaande overbrugging van het schutsluizencomplex was in oktober 1973 bijna gereed. Geheel volgens planning zou het nieuwe gedeelte van de brug in de loop van november in gebruik genomen kunnen worden. De baileybruggen konden daarna worden gedemonteerd. De verwijdering van de baileybruggen was tevens noodzakelijk om de fuikmoten van de derde schutsluis te kunnen maken. Van de derde sluis was de schutkolk tussen de hoofden gereed gekomen. Het bovenhoofd was in een gevorderd stadium van uitvoering. Binnenkort werd begonnen aan één van de moeilijkste onderdelen van het werk: het maken van de keerwanden van de uiteinden van de derde schutsluis, aansluitend op die van de tweede sluis.

Aan de inlaatsluis werd intussen niet veel gedaan.

Voortgegaan werd met het maken van de vloeren van de vleugelwanden voor de inlaatsluis en met het aanbrengen van trielpalen voor de stortbedvloeren tussen de pijlers van de inlaatsluis.

In de laatste periode werden in een vlot tempo acht vloermoten voor de jachtensluis gestort. De wapening van de eerste wand werd aangebracht

De bouw van de pijlers en het maken van voorgespannen liggers voor de overbrugging van de inlaatsluis werd voortgezet. Eén van de pijlers was gereed.

Daar in 1974 zou worden begonnen met de uitbreiding van de noordelijke voorhaven, werden thans de ter plaatse aanwezige bomen geroid.

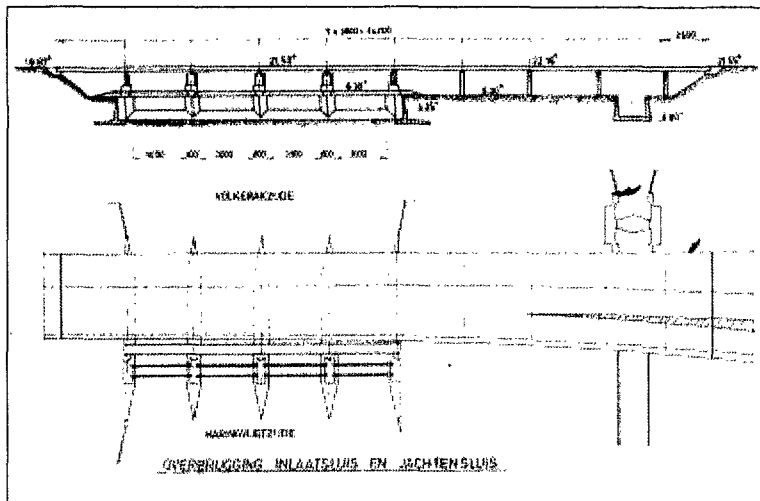
De verlenging van de bestaande overbrugging werd in november voor het verkeer opengesteld. De baileybruggen werden gedemonteerd en verwijderd. Men begon met het verwijderen van de betonplaten van pijlers en hoofd.

Aan beide zijden van de derde sluis werd begonnen met het maken van keerwanden, in aansluiting op sluis 2 van het bestaande complex.

Voor de inlaatsluis werden vleugelwanden gemaakt, en werden vloeren gestort voor de stortbedden. Alle vloeren voor de jachtensluis waren gestort, behalve die voor de vleugelwanden. Inmiddels werd daar ook al een aantal wanden gestort.

Vier van de pijlers voor de overbrugging van de inlaatsluis waren gereed. De vervaardiging van voorgespannen liggers voor deze overbrugging verliep geheel volgens schema.

In de periode januari / april 1974 werd het heiwerk van de overbrugging van de inlaat- en jachtensluis voltooid. Het landhoofd aan de Brabantse zijde en een gedeelte van de pijlers was gestort. Begonnen werd met het aanbrengen van voorgespannen liggers.



Bouw inlaat en jachtensluis

De stortbedden van de vleugelwanden aan de Hollandsch Diep zijde van de inlaatsluis werden verder opgebouwd. Begonnen werd met het aanbrengen van de staalconstructie voor de schuifgeleiding. De wanden van de kolkmoet in de jachtensluis waren nu helemaal gestort. Men begon aan de opbouw van de sluishoofdwanden. Een paar vleugelwandvloeren werden al gestort. Het betonwerk van het benedenhoofd van de derde schutsluis was geheel gereed. Aan beide zijden van de sluis ging men verder met het maken van keerwanden. Er werden voorts stalen en betonnen palen geheid voor de fuikmoten. Het heiwerk voor het bedieningsgebouw was voltooid. Voor het zogenaamde gebouw G werd de bekisting gesteld. In gebouw G werden later de compressoren geplaatst voor de bellenschermen in de jachtensluis. In de periode april / juli 1974 werd het betonwerk van de derde schutsluis nagenoeg voltooid. Voortgegaan werd met de opbouw van twee pijlers van de inlaatsluis tot op N.A.P. + 3,50 meter, dat was de hoogte die overeenkomt met de bovenkant van de schuif in neergelaten toestand. De hoogte van de neergelaten schuif werd op aangeven van de toenmalige hoofdsluismeester verhoogd naar N.A.P. + 5 meter. Bij een hoogte van N.A.P. + 3,50 meter zou het regelmatig voorkomen dat zout water van het Volkerak over de schuif in het zoet water van het Hollandsch-Diep liep.

Tevens had men de opbouw van het benedenhoofd van de jachtensluis en het maken van de vleugelwanden aan beide zijden van de sluis voortgezet. Ook het werk aan de pijlers voor de overbrugging van de schutsluis vorderde. Er moest nu nog een pijler worden gemaakt, en het westelijk landhoofd.

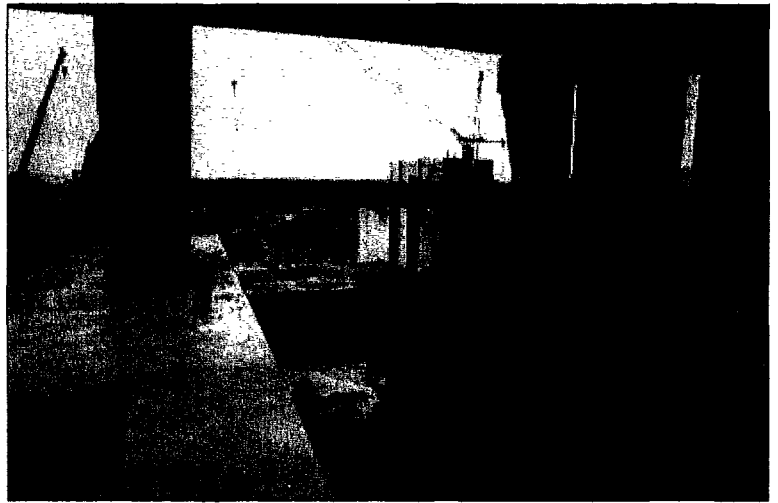
De fabricage van voorgespannen liggers voor deze brug was nagenoeg voltooid. In een aantal velden werden de liggers reeds aangebracht.

Het betonwerk van de derde schutsluis was inmiddels voltooid. Op 26 augustus 1974 werd begonnen met het inlaten van water in de bouwput. Op die dag heeft de Minister van Verkeer en Waterstaat Dhr. Westerterp een bezoek gebracht aan de werken. Hij draaide de kraan van een leiding open om water in de bouwput te laten lopen.

In november 1974 werd begonnen met het aanvullen van het sluissterrein. Het daartoe benodigde zand werd ontleend aan de werken voor de uitbreiding van de noordelijke voorhaven.

Er werd voortgegaan met de opbouw van de pijlers en de keerwanden van de inlaatsluis. Het landhoofd en de keerwanden van de jachtensluis aan de Volkerakzijde waren gereed. Begonnen werd met het maken van de laatste deurkasmoot aan de Hollandsch Diep zijde.

De voorgespannen liggers van 8 velden aan de overbrugging van de sluisen waren aangebracht. De totale overbrugging bestond uit 10 velden. De liggers voor de laatste 2 velden werden aangebracht zodra het landhoofd aan de Volkerakzijde gereed was. Wanneer alle liggers zijn aangebracht werden de stroken tussen de liggers aangevuld met beton. Van 3 velden werd de dwarsoverspanning van het dek aangebracht.



*Drempel inlaatsluis traeders*

In de periode oktober 1974 tot 1 januari 1975 had men een begin gemaakt met de uitbreiding van de noordelijke voorhaven ten behoeve van de derde schutsluis. Het vrijkomende zand werd grotendeels gebruikt voor het aanvullen van de sluissterreinen. De opbouw van de pijlers van de inlaatsluis werd voortgezet. Met het sluishoofd aan de Hollandsch Diep zijde van de jachtensluis werd een begin gemaakt. In zeven velden van voorgespannen liggers van de overbrugging van de sluisen heeft men de ruimte tussen de liggers aangevuld met beton. Nu dit klaar was, moesten er nog betonaanvullingen komen in drie velden.

Ook werd begonnen met de constructie van gebouw K, een kantoorgebouw voor de Rijkswaterstaat en voor de Politie te Water. In de periode januari / april 1975 werd het baggerwerk voor de uitbreiding van de noordelijke voorhaven van de derde schutsluis voltooid. Daarna werd begonnen met de uitbreiding van de zuidelijke voorhaven.

De vrijkomende specie werd tegen de zuidelijke geleide-dam van de jachtensluis gespoten. De aangevulde terreinen rond de derde sluis werden afgewerkt. Alle vleugelwanden van de inlaatsluis waren nu gereed, terwijl de opbouw van de pijlers en de machineruimten nagenoeg voltooid was. Voortgegaan werd met de bouw van de vleugelwanden aan de Hollandsch Diep zijde en met de opbouw van het bovenhoofd van de jachtensluis.

Het betonwerk van alle overspanningen van de overbrugging van de sluisen was gereed. Begonnen werd met het aanbrengen van de bermen. Van gebouw K was het betonskelet gereed.

In juni 1975 werd het baggerwerk in de voorhavens van de derde sluis voltooid. Met het maken van de stortebedden in deze voorhavens was men halverwege. De balkbrug over de inlaatsluis was in ruwbouw gereed.



*Bestorting aan zuidzijde van de inlaatsluis*

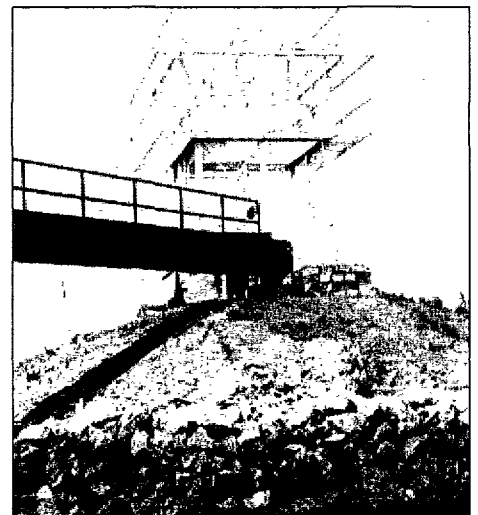
Ook werd het betonwerk van de machinegebouwen en van de jachtensluis voltooid. Men was begonnen met het monteren van de verticale schuifgeleidingen in de inlaatsluis. De bermen langs de overbrugging van de derde sluis waren voor een belangrijk deel gereedgekomen. Nadat van gebouw K het metselwerk achter de rug was, had men een aanvang gemaakt met de verdere afbouw en de installatie van interne voorzieningen zoals waterleiding, centrale verwarming en elektriek.

In oktober 1975 waren alle werkzaamheden aan de voorhavens van de derde sluis gereed. Aan de Hollandsch Diepzijde werden al vier puntdeuren ingehangen. De inlaatsluis was, voor wat betreft het betonwerk, helemaal klaar. Ook de bedieningshuisjes voor de jachtensluis naderden hun voltooiing. De overbrugging van de sluisen was inmiddels zo ver gevorderd dat een begin kon worden gemaakt met het aanbrengen van asfaltbeton op het brugdek, en met het stellen van vangrails en leuning. Gebouw K was voor 80 % gereed. Nadat nog enige werkzaamheden uitgevoerd werden is het gehele werk aan de derde- en inlaatsluis op 15 december 1975 opgeleverd.

Op 15 juni 1976 was de onderhoudstermijn van de derde schutsluis met overbrugging, inlaatsluis en voorhavens verstreken en werden ze definitief opgeleverd.

#### **Toeleidingswerken naarde derde sluis en de jachtensluis**

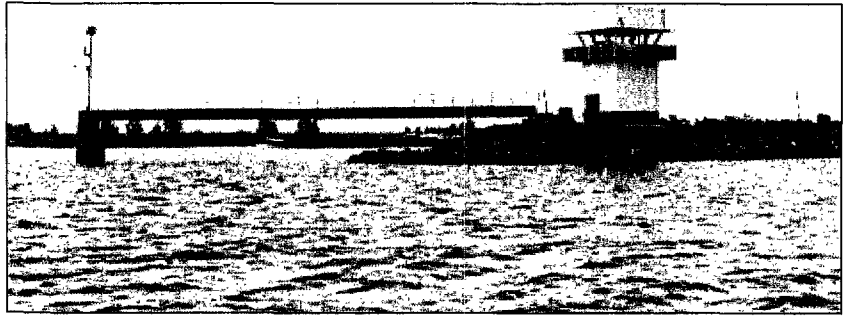
Dit werk werd gegund aan Mannesmann (Nederland) B.V. te Dintelmond. In de periode januari / april 1976 was de nieuw te maken politiesteiger nabij gebouw K gereed gekomen. Ook was een gedeelte van de oostelijke remming verwijderd.



*Bouw van Post Noord*

Dit remmingwerk werd weer opgebouwd voor de derde sluis. Begonnen werd nu met het maken van nieuwe infoposten ten behoeve van de scheepvaart aan de Volkerak-zijde en met het heien van betonpalen ten behoeve van looppaden aan de Hollandsch-Diep zijde van de derde sluis.

In de periode april tot juli 1976 werd voortgegaan met het maken en stellen van de infoposten ten behoeve van de scheepvaartbegeleiding, zowel aan de zijde van het Volkerak als aan die van het Hollandsch-Diep.

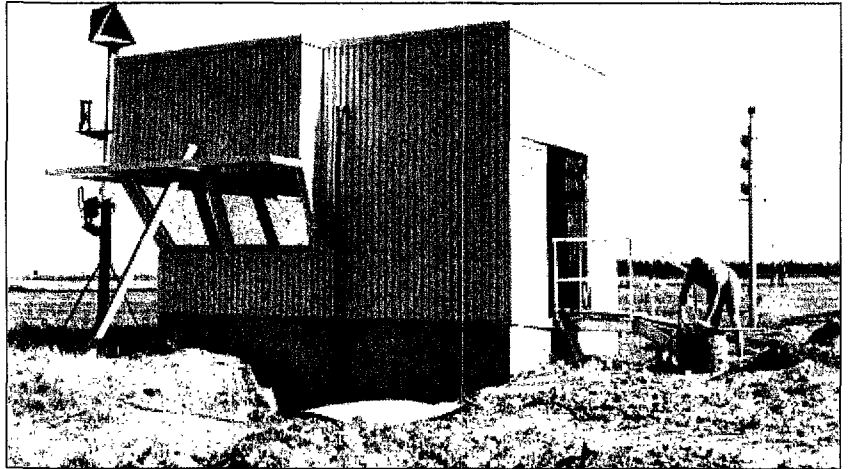


*Post Noord (boven) en Post Zuid (onder)*

Men kwam gereed met het heien van betonpalen die de looppaden aan de zijde van het Hollandsch-Diep moesten ondersteunen.

Ook de stalen buispalen ten behoeve van de geleidewerken van de derde sluis kwamen aan beide zijden gereed. De vaste remming van de derde sluis was aan de Volkerakzijde klaar. Aan de andere kant was men er net mee begonnen. Drie beschadigde dukdalven aan de Volkerakzijde moesten worden hersteld.

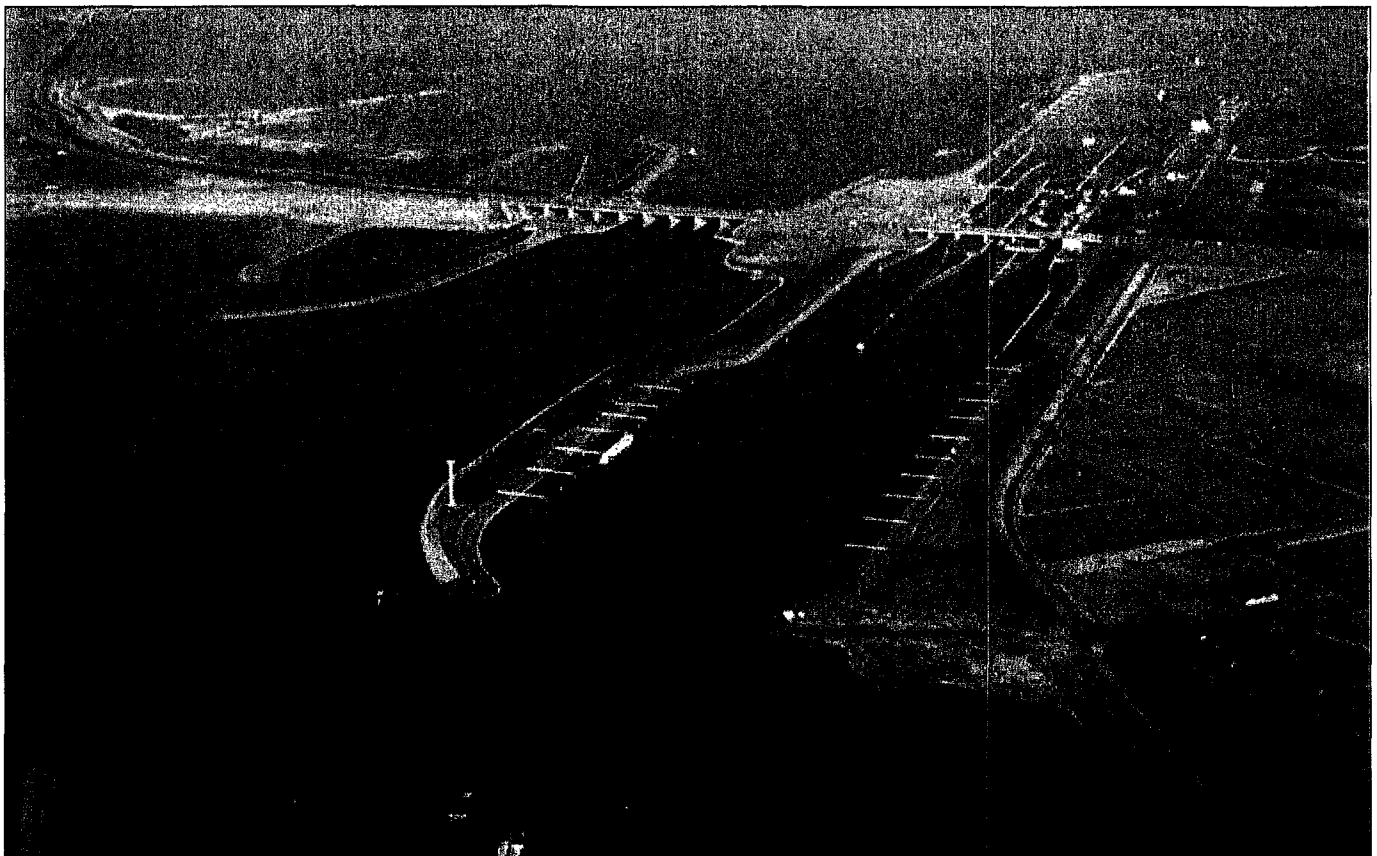
In de periode juli / oktober 1976 waren de informatieposten voor de scheepvaartbegeleiding zowel aan de Volkerak- als aan de Hollandsch-Diepzijde gereedgekomen.



Daarnaast waren aan de Hollandsch-Diepzijde nog enkele andere onderdelen gereedgekomen. De stalen secties van de vaste remming van de derde sluis werden afgehangen en de betonnen looppaden van de derde sluis kwamen gereed. Ook werden de houten schorten van de derde sluis geplaatst evenals trouwens een groot deel van de schorten aan de vaste remming van de derde sluis aan de Volkerakzijde. De drijvende remming van de tweede sluis werd gedemonteerd.

In de periode oktober 1976 / januari 1977 zijn de toeleidingswerken van de derde sluis gereedgekomen. Ook werd begonnen met de demontage van de vaste remming aan de Volkerakzijde tussen de eerste en tweede sluis en met het heiwerk voor de remmingwerken voor de jachtensluis aan de Hollandsch

De toeleidingswerken naar de derde schutsluis en de jachtensluis werden op 13 juni 1977 gereed opgeleverd. Op die dag ging de onderhoudstermijn van drie maanden in.



## *Koninklijk Bezoek*

Op 1, 2 en 3 september 1964 heeft Koningin Juliana een bezoek gebracht aan de Deltawerken en aan andere grote werken in het zuidwesten van Nederland.

Hare Majesteit heeft toen een volledige rondgang gemaakt langs de werken nabij de Haringvlietbrug. In de ochtend bezocht Zij de pas geopende brug over het Haringvliet. De Koningin sprak langdurig met de initiatiefnemers.

's Middags bezocht Zij de bouwput met de in aanbouw zijnde uitwateringssluizen in het Haringvliet. Na diverse bezoeken aan de werken werd het bezoek afgesloten in Willemstad. Na een wandeling door de stad bezocht de Koningin de in uitvoering zijnde Volkerakwerken.



*Loopbrug gemaakt voor H.M. Koningin Juliana.*

Ook bracht Zij een bezoek aan de zandzuigers en baggermolens in de werkhaven. Om Hare Majesteit aan boord te laten gaan was een speciale loopbrug ontworpen en gemaakt. Toen Hare Majesteit zag dat de bemanning van de vaartuigen via de loopplank liep, gaf ook Zij hier de voorkeur aan.

De speciale loopbrug doet nog tot heden ten dage dienst bij een volkstuin aan de Westdijk.



# De stortebedden voor de schutsluizen in het Volkerak

- Inleiding.
- Het modelonderzoek.
- Meetresultaten bij het invaren.
- Snelheidsmetingen in het model.
- Verband tussen stroomsnelheid en korrelafmeting van het bodembeschermingsmateriaal.
- Nadere bepalingen.
- Praktische uitvoering van de stortebedden.

## Inleiding

Onder een stortebed verstaat men de verdediging van de meestal uit fijn en loskorrelig materiaal bestaande kanaal of rivierbodem grenzend aan een sluis, ter voorkoming van ontgrondingen die het kunstwerk in gevaar zouden kunnen brengen. De zwaarte van de verdediging moet beantwoorden aan de ter plaatse optredende stroomaanval.

Bij een inlaat of uitwateringssluis, waar veelvuldig en langdurig grote stroomsnelheden optreden, zal dan ook in het algemeen een zwaardere en uitgebreidere bodembescherming aangebracht worden dan bij een schutsluis.

Bij een schutsluis kan aantasting van de bodem worden veroorzaakt door de vul- en ledigingsstroom van de schutkolk, door de retourstroom van een varend schip, en door de stroom die door scheepsschroeven wordt opgewekt, de zogenaamde schroefstroom.

Het zal duidelijk zijn dat de retour en schroefstroom bij grote schepen, bijvoorbeeld duwvaartkonvoien, het grootst zijn. Ook de waterstand speelt een rol: hoe kleiner de vaardiepte, des te groter de retour en schroefstroom, en des te heviger de aanval op het bodemmateriaal. Om een indruk te krijgen van de vereiste zwaarte en uitgebreidheid van het stortebed voor de schutsluizen in het Volkerak werd besloten dit onderwerp als programmapunt bij het waterloopkundig onderzoek voor de sluisen op te nemen.

## Het modelonderzoek

Aangezien na de afsluiting van het Volkerak de laagste LW-standen zouden voorkomen aan de zuidzijde van de afsluiting, werd het model, schaal 1: 25, het gedeelte van de zuidelijke voorhaven dat aansluit op beide schutkolken in detail geproduceerd. De vorm van het in model opgestelde geleidenremmingswerk beantwoordde weliswaar niet geheel aan de werkelijkheid - hij werd op grond van een later ingesteld onderzoek gewijzigd - maar voor de grootte van de retour en schroefstromen was dit van geen betekenis. De bodem van de zuidelijke voorhaven kwam op een diepte van N.A.P. - 7 meter, en loopt in de richting van de sluis onder een flauwe hellingshoek af naar het peil van de kolkvloer, N.A.P. - 7,50 meter.

Bij de in het model verrichte vaarproeven was de oostelijk gelegen sluis geopend, en de westelijk gelegen sluis gesloten. Daar de stroomsnelheden die werden opgewekt door een duweenheid maatgevend waren voor de aan de constructie te stellen eisen, werden de proeven alleen met dit scheepstype uitgevoerd. De duweenheid waarmee de modelproeven werden gedaan bestond uit een duwboot met twee maal twee duwbakken van het grote 'Franse' type.

De afmetingen waren:

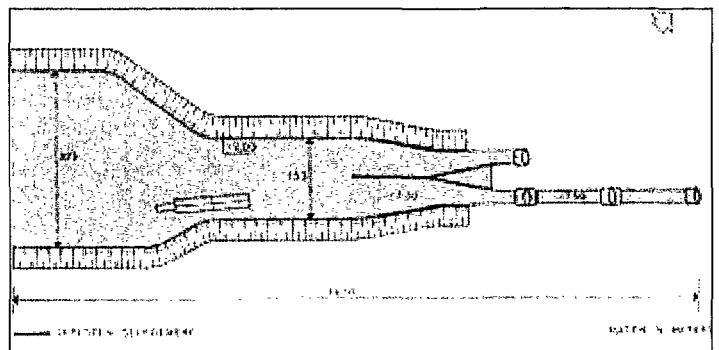
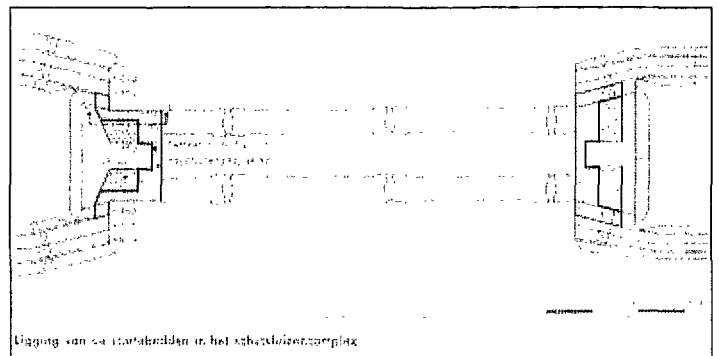
• Duwboot	38 meter lang	10 meter breed	1,80 meter diep	468 m <sup>3</sup>	waterverplaatsing.
• Duwbak	76,5 meter lang	11,40 meter breed	3 meter diep	2443 m <sup>3</sup>	waterverplaatsing.
• Duweenheid	191 meter lang	22,80 meter breed	3 meter diep	10240 m <sup>3</sup>	waterverplaatsing

De duwboot werd voortgeduwd door twee schroeven in tunnels, elk aangedreven door een motor van 750 pk.

In verband met het feit dat in het model in de scheepsweerstand een schaafeffect voorkwam, moest in het model een relatief groter toerental van de schroeven worden ingevoerd. Bijgevolg was in het model de snelheid van de schroefstroom iets te hoog. De invloed van de schroefstroom op de maximale retourstroom en omgekeerd was echter klein. De proeven werden uitgevoerd bij een waterstand van N.A.P. - 2 meter, dat was de gemiddelde LW-stand na de afsluiting van het Volkerak. Door afwaaiing konden lagere waterstanden voorkomen, en ter bredere oriëntatie werden daarom enkele proeven gedaan bij een waterstand van N.A.P. - 3 meter.

De invaarproeven kunnen worden verdeeld in twee groepen, naar gelang de voorwaarden waarvan zij uitgaan, namelijk:

1. Scheepssnelheid op 250 meter van de sluismond 1,55 m / sec ( ongeveer 5,5 kilometer). Aangenomen werd dat een ter plaatse bekende schipper onder gunstige omstandigheden met deze snelheid zou kunnen invaren.
2. Scheepssnelheid op 250 meter van de sluismond 1,85 m / sec ( ongeveer 6,6 kilometer). Op het moment dat de boeg van de





duweenheid de sluismond passeerde, werd het toerental verhoogd tot het werkelijk voorkomend maximum. De snelheid van de schroefstroom was dan op schaal.

Het doel van deze proef was het binnenvaren onder extreme omstandigheden na te bootsen en daarbij de invloed van de hoogst mogelijke schroefstroomsnelheden op het stortebed na te gaan. Een gedeelte van de sluisinvaart en de sluismond, met de plaats van de meetpunten voor de stroomsnelheden, is in een der figuren afgebeeld. Het verloop van de stroomsnelheden werd bepaald door op 0,75 meter boven de bodem simultaan te meten met behulp van vier cup molens. Elke meting werd tenminste tweemaal herhaald.

### Meetresultaten bij het invaren

Bij het onderzoek werd er van uitgegaan dat een duweenheid de sluis invaart zonder de geleidewerken of sluiswand te raken. Een 50 meter lange muur in het verlengde van de stuurboordsluismuur maakt het dwarsprofiel waar het schip in binnenvaart sterk asymmetrisch. Tengevolge hiervan werd de eenheid door de retourstroom naar deze wand toe gezogen. De zuiging was echter zwak, en bij juist manoeuvreren hoefde de eenheid de muur niet te raken. Komt de boeg van de eenheid in de sluismond, dan werd de eenheid sterk afgeremd: gedurende korte tijd traden dan hoge retournelheden op, die het karakter hadden van een stroomstoot. Het uit de kolk stromende water ontweek voornamelijk onder de duweenheid door, en kon door de aanwezigheid van de muur aan stuurboordzijde alleen naar bakboord uitwaaiëren. De door deze stroom op het schip uitgeoefende wrijving drukte de boeg van het schip tegen de bakboord sluismuur. Dit laatste verschijnsel kon niet door manoeuvreren met roer en /of schroeven worden opgeheven. Wel kon men deze moeilijkheid bij de constructie enigszins ondervangen door een rooster aan te brengen in de opening tussen de bodem en de onderkant van de schort van het geleidewerk; aldus was het mogelijk het uitwaaiëren van de stroom te beperken en over enige afstand te verdelen.

Het rooster zou de dwars op het schip werkende krachten in belangrijke mate kunnen verkleinen. In meetpunt 1, dat als referentiepunt van de snelheidsmetingen dienst deed, werd tevens het verloop van de waterstand tijdens het invaren gemeten. Het bleek dat de totale spiegeldaling bij het invaren volgens randvoorwaarde 1,47 centimeter en bij randvoorwaarde 2,57 centimeter bedroeg.

### Snelheidsmetingen in het model

Uit de geregistreerde snelheden werd per meetpunt de maximale waarde bepaald, en tevens van welke aard dit maximum was, aangezien het zowel een gevolg van de retourstroom als van de schroefstroom kon zijn. De aard van het maximum kon worden vastgesteld doordat de snelheidsregistratie de positie van het schip tijdens het invaren was vastgesteld. Daar de snelheden slechts in vier punten simultaan konden worden gemeten, moesten, om een bepaald beeld van de snelheden te krijgen, de proeven vele malen worden herhaald, waarbij de meetinstrumenten telkens in andere punten werden opgesteld. De bij deze methode onvermijdelijke spreiding in de meetresultaten kon met behulp van de in het referentiepunt, meetpunt 1, gemeten snelheden worden herleid tot gemiddelde waarden.

In de volgende figuur is een overzicht gegeven van het gebied waarin de retourstroom maximaal was en van het gebied met maximale schroefstroom, zowel voor randvoorwaarde A als voor B.

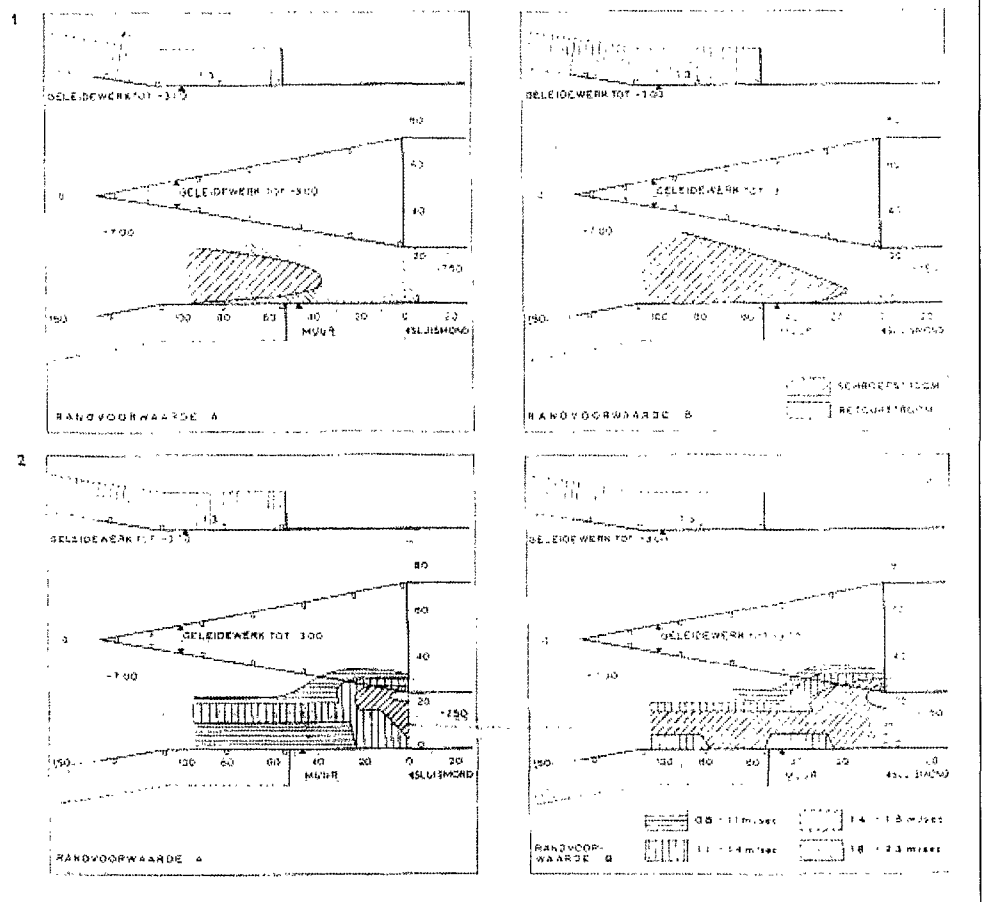
Daaronder is de grootte van de stroomsnelheid langs de bodem in het meetgebied weergegeven. Ter verklaring van de figuren kon het volgende worden opgemerkt: De retourstroom was overheersend in het gebied vlak bij de sluismond. Vooral langs de hoek met het sluseiland traden grote retournelheden op. De maximale retourstroom waaiërde sterk naar bakboordzijde uit en zwakt betrekkelijk snel af. In het verlengde van de sluisas traden hoge schroefstroomsnelheden op in een strook ongeveer ter breedte van een duwboot.

### Verband tussen stroomsnelheid en korrelafmeting van het bodembeschermingsmateriaal.

Uit beschouwingen over de stabiliteit van losse materialen in stromend water werd de verhouding afgeleid tussen de afmeting en het gewicht van de in het stortebed te verwerken steen of grindkorrel enerzijds en de ge-

1 Aard van de maximale snelheden bij randvoorwaarde A en B

2 Snelheidsverdeling langs de bodem bij randvoorwaarde A en B



middelde kritieke snelheid anderzijds. Onder de kritieke snelheid werd verstaan de snelheid waarbij het materiaal nog net in rust bleef. Werd deze snelheid overschreden, dan kwam het materiaal in beweging. In onderstaande tabel worden enige bij elkaar behorende waarden van kritieke snelheid en korreldiameter genoemd.

Kritieke snelheid	Gemiddelde korreldiameter
0,8 meter/ seconde	0,3 centimeter
1,1 meter/ seconde	0,5 centimeter
1,4 meter/ seconde	0,9 centimeter
1,8 meter/ seconde	1,8 centimeter
2,3 meter/ seconde	4,0 centimeter

Men moet wel bedenken dat deze waarden slechts gelden voor de hierboven genoemde omstandigheden en voor materialen met een soortelijke dichtheid van 2650 kilogram/ m<sup>3</sup>.

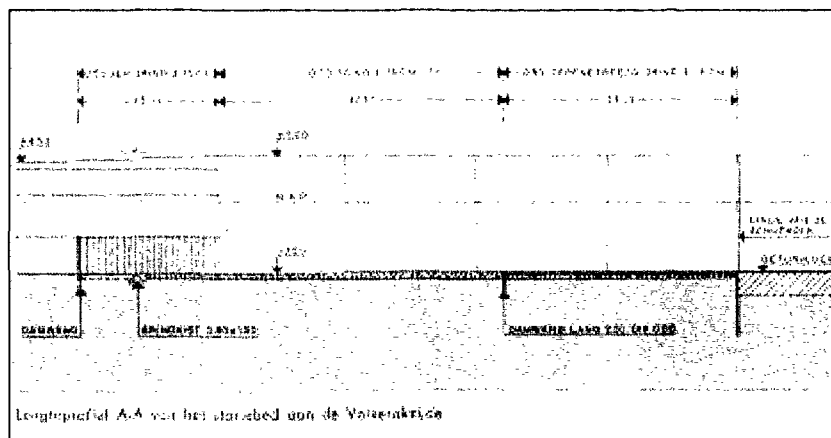
Met behulp van de verkregen modeluitkomsten kon nu het materiaal voor het stortebed worden gekozen en kon men de uitgebreidheid van het stortebed bepalen. Ter toetsing werden in het model nog enkele proeven verricht met losse materialen als stortebed. De uitkomsten bevestigden de juistheid van de tabel.

### Nadere bepalingen.

1. Aangezien er ook duweenheden ter breedte van een duwbak voorkwamen, waarbij de duwboot dichter langs de wanden kon varen, was het raadzaam de zone die hoge schroefstroomsnelheden toeliet te verbreden en de bestorting aan de randen net zo zwaar te maken als in het middengedeelte. Ook om uitvoeringstechnische redenen maakte men een stortebed bij voorkeur geheel uit hetzelfde materiaal.
2. In verband met de stabiliteit van de muren aan de Volkerakzijde diende het stortebed aan de teen van de muur ook voldoende zwaar te zijn, ter voorkoming van grote ontgrondingen.
3. Op enige afstand van het kunstwerk kon men het stortebed beëindigen, aangezien hier zonder gevaar enige ontgronding door de schroefstroom kon worden geduld.
4. Ter bredere oriëntatie werden ook nog enkele proeven genomen bij een lagere waterstand, namelijk N.A.P. - 3 meter. Bij deze proeven, uitgevoerd met dezelfde duweenheid, bleek dat het invaren onder deze omstandigheden veel moeilijker was en dat de duweenheid zeer traag de sluis binnenliep. De snelheden over het stortebed werden belangrijk groter. Een stortebed bestaande uit basaltblokken met een stukgewicht van 40 kilogram bleek plaatselijk niet meer stabiel. Hoewel deze omstandigheden slechts nu en dan voorkomen, moest er toch rekening mee worden gehouden. Wellicht zou men moeten overwegen het schutten van een diep geladen duwconvooi uit te stellen tot het moment waarop de waterstand het peil van N.A.P. - 2 meter weer bereikt had; ofwel, men zou zekere beperkingen aan de invaarsnelheid moeten stellen. Overigens had het stortebed in zijn uiteindelijke vorm zoveel stabiliteit, dat ook onder ongunstige omstandigheden door diepliggende konvoeien kon worden ingevaren.
5. Doordat aan de Hollandsch-Diep zijde een muur in het verlengde van de sluiswand zoals aan de Volkerakzijde ontbrak, was het dwarsprofiel er minder asymmetrisch, en kon de retourstroom er naar beide zijden uitwaaiëren. Toch bleek dat ook hier de retourstroom meer naar bakboord uitwaaiërde en de boeg bijgevolg naar bakboord werd weggezet. Het verschijnsel was echter veel minder sterk dan aan de Volkerakzijde, zodat het niet nodig werd geacht hier en roosterwerk te plaatsen.

### Praktische uitvoering van de stortebedden

Toen de uitslagen van alle proeven bekend geworden waren kon met het ontwerp van de stortebedden worden begonnen. Uit de proefresultaten volgde dat bij een gemiddelde laagwaterstand zou kunnen worden volstaan met een gemiddelde diameter van 4 centimeter. Men had echter met het oog op het optreden van bijzonder lage waterstanden en de daarbij behorende stroomsnelheden besloten en grotere grinddiameter, namelijk 3 'a 15 centimeter toe te passen. Om te voorkomen dat de zeer turbulente stroom het onder het stortebed liggende zand zou gaan uitzuigen moest de grindlaag een zekere dikte hebben. Verder was het voor de uitvoering het gemakkelijkst, als het gehele stortebed uit een zelfde materiaal gemaakt werd. Doordat vooral in het gebied van de sluismond en in het bijzonder aan de kant van het sluisseiland grote snelheden konden optreden, werd het bovenste gedeelte van de grindlaag bovendien met cementmortel vastgelegd. De keuze van deze werkwijze werd vooral gerechtvaardigd door de goede resultaten die met een soortgelijke constructie werden bereikt bij de boordvoorziening van het Hartelkanaal.



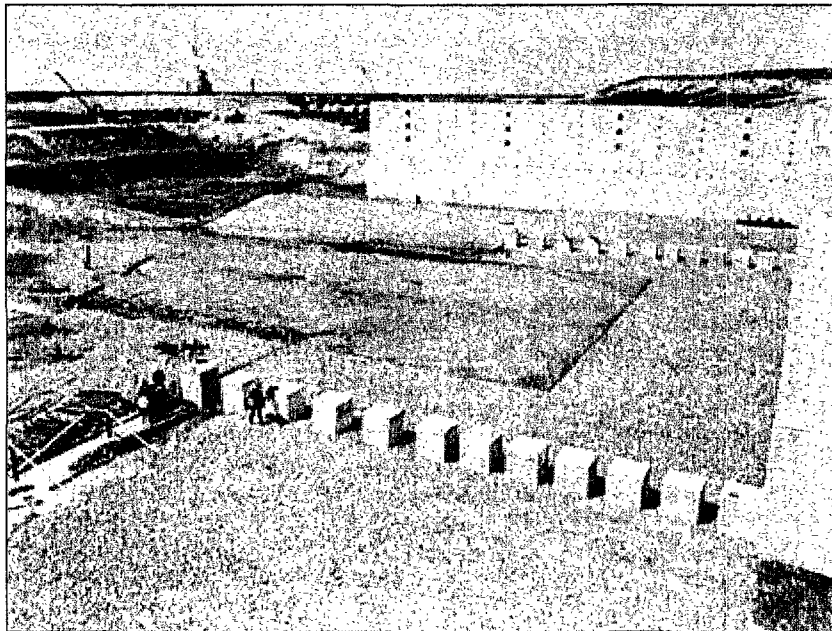
Het op deze wijze uitgevoerde stortebed had een zeer grote stroombestendigheid, zodat ook het schutten van grote duweenheden bij lage waterstanden mogelijk werd. Het met cementmortel geopeneteerde grind omvatte een lengte van 25 meter, gemeten vanuit de sluismond. Aan beide zijden van de sluis werd bovendien een gedeelte van de taluds van de aansluitende dijken op deze wijze vastgelegd, alsook het gedeelte langs de teen van de muur aan de Volkerakzijde. In totaal moest ca. 7400 m<sup>2</sup> met cementmortel worden geopeneteerd. Het geopeneteerde grindgedeelte werd door een houten damwand opgesloten. Hierachter werd het stortebed voortgezet met ongeopeneteerde grof grind, aan de Volkerakzijde over 35 meter, aan de Hollandsch-Diepzijde over 25 meter. De beëindiging van het grind werd gevormd door een grindkist van 1,50 meter lang, ter dikte van 80 centimeter.

Voor het vaststellen van de juiste mortel samenstelling werden op het werkterrein van de bouwput voor de schutsluizen enkele proeven verricht. Een grindlaag van 50 centimeter werd gestort in een houten bekisting met een oppervlak van 2 bij 2 meter. Verschillende mortel samenstellingen werden aangemaakt en beproefd. Het probleem hierbij was, dat de mortel voldoende vloeibaar moest zijn om naar het werk te kunnen worden verpompt, en toch voldoende taai om niet dieper dan 25 centimeter in de bovenste laag van het grind weg te zakken. Na enkele weken verhardingstijd werden de proefvlakken ontkist en kon de mate van indringing en poreusheid worden gecontroleerd. Het bleek dat de beste resultaten worden bereikt met de volgende samenstelling: 50 kg portland cement, 90 'a 105 kg grof zand, 25 liter water en 0,5 kg ' intrusion-aid '.

Bovendien een vergroting van de stroombestendigheid bood het penetreren nog een voordeel: de grindlaag bleef poreus, zodat de wateroverdruk, indien deze optrad, geen gevaar te duchten viel.

Het roosterwerk dat aan de Volkerakzijde nodig was om de retourstroom meer in de langsrichting van het schip te doen verlopen, om daardoor omzetting van de boeg van een duweenheid bij het binnenvaren te beperken, werd gemaakt van grote betonblokken. Ze zijn 1,75 meter hoog; de onderkant bevindt zich 0,50 meter onder de bovenzijde van de grindlaag. De horizontale dwarsdoorsnede is 1,25 bij 1,25 meter. Om de stabiliteit van deze blokken te vergroten werd het grind rondom de voet gepenetreerd. Dit roosterwerk vereist geen onderhoud. Doordat rooster en geleidewerk geheel los van elkaar staan kunnen de houten schorten van het geleidewerk in geval van schadevaring gemakkelijk worden vervangen.

De stortebedden werden in den droge gemaakt. Het werk, waarin ook begrepen het maken van de aansluitende dijkvakken, werd volgens overeenkomst DED-714 voor een aannemingssom van f 860.900,00 opgedragen aan de Combinatie Schutsluizen Volkerak.



*Aanleg van het stortebed aan de Volkerakzijde, met rooster van betonblokken*

# *Filterglooingen en hun toepassing bij de noordelijke voorhaven van de Volkeraksluizen*

Als we over filteren spreken denken we aan het verwijderen van vaste delen uit een vloeistof door een filter. Een filter kan, al naar gelang toepassing, van zeer verschillende samenstelling zijn. Behalve filterpapier of een zeef kan men als filter ook een laag zand of een systeem van verschillende lagen minerale korrels gebruiken; voor de opeenvolgende lagen kiest men dan materiaal van toenemende korrelgrootte.

Een dergelijk filter, opgebouwd uit minerale korrels, werd oorspronkelijk toegepast voor de zuivering van water; het principe is echter ook bruikbaar in de waterbouwkunde, bij een oever verdediging. Wanneer de waterspiegel daalt, door getijbeweging of door golven veroorzaakt door wind of scheepvaart, kan een waterstroming optreden vanuit het grondlichaam. Om nu te beletten dat gronddeeltjes worden meegevoerd, wordt op het beloop een filterglooiing aangebracht.

Amerikaanse onderzoekingen hebben uitgewezen dat een filter aan de volgende eisen moet voldoen:

1. Het filtermateriaal moet doorlatender zijn dan het basismateriaal van het grondlichaam, zulks om wateroverdrukken te voorkomen;
2. De holle ruimte in het filtermateriaal moet voldoende klein zijn om te verhinderen dat het basismateriaal doordringt in het filter; anders zou immers verstopping ontstaan;
3. De dikte van de filterlaag moet voldoende zijn om een goed verdeling van de daarin voorkomende korrel grootten te verzekeren.

Deze eisen gelden voor een filter bestaande uit een laag. Een enkelvoudige filter is echter meestal niet voldoende omdat de bovenste laag weerstand moet kunnen bieden aan de uitwendige krachten van stroom en golfslag; gebruik van meer dan een laag, met toenemende korrelgrootte naar buiten toe, dan gelden deze criteria eveneens voor de tweede filterlaag ten opzichte van de eerste filterlaag enzovoort.

Om aan de tweede eis te voldoen dient er een bepaald verband te zijn tussen de korrelverdelingsdiagrammen van de materialen aan weerszijden van de grenslaag.

Dit verband is afhankelijk van de vraag of we met een weinig of met een goed gegradeerd mengsel te doen hebben, terwijl ook de vorm van de korrels, afgerond of hoekig, van invloed is. Het verband tussen de materialen komt in de figuur tot uitdrukking in de horizontale afstand tussen de korreldiagrammen.

## **Het ontwerp van de glooiingen in de haven**

De noordelijke voorhaven van de Volkeraksluizen ligt voor een groot gedeelte in de buitenpolder Maltha. Aan de landzijde wordt de haven begrensd door een nieuwe hoog water kerende dijk, aan de andere zijde door een brede havendam waarop een boom beplanting voor de nodige beperkingen van de windinvloed in de haven moet zorgen. De motieven die in dit geval geleid hebben tot de keuze van een filterglooiing waren de volgende:

- De op de benedenrivieren gebruikelijke constructie, waarbij beneden een peil van 0,50 meter boven laag water een kraagstuk werd aangebracht en daarboven een of andere steen of betonglooiing, was hier niet toepasbaar omdat de waterstanden door de afsluiting van het Haringvliet belangrijke wijzingen zouden ondergaan.
- De teen van de glooiing zou hoger moeten komen, wilde men ook later onderhoud in den droge mogelijk maken; Maar dat zou tot gevolg hebben dat de bovenkant van de kraagstukken zou gaan verrotten.

Althans voor dit overgangsgedebied was dus de toepassing noodzakelijk van materialen die zowel in droge als in natte toestand houdbaar waren. Men kon de filters in den droge uitvoeren door sleuven te graven en die te bemalen en door pas later de haven te ontgraven. Deze maatregelen waarborgden een zorgvuldige uitvoering van de verschillende lagen van de filterglooiing.

Voor het gedeelte van het beloop boven NAP + 0,70 meter, werd een betonglooiing gekozen met als teenconstructie een houten damwand. Bij het bepalen van de benedengrens van de verdediging werd gebruik gemaakt van de publicatie van Prof. Ir. P. Ph. Jansen en Ir. J.B. Schijf in het verslag van het 18e Internationale scheepvaartcongres te Rome. Volgens deze gegevens veroorzaakt bij een waterstand van NAP + 1,60 meter, die voor de afsluiting van het Haringvliet gemiddeld twee maal per jaar voorkomt, een duwconvooi dat met een snelheid van 4 meter per seconde vaart (ongeveer 14,5 kilometer) een spiegel daling van 0,21 meter. Als we drie maal de waarde van de spiegel daling uitzetten beneden de waterstand, dan komen we op een peil waar beneden geen noemenswaardige erosie optreedt. Bij de gegeven constructie, die niet bestand was tegen ontgroningen nabij de teen, werd de onderkant veiligheidshalve nog iets lager gekozen en wel op NAP - 2,50 meter.

De filterglooiing werd als volgt samengesteld:

- 1e laag 0,15 meter grindzand 0,5 - 5 mm.
- 2e laag 0,35 meter grind 3 - 8 cm.
- 3e laag maassteen 5 tot 40 kilogram waarvan 400 kilogram per m<sup>2</sup> werd verwerkt.

Uit berekeningen van de golfhoogten voor de havenmond en modelproeven in het Waterloopkundig Laboratorium te De Voorst was gebleken dat bij windkracht 7 uit O.N.O. richting in de haven plaatselijk golfhoogten konden voorkomen van 0,80 centimeter. Volgens de formules van Iribarren en Van Beaudeyin waren onder deze omstandigheden bij een taludhelling van 1 : 3 steengewichten van ongeveer 20 kilogram nodig voor de vorming van een stabiele bekleding. De voor de bovenste laag gekozen steen met stukken van 5 tot 40 kilogram die bovendien nog worden gevleid, voldeed aan genoemde eisen en zou ook bestand zijn tegen de door de scheepvaart veroorzaakte golven.

Aan de buitenzijde van de havendam kon de golfaanval belangrijk zwaarder zijn dan aan de binnenzijde. Van NAP - 4 meter tot NAP + 1,50 meter werd de havendam uitgebouwd met behulp van mijnsteenkaden. Beneden de LW lijn konden aan de afwerking van het beloop geen al te grote eisen van nauwkeurigheid worden gesteld. De afdekking daar werd dan ook gemaakt met een kraagstuk. Boven de LW lijn lag een filterglooiing, opgebouwd uit een laag grind 5 tot 20 centimeter ter dikte van 0,30 meter en laag zware stortsteen, waarvan 800 kilogram per m<sup>2</sup> werd verwerkt. Boven de mijnsteenkaden werd het zand afgedekt met een laag mijnsteen, waarover de lagen grind en stortsteen werden doorgetrokken.



# Het onderzoek naar de maatregelen ter vermindering van windhinder voor de scheepvaart bij de Volkeraksluizen

- Inleiding.
- Voortzetting en afsluiting van het onderzoek.
- Kunstmatige schermen.
- Vergelijking tussen natuurlijke en kunstmatige windschermen.

## Inleiding

Dwarswind verplaatst een schip zijwaarts. De grootte van de winddruk is evenredig met het door de wind getroffen oppervlak en met het kwadraat van de windsnelheid. Ook de vorm van het schip speelt hierbij een rol.

De schipper corrigeert de zijdelingse verplaatsing met het roer. Om de gewenste koers te behouden wordt de boeg van het schip schuin tegen de wind ingedraaid; de lengteas van het schip maakt dan een hoek met de vaarrichting.

De grootte van deze hoek is afhankelijk van de ligging van het stuwpunt van de winddruk t.o.v. het zwaartepunt van de tegen-druk die het water op de natte langsdoorsnede van het schip uitoefent bij zijdelingse verplaatsing. Om de juiste koers te kunnen handhaven mag de snelheid van het schip ten opzichte van het water niet te gering zijn, daar anders onvoldoende druk op het roer wordt uitgeoefend. Op brede, ruime waterwegen is het meestal wel mogelijk de hinderlijke harde zijwind op te vangen. Op smalle waterwegen echter, en ook bij het passeren van schutsluizen kunnen zich moeilijkheden voordoen. Bij het invaren van een schutkolk is de snelheid van een schip niet groot en de ruimte om te manoeuvreren beperkt. Vooral voor onbeladen duwconvoeien, die hoog op het water liggen, wordt het invaren van een schutkolk bij harde zijwind een moeilijke opgave. Het moet niet uitgesloten worden dat een duwconvooi bij scheve invaart volledig klem loopt.

Het zal duidelijk zijn, dat het verminderen van windinvloed door het aanbrengen van boombeplanting of kunstmatige windschermen het invaren aanzienlijk vergemakkelijkt en de kans op schadevaring beperkt. Om het effect van kunstmatige windschermen of boombeplanting bij de Volkeraksluizen na te gaan, werd in een windtunnel van het Nationaal Lucht en Ruimtevaartlaboratorium dienaangaande een nader onderzoek ingesteld. Voor dit doel werden door de Rijkswaterstaat twee modellen vervaardigd. Het eerste model, schaal 1: 500, gaf de gehele situatie in de onmiddellijke omgeving van de beide schutsluizen weer. In het model bevonden zich aan beide oevers open geleidewerken, terwijl het middelste geleidewerk als een dichte constructie werd uitgevoerd, die aan de Hollandsch-Diepzijde tot N.A.P. + 3 meter en aan de Volkerakzijde tot N.A.P. + 5 meter reikte. De totale breedte ter plaatse van de inваarkanalen bedroeg op N.A.P. hoogte ca. 200 meter. Het terrein aan weerszijden van de inваarkanalen kon met bomen worden beplant. In het model werd de algemene luchtbeweging onderzocht met behulp van windvaantjes. Daar het te klein was om metingen met windschermen uit te voeren, werd een tweede model gebouwd dat slechts een gedeelte van de inваarkanalen met de geleidewerken weergaf. De schaal was 1: 100.

Bij het onderzoek werd allereerst nagegaan, welke invloed een bodembeplanting op de luchtstroom boven de inваarkanalen had en in hoeverre de winddruk er mee kon worden verminderd. Het was moeilijk voor dit gedeelte van het onderzoek een modelboom te maken die de doorlatendheid en de weerstand van een bepaalde boomsoort op schaal weergaf. Door takjes aan te brengen die op schaal enige gelijkenis met populieren vertoonden, kon men metingen uitvoeren.

Uit het onderzoek bleek, dat een enkele bomenrij met een ondergroeiing een beter resultaat gaf dan een paar rijen bomen achter elkaar. De breedte van het afgeschermd gebied bedroeg ongeveer zeven maal de boomhoogte, wat niet voldoende was om de volle breedte van de inваarkanalen af te schermen.

Onderzoekingen in het buitenland hadden reeds uitgewezen, dat een dichte beplanting turbulente luchtstromingen, waarin snelheden voorkwamen die vrijwel gelijk waren aan die van de ongehinderde wind. Een nadeel van een natuurlijk windscherm was daarenboven, dat de doorlatendheid van bomen wisselt met seizoenen.

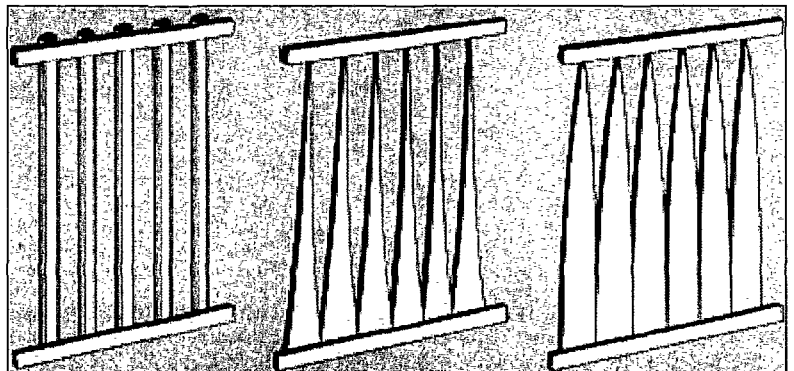
Het onderzoek omvatte ook enige proeven met kunstmatige windschermen. Uit de literatuur was bekend dat de beste resultaten worden bereikt met halfdoorlatende schermen. Eigen onderzoek bevestigde dit. Deze conclusie stemde dus in begin overeen met het gevonden resultaat bij de natuurlijke windschermen.

Onderzocht werden drie verschillende typen windschermen.

- Een windscherm met verticale ronde spijlen op onderlinge afstand gelijk aan de spijldiameter.
- Een windscherm bestaande uit verticale beplanking, waarbij de afstand tussen de planken toenam met de hoogte.
- Een windscherm bestaande uit horizontale beplanking, waarbij de afstand tussen de planken toenam met de hoogte.

Bij een windrichting loodrecht op het scherm waren de resultaten van de verschillende typen vrijwel gelijk. Bij schuine aanstroming, nagebootst door het model in de windtunnel te draaien, werd bij ieder type de breedte van de strook waarin de winddruk voldoende werd gereduceerd, geringer. De windhinder voor de scheepvaart was echter bij schuine aanstroming ook geringer. Het bleek, dat het type met horizontale beplanking bij schuine aanstroming dezelfde, terwijl het windafschermend effect van de verticale stijlen bij schuin invallende wind minder gunstig werd.

Bij een schermhoogte van ca. N.A.P. + 11 meter aan de Hollandsch-Diepzijde en van ca. N.A.P. + 11,50 meter aan de Volkerakzijde kon met een horizontale beplanking onder normale getijomstandigheden voldoende reductie van de windsnelheden over de gehele kanaalbreedte worden verkregen. Aan de Volkerakzijde was het resultaat dan nog iets beter dan aan de Hollandsch-Diepzijde, daar het middelste geleidewerk aan de Volkerakzijde 2 meter hoger was.



Bij hogere waterstanden verminderde het effect van het windscherm. In deze gevallen, waarbij het Volkerak meestal wordt getroffen door een harde zijwind uit noordwestelijke richting, werd de gehele kanaalbreedte bij een schermhoogte van N.A.P. + 11,50 meter niet meer volledig afgeschermd. Na de afsluiting van het Volkerak en voor de afdamming van de Oosterschelde werden de hoogwaterstanden ten zuiden van de Volkerakdam aanzienlijk verhoogd. Het grenspeil, dat nu een waarde van N.A.P. + 3 meter had, zal dan verhoogd worden tot N.A.P. + 3,80 meter. Voor deze veelvuldig voorkomende waterstand werd met een scherm ter hoogte van N.A.P. + 11,50 meter een onderzoek verricht.

Na afsluiting van het Haringvliet werden op het Hollandsch-Diep niet meer veelvuldig hoge waterstanden verwacht. Het peil van N.A.P. + 3 meter had daar dan een gemiddelde overschrijdingsfrequentie van 10-4. Vermoedelijk zouden dus de windschermen aan de Volkerakzijde hoger gemaakt moeten worden dan de voorlopig aangehouden waarde van N.A.P. + 11,50 meter.

Het was ook denkbaar dat men aan de windhinder zal trachten te ontkomen door aan de scheepvaart ter plaatse bepaalde regels op te leggen. Zo zou men lege duwvaartboten onder moeilijke omstandigheden via de best afgeschermd sluishoek kunnen schutten. Een beslissing dienaangaande was echter nog niet genomen.

Het in dit artikel besproken onderzoek werd nog niet afgesloten. Onder meer zou nog onderzocht worden of bij horizontale beplanking, waarbij de afstand tussen de planken met de hoogte toenam, nog een beter resultaat kon worden verkregen.

Voordat de definitieve keuze uit de verschillende oplossingen gedaan kon worden, moesten de resultaten van het verdere onderzoek worden afgewacht. Overwegingen van landschapsarchitectuur werden daarbij zeker niet buiten beschouwing gelaten.

### **Voortzetting en afsluiting van het onderzoek**

Het onderzoek naar de maatregelen ter vermindering van de windhinder voor de scheepvaart bij de Volkeraksluizen werd sinds 1965 voortgezet. Het verslag van mei 1965 bevatte enkele voorlopige conclusies en een aantal nog door onderzoek te beantwoorden vragen. De belangrijkste hiervan waren:

- Kan met een windscherm waarvan de doorlatendheid met de hoogte toeneemt een nog betere afschermende werking worden verkregen dan bij gelijke tussenruimten tussen de horizontale planken?
- In welke mate zijn de resultaten met boomschermen geringer dan met kunstmatige schermen?

Om deze vragen te beantwoorden werden een reeks aanvullende proeven genomen in een van de windtunnels van het Nationaal Lucht en Ruimtevaart Laboratorium te Amsterdam.

### **Kunstmatige schermen**

Bij kunstmatige schermen gebruikte men de term 'gemiddelde doorlatendheid'; daaronder werd bij schermen met en horizontale beplanking verstaan de verhouding tussen de gesommeerde spleetbreedte en de totale schermhoogte. Bij het voortgezet onderzoek werden zeven verschillende windschermen met horizontale beplanking onderling vergeleken, en wel

1. Een scherm met gelijke spleetbreedte over de gehele hoogte van het scherm. De gemiddelde doorlatendheid was 25 %;
2. Een scherm met een hoogterichting toenemende spleetbreedte. De plaatselijke doorlatendheid verliep van 12,5 % tot 37,5 % en bedroeg gemiddeld ook 25 %;
3. Een scherm met een verloop van de plaatselijke doorlatendheid in hoogterichting van 0 % tot 50 %; de gemiddelde doorlatendheid was weer 25 %;
4. Een scherm met gelijk blijvende spleetbreedte en een gemiddelde doorlatendheid van 50 %;
5. Een scherm met toenemende plaatselijke doorlatendheid van 25 % tot 75 %. Gemiddeld 50 %;
6. Een scherm met toenemende doorlatendheid van 0 tot 100 %; gemiddeld weer 50 %;
7. Een volledig dicht scherm.

Al deze schermen werden in de windtunnel op een vlakke, horizontale grondplaat opgesteld. Om een twee dimensionaal stromingsbeeld te verkrijgen werden aan de beide uiteinden van het te onderzoeken scherm staande schotten aangebracht, evenwijdig aan de windrichting in de tunnel. Door de opstelling op een vlakke, horizontale plaat werd de specifieke configuratie van de omgeving in de werkelijkheid, die bepaald wordt door de oevervormen, dijken, gebouwen en dergelijke meer, uitgeschakeld. De resultaten van dit vergelijkend onderzoek waren derhalve van algemene aard. Tot deze beperking van het onderzoek werd besloten om te vermijden dat er een al te klein modelschaal moest worden toegepast en bovendien om het onderzoek te versnellen. Aangenomen mocht worden, dat de aanwijzingen die uit het onderzoek resulteerden in hun algemeenheid ook geldig waren voor de specifieke omstandigheden die zich bij de Volkeraksluizen voordeden.

Daar in werkelijkheid de windrichting slechts zelden loodrecht op de lengterichting van het scherm zou staan, werden ook enkele metingen met scheve aanstroming uitgevoerd. Voor het onderzoek bij die omstandigheden werd een aanstromingshoek tussen windrichting en lengte as van het scherm van 60 graden aangehouden.

Op bepaalde afstanden achter het scherm, nl. op 1, 5, 10, 15 en 20 maal de schermhoogte werd de windsnelheid op verschillende hoogten gemeten. Voor ieder onderzocht scherm werden de waarnemingen in een grafiek genoteerd en door interpolatie konden hierin lijnen van constante windsnelheid worden getekend, zodat de gebieden waarbinnen de windsnelheid een zekere waarde niet overschreed, bepaald kon worden. Het effect van ieder scherm kon op deze wijze goed beoordeeld worden en bovendien werden onderlinge vergelijkingen mogelijk van de resultaten der verschillende schermen. Bij een vlakke, dichte plaat, loodrecht op de windrichting geplaatst, zou de aanstromende lucht aan de voorkant van de plaat worden opgestuwd en naar boven uitwijken. Aan de bovenrand van de plaat liet de luchtstroom los en achter de plaat ontstond een zogenaamd zog gebied. Aan de achterzijde van de plaat heerste een onderdruk, waardoor er een gebied ter diepte van 6 'a 7 maal de schermhoogte een terugstroming langs de grondplaat, tegen de hoofdstroomrichting in, plaatsvond. Benedenstrooms van dit gebied werd de terugstroming minder sterk en tenslotte ging ze over in een onrustige, wervelende luchtstroom, die zich in de richting van de hoofdstroom bewoog. Nog verder benedenstrooms werd de luchtstroom weer meer gericht en doordat de wervels gaandeweg uitdempden herstelde zich de toestand die voor de plaat heerste.

Wanneer in het scherm spleten werden gemaakt, zal een deel van de luchtstroom daar doorheen gaan, met het gevolg dat de luchtstroom nu niet zo ver omhoog werd gebogen als bij een dicht scherm. Ook was de onderdruk achter het open scherm veel kleiner, waardoor de wervels die aan de rand van het scherm ontstonden, veel minder sterk waren. Het terugstroomgebied achter

het scherm was aanmerkelijk kleiner, daarachter bevond zich een gebied, waarin de luchtstroom werd afgeremd en zich rustiger en minder turbulent bewoog. Door het onderzoek kwam vast te staan dat het afgeschermd gebied bij een gelijkmatige doorlatend scherm groter was dan bij schermen met een toenemende doorlatendheid in hoogterichting. De beste resultaten werden bereikt met een scherm van een gelijkmatige doorlatendheid van ca 25 %. Voor alle schermen werd vastgesteld dat bij scheve aanstroming het gebied met lage windsnelheden niet alleen lager kwam te liggen, maar ook aanzienlijk korter werd. Naarmate de wind schever aanstroomde, werd het afgeschermd gebied kleiner. Onderstaande tabel kan enig idee geven omtrent de mate van afscherming van een gelijkmatig voor 25 % doorlatend scherm. De schermhoogte in meters wordt aangeduid als h.

Snelheid in % van de ongestoorde windsnelheid.	Grootte van het afgeschermd gebied bij:			
	Loodrechte aanstroming	Scheve aanstroming		
	lengte	hoogte	lengte	hoogte
< 20 %	20 h	2 h	6 h	1 h
< 40 %	25 h	3 h	11 h	1,5 h

### Vergelijking tussen natuurlijke en kunstmatige windschermen

In het vervolg van het onderzoek had men getracht vast te stellen of met natuurlijke windschermen toch niet de bevredigende reductie van de windhinder kon worden verkregen. Een natuurlijk scherm heeft boven een kunstmatig, twee belangrijke voordelen:

- De kosten van de aanschaf en onderhoud zijn relatief laag;
- Het siert het landschap.

Dit kon van een kunstmatig windscherm niet gezegd worden. Het is een bekend ervaringsfeit dat boomrijen, mits ze voldoende dicht zijn, een goed afscherming tegen windhinder kunnen bieden. Een natuurlijk windscherm kon men echter niet zo dicht maken als voor de windafscherming wel wenselijk was. Er moest met het oog op de groei een zekere minimale afstand tussen de bomen in acht worden genomen. Bovendien konden boomsingels aan de onderzijde door het ontbreken van takken te open zijn. Verbetering hiervan was mogelijk door het aanbrengen van een geschikte onderbegroeiing tussen de bomen. Een probleem vormde de met het seizoen wisselende doorlatendheid van bladverliezende bomen. Om met behulp van schaalproeven in een windtunnel tot een goede beoordeling van diverse natuurlijke windschermen te geraken, was een zeer uitgebreid onderzoek noodzakelijk, daar men de invloed van alle hier genoemde variabelen diende na te gaan. Om op korte termijn toch een indruk te krijgen van de afschermende werking van een natuurlijk windscherm, werd besloten er een beperkt en kort lopend onderzoek naar in te stellen. Bij het eerste onderzoek werden takjes en twijgjes toegepast, die op schaal enige gelijkenis met populieren vertoonden. Bij het verdere onderzoek werden nylon borstels als modelbomen gebruikt. Deze borstels die tien meter hoge bomen moesten voorstellen, werden aangebracht in een detailmodel van de invaarkanalen nabij de Volkeraksluizen. Dat model, schaal 1: 100, gaf behalve de beide invaarkanalen met geleidewerken bovendien de op de voorhaven aansluitende terreinen met dijken weer. Deze terreinen konden van een boombeplanting worden voorzien.

Ter verdere beperking van het onderzoek werden de verschillende boombeplantingen slechts bij een windrichting, namelijk loodrecht op de invaarkanalen onderzocht, en slechts bij een waterstand in de voorhaven, namelijk N.A.P. Uit het onderzoek met de kunstmatige schermen was reeds gebleken dat de invloed van de waterstand op de afschermende werking gering was. Op de terreinen op beide oevers werden de ' bomen ' volgens drie verschillende beplantingspatronen aangebracht:

1. Bij de eerste proef bedroeg de afstand tussen de bomenrijen 5 meter. In iedere rij was de onderlinge afstand der bomen 5 meter. De bomen in iedere rij werden niet verspringend ten opzichte van de vorige rij geplaatst. De breedte van het plantsoen was ongeveer 50 meter;
2. In de tweede proef bedroeg de afstand tussen de bomenrijen 5 meter. In iedere rij stonden de bomen op afstanden van 10 meter van elkaar. De bomen van iedere rij versprongen 2,50 meter ten opzichte van de bomen van de vorige rij. De breedte van het plantsoen was ongeveer 50 meter;
3. Voor de derde proef werd de opstelling van de tweede proef gehandhaafd; slechts werd het plantsoen versmald tot een totale breedte van 25 meter.

Uit de snelheidsmetingen bleek dat met de hier op schaal aangebrachte ' bomen ' een redelijke afscherming te bereiken viel. Zo was in de eerste proef de windsnelheid op 10 meter hoogte boven het wateroppervlak maximaal 18 % van de ongestoorde windsnelheid voor het scherm. Op geringere hoogten waren de gemeten waarden nog kleiner. Bij het uitgedunde plantsoen van de tweede proef werd op 10 meter hoogte een snelheid van maximaal 32 %, en bij het versmalde plantsoen van de laatste proef van maximaal 26 % van de ongehinderde windsnelheid voor het scherm gemeten. Op geringere hoogten waren de verschillen nog kleiner. Uit deze uitkomsten volgde dat een 25 meter breed plantsoen een iets betere afscherming bood dan een plantsoen van 50 meter. Maar het verschil was niet groot. Daar de groei der bomen vermoedelijk een grotere onderlinge afstand vereiste dan 5 meter, kwamen alleen de beplantingspatronen van de tweede en derde proef voor verwezenlijking in aanmerking.

Vergeleek men de resultaten van de natuurlijke windschermen met die van een kunstmatig windscherm met bijvoorbeeld een doorlatendheid van 25 %, dan zag men, dat met het kunstmatige scherm een betere afscherming werd bereikt. Toch was de vermindering van de windhinder die met het hier onderzochte natuurlijke scherm werd bereikt reeds aanzienlijk.

Uit het beperkte onderzoek kon men dan ook de conclusie trekken dat de toepassing van natuurlijke windschermen tot de reële mogelijkheden behoorde. Zou men erin slagen boomsingels aan te brengen waarvan de doorlatendheid enigszins overeenkwam met die van de ' bomen ' in het model, dan werd daarmee voor de scheepvaart een goede afscherming van de wind ter plaatse van de invaarkanalen bij de sluizen mogelijk. Met de deskundigen van het Staatsbosbeheer werd nader contact opgenomen om na te gaan welke boomtypen voor dit doel het meest geschikt waren.





# *De vormgeving en toepassing van geleidewerken bij duwvaart*

- Inleiding.
- Het gedrag van een schip bij het invaren van een sluiscolk.
- Vormgeving van geleidewerken bij duwvaart.
- De invloed van zijwind bij het invaren.
- Het onderzoek naar de optische eigenschappen van een geleidewerk.
- Samenvatting.
- Krachten en energie van scheepsstoten.
- Programma van eisen.
- Keuze van het ontwerp.
- Beschrijving van de constructie.

## **Inleiding**

In het algemeen wordt het passeren van een schutsluis door de scheepvaart als hinderlijk ondervonden, daar het meestal enig oponthoud meebrengt.

Het totale tijdverlies dat bij het schutten van schepen optreedt, kan in de volgende onderdelen worden gesplitst:

- Wachtijd, dat is de tijd, die verloopt tussen de aankomst van het schip in de voorhaven bij de sluis en het moment waarop de schepen kunnen gaan invaren;
- Invaartijd;
- Sluitingsduur van de sluisdeuren;
- Vul en ledigingstijd van de colk;
- Openingsduur van de sluisdeuren;
- Uitvaartijd.

Bij moderne sluisen duurt het omzetten van de colk - het vullen of ledigen - tussen de 5 en 8 minuten. Op deze tijd kon nauwelijks enige winst behaald worden. Ook het openen en sluiten van de deuren met behulp van elektrische bewegingsmechanismen gaat snel. Alleen de tijd voor het invaren en uitvaren kon nog worden bekort en wel door een goede situering van de voorhavens met wachtplaatsen en geleidewerken. Geleidewerken kunnen, mits goed opgesteld, ook schadevaringen aanzienlijk beperken.

Voor de conventionele binnenvaart was de keuze van vorm en constructie van de geleidewerken vaak een kwestie van ervaring en persoonlijk inzicht. Bij het bestuderen van een aantal sluisen in West-Europa ontmoet men dan ook een groot aantal verschillende oplossingen. Nu eens werden de geleidewerken over een grote lengte, dan weer over een kleine afstand aangebracht. Soms bestonden ze uit een verende constructie, terwijl men op andere plaatsen daarentegen zware, starre bouwsels aantroef. De tangent van de hoek die het geleidewerk maakt met de sluisas, varieerde hierbij van 1: 4 tot 1: 8.

De duwvaart had in Europa haar intrede gedaan. Tot dan werd de duwvaart alleen in de Verenigde Staten uitgeoefend. De ontwikkeling in West-Europa verkeerde nog in een begin stadium en het aantal duwboten was gering. Voor de toekomst werd echter verwacht, dat de duwvaart een belangrijk percentage, misschien wel met het grootste gedeelte van de binnenvaart vloot zou gaan uitmaken. De totale waterverplaatsing van een duwvaartconvooi bedraagt 10 000 á 12 000 ton, wat veel meer was dan die van het grootste conventionele binnenvaartschip. Het was dus duidelijk dat de duwvaart aan nieuw te bouwen sluisen en aan geleidewerken geheel andere eisen stelde dan de conventionele vaart.

Ook bij de toen in aanbouw zijnde sluisen in het Volkerak diende dus met deze eisen rekening te worden gehouden.

Daar men in Nederland niet over ervaring beschikte en de ervaring in de Verenigde Staten met het schutten van duwvaartconvooien opgedaan niet volledig van toepassing waren op de Europese omstandigheden, besloot de Deltadienst een uitgebreid modelonderzoek te laten verrichten waaruit onder andere ontwerp gegevens voor de vormgeving van de geleidewerken bij de Volkeraksluisen zouden moeten volgen.

In het navolgende zullen de resultaten en de conclusies van dit onderzoek worden besproken.

## **Het gedrag van een schip bij het invaren van de sluiscolk**

Op het moment, dat bij het invaren de boeg van een schip het sluisfront passeert, veranderen de condities voor de retourstroom, die tegenovergesteld aan de vaarrichting onder langs het schip loopt. Het natte profiel van de sluiscolk, dat kleiner is dan het natte profiel voor de sluis, wordt plotseling nog eens verkleind met de doorsnede van het schip onder de waterspiegel. Het gevolg hiervan is dat een translatiegolf voor het schip uit, de sluiscolk in loopt. Door deze verhoging van de waterspiegel voor het schip en door de vergrote retourstroom zal de snelheid van het schip afnemen. Aan het eind van de colk wordt de translatiegolf door de gesloten sluisdeuren teruggesloopt en ontmoet het inmiddels verder de colk ingevaren schip; de snelheid neemt hierdoor nog meer af.

Het grootspantoppervlak onder water van de conventionele binnenvaartschepen is in verhouding met het natte dwarsprofiel van de sluiscolk meestal klein, zodat retourstroom en translatiegolf de scheepvaart weinig hinder veroorzaken. Onder normale omstandigheden met weinig dwarswind zal de schipper zo spoedig mogelijk voor het invaren zijn vaarrichting met de sluisas laten samenvallen en trachten het schip geheel vrij, zonder de sluiswanden te raken, de colk invaren. De geleidewerken dienen er dan voor om onverhoopte foute manoeuvres op te vangen en te corrigeren teneinde schadevaring te voorkomen.

Bij de duwvaart liggen de problemen anders. Door de grote breedte van het konvooi, bijvoorbeeld 22,80 meter breedte bij 2 bakken naast elkaar of 11,40 meter breed met 1 bak en, zoals bij de Volkeraksluisen, een sluisbreedte van 24 meter, zal de retourstroom sterker zijn en grotendeels onder het schip door de colk uitstromen; de translatiegolf kan daarbij, afhankelijk van de scheepsnelheid, enkele decimeters hoog worden. Als dan ook nog de waterstand bijzonder laag is, gaat het invaren van een duwconvooi veel lijken op de beweging van een zuiger in een cilinder. Het kan dan voorkomen, dat het schip geheel wordt afgeremd en zelfs achteruit gezet. Bovendien zal, gezien de kleine speling tussen schip en sluiswand, reeds een kleine fout bij het invaren en botsing met de sluiswand ten gevolgen kunnen hebben. Door de grote massa van het schip zal de schade aan schip en sluiswand in een dergelijk geval aanzienlijk zijn.

In de bovenste figuur is schematisch aangegeven, welke krachten op het schip en de sluiswand worden uitgeoefend bij scheve invaart van een duwconvooi. Stel dat de boeg bij A de sluiswand raakt en het schip bij B tegen de hoek aangedrukt wordt, terwijl het schip nog een voorwaartse beweging heeft. De wrijvingskrachten zullen het schip afremmen, terwijl de loodrecht op de muur gerichte krachten tezamen een koppel vormen, dat het schip draait en rechter voor de sluis kolk brengt. Door de grote breedte van het schip is de arm van dit koppel klein en door de grote traagheid van het schip zal recht invaren niet lukken: het schip loopt volkomen klem.

Bij het invaren van een duwconvooi, waarvan de totale lengte 200 meter kan bedragen, dient men erop te rekenen, dat scheve invaart regel zal zijn, al zal de schipper trachten de hoek tussen vaarrichting en sluisas zo klein mogelijk te houden. Vrij invaren volgens de sluisas zal een uitzondering zijn, vooral als de wind dwars op het schip staat. Door middel van geleidewerken kan men de hoek tussen scheepsas en sluisas binnen de bepaalde grenzen houden.

### **Vormgeving van geleidewerken bij duwvaart**

In de Verenigde Staten, waar de duwvaart reeds gedurende enige decennia in het binnenscheepvaartverkeer domineert, heeft men de schutsluizen doorgaans uitgerust met een lange verticale muur in het verlengde van een der schutkolkwanden. Doordat de frequentie van de vaart in de Verenigde Staten geringer is dan in Nederland, behoeft men daar minder rekening te houden met een onderlinge beïnvloeding van opgaande en afgaande vaart. Mochten er al eens twee duwconvooien tegelijkertijd bij een sluiscomplex aankomen, dan wacht een van beiden buiten het sluiscomplex op stroom tot het andere konvooi de sluis is gepasseerd. Een rechte evenwijdige wand biedt voorts voordelen wanneer men moet overgaan tot double locking, het doorschutten van gedeelten van een zelfde konvooi, wanneer de lengte van de sluis kolk geringer is dan de totale lengte van de duweenheid.. Het konvooi wordt dan langs de geleidewand gemeerd, in gedeelten gesplitst, geschut en aan de andere zijde van de sluis samengevoegd. De gunstige ervaringen die in Amerika met dit type geleidewerk waren opgedaan, hebben er toe geleid, dat het ook in Europa op verschillende plaatsen werd toegepast. We noemen slechts de verschillende sluiscomplexen in het kortelings gereedgemaakt werk tot bevaarbaarstelling van de Moezel. Ook voor de Volkeraksluizen werd toepassing van dit soort geleidewerk ernstig overwogen. In een hydraulisch model op schaal 1:25 werd er een aantal vaarproeven mee gedaan.

Naast deze, zogenaamde asymmetrische oplossing werd in een aanvullend, uitgebreid onderzoek ook een aantal symmetrische oplossingen bekeken, waardoor het inzicht in de problematiek van het in en uitvaren belangrijk werd verdiept.

De uitkomsten van deze modelstudies kunnen als volgt worden samengevat.

Het is zeker mogelijk langs asymmetrische geleidewerken goede invaartmanoeuvres te verrichten. Als een schip evenwijdig aan de verlengde schutkolkmuur binnenvaart, worden er slechts geringe wrijvingskrachten opgewekt tussen de duwbakken en de schutkolkmuuren, zodat de invaart vloeiend verloopt. Het geleidewerk tegenover de rechte evenwijdige geleidewand moet dan echter wel onder een geringe hoek met de sluisas aansluiten op de schutkolkmuur.

Nog nader onderzocht moest worden welke stromingskrachten dwars op de vaarrichting een duwconvooi ondervindt door de asymmetrische vorm van de beëindiging van het sluiscomplex, en of deze krachten een toelaatbaar maximum niet overschreden. Hetzelfde gold voor de invloed van dwarswind.

Bij proeven met een symmetrische werden uitgevoerd met rechte zowel als met gebogen geleidewerken. Bij de rechte werd de hoek tussen de geleidewerken en de sluisas steeds gevarieerd.

Uit dit onderzoek kon men concluderen, dat een geleidewerk met een kleine hoek het klemlopen van een duwconvooi kon voorkomen. Deze flauwe hoek van het geleidewerk bracht echter met zich dat de wachtplaatsen voor de te schutten schepen verder van de sluis kwamen te liggen. De invaarttijd zou dus groter worden, wat de sluis capaciteit verkleinde.

Dit nadeel kon nu ondervangen worden door het geleidewerk een parabolisch vorm te geven. Bij het onderzoek van geleidewerken met een parabolische vorm bleek, dat deze vorm ongeveer dezelfde resultaten te zien gaf als een recht geleidewerk.

De beweging van het schip was echter veel geleidelijker en verliep geheel zonder schokken.

Als voordelen van deze parabolische vorm kunnen worden genoemd:

- Tga is in het kritieke gebied vlak bij de sluis zeer klein;
- De arm van het koppel is groter, de krachten op het schip bijgevolg kleiner;
- Door de gebogen vorm had men, van het sluishoofd af gaande, spoediger een grote breedte ter beschikking dan bij andere oplossingen, met andere woorden, de wachtplaatsen lagen korter bij de sluis.

Tijdens het onderzoek kwam de vraag naar voren of er wrijvingskrachten die de sluiswand of het geleidewerk op het schip uitoefenden wel op schaal nagebootst waren. Om de invloed van een eventueel schaaffect na te gaan werd een aantal proeven herhaald, waarbij de scheepshuid telkens met ander materiaal, zoals staal, koper en polyvinylchloride werd bekleed. Uit de resultaten bleek, dat de gegevens nauwelijks enige wijziging ondergingen; de invloed van het schaaffect was dus niet noemenswaardig. Uit het onderzoek bleek voorts, dat men dezelfde gunstige resultaten als bij de parabolische vorm kon bereiken door deze vorm met een aantal rechte stukken te benaderen.

### **De invloed van zijwind bij het invaren**

In het model werd een windkracht tot 9 Beaufort loodrecht op de sluisas op schaal nagebootst. Onder deze omstandigheden werden bij een parabolisch en bij een recht geleidewerk met  $tga = 1/20$  invaartproeven genomen.

Bij deze proeven werd van de volgende situaties uitgegaan:

- A Het schip ligt stil aan het geleidewerk vlakbij de sluis en begint van hieruit de invaart manoeuvre;
- B Het schip vertrekt van een wachtplaats 250 meter voor de sluis vanuit het sluisfront gemeten;
- C Verschillende combinaties van roerstanden en aantal omwentelingen per minuut van de schroef.

Uit het onderzoek volgde, dat in geval A bij een parabolisch geleidewerk het aantal omwentelingen van de schroef 20 % kleiner kon zijn dan bij een recht geleidewerk. Zowel in geval A als B werd de snelheid van het schip tijdens het invaren niet noemenswaardig door dwarswind beïnvloed. Ook hier bleek dat een parabolisch geleidewerk beter was dan enig andere symmetrische vorm. Het invaren verliep vloeiend. Door het aanbrengen van windschermen kon de windinvloed op het schip worden gereduceerd.

### Het onderzoek naar de optische eigenschappen van een geleidewerk

Naast de mechanische geleiding van het schip door geleidewerken was ook de optische geleiding van belang. Daarom werd in samenwerking met het Instituut voor Zintuigfysiologie van R.V.O.-T.N.O., ook een onderzoek ingesteld naar de visuele geleiding, waarmee een bepaalde vormgeving van de geleidewerken de schipper van een duwconvooi kon helpen.

Bij dit onderzoek werden 4 verschillende typen van geleidewerken onderzocht.

Ieder type werd driemaal achtereenvolgens beproefd door acht verschillende personen, die enige ervaring hadden met het besturen van boten.

Tijdens het invaren van de sluis van de voorhaven werden vele waarnemingen verricht en vastgelegd. Zo werden de verschillende posities van het schip bij het invaren gefotografeerd en werden de roeruitslagen doorlopend geregistreerd. Aan iedere invarmanoeuvre werd een bepaalde waarde toegekend, waarbij het invaren als minder succesvol werd beschouwd naarmate de afstand tussen het midden van de boeg en de sluisas groter was. Verder werd aan de plaats van de botsing met het geleidewerk een waarde toegekend, waarbij een volledig vrije invaart het hoogst aantal punten kreeg.

De geleiding bleek bij symmetrische vorm van de geleidewerken beter dan bij een asymmetrische constructie. Uit het optisch onderzoek bleek nog:

- Type C en D zijn beter dan type A of B;
- Type C is iets, maar niet veel, beter dan type D;

Tenslotte werd duidelijk, dat het aangeven van de sluisas met lampen een goed hulpmiddel kon zijn.

### Samenvatting

Uit het onderzoek volgde, dat geleidewerken bij het invaren van sluisen voor de duwvaart onmisbaar waren. Bijzondere aandacht diende besteed te worden aan de vormgeving van het geleidewerk. Vooral vlakbij de sluis moest het een flauwe hoek maken met de sluisas. Een parabolische vormgeving van het geleidewerk had als voordeel, dat de totale lengte waarover het diende te worden aangebracht, kleiner werd dan bij een recht geleidewerk, zodat de wachtplaatsen dichterbij de sluisen lagen.

Het onderzoek tot dusverre had aangegeven aan welke criteria zowel symmetrische als asymmetrische geleidewerken moesten voldoen om een goede geleiding voor duwvaart te verschaffen. De vorm die uiteindelijk zou worden gekozen moest zodanig zijn, dat ook aan de eisen van de gewone vaart volledig werd voldaan.

Voor de Volkeraksluisen werd in het Waterloopkundig Laboratorium een gedetailleerd onderzoek verricht, waarbij de voor en nadelen van symmetrische en asymmetrische oplossingen nauwkeurig tegen elkaar werden afgewogen.

Over de vormgeving van de geleidewerken van de Volkeraksluisen werd reeds uiteengezet dat bij de constructie ervan terdege rekening moest worden gehouden met de duwvaart, zonder dat echter de belangen van de conventionele scheepvaart daardoor in het gedrang kwamen. Bij het ontwerp van de geleidewerken werd er reeds vanuit gegaan dat op dit moment wellicht nog niet alle eisen waaraan het geleidewerk zou moeten voldoen, bekend waren. De praktijk immers kon uitwijzen dat de aan de hand van modelproeven vastgestelde vorm nog correctie behoefde. Men moest de geleidewerken daarom zo bouwen dat ze op een eenvoudige en snelle manier konden worden veranderd en aangepast. Gelukkig bleek dat het meest economische ontwerp ook het eenvoudigst gewijzigd kon worden, zodat uit de eis van de aanpasbaarheid geen grote kosten voortvloeiden.

Voor elke sluis afzonderlijk zou steeds opnieuw de meest economische vorm moeten worden bepaald, omdat de bepalende factoren: waterdiepte, waterstandsvariaties en bodemgesteldheid, van geval tot geval verschillen. Voor de Volkeraksluisen golden de volgende gegevens:

- De bodem van de voorhaven aan de Hollandsch Diep zijde ligt op N.A.P. - 6 meter, de bodem aan de Volkerakzijde op N.A.P. - 7 meter.
- De ondergrond bestaat vanaf de bodemlijn tot ongeveer N.A.P. - 10 meter uit klei en veenlagen met weinig weerstand tegen vervorming in verticale en horizontale richting.
- Vanaf N.A.P. - 10 meter benedenwaarts bestaat de grond uit zand met een grote weerstand tegen vervorming, hoewel de zandlaag van N.A.P. - 10 meter tot N.A.P. - 12 meter mogelijk en lossere pakking heeft met een iets kleinere hoek van inwendige wrijving.

Bij de grondmechanische berekeningen kon met voldoende veiligheid worden aangenomen dat vanaf N.A.P. - 10 meter een goede zandlaag aanwezig was. De steundruk van het klei / veenpakket boven N.A.P. - 10 meter werd bij de berekening verwaarloosd.

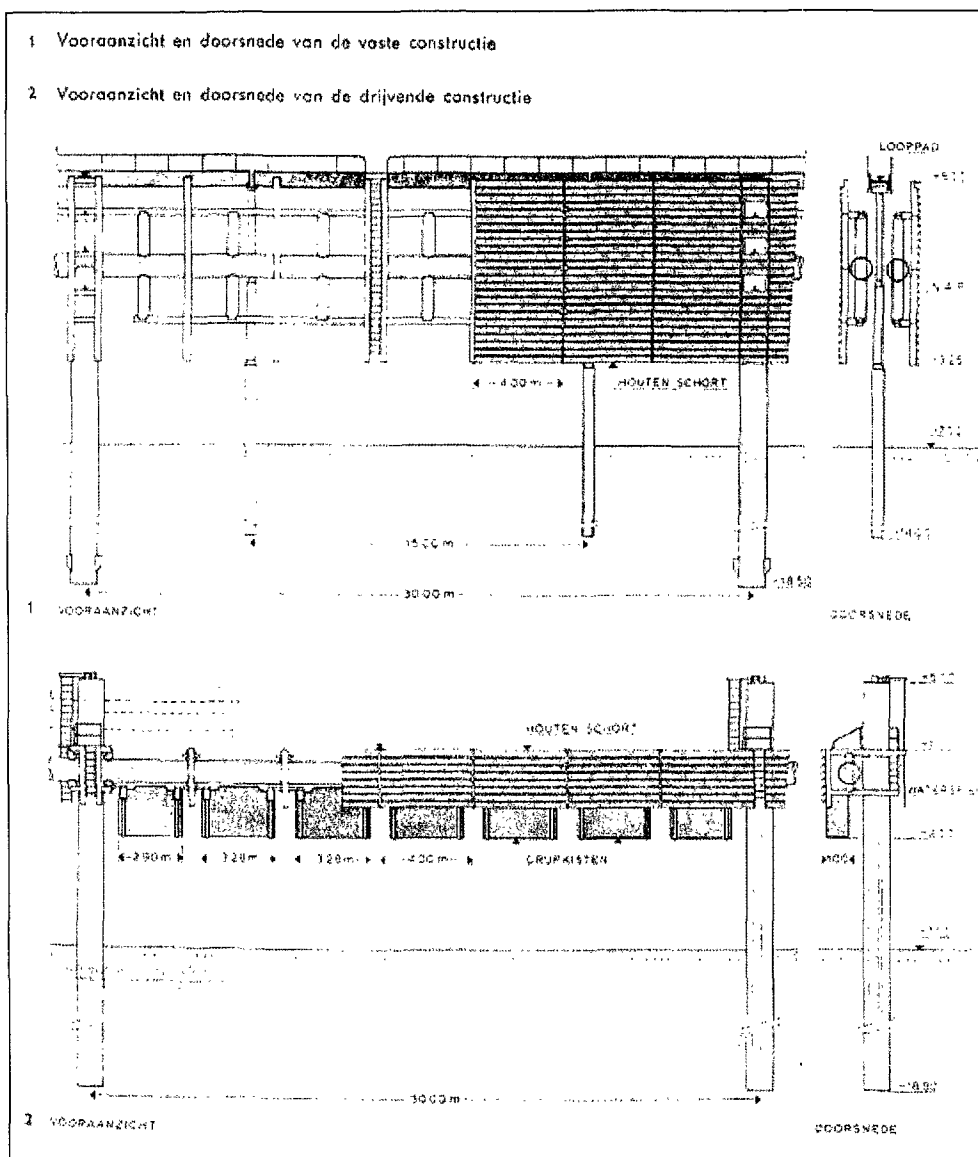
### Krachten en energie van scheepsstoten

Indien een geleidewerk bestaat uit op zichzelf staande elementen op zekere afstand van elkaar, dan moet de energie die een dergelijk element opneemt bij een scheepsbotsing evenredig worden gesteld met het arbeidsvermogen van beweging  $\frac{1}{2}mv^2$ , waarbij  $m$  de massa en  $v$  de snelheid van het schip is. Indien men echter geen losse elementen plaatst, maar daartussen een doorgaande leiding aanbrengt, wordt de botsenergie over meer elementen verdeeld en wordt elk element afzonderlijk minder zwaar belast. Bovendien zal van een frontale botsing bij een doorgaand geleidewerk vrijwel nooit sprake zijn; ook dat beïnvloedt het totale krachtenspel gunstig.

Voor de wachtplaatsen waar de schepen des s' nachts blijven liggen, of waaraan bij slecht weer of voor het doen van inkopen gemeerd wordt, is een doorlopende geleiding minder noodzakelijk, omdat de schepen hier met veel kleinere snelheid komen aanvaren.

Bij het ontwerp diende bovendien in acht te worden genomen dat de geleidewerken vrijwel noord-zuid liggen en dus ongunstig ten opzichte van de overheersende westenwind. Door beplanting of windschermen kon het ongunstige effect hiervan worden verminderd. In een afzonderlijk artikel in deze aflevering wordt behandeld welke maatregelen in dezen mogelijk zijn.

In ieder geval moesten schepen kunnen afmeren zowel aan de wachtplaatsen als bij de geleidewerken. Bij ongunstige combinaties van trossen van duwvaartelementen moest met troskrachten van ongeveer 60 ton worden gerekend. Tenslotte moest de constructie zo worden ontworpen dat de botsingskrachten beperkt bleven, teneinde beschadiging van de schepen en van de constructie zelf te voorkomen. De constructie moest dus voldoende 'zacht' of wel veerkrachtig zijn.



*Constructie van de vaste en drijvende remmingwerken*

### Programma van eisen

Over de constructie der geleidewerken voor de Volkeraksluizen kon een elftal concrete eisen worden geformuleerd.

1. De constructie moest in staat zijn op ieder punt een energie op te nemen van 12 tonmeter zonder blijvende vormverandering te ondergaan. De spanningen moesten dan nog 15 % van de vloeigrens verwijderd zijn. Deze energieopneming kon variëren tussen de 60 ton bij 40 centimeter uitwijking en 150 ton bij 16 centimeter uitwijking, maar steeds onder voorwaarde dat  $\frac{1}{2} \times \text{kracht} \times \text{weg} = 12$  tonmeter. Er behoefde slecht te worden gerekend op een stoot per 100 meter op hetzelfde moment.
2. Aan de Volkerakzijde moest, in verband met mogelijke schommelingen in de waterstand, de kracht volgende uit deze energie, kunnen aangrijpen op elk punt tussen N.A.P. - 3,25 meter en N.A.P. + 5 meter; aan de Hollandsch Diepzijde tussen N.A.P. - 1,75 meter en N.A.P. + 3 meter.
3. Bij drijftraamconstructies was voor duwconvoeien een geleiding tot 2 meter boven de waterspiegel gewenst, omdat de afgeschuinde kop van een leeg duwconvooi bij scheef aanvaren over de geleiding heen steekt. In het ontwerp werd een afstand van 1 meter loodrecht op de geleiding vrij van obstakels gehouden.
4. Aan de zuidzijde van de sluizen zou de peilschaalschommeling na afsluiting van de Oosterschelde aanzienlijk verminderen. Hier diende een constructie te worden gekozen die eenvoudig aan de nieuwe omstandigheden kon worden aangepast.
5. De mogelijkheid tot verplaatsing bij uitbreiding van het complex of bij wijziging van de bestemming ervan moest nu reeds in het ontwerp worden opgenomen.
6. De constructie moest eenvoudig te onderhouden en gemakkelijk bereikbaar zijn.
7. De middenconstructie moest zo smal mogelijk worden uitgevoerd om zoveel mogelijk ruimte voor de schepen te houden. De totale breedte mocht niet groter zijn dan 3,50 meter.
8. De kopconstructies voor de middengeleidewerken fungeren als bescherming. Zij moesten een twee maal zo grote energie kunnen opnemen.
9. Alle looppaden dienden bij elastische uitvoering van de geleidewerken los van de verende constructie te worden gebouwd, wilden ze veilig begaanbaar zijn.
10. De bekleding der geleidewerken en wachtplaatsen moest gemakkelijk verwisselbaar zijn, zodat ze tijdens het gebruik vernieuwd konden worden zonder stemming van de scheepvaart.
11. De gehele constructie moest in de natte worden aangebracht.

### Keuze van het ontwerp

Aan de hand van deze eisen werden de verschillende mogelijke oplossingen met elkaar vergeleken en tegen elkaar afgewogen. Voor de Volkeraksluizen kwam men tot de volgende conclusies.

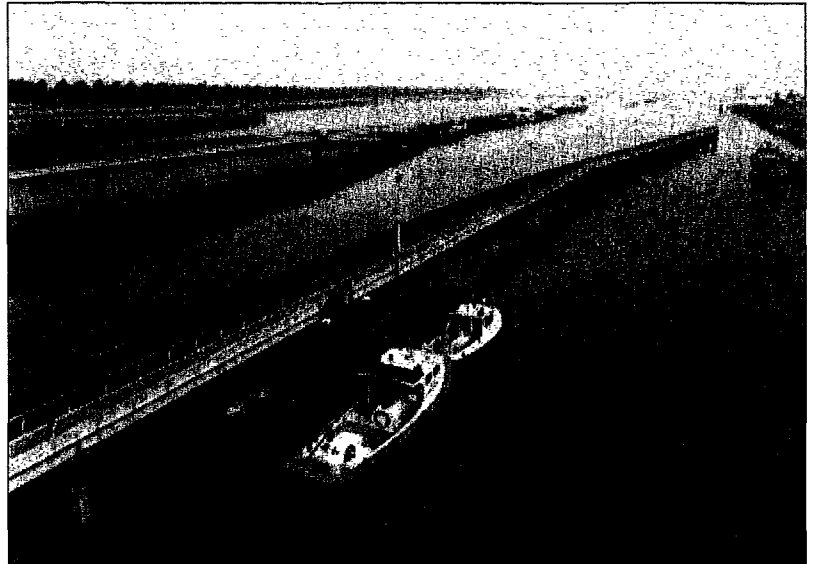
Voor zware duwvaartenheden kon men goedkoper verende geleidewerken bouwen dan vaste, starre constructies. Verende geleidewerken beperken de grootte van de stootkrachten en veroorzaken minder schadevaring aan de geleidewerken en schepen dan starre constructies.

Gezien hun prijs, onderhoud, eenvoud en verplaatsbaarheid waren verende constructies met Mannesmannbuizen economischer dan andere verende constructies.

Mannesmannbuizen zijn ronde buizen waarvan dikte en kwaliteit variëren, afhankelijk van de optredende buigende en / of wringende momenten.

### Beschrijving van de constructie

De geleidingen die aansluiten op de sluisen werden uitgevoerd als een vaste constructie. De wachtplaatsen van de geleidingen tussen de beide sluisen werden eveneens vast, vanwege de geringe beschikbare constructiebreedte. De wachtplaatsen van de zijgeleidingen werden voorzien van drijfrahmen. De constructie werd opgebouwd uit segmenten van 30 meter. Een kostenvergelijking tussen secties van verschillende lengten wees namelijk uit, dat die lengte het voordeligst uitkwam. De vaste constructie bestaat uit een stelsel van stalen buizen, voorzien van hardhouten beschermingschorten. De constructie van stalen buizen dient voor het opnemen van troskrachten en het opvangen van stoten der schepen.



Remmingwerken

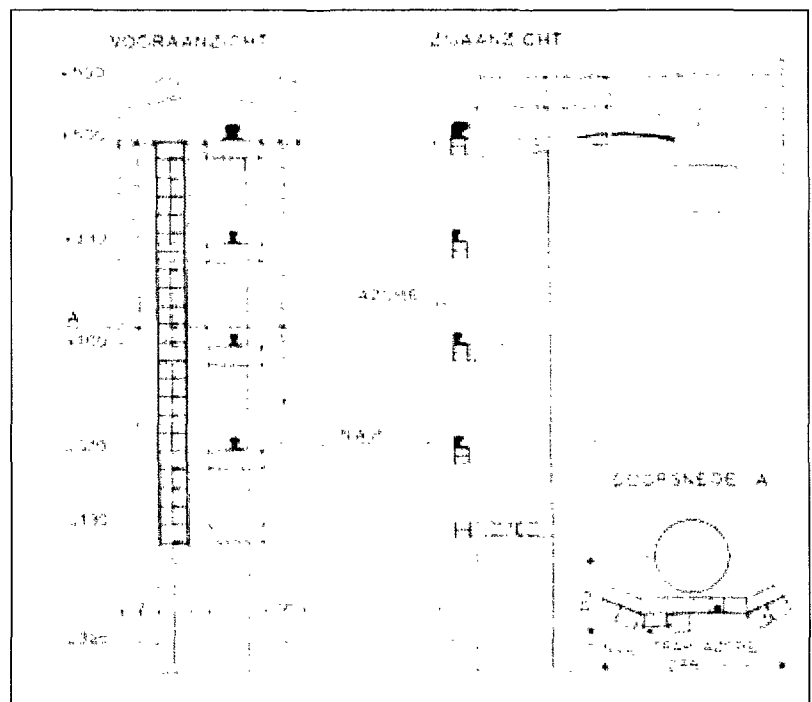
De hardhouten schorten vormen een bescherming zowel voor de constructie als voor de schepen, terwijl ze bovendien een gesloten wand vormen voor de geleiding van de schepen. Om de 30 meter werden stalen buizen met een diameter van ruim een meter in de grond geheid. Deze buizen waren in de lengterichting van variërende dikte en materiaal-soort, dit in aanpassing aan het optredend momentenverloop. Deze buizen werden met zand gevuld. Op de buizen werden vervolgens 30 meter lange liggers gelast. De liggers werden gebouwd uit een stalen buis waar door heen verticale naadloze buizen werden gemonteerd. Op deze staanders werd een raamwerk van DIN-profielen gemonteerd ter ophanging van de houten beschermingsschorten. De liggers werden op de constructiewerkplaats gemaakt en in secties van 30 meter op het werk aangevoerd.

De stalen constructie werd op het werk voor het heien gestaalstraald, en daarna, ter bescherming tegen corrosie voorzien van een laag epicoteteer.

De constructie van de drijvende geleiding was in principe dezelfde als die van de vaste. Hier werd echter de doorgaande ligger niet op de buizen gelast maar er langs geleid. De ligger diende dan als wringvast drijftraam, terwijl drijflichamen zorgden voor het drijfvermogen. Deze drijflichamen bestaan uit styropor, een schuimplastic met gesloten cellen, waarin dus het water niet doordrong, en met soortelijk gewicht 0,03, waarop hardboardplaten werden gelijmd. Het geheel werd beschermd door een met glasvezel gewapende polyesterlaag.

De ongeveer 4 meter brede beschermingsschorten bestaan uit een horizontale, gesloten azobe beplanking. De schorten kunnen gemakkelijk gedemonteerd worden en zijn onderling verwisselbaar.

In de centrale wachtplaatsen werden een aantal dukdalven geplaatst. Ze bestaan uit in de grond geheide stalen buizen, voorzien van hardhouten bekleding. Een gedeelte van de dukdalven kreeg een verbinding met de vaste wal.



Dukdalf van de zuidelijke voorhaven

In verband met de grote maximale uitbuiging der geleideconstructie werden de looppaden geheel los gehouden van de geleiding. Deze looppaden, gelegen achter de zijgeleiding en de terzijde gelegen wachtplaatsen en tussen de middengeleiding en de middelste wachtplaatsen, werden gefundeerd op paaljukken van voorgespannen beton, voorzien van een deksloof. Op de sloof werden dan de H-vormige, gewapendbetonnen looppaden geplaatst. Zij werden in lengten van 15 meter kant en klaar op het werk aangevoerd. Met bordessen werd om de 30 meter een aansluiting tot stand gebracht op de ladders in de geleidingen. De looppaden zijn alleen vanaf het sluissterrein bereikbaar.



# Voorhavens

- De noordelijke voorhaven.
- Vormgeving van de havenmond.
- Constructie van de havendammen.
- Het ontgraven van de noordelijke voorhaven en het maken van de oostelijke oprit van de Volkeraksluizen.
- Het eerste gedeelte van de zuidelijke voorhaven van de Volkeraksluizen.
- Het tweede gedeelte van de zuidelijke voorhaven van de Volkeraksluizen.
- De zuidelijke voorhaven van het schutsluizencomplex.
- Eisen waaraan de haven, de havenmond en de scheepvaartgeulen moeten voldoen.
- Mogelijkheden van de uitvoering van de havenmond en scheepvaartgeul.
- Korte bespreking van enkele onderdelen.
- Geleidedammen, voorhavens, toeleidingsgeulen en stortebedden voor de inlaatsluis en de jachtensluis

## De noordelijke voorhaven

Er werd reeds de aandacht gevestigd op het complex schutsluizen in het Volkerak dat in aanbouw was te zuidwesten van Willemstad in de buitenpolder Maltha. Ook werden constructie details gegeven van de westelijke havendam van de toekomstige noordelijke voorhaven.

Om een doelmatig gebruik van de schutsluizen mogelijk te maken werden ten noorden en ten zuiden van de sluisen voorhavens ontworpen. In dit artikel zal de noordelijke voorhaven aan een beschouwing worden onderworpen, zowel betreffende de vormgeving van de haven als over de constructie van de havendam.

## Vormgeving van de havenmond

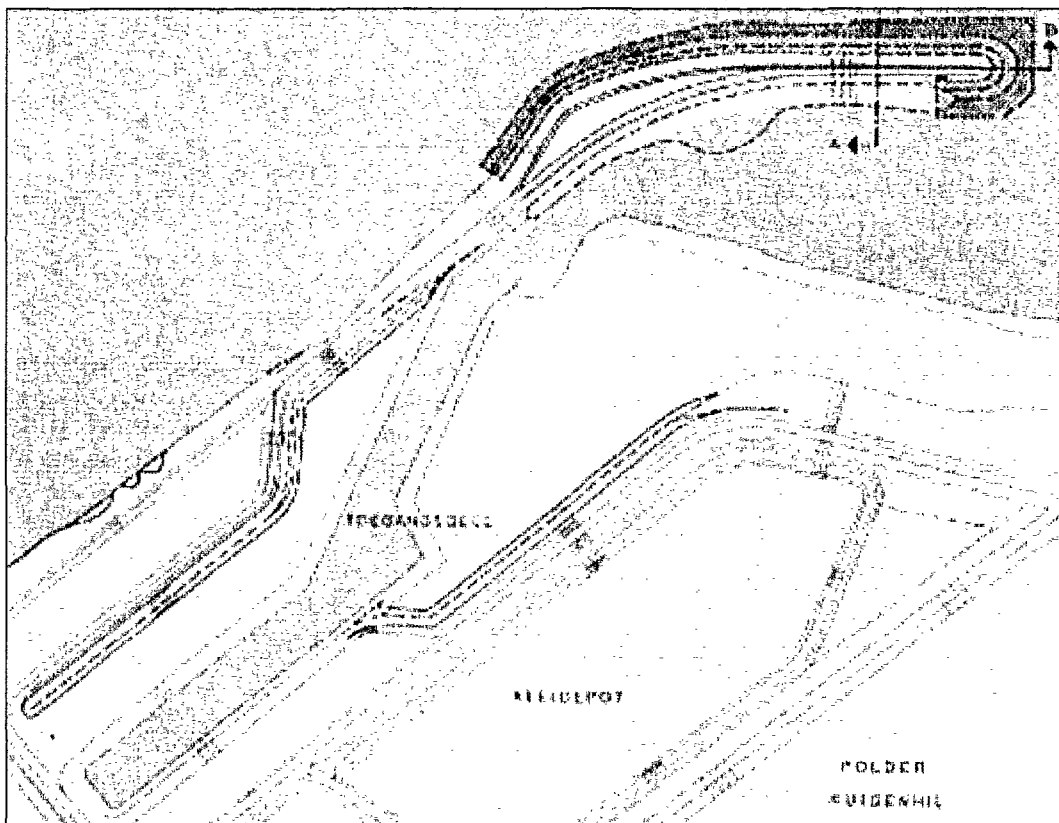
Het ontwerp van de voorhaven was in de eerste plaats gericht op een veilige en ongehinderde in- en uitvaart voor de scheepvaart. De golfbeweging moest zodanig worden gekeerd, dat de voorhaven een rustige ligging aan binnenkomende schepen bood.

De vorm van de havenmond was van grote invloed op het stroombeeld, dat in en buiten het mondingsgebied ontstond. Dit was niet alleen van belang voor een veilige in- en uitvaart, maar ook voor een minimale wateruitwisseling tussen rivier en voorhaven, teneinde baggerwerk in het mondingsgebied zoveel mogelijk te beperken.

Om aan bovenstaande eisen zo goed mogelijk te kunnen voldoen werd in het waterloopkundig laboratorium in de Noordoostpolder een modelonderzoek uitgevoerd. Een aantal varianten werd onderzocht.

De voorhaven wordt aan de westzijde begrensd door een vrij lange, gebogen havendam, aan de oostzijde door een plaatselijke oever.

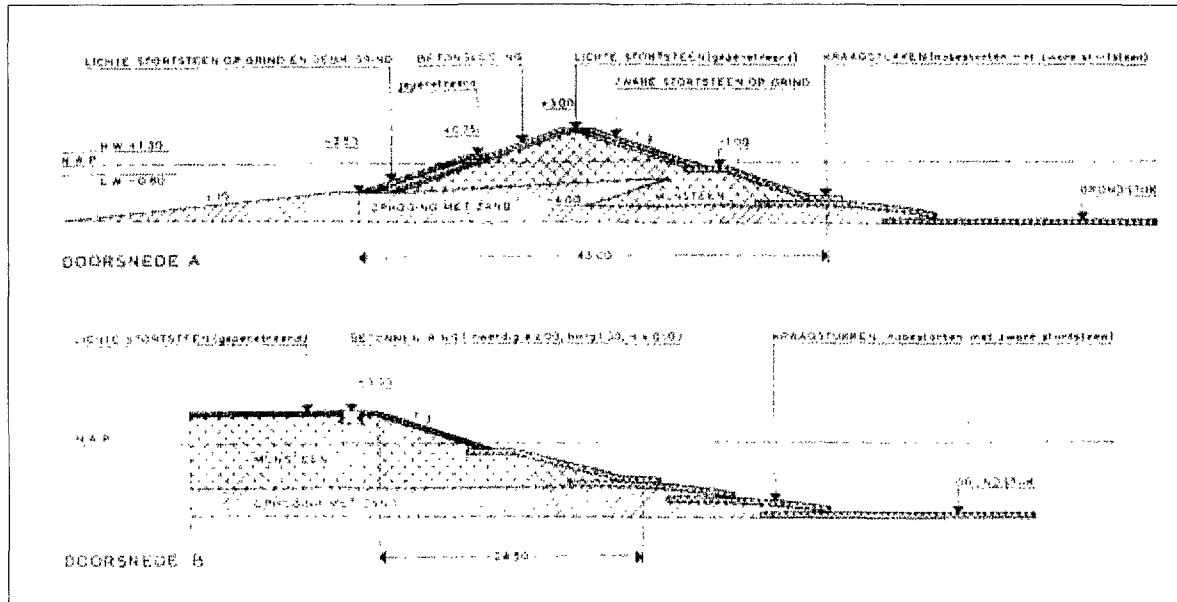
De modelproeven toonden aan, dat de bouw van de oostelijke havendam het stroombeeld in de eindfase ongunstig zou beïnvloeden. Weliswaar zou een dergelijke dam de bescherming van de wachtplaatsen in de voorhaven tegen golven door wind uit oostelijke richting iets verbeteren, doch het uitzicht op tegemoetkomende schepen zou hierdoor verminderd worden. Het laatste was van belang, omdat ter plaatse van de mond binnenkomende schepen, in verband met optredende dwarsstromen, in het algemeen met een behoorlijke snelheid zouden varen.



Ontwerp noordelijke voorhaven



In verband met de vrij grote lengte van de voorhaven zouden ook uitvarende schepen reeds een flinke snelheid ontwikkelen. Er werd ook gedacht aan een oplossing met gescheiden monden voor in- en uitvaart. Een bevredigende situatie hiervoor werd echter bij het modelonderzoek niet gevonden.



Wat de invloed van de dammen op de aanzanding of aanslibbing betref kan worden opgemerkt, dat na afdamming van het Volkerak de aanvoer van zand belangrijk minder zou zijn dan thans. Na de afsluiting van het Haringvliet zullen de getijstroom sterk gereduceerd worden. Daardoor werd de toestand nog gunstiger.

Het binnendringen van golven vanuit het Hollansch-Diep in de voorhaven werd voor enkele situaties onderzocht. Zowel voor de scheepvaart als voor het onderhoudsbaggerwerk moest er rekening mee worden gehouden, dat niet alleen in de eindfase aan bepaalde eisen moest worden voldaan, maar dat ook in de tussenfase, terwijl het Volkerak nog open was, geen ongewenste omstandigheden zouden optreden.

#### Constructie van de havendam

In 1961 kwam de bouwput met het aansluitende deel van de noordelijke voorhaven gereed. Dit deel van de voorhaven werd als werkhaven bij de bouw van de schutsluizen gebruikt. Het voltooiën van de noordelijke voorhaven werd in 1963 voortgezet.

Het in uitvoering zijnde bestek voorzag in een verlenging van de reeds aanwezige havendam met 600 meter, het in den droge maken van oevervoorzieningen in de voorhaven, alsmede in het uitvoeren van bijkomende werken.

De havendam heeft een vrij breed worteleind, dat in de toekomst zal aansluiten op een langs de haven in de richting van de sluisen geprojecteerde terreinstrook. Op deze strook zouden bomen worden geplant ter beperking van de windinvloed op de scheepvaart in de haven.

Het smalle uiteinde van de dam werd om het uitzicht voor de scheepvaart niet hoger gemaakt dan NAP + 3 meter. Deze hoogte gaf voldoende bescherming tegen golfoverslag.

Bij de constructie van de havendam en de oeververdedigingen in de haven werd rekening gehouden met de te verwachten verandering in waterstanden na de afsluiting van het Haringvliet.

Beneden NAP - 4 meter werd de havendam opgebouwd uit zand, afgedekt met zinkstukken. De teen aan de rivierzijde werd gevormd door en grondbezinking op de bestaande rivierbodem. Boven dit peil werd de dam voor een belangrijk gedeelte opgebouwd uit mijnsteen. Aan de rivierzijde boven L.W. is een verdediging van zware stortsteen op grof grind aangebracht, onder L.W. een bescherming met kraagstukken van rijshout.

Aan de havenzijde werd boven NAP + 0,75 meter een 20 centimeter dikke bekleding van betonblokken op grindzand aangebracht. Een gedeelte van dit talud werd van granietblokken voorzien. Beneden dit peil ligt een filterconstructie van lagen gebroken grind, grof grind en lichte stortsteen.

De havenoevers werden boven NAP + 0,75 meter eveneens voorzien van een bekleding met betonblokken. Beneden NAP kwam eveneens een filterconstructie, bestaande uit lagen grindzand, grof grind en lichte stortsteen.

De hier beschreven werken werd onderhands gegund aan de Aannemerscombinatie Willemstad voor f 3.598.200, -

Voor het gehele werk werd verwerkt:

- 171 000 ton mijnsteen;
- 45 000 m<sup>2</sup> zinkwerk;
- 186 000 m<sup>3</sup> zand;
- 50 000 ton stenen;

Dit materiaal werd ter beschikking gesteld uit voorraden.

Met de uitvoering van het werk werd in juni 1963 een begin gemaakt. Het moest op 4 maart 1964 zijn voltooid.

Er werd begonnen met het aanbrengen van de grondbezinking, het opklappen tot NAP - 4 meter van de dam met zand en het daarover aanbrengen van de zinkstukken. Het zinkwerk was voor het tempo van de uitbouw bepalend. Het geschiedde met een productiecapaciteit van 3000 m<sup>2</sup> zinkstuk per week.

De opbouw van de dam met mijnsteen begon na de bouwvakvakantie van 1963.

De te maken oevervoorzieningen in den droge voor de voorhaven zijn van de volgende constructie:

- Van NAP - 2,50 meter tot NAP + 0,75 meter werd onder een helling van 1: 3 een filterglooiing gemaakt met een opbouw van grindzand en grind afgedekt met lichte stortsteen 5 - 40 kilogram.
- Boven de filterglooiing wordt tot NAP + 2,50 meter onder een helling 1: 3 werd een glooiing van betonblokken tegen een houten damwand gemaakt.

In juni werd begonnen met de ontgraving van de sleuf, waarin de glooiingsystemen werden gemaakt. In de ontgraving kon worden begonnen met het heien van de houten damwand voor de betonglooiing.

Door de minder gunstige resultaten van in het Waterloopkundig Laboratorium genomen proeven over het te verwachten stroombeeld voor de kop van de havendam, werd besloten de uitbouw met 50 meter in te korten tot een totaal lengte van 550 meter. Hierdoor kon een belangrijk beter stroombeeld worden verkregen. Deze ongunstige situatie trad alleen op zolang het Haringvliet nog niet was afgesloten. Zo nodig kon na 1968 de dam worden verlengd.

De grondbezinking kwam gereed; het zandlichaam werd opgeklapt tot NAP - 4 meter waarop de opbouwzinkstukken werden gezonken. De geraamde productiecapaciteit van 3000 m<sup>2</sup> stuk per week kon daarbij worden overschreden. De verdere opbouw van de dam met mijnsteen werd aangevangen na de bouwvakvakantie van 1963 en vorderde zodanig dat tot 1 oktober van de totaal hoeveelheid van 171.000 ton mijnsteen reeds 100.000 ton werd verwerkt. De capaciteit bedroeg hier soms 12 'a 13.000 ton per week met twee stoomkranen. Begin oktober werd begonnen met het persen van zand in de dam waarna de verdere opbouw kon volgen.

De in de voorhaven in de droge te maken oevervoorziening waren voor wat betreft het westelijk gedeelte gereed gekomen. De minder gunstige materiaalpositie, met name de levering van grindzand en bovendien het slechte weer van eind september had vertragend gewerkt. Langs de oostelijke oever werd de bouwsleuf voor de filterglooiing ontgraven. Er werd begonnen met het aanbrengen van diverse materialen.

Ingevolge het uitblijven van de levering van betonblokken, werd de westelijke oevervoorziening boven NAP + 0,75 meter over 420 meter voorzien van een glooiing van Portugese granietzetsteen op een grindbed van 3 - 8 centimeter.

De langs het westelijk gedeelte van de haven in den droge te maken oevervoorzieningen kwamen gereed. De oostelijke oevervoorziening kwam eveneens gereed. De bouwsleuf moest nog worden afgewerkt.

Deze oevervoorzieningen konden niet binnen de gestelde tijd gereed komen door het slechte weer, vorst en vertraagde aanvoer van grind, grindzand en steen. De langs de geul van de buitenpolder Maltha te maken oevervoorzieningen, bestaande uit mijnsteen met een steenbekleding van steen 60 tot 120 kilogram, werden geheel voltooid. Voor de oevervoorziening was een lengte geraamd van 380 meter, maar ten gevolgen van verdergaande afslag moest deze worden uitgebreid tot ruim 850 meter.

Van de havendam kwam de opbouw van zand, zinkstukken en mijnsteen gereed. Aan de rivierzijde werd gelukkig voor de winter de stenenbekleding van steen 60 tot 120 kilogram aangebracht en gevlijd. Ook het penetreren van de stenenbekleding op de kop van de dam met gietasfalt ( D.V. mengsel) kon aan de rivierzijde worden voltooid. Het aanbrengen van de bekleding van de dam aan de havenzijde ondervond stagnatie door slecht weer ( vorst) en vertraagde aanvoer van materiaal. Het gereedkomen van dit onderdeel werd daardoor eerst eind januari 1964 verwacht worden.

Het nabestorten van kraag en zinkstukken met steen 80 tot 200 kilogram en het afwerken van de reeds aangevoerde teelaarde voor de bekleding van het brede worteleinde van de dam werd ter hand genomen.

De in den droge gemaakte oevervoorzieningen ter weerszijden van de sluisingang waren, evenals de oevervoorzieningen langs de geul van Maltha, gereed gekomen.

Eerder werd vermeld dat de havendam tegen het einde van januari 1964 gereed zouden zijn. Deze veronderstelling bleek te optimistisch. De werkzaamheden werden niet alleen vertraagd door slecht weer, vorst en lage waterstanden, maar ook door de verminderde activiteit van de aannemer, zodat het gereedkomen van de dam nu eerst tegen half april 1964 kon worden tegemoet gezien. De opbouw aan de rivierzijde van de stenenbekleding werd voltooid. Aan de havenzijde werd hard gewerkt aan de voltooiing van de betonglooiing en van de aansluitende berm van gepenetreerde steen 5 - 50 kilogram met daarboven gelegen kleibekleding. Rest dan nog het afwerken van de reeds aangevoerde teelaarde en het plaatsen van de meerpalen in de kruin van de dam.

Het werk werd op 4 april 1964 voor de eerste maal opgeleverd. In de onderhoudsperiode moesten nog enkele werkzaamheden van ondergeschikt belang worden verricht.

#### **Het ontgraven van de noordelijke voorhaven en het maken van de oostelijke oprit van de Volkeraksluizen**

Omstreeks Kerstmis 1963 werd een begin gemaakt met het grondtransport vanuit de noordelijke voorhaven van de sluizen naar een in de polder Maltha te maken kade ten behoeve van een slibbassin.

In totaal moest hier 41.500 m<sup>3</sup> specie worden verwerkt. Inmiddels was het transport gereedgekomen en naderde het afwerken van de kade zijn voltooiing. De belopen van deze ringdijk werden aan de buitenzijde bekleed met stromatten en een laag silex ter dikte van 0,50 meter tot een totaal hoeveelheid van 2900 m<sup>3</sup>. Binnen het bassin werd de kade bekleed over een oppervlakte van 9500 m<sup>2</sup> met een rietmat met tussenlaag van polyetheen. De aannemer had inmiddels voor het persen van grond uit de noordelijke voorhaven perskaden opgebouwd. In de laatste helft van maart 1964 werd de cutterzuiger 'Rupel' aangevoerd, waarna met het persen van de 1.025.000 m<sup>3</sup> te verwerken grond kon worden begonnen.

In de polder Maltha moest een hoeveelheid kleigrond en teelaarde tot ca. 85.000 m<sup>3</sup> worden ontgraven. Deze grond werd voorlopig opgeslagen in twee depots. Later moest 26.500 m<sup>3</sup> grond in de bekleding van de te maken oostelijke oprit worden verwerkt. De aannemer was op 1 maart 1964 met de ontgravingen van de grond en het in depot rijden begonnen.

Nadat begin april 1964 een slibbassin nabij de Helse haven in gereedheid was gebracht voor het opvangen en lozen van het perswater, kon een begin worden gemaakt met het persen van zand uit de voorhaven in het eerste stort van de oostelijke oprit. Er werd gespoten tot N.A.P. + 2,50 meter. Er werd reeds 350.000 m<sup>3</sup> zand uit de voorhaven gecutterd en in de oprit verwerkt. Hiervan werd ongeveer 100.000 m<sup>3</sup> geperst in het eerste stort. Het perswater werd rechtstreeks op de rivier geloosd.

Het restant, 250.000 m<sup>3</sup>, is geperst met lozing via het slibbassin. In dit bassin werd nu naar schatting 9.000 m<sup>3</sup> slib verzameld. Over 700 meter van de oprit werd een niveau bereikt van N.A.P. + 7 meter. Nabij de brug kreeg de toerit een hoogte van N.A.P. + 17

meter. Het resterende gedeelte van de oprit heeft over het zuidelijke gedeelte een pershoogte van N.A.P. + 3 meter. De gemiddelde weekproductie van de cutterzuiger 'Rupel' bedroeg 40.000 m<sup>3</sup>.

Het ontgraven van de klei uit de polder Maltha vond goede voortgang. Reeds is 75.000 m<sup>3</sup> klei ontgraven en in depot gebracht. De oorspronkelijk geraamde hoeveelheid te ontgraven klei van 88.000 m<sup>3</sup> werd overschreden, en is opgelopen tot 130.000 m<sup>3</sup>. De uitkomende klei werd gebruikt voor het bekleden van het zandlichaam. Gezien de zeer grote hoeveelheden die hiervoor benodigd waren werd zoveel mogelijk klei gewonnen, daar de aanvoer van klei van elders belangrijk duurder was.

De ontgraving van klei uit de polder Maltha werd voltooid. In totaal werd ongeveer 150.000 m<sup>3</sup> klei ontgraven, een overschrijding van 65.000 m<sup>3</sup> van de geraamde hoeveelheid. Bij de ontgraving bleek de als aanvankelijk als minder goede grond aangeduide laag toch nog te voldoen. De ontgraven klei werd in twee gronddepots nabij het werk opgeslagen.

De cutterzuiger 'Rupel' ging door met de ontgraving van de noordelijke voorhaven tot op de slappe kleilagen. Het stort, ter lengte van ongeveer 750 meter, reikte vanaf de oostelijke oprit van de Volkeraksluizen tot het in de polder Maltha te maken viaduct. Een tweede stort lag ten zuiden van de coupure voor dit viaduct en reikte tot de banddijk.

Het eerste stort werd inmiddels tot een hoogte van N.A.P. + 7 meter geperst. Bij het viaduct werd een gedeelte ter lengte van 70 meter reeds op hoogte en geprofileerd. Voor de rest waren de perskaden voor het volgende stort tot N.A.P. + 9,50 meter aangelegd. Het tweede stort werd geperst tot N.A.P. + 5 meter en werd geprofileerd. Na september 1964 resteerde nog het doorpersen van de Oude Heiningsche Haven bij fort De Hel tot aan de banddijk, waarna het werk geheel geprofileerd kon worden en bekleed met klei.

De ontgraving van de noordelijke voorhaven tot het scheidingsvlak van de zand - met de daaronder liggende klei en veenlagen op ca. N.A.P. - 4,50 meter was zover gevorderd, dat mocht worden verwacht dat dit onderdeel van het werk geheel voltooid zou zijn in het begin van februari 1965.

Het stort van de oostelijke oprit, gelegen tussen het sluizencomplex en het in de polder te bouwen viaduct, naderde hierdoor ook zijn voltooiing. Met het profileerwerk op de belopen werd een begin gemaakt, hoewel de bekleding met klei nog niet volledig kon worden aangepakt. Het stort tussen van de oostelijke oprit, gelegen tussen het reeds vermelde viaduct en de banddijk werd op hoogte geperst, met uitzondering van de doorpersing van de Oude Heingsche Haven, waarmede in december 1964 werd begonnen. Overigens moet worden opgemerkt, dat de werkzaamheden vertraging hadden ondervonden door het regenachtige en stormachtige weer in die periode. De polder Maltha werd tweemaal door hoge vloedstanden geïnundeerd. Hierbij waren diverse door de aannemer in verband met de uitvoering getroffen voorzieningen, onder meer het lozen van perswater, door het hoge water in het ongereede geraakt, met alle gevolgen van dien.

De ontgraving van de noordelijke voorhaven tot aan het veen-klei pakket werd februari 1965 voltooid. De cutterzuiger werd voor reparatiewerkzaamheden tijdelijk afgevoerd. Na zijn terugkeer werd begonnen met de verdere verdieping van de voorhaven tot N.A.P. - 6 meter.

Inmiddels was de aannemer bezig met het egaliseren, profileren en bekleden met klei van de in de ruwe vorm gespoten oostelijke oprit. Door diverse omstandigheden waren deze werkzaamheden vertraagd, in verband waarmee de eerste oplevering van het gehele werk 3 maanden moest worden uitgesteld, dit was tot 1 mei 1965.

Het opspuiten van het weglichaam door de Oude Heiningsche Haven heen was vlot verlopen en had geen bijzondere moeilijkheden opgeleverd. De oprit kon worden aangesloten op de banddijk.

Op 1 mei 1965 werd het werk voor de eerste maal opgeleverd. De aanvangsdatum was 1 januari 1964, zodat het werk in 16 maanden werd voltooid. Op 1 februari 1965 had men de opleveringstermijn met 3 maanden moeten verlengen in verband met onteigeningsprocedures die verhinderden dat de nodige gronden tijdig ter beschikking kwamen. Het uit te voeren werk omvatte:

1. Het ontgraven van de noordelijke voorhaven tot het scheidingsvlak van zand en veen-kleipakket, gelegen op een diepte van N.A.P - 4,50 meter;
2. Het maken van een oprit in de buitenpolder Maltha ter lengte van ongeveer 1300 meter;
3. Het maken van bijkomende werken, waaronder het graven van sloten, omleggen van een weg voor landbouwverkeer en het leggen van enige duikers in afvoerleidingen.

De ontgraving van de noordelijke voorhaven was geheel afgewerkt door de cutterzuiger 'Rupel' met een zuigleiding van 70 centimeter diameter en een vermogen van 1600 PK.

Via een drijvende leiding en een persleiding van de vaste wal met een diameter van 65 centimeter werd de specie naar de oprit geperst. Het perswater werd afgevoerd via een slibbassin met kaden tot een hoogte van N.A.P. + 4 meter en een kruinbreedte van 2 meter. De lozing van het slibbassin geschiedde op de Oude Heiningsche Haven, die in het Volkerak uitmondt. Bij de ontgravingen hadden zich geen bijzondere moeilijkheden voorgedaan. Ook het oppersen van de oprit waarvan het bovenste stort zelfs op N.A.P. + 16 meter kwam te liggen leverde geen extra moeilijkheden op. Bij het maken van nieuwe perskaden bleek het noodzakelijk te zijn het zand vooraf met draglines te ontwateren alvorens tot verwerking in de kaden kon worden overgegaan. Het zeer fijne zand, dat ondanks de tijdens het persen genomen voorzorgsmaatregelen nog veel slib bleek te bezitten, hield het water lang vast en had daardoor weinig stabiliteit.

Het werken met bulldozers op het natte stort bleek vrijwel onmogelijk. In het slib bassin werd 100.000 m<sup>3</sup> slib verzameld. Nog fijnere bestanddelen werden via de lozing naar buiten afgevoerd.

De stabiliteit van het opgeperste zandlichaam werd voortdurend gecontroleerd met behulp van waterspanningsmeters. Er bleek echter geen gevaar aanwezig. Wel waren de belopen ter weerszijden van de oprit in ernstige mate uitgezakt, omdat het zich in het zandlichaam bevindende water lang werd vastgehouden in het fijne slibhoudende zand. Bovendien bevond zich in de ondergrond een hermetisch gesloten slap kleipakket dat geen verticale drainage toeliet. Als gevolg hiervan werd besloten om het afwerken van de onderbelopen uit te doen voeren in augustus 1965, tijdens de onderhoudsperiode.

Aan de hand van zakbakens werd de zetting van de ondergrond gecontroleerd.

De ontgraving van klei in het daartoe aangewezen gedeelte van de polder Maltha verliep goed en leverde 169.516 m<sup>3</sup> op in plaats van de in het bestek omschreven 58.000 + 26.500 m<sup>3</sup>.

De aanvankelijk als minder goed aangemerkte lagen bleken namelijk bij ontgraving toch wel geschikt te zijn. Alle klei werd in

twee depots opgeslagen. Verwerking van de klei was niet direct mogelijk. Bij een staat van meer werk werd de aannemer, de aannemerscombinatie ' Willemstad ' te Willemstad, opgedragen over te gaan tot verwijdering van het veen-kleipakket in de noordelijke voorhaven tot een diepte van N.A.P. - 6 meter. Het betrof hier de verwijdering van 400.000 m<sup>3</sup> specie, die geperst moest worden in een gronddepot.

### **Het eerste gedeelte van de zuidelijke voorhaven van de Volkeraksluizen**

In september 1964 werd begonnen met het maken van de bouwsleuf voor de filterglooiing in de voorhaven. In de polder Maltha werden de perskaden opgebouwd voor de ringdijk van het in de tweede fase van het werk benodigde grondstort. In dit stort moest 766.000 m<sup>3</sup> slechte grond uit de voorhaven worden geborgen. In de geul van Maltha zou over een lente van 1100 meter de grondbezinking voor de nieuwe oevervoorziening worden neergelaten. In het vroege voorjaar van 1965 zou dan het werk geheel op gang komen. Vanaf november 1964 werkten twee cutterzuigers in het bassin van de voorhaven. De specie werd geperst in de eerdergenoemde ringdijk en in het oostelijk van deze haven gelegen hoge terrein. De materiaal aanvoer voor de filterglooiingen en het zinkwerk was inmiddels begonnen.

Ten behoeve van de in de voorhaven aan te leggen filterglooiingen werden in het terrein twee bouwsleuven gemaakt, waartoe in totaal 90.000 m<sup>3</sup> grond moest worden ontgraven en terzijde moest worden gedeponeerd. In de beide bouwsleuven werd tot N.A.P. + 0,75 meter een filterglooiing gemaakt onder een helling van 1: 4. Het systeem bestaat uit een laag grindzand 0,5-5 mm., dik 0,15 meter en een laag grind 3-8 cm, dik 0,35 meter, welke werd afgedekt door 400 kg/m<sup>2</sup> stortsteen 5-40 kilogram. De materialen hiertoe werden gedeeltelijk aangevoerd en op auto's overgeslagen in de werkhaven te Willemstad en van daaruit naar het werk getransporteerd. Een gedeelte van de aanvoer moest in depot worden opgeslagen, omdat de aanvoer de afname overtrof. Een klein gedeelte werd aangevoerd en op de wal opgeslagen langs de geul van Maltha om van daaruit naar het werk te worden getransporteerd. Alle steen 5-40 kilogram voor de filtersystemen stelde Het Rijk beschikbaar op de wal langs de geul van Maltha. Daartoe werd ter plaatse een losbedrijf ingeschakeld. Inmiddels werd door de aannemer, eind oktober 1964, met twee kleine cutterzuigers, de ' Holland XVII ' en de ' Amsterdam I ', begonnen aan de ontgraving van de voorhaven.

De beide zuigers trokken in een baan de voorhaven binnen en zouden eerst het gedeelte, gelegen tegen de bouwput van de schutsluizen, op diepte brengen in verband met de in een vroeg stadium in de voorhaven te maken geleidewerken voor de sluizen. De door de zuigers opgebracht specie werd ten dele geperst in de ringdijk van het grondstort op een terrein oostelijk van de voorhaven. In het terrein van de voorhaven, gelegen ten zuiden en oosten van de beschreven bouwsleuven voor de filterglooiing, waren draglines in bedrijf om de perskaden te forceren voor het maken van een afsluitdijk tussen de banddijk van het Hoogheemraadschap ' De Brabantse Banddijk ' en de ringdijk van de bouwput voor de schutsluizen.

Bij dit werk werd in april 1965 de Oude Heingsche Haven aan de monding afgesloten, waarna de buitenpolder Maltha geheel binnendijs was gelegen.

De werkzaamheden hadden stagnatie ondervonden door slecht weer, door het tot tweemaal toe onder lopen van de polder Maltha, maar ook doordat de aangevoerde cutterzuigers niet de voorgeschreven producties haalden. Ook moeilijkheden op het stort speelden een rol.

In de bouwsleuven voor de filterglooiingen werden de werkzaamheden voortgezet, zodat de glooiingen zijn opgetrokken tot N.A.P. + 0,75 meter. Daarboven was men bezig met het maken van glooiingen van Portugees graniet op een grindbed van grind 3 tot 8 centimeter met een dikte van 20 centimeter, waaronder zich een kleilaag van 35 centimeter bevond.

Aanvoer en lossing van de granietblokken vonden plaats in de gemeentehaven van Willemstad. Vandaar naar het werk, een afstand van ongeveer 3 kilometer, werden de blokken vervoerd per vrachtauto.

De zuigers ' Amsterdam I ' en ' Holland XVIII ' waren doorgestaan met hun cutterwerk in het tegen de bouwput gelegen haven-gedeelte.

In de voor het grondstort ten zuidoosten van de sluizen gemaakte ringdijk werd specie geperst. Zo ook in het stort van de afsluitdijk tussen de bouwput van de Oude Heiningsche Haven en in het stort van de terreinen gelegen tegen de geul van Maltha.

Zoals reeds eerder medegedeeld, werden al deze werkzaamheden vertraagd door de minder gunstige weersgesteldheid en doordat de buitenpolder Maltha opnieuw enige malen onder water liep. Het was vooral ook de onvoldoende capaciteit van de cutterzuiger ' Amsterdam I ' die de voortgang van het werk ongunstig beïnvloedde. Een en ander leidde tot en achterstand op het schema van ruim 100.000 m<sup>3</sup> zand. Door met de zuiger ' Holland XVIII ', die de verwachte productie overtrof, dag en nacht door te werken werd de achterstand medio maart 1965 teruggebracht tot 30.000 m<sup>3</sup>.

Ten behoeve van de uitbreiding van de terreinen gelegen langs de geul van Maltha werden de bestaande belopen gedeeltelijk ontmanteld en werd de afkomende steen in depot opgeslagen. Nadat in de herfst van 1964 de bodembezinking werd aangebracht werd in de geul van Maltha zand geklapt tot een hoogte van N.A.P. - 1,50 meter. Ter afdekking werden daarop zinkstukken gezonken. Hierna werd mijnsteen gestort en daarna werd achter de gevormde mijnsteendam zand gespoten, zodat vervolgens de glooiing aan de buitenzijde verder kon worden afgewerkt.

Ten behoeve van het zandklappen werd een winzuiger, de zuiger ' Drechterland ' aan de westzijde van de Malthageul gelegd.

Einde juni 1965 werden de langs de voorhaven te maken filterglooiingen nagenoeg voltooid.

Met de boven N.A.P. + 0,75 meter gelegen glooiingen van granietblokken op een grindbed werden goede vorderingen gemaakt. De eerder vermeldde moeilijkheden met het zuigbedrijf waren opgelost. De zuiger ' Amsterdam I ' werd afgevoerd. Tot de bouwvakantie zou met de zuiger ' Holland XVIII ' in dag en nacht productie worden gewerkt, terwijl de cutterzuiger ' Rupel ' zou worden ingezet zodra deze gereed zal zijn gekomen met het op diepte brengen van de noordelijke voorhaven.

Na de afsluiting van de Oude Heiningsche Haven werd een begin gemaakt met de afwerking van het oostelijk van de voorhaven gelegen dijkgedeelte met aansluitend terrein.

Ook de uitbreiding van de terreinen ten westen van het sluisencomplex en de noordelijke voorhaven en het maken van de daartoe benodigde oeververdedigingen verliepen in het gewenste tempo. Het klappen van zand tot een hoogte van N.A.P. - 1,50 meter en het aanbrengen van de bezinkingen kwam gereed. De mijnsteen voor de oeverbekleding werd vanuit de Maltha geul rechtstreeks door een kraan uit de voorgelegde schepen in het werk gebracht. De mijnsteen werd geprofileerd en voorzien van een grindbekleding waarop een steenschil van 500 kilogram per m<sup>2</sup> steen 10/60 kilogram werd aangebracht.

Meer naar het zuiden werd het zinkwerk ten behoeve van de uit te bouwen havendam voltooid. Het zinkwerk hier was nu geheel geëindigd. Het mijnsteenbedrijf was met een weekproductie van ca 7000 ton in volle gang om de havendam verder af te bouwen. In de voorhaven ging de zuiger ' Rupel ' beginnen met de verwijdering van circa 766.000 m<sup>3</sup> slechte grond ( veen en slappe klei)

uit het havenbassin tussen N.A.P. - 4 meter en N.A.P. - 7 meter. Deze voor het werk onbruikbare specie werd geperst in het gronddepot ten oosten van de Volkeraksluizen.

De uitbreiding van de terreinen ten westen van het sluizencomplex inclusief de glooiingen van gevlijde stortsteen langs de Geul van Maltha kwamen gereed. Het glooiingssysteem werd ter plaatse van de bouwput voor de doorlaatcaissons aangepast aan de gewijzigde omstandigheden. De terrein uitbreiding werd grotendeels voorzien van en laag grond ter dikte van 0,80 meter, waarop beplanting werd aangebracht.

Ook de afsluitdijk met terrein vanaf het zuidelijkste punt van de ringdijk van de bouwput tot de banddijk van de Sabina-Henrica polder was bijna gereed.

In uitvoering was de uitbouw van de havendam van de voorhaven, waartoe reeds in een vroeg stadium de bezinking werd aangebracht. De verdere opbouw geschiedde met mijnsteen, die rechtstreeks uit de schepen in de dam werd gelost. Achter deze mijnsteen werd zand gespoten. De specie werd door twee cutterzuigers, te weten de 'Rupel' en de 'Amsterdam I', onttrokken aan het bekken van de voorhaven.

Er werd reeds 800.000 m<sup>3</sup> zand in de te maken werken geperst. Helaas bleek het zand van slechte kwaliteit. Het veroorzaakte door zijn slechte ontwatering veel moeilijkheden op de storten.

Beneden een peil van N.A.P. - 4 meter werd de slechte grond verwijderd. In het geheel diende 766.000 m<sup>3</sup> specie te worden gecutterd en geperst in het daartoe gevormde grondstort. Zodra voldoende zand achter de mijnsteenkaden van de havendam zou zijn geperst, konden in een hoog tempo - voor het naderende winterseizoen - de glooiing tot een verantwoord peil worden opgetrokken.

Het zand, afkomstig uit de zuidelijke voorhaven, was uitzonderlijk fijn, bevatte veel slib en ontwaterde slecht. Het verliespercentage was ten gevolge van de fijnheid en van het slibgehalte zeer hoog. Gebleken was, dat hoe verder de ontgraving van de haven in zuidelijke richting vorderde hoe slechter de kwaliteit van het zand werd. In november 1965 werd besloten de resterende hoeveelheid van het in de haven aanwezige zand niet meer te gebruiken, daar de havendam niet van deze specie kon worden gemaakt. Sedert begin december 1965 werd zand gewonnen in het Hellegat door de zuiger 'Holland IV' terwijl het zand door de bakkenzuiger 'Anversoise' in het werk werd gebracht.

De gecutterde specie werd door twee zuigers, te weten de 'Rupel' en de 'Holland XVIII' in het grondstort geperst.

Eerder werd reeds de vertraging vermeld in de uitvoering van de havendam, veroorzaakt door de slechte weersgesteldheid in de maanden november en december 1965 en door het werken met ongeschikte specie uit de voorhaven. De slechte weersgesteldheid had zich in het begin van 1966 voortgezet en helaas leidde dit tot een nieuwe achterstand in de uitvoering. Inmiddels was de vereiste hoeveelheid zand in het werk geperst en kon worden begonnen met het profileren en het bekleden van de belopen. De ontgraving van de voorhaven was bijna voltooid. De datum van eerste oplevering werd bepaald op 7 juni 1966.

Nogmaals was een belangrijke vertraging ontstaan in de uitvoering van dit werk door de ongunstige arbeidsmarkt. Het was niet mogelijk gebleken tijdig voldoende vakbekwame arbeiders aan te trekken voor het aanbrengen van betonblokken en voor het vlijwerk van lichte steen. Aan de aannemer werd derhalve uitstel van oplevering verleend tot uiterlijk 7 september 1966. Voor de nog uit te voeren werkzaamheden - voornamelijk het afmaken van het onderwaterbeloop aan de binnenzijde van de havendam en de bekleding van de belopen - had de aannemer een redelijk werkplan ingediend. Hierbij moest echter opnieuw rekening worden gehouden met mogelijke vertraging wegens gebrek aan arbeiders.

Op 7 september werden de werkzaamheden volgens overeenkomst nr. DED 693 voor de eerste maal volledig opgeleverd en goedgekeurd. Het werk diende gedurende 6 maanden door de aannemer te worden onderhouden, waarna de definitieve oplevering plaatsvond.

De werkzaamheden volgens overeenkomst nr. DED-693 werden op 27 maart 1967 voor de tweede maal geheel voltooid opgeleverd en goedgekeurd.

#### **Het tweede gedeelte van de zuidelijke voorhaven van de Volkeraksluizen**

Met de uitvoering werd op 1 april 1966 begonnen. De baggermolen 'Nereus' met een emmerinhoud van 450 liter, werd ingezet bij het baggerwerk van de grondverbetering voor de uitbreiding van de havendam. Met de baggermolen 'Triton', emmerinhoud 750 liter, werd medio april begonnen met het baggeren van de nieuwe scheepvaartgeul in de richting van Dintelsas. De baggermolen 'Port-Said', emmerinhoud 600 liter, werd vanaf 1 juni ingezet bij het baggeren van de toegang van de zuidelijke voorhaven en bij de grondverbetering van de zuidoostelijke havendam. De verwachtingen over de productie van alle drie de molens werden aanzienlijk overtroffen.

De specie werd grotendeels afgevoerd met zelfvarende bakken en deels met getrokken bakken met een inhoud van 400 tot 500 m<sup>3</sup>. De specie werd geklapt nabij de Haringvlietbrug.

In april werd bovendien een aanvang gemaakt met de bouw van de 900 meter lange schermdam langs de westzijde van de te baggeren scheepvaartgeul. Het zinken op stroom van zinkstukken van gemiddeld 60 x 20 meter leverde geen moeilijkheden op. De Duitse mijnsteen voor de mijnsteenkern werd in duwbakken aangevoerd; de lossing geschiedde met een 12-tons kraan. Tijdens de eb periode vielen de duwbakken en kraan aan de grond, maar het losbedrijf ging normaal door. Hierbij werden zeer goede producties bereikt.

De mijnsteenkern werd geprofileerd met draglines en vervolgens bekleed met grind. Tot hoogwater werd de dam beschermd door een kraag van stortsteen 80/200 kilogram, die later werd gevlijd. De schermdam, op het steenvlijwerk na, was in september voltooid. In juni werd een aanvang gemaakt met het maken van de oevervoorzieningen en de havennol aan de zuidzijde van de haveningang.

De grondbezinking en de mijnsteenkern van de schermdam kwamen gereed. In de periode van mei tot medio september 1966 werd hiertoe ruim 125.000 ton mijnsteen gelost en verwerkt. Deze mijnsteenkern werd afgedekt met een laag grof grind, waarop de stenenbekleding van de Belgische steen werd gevlijd.

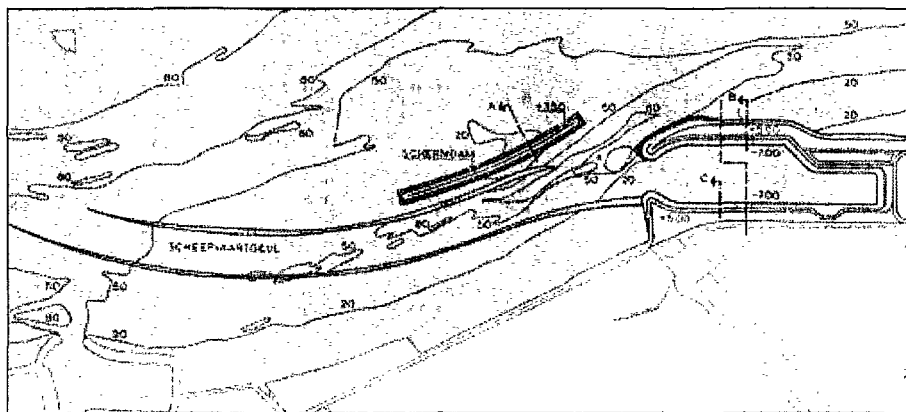
De grondverbetering voor de uitbreiding van de havendam was gereedgekomen, waarbij 230.000 m<sup>3</sup> slechte grond werd ontgraven en in het Haringvliet geklapt, nabij de Haringvlietbrug. Half augustus werd een aanvang gemaakt met het aanvullen van deze ontgraving met zand.

Begonnen werd ook met de verdere uitbouw van de havendam met zinkstukken en zand tot N.A.P. - 5 meter. In oktober waren deze werkzaamheden zover gevorderd dat er een mijnsteenkade op kon worden gebouwd. Aan de oostzijde van de haveningang waren de werkzaamheden voor de grondverbetering van de oostelijke havennol in volle gang. Meer landinwaarts werd voortgegaan met het maken van de oostelijke havenoever. Dit gedeelte van de glooiing kreeg een filteropbouw zoals reeds beschreven. Zodra dit filtersysteem gereed was werd de kade aan de havenzijde weggebaggerd. In de scheepvaartgeul was de baggermolen 'Nereus' in bedrijf. In oktober 1966 werd ook de baggermolen 'Triton' ingezet, die enige tijd aan het werk onttrokken was geweest.

In ruwe vorm was de schermdam gereed. Mijnsteen en grind waren geprofileerd en de voor de steenschil benodigde zware en lichte steen was op het werk aangevoerd. Het vlijwerk was inmiddels zover gevorderd dat naar schatting over anderhalve maand de penetratie met gietasfalt kon plaatsvinden.

De opbouw van de zuidelijke havendam was zover gevorderd dat nog in januari 1967 kon worden begonnen met het persen van zand tussen de mijnsteenkaden. Dit betekende dat de grondverbetering met zand was aangeklopt tot ongeveer N.A.P. - 2 meter en de voor het afdekken van de belopen benodigde mijnsteen in de perskaden was gelost.

Aan de oostzijde van de haveningang was het baggerwerk voor de grondverbetering gereed gekomen, evenals het gedeelte van de glooiing dat een filteropbouw heeft en in den droge moest worden gemaakt. Voortgegaan werd met het uitbouwen van het grondmassief tot een hoeveelheid van ruim 200.000 m<sup>3</sup>, die nog aan de haven kon worden ontleend.



Zuidelijke voorhaven met scheepvaartgeul

De vorderingen van het baggerwerk voor de scheepvaartgeul waren zodanig dat dit onderdeel vermoedelijk binnen de daarvoor gestelde termijn gereed zou zijn. De baggermolen 'Triton', die volgens het aanvankelijke plan in oktober 1966 op het werk terug zou komen, werd in het vroege voorjaar opnieuw voor baggerwerk ingezet. Tegenover deze goede voortgang van het baggerwerk stond helaas een vertraging, die ontstond in het zandpersbedrijf voor de havendam en de oostelijke havennol. Ondanks deze vertraging mocht worden verwacht dat het werk voor de gestelde datum kon worden opgeleverd.

De schermdam was bijna gereed. Alleen de kruin moest nog met gietasfalt worden gepenetreerd en daarmee werd inmiddels een aanvang gemaakt. Aan de noordoostelijke zijde van de schermdam werd op 60 meter vanaf de kop aan de zijde van de scheepvaartgeul een eenvoudige houten steiger gebouwd, waarop door motorkracht bewogen kruitwagens, zo genaamde jappers, welke de asfalspecie transporteren, naar de kruin van de schermdam konden rijden. Deze 'jappers' namen ongeveer 550 kilogram of 260 liter gietspecie mee. Voor de steiger werd het asfaltschip 'Dorus Heymans' afgemeerd, die het asfalt produceert.

De asfaltering ondervond stagnatie door het ruwe voorjaarsweer.

Van de zuidelijke havendam was het zandlichaam met bekleding van mijnsteen en grind aan de rivierzijde gereed. De vlijsteen werd aangebracht, maar diende nog te worden gevlijd. Aan de havenzijde werd begonnen met het profileren van zand en mijnsteen en het aanbrengen van de filterglooiing tot N.A.P. + 0,75 meter.

Ook deze werkzaamheden werden belangrijk vertraagd door het stormachtige weer. De opbouw van het oostelijke haventerrein met havennol verliep redelijk goed. Ook hier werd begonnen met het in den natte aanbrengen van het filtersysteem rond de havennol. De filterglooiing werd opgetrokken tot N.A.P. + 0,75 meter en bestond uit een 70 centimeter dikke laag grind (3-8 centimeter) waarop een bestorting van 400 kg/m<sup>2</sup> steen 10-80 kilogram. Reeds eerder werd in den droge een filterglooiing gemaakt waarop deze aansloot.

Uit de scheepvaartgeul werd reeds 850.000 m<sup>3</sup> van de in totaal te verwijderen 911.000 m<sup>3</sup> specie weggebaggerd. Achter de schermdam en verder zuidelijk langs de rand van de doorgebaggerde plaat vond in de geul weer aanzanding plaats. Dit was een hoeveelheid van ongeveer 100.000 m<sup>3</sup>.

In de zuidelijke voorhaven diende in totaal 575.000 m<sup>3</sup> specie te worden weggebaggerd, waarvan 465.000 m<sup>3</sup> was verwerkt. Inmiddels werd in deze haven een niet onbelangrijke aanzanding geconstateerd. Voorts diende langs de binnenkant van de havendam een op N.A.P. - 4 meter liggend banket ter breedte van 35 meter te worden weggebaggerd tot N.A.P. - 7 meter. Dit banket werd tijdens de uitvoering van het eerste gedeelte van de zuidelijke voorhaven uit stabiliteitsoverwegingen niet verwijderd. In totaal diende in de zuidelijke voorhaven ruim 200.000 m<sup>3</sup> aan extra baggerwerk te worden uitgevoerd.

De schermdam was ondertussen geheel gereed gekomen. Aan de havendam diende alleen nog enig basalt gezet te worden rond de kop. Verder moest daar nog grondwerk worden verricht voor de kleibelopen en voor de afdekking met teelaarde van de toekomstige windsingel. Aan de noordzijde naderde de opbouw van de havennol met aansluitende glooiingen zijn voltooiing. Ook hier moest nog basalt worden gezet. De stortlaag van maassteenslag werd aangebracht.

Het haventerrein zelf diende nog gedeeltelijk geprofileerd en met teelaarde te worden afgedekt. Het werk zou wel binnen de gestelde termijn opgeleverd kunnen worden, ware het niet dat het baggerwerk voor de scheepvaart niet klaar kwam. De hoeveelheden waren veel groter geworden doordat er belangrijke aanzandingen waren opgetreden. Er moest nu nog 150.000 m<sup>3</sup> specie worden gebaggerd in de mond van de geul bij Dintelsas, en dan moest er nog 150.000 m<sup>3</sup> aangezande specie worden verwijderd. In het zuidelijk havenbekken was nog 120.000 m<sup>3</sup> baggerwerk te verrichten, waarmee men verwachtte op 1 september gereed te komen. De aannemer had uitstel tot oplevering gevraagd tot 1 december 1967.

Het werk werd op 1 december 1967 voor de eerste maal opgeleverd. Het baggerwerk in de scheepvaartgeul, dat met 2 molens werd uitgevoerd, zou begin 1968 worden voltooid.

### **De zuidelijke voorhaven van het schutsluizencomplex in het Volkerak**

De aanleg van de zuidelijke voorhaven van het schutsluizencomplex in het Volkerak werd om verschillende redenen in twee delen gesplitst. Allereerst kwam het uitvoeringstechnisch beter uit, en voorts bleef er, tijdens het aanleggen van het eerste gedeelte, tijd over om studies te verrichten met betrekking tot de problemen van het tweede, met name voor onderzoek ten behoeve van de havenmond en de scheepvaartgeul naar de haven. Het eerste gedeelte omvatte in hoofdzaak de aanleg van een dijk met aansluitend haventerrein aan de oostzijde van de zuidelijke voorhaven. Deze dijk, die daarbij de Oude Heiningsche Haven afsloot, vormde de nieuwe waterkering. Verder werd de eerste aanzet van de westelijke havendam gemaakt, terwijl tenslotte voor het bergen van de onbruikbare specie die vrijkwam bij het op diepte brengen van de haven in de polder Maltha een gronddepot gemaakt.

Bij het ontwerp van het tweede gedeelte diende met drie opeenvolgende waterstaatkundige toestanden rekening te worden gehouden:

- In de periode van eind 1966 tot medio 1968 werd de scheepvaart door de schutsluizen geleid om de werkzaamheden in het sluitgat van de dam niet onnodig te bemoeilijken.
- Dagelijks trad tweemaal eb en vloedstroom op; het tijverschil was ca 2 meter. Bij harde wind uit zuidwestelijke richtingen konden, afhankelijk van de windsterkte en de stroomrichting, golven van 1 'a 1,5 meter voorkomen. Deze golven hadden een periode van 2 'a 3 seconden. Deiningsgolven traden op het Volkerak niet op.
- Tussen midden 1968 en 1978 was het Volkerak afgesloten, maar de Oosterschelde nog niet. De getijstromen vervielen, maar het verticaal getij nam toe. Het tijverschil werd nu 4 meter. Door de hogere waterstanden op het Volkerak zou de golfbeweging sterker kunnen zijn dan in de vorige periode. Bij hoog water stonden de platen en zandbanken dan immers dieper onder water, zodat de golven minder weerstand werd geboden.

Na 1978, wanneer ook de Oosterschelde zou zijn afgesloten, verviel de getijbeweging geheel. Men kreeg dan te maken met een nagenoeg constant waterpeil, dat afhankelijk van het seizoen kon variëren tussen N.A.P. + 0,50 en N.A.P. - 0,50 meter. Vermoedelijk waren de windgolven kleiner dan in de voorafgaande periode.

### **Eisen waaraan de haven, de havenmond en de scheepvaartgeul moeten voldoen**

In de haven diende de schepen een zo rustig mogelijke ligging te worden geboden; van buiten de haven dienden dan ook zo weinig mogelijk golven in de haven door te dringen. Vooral voor uitvarende schepen was het van belang dat het golfbeeld in en nabij de havenmond rustig was.

In de eerste periode moest de overgang van het gebied met stroom naar dat zonder stroom en omgekeerd zo geleidelijk mogelijk zijn om het gevaarlijk 'omzetten' van een schip door stroom te voorkomen. Wilden de schepen goed kunnen manoeuvreren, dan moest nabij de havenmond voldoende ruimte aanwezig zijn. Ook het uitzicht moest ruim zijn, zodat de schippers ten allen tijde een goed overzicht hadden van het scheepvaartverkeer in en buiten de haven.

De scheepvaartgeul diende voldoende breed en diep te zijn. Er werd van uitgegaan dat vier schepen, bijvoorbeeld twee op en twee afvarende, elkaar ruim moesten kunnen passeren en / of inhalen, terwijl dan nog voldoende ruimte overbleef voor een werktuig dat onderhoudsbaggerwerk in de geul uitvoerde. Gekozen werd daarom een breedte van 200 meter, gemeten op bodemdiepte van N.A.P. - 7 meter. Voor de vaardiepte was de periode met afgesloten Volkerak en nog open Oosterschelde maatgevend. In deze periode zou de waterstand ten gevolge van afwaaiing gemiddeld eens in de 80 jaren kunnen dalen tot of beneden N.A.P. - 3,50 meter. De gekozen diepte garandeerde ook dan vrijwel alle schepen een voldoende vaardiepte.

### **Mogelijkheden voor de uitvoering van havenmond en scheepvaartgeul**

De grens tussen het eerste en tweede gedeelte van de zuidelijk voorhaven werd indertijd zo gekozen, dat er nog vele mogelijkheden voor de aanleg van de havenmond en de scheepvaartgeul - tezamen de meest belangrijke onderdelen van het tweede gedeelte - bleven bestaan. Onderzocht werden drie tracés voor de scheepvaartgeul:

- In westelijke richting dwars door een plaat, aanvankelijk langs de Brabantse oever;
- Na de afsluiting van het Volkerak dwars door een plaat naar het westen;
- Voorgoed langs de Brabantse oever.

De eerste mogelijkheid leek een erg voor de hand liggende oplossing te bieden. Door de uitbouw van de oostelijke havendam over een voldoende lengte konden golven uit zuidwestelijke richting gemakkelijk uit de haven worden geweerd. Nadere bestudering van deze mogelijkheid, onder andere in het Waterloopkundig Laboratorium 'De Voorst', bracht echter nadelen aan het licht die dit ene voordeel weer te niet deden.

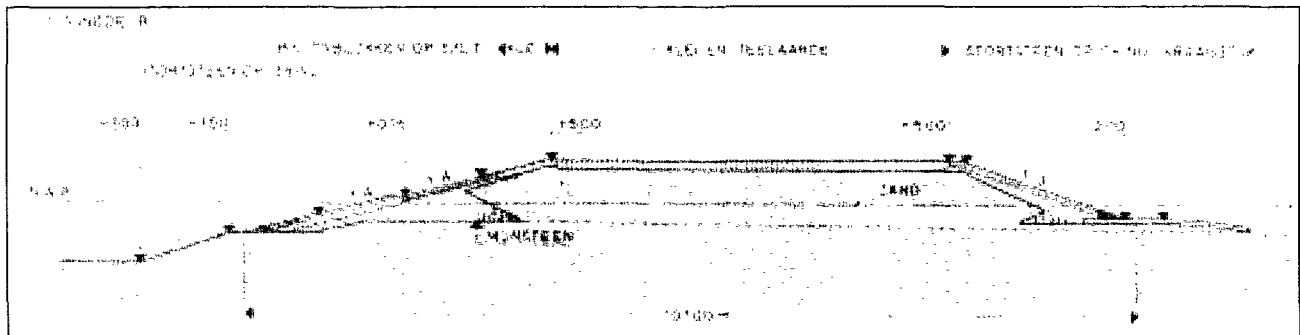
De stroomrichting stond zowel bij eb als bij vloed praktisch loodrecht op de geulas en de vaarrichting. Dit betekende dat de schepen moesten bijsturen en bijgevolg een grotere breedte van het kanaal in beslag namen. Met het oog daarop moest of de geulbreedte groter worden gemaakt, of de richting ervan worden veranderd. In beide gevallen nam het baggerwerk enorm toe. Over de plaat ten zuiden van de geul trad, vooral bij vloedstroom, al of niet gecombineerd met windgolven, zandtransport op. In twee jaar tijd zou de geul weer geheel kunnen aanzanden. Ook hieruit resulteerde dus een verzwaring van het baggerprogramma. De overgang van het gebied met stroom naar dat zonder stroom en omgekeerd zou abrupt zijn, zodat werd betwijfeld of een duwvaartkonvooi een zo gesitueerde haven wel altijd veilig zou kunnen in en uitvaren. Tenslotte zou het kopeffect van de uitgebouwde oostelijke havendam veel ontgrondingen veroorzaken.

Gedurende de eerste periode, waarin het Volkerak nog open zou zijn, moest de geul dus in elk geval langs de Brabantse oever lopen. Ook die situatie werd in het model aangebracht en onderzocht. Toen bleek dat in de geul langs de Brabantse oever de stroomrichting zowel bij eb als bij vloed praktisch samenviel met de geulrichting. Hier zou de overgang van het gebied met naar het gebied zonder stroom en omgekeerd geleidelijk zijn, wat grote voordelen had vooral bij vloedstroom en voor verkeer naar de haven toe. Een oostelijke havendam hoefde dan niet te worden uitgebouwd, er kon worden volstaan met een eenvoudige havenrol aan de oostzijde van de havenmond. Het onderhoudsbaggerwerk zou naar men verwachtte veel geringer zijn.

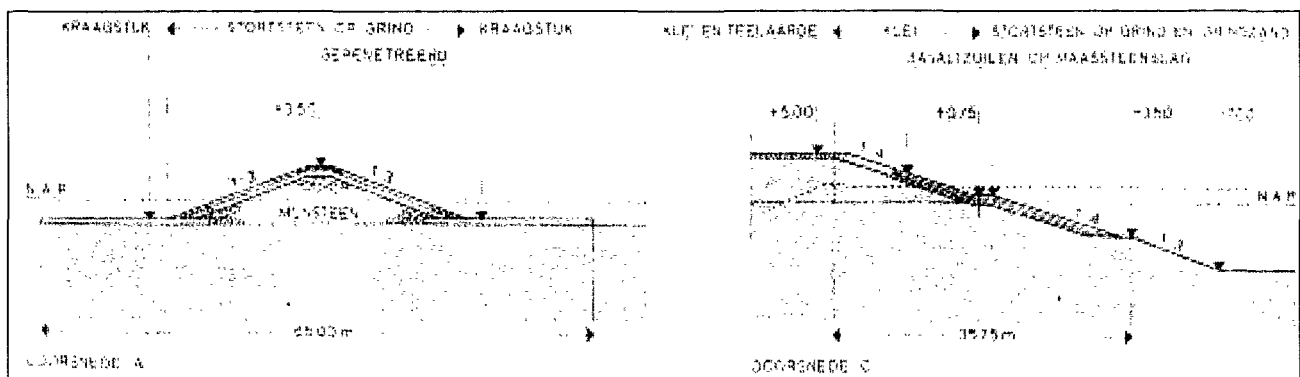
Bezwaarlijk was wel dat de haven geheel open lag voor golven uit zuidwestelijke richtingen. Dit bezwaar kon echter worden ondervangen door de aanleg van een schermdam over de plaat. Die schermdam moest ongeveer 900 meter lang zijn, en zo gelegd

worden dat hij in de periode waarin het Volkerak nog niet was afgesloten praktisch geheel volgens de eb en vloedstroomlijnen lag. De dam vormde dan voor de stroom geen weerstandbiedend obstakel. Uit berekeningen bleek, dat de golven nabij de havenmond en nabij de wachtplaatsen in de haven door deze dam tot ongeveer de helft zouden worden gereduceerd.

Heeft het nu zin, de geul die aanvankelijk langs de Brabantse oever liep, na de afsluiting te verleggen? Daarmee zou een aanzienlijk bedrag gemoeid zijn, terwijl de geul langs de Brabantse oever maar twee 'a drie jaar zou worden gebruikt. Bovendien zou de westelijke geul ook na de afsluiting van het Volkerak, nu niet meer ten gevolge van de stroom, maar door de windgolven waarschijnlijk in aanzienlijke mate onderhevig zijn aan verzanding. Daarom werd besloten de geul voorgoed langs de Brabantse wal te leggen.



Doorsnede westelijke havendam aan de zuidzijde (boven)  
Doorsnede schermdam en oostelijke havendam (onder)



Onderzocht werd ook de mogelijkheid, de functie van de schermdam te laten overnemen door een zodanige verlenging van de westelijke havendam, zodat voldoende afscherming zou worden verkregen tegen de golven. De hoeveelheid te baggeren specie voor het maken van de geul werd bij deze variant echter aanzienlijk groter; daarnaast zou een goede verdediging van de oever tegen haalgoven van passerende schepen nodig worden. Zo zouden de kosten van deze oplossing aanzienlijk hoger komen te liggen dan die van de uitvoering met een schermdam. De variant werd dan ook verworpen.

#### Korte bespreking van enkele onderdelen

Uit het grondmechanisch onderzoek bleek, dat bij gekozen taludhellingen de stabiliteit van het talud aan de havenzijde niet voldoende verzekerd was. Er kwamen dermate slappe lagen voor in de grond. De te verwachten zettingen waren er zo groot, dat het beter leek ter plaatse aan de westelijke havendam de slappe lagen tot een diepte van N.A.P. - 8 meter weg te baggeren. Deze werden vervangen door zand. Ook onder de havendam aan de oostzijde werd grondverbetering uitgevoerd.

Op de taluds werden filterglooiingen aangebracht, van ongeveer dezelfde opbouw als die waren toegepast bij de noordelijke voorhaven. De schermdam op de plaat kreeg een kruinhoogte van N.A.P. + 3,50 meter en een kruinbreedte van 3 meter. De taludhellingen zouden zowel aan de binnen als aan de buitenzijde 1: 3 bedragen. De dam werd als volgt opgebouwd:

- eerst werden de grondstukken gezonken en gedeeltelijk afgestort.
- Daarna werd de kern van de dam, bestaande uit mijnsteen, aangebracht.
- Vervolgens werd de mijnsteen afgedekt met een 60 centimeter dikke laag grind 3 - 20 centimeter, waarop aan de zijde van de scheepvaartgeul 550 kg/m<sup>2</sup> lichte stortsteen werd aangebracht.
- Aan de westzijde en op de kruin werd 750 kg/m<sup>2</sup> zware stortsteen aangebracht en gevlijd. Om de stabiliteit van de zware stortsteen op de kruin tegen overslaande golven te verzekeren werd de steen op de kruin met gietasfalt gepenetreerd.

Op 15 maart 1966 was het op diepte brengen van de voorhaven aan de Volkerakzijde klaar. De uitkomende goede specie werd verwerkt in de sluisaanvullingen. De niet bruikbare specie werd geborgen in een gronddepot in de buitenpolder Maltha. Voor aanvullingen van de sluissterreinen werd door een cutterzuiger zand gewonnen in de mond van de noordelijke haven. Ter plaatse van de doorgravingen aan de Hollandsch-Diepzijde kwamen de oevervoorzieningen gereed. Aan de Volkerakzijde werd voortgegaan met de aanleg van de oevervoorzieningen. Het opgestelde tijdschema werd gevolgd.

De aanvulling van de sluissterreinen met zand dat gewonnen werd in de mond van de noordelijke voorhaven, kwam gereed. Voor de aanvulling van de kil tussen het landhoofd en het bestaande grondlichaam werd 2500 m<sup>3</sup> zand in depot gespoten. Toen het



water in dit zeer fijne zand na zes weken voldoende was gezakt, werd een begin gemaakt met het onder profiel brengen van deze terreinen. De oevervoorzieningen aan de Volkerakzijde kwamen gereed.

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

Op 20 november 1973 werd aanbesteed 'Het maken van geleidedammen, voorhavens, toeleidingsgeulen en stortebedden voor de inlaatsluis en de jachtensluis in de Volkerakdam te Willemstad. Het werk werd voor een bedrag van f 18.792.000, - opgedragen aan de Baggermaatschappij Holland B.V. Te Hardinxveld. Met de uitvoering werd in januari 1974 begonnen.

In februari 1974 werd begonnen met een nieuw werk, het maken van geleidedammen, voorhavens, toeleidingsgeulen en stortebedden voor de inlaat en jachtensluis. Er werd reeds 250.000 m3 zand uit de winplaats in de havendammen verwerkt, waarop 6000 m2 zinkstukken werden neergelegd.

Begonnen werd met het baggeren van een talud in de toeleidingsgeul aan de zuidzijde van de inlaatsluis. Een aanvang werd gemaakt met de aanvoer van de door het Rijk aan de aannemer ter beschikking gestelde stortsteen, rijsmaterialen en riet.

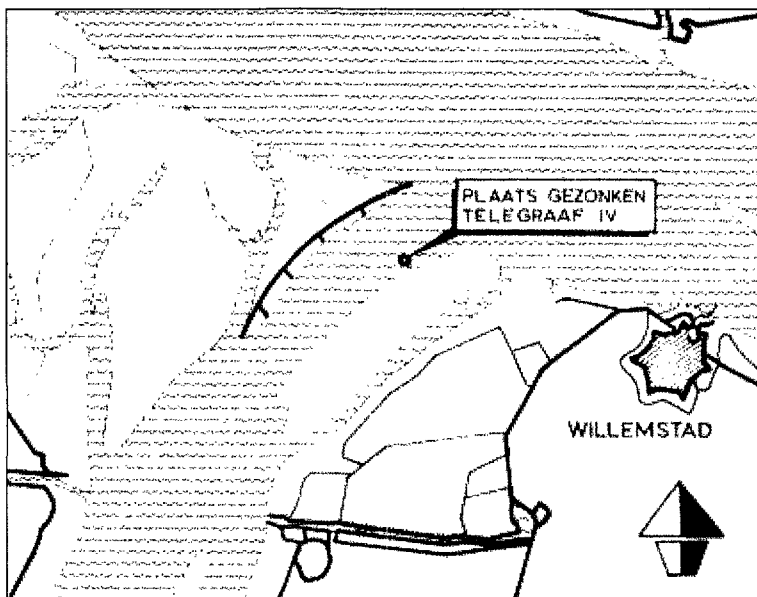
Uit de toeleidingsgeulen en uit de voorhavens werd in totaal 1.150.000 m3 specie gebaggerd. Het zinkwerk voor de bouw van de geleidedammen, voor zover gelegen buiten de ringdijk van de bouwput voor de sluizenbouw, was grotendeels gereed.

In de periode april tot juli 1974 waren in uitvoering de bij de inlaatsluis, jachtensluis en derde schutsluis behorende geleidedammen, voorhavens, toeleidingsgeulen en stortebedden. Een begin werd gemaakt met de uitbreiding van de noordelijke voorhavens ten behoeve van de derde schutsluis. De bestaande taludverdediging werd opgenomen en in den droge verwerkt op het nieuw gegraven talud.

Uit de toeleidingsgeulen en de voorhavens werd in totaal 594.000 m3 specie gebaggerd. Ten behoeve van de geleidedammen werd 660.000 m3 zand geklapt, waarop 64.000 m2 bezinking werd aangebracht. Ook werd begonnen met de aanvoer en verwerking van mijnsteen in de perskaden.

Er was in december 1974, 1530000 m3 specie gebaggerd uit de toeleidingsgeul en de voorhavens van de inlaat en jachtensluis. De bouw van de geleidedammen was gereed, voor zover ze liggen buiten de zuidelijke ringdijk van de bouwput. Er werd nu begonnen aan het gedeelte van de geleidedammen buiten de noordelijke ringdijk.

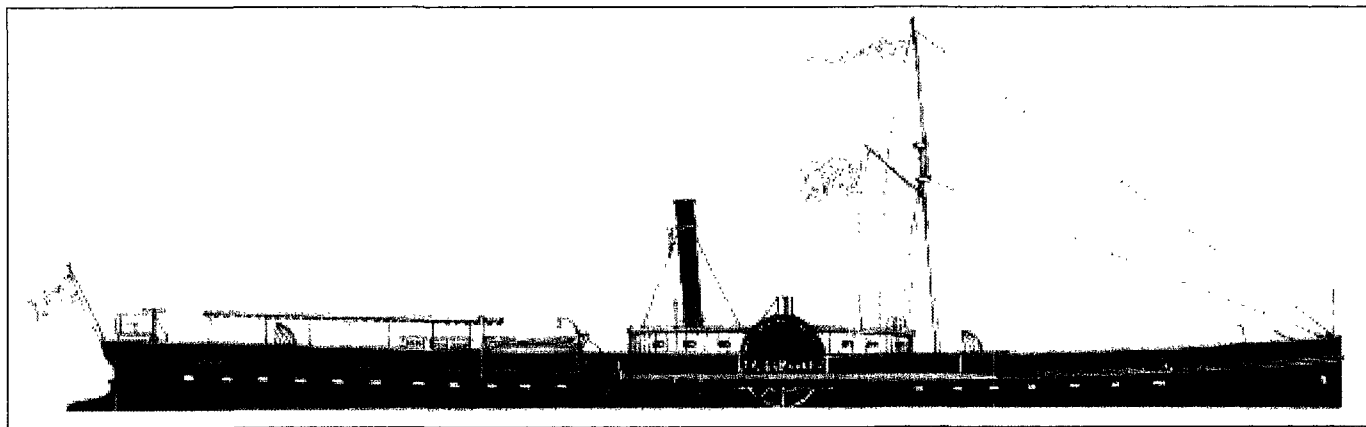
In de periode januari tot april 1975 werd uit de toeleidingsgeulen en voorhavens in totaal 2.200.000 m3 specie gebaggerd.



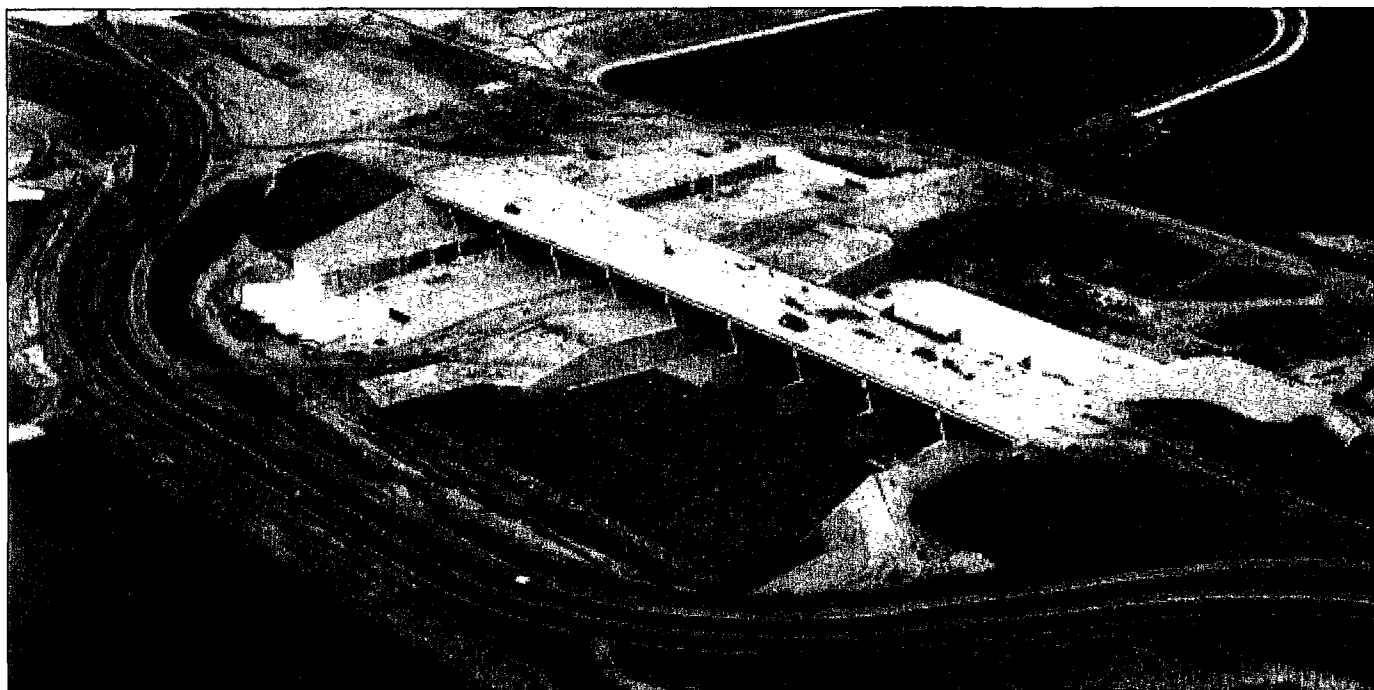
*Plaats gezonken Telegraaf 4*

In januari werd men geconfronteerd met een honderzeventien jaar oud wrak. Tijdens de aanleg van de noordelijke toeleidingsgeul naar de jachtensluis, stuitte men op de restanten van de raderboot "Telegraaf IV", die in 1858 werd gebouwd voor Fop Smit junior & Co's dienst Rotterdam - Antwerpen. In oktober 1872 liep de "Telegraaf IV" op een zandbank bij Willemstad en brak in twee delen. Ongeveer een jaar na de ondergang werden de ketels en de krukas van de raderboot geborgen door de radersleepboot-bergingsboot "Antagonist". Dit schip werd als proef op dit wrak ingezet om later het goud van de "Lutine" te bergen. De restanten bleken in 1975 nog in goede staat. Eerst werd geprobeerd het wrak in een geul te kantelen, waardoor men er geen last meer van zou hebben. Maar het bleef te hoog liggen. Twee pogingen om het op te blazen faalden. Eerst dertig en later nog eens veertig kilo springstof waren niet genoeg om de restanten van de boot afdoende te verwijderen. Later werd de boot door duikers van de genie in stukken gesneden. Met behulp van een kraan haalde men de brokstukken uit de toeleidingsgeul.

De bouw van de geleidedammen voor de jachtensluis kwam, voor zover ze buiten de ringdijken lagen, gereed.



*Raderboot "Telegraaf IV"*



*Inlaatsluis met storttebedden*

Met de aanleg van het storttebed aan de zuidzijde van de inlaatsluis werd begonnen. Het daarbij vrijkomende zand werd in de ophoging van de wegen op het Hellegatsplein verwerkt.

In juni 1975 werd er weer 400 000 m<sup>3</sup> specie gebaggerd uit dit werk. Voor zover de specie bruikbaar was werd ze in depot opgeslagen. Later werd deze gebruikt bij de aanleg van wegen op het Hellegatsplein. De onbruikbare specie werd definitief geborgen langs de westzijde van de westelijke geleidedammen. De storttebedden van de inlaatsluis en de jachtensluis waren nagenoeg klaar.

Uit de toeleidingsgeulen en de voorhavens werd tot oktober 1975 in totaal ruim 3 miljoen m<sup>3</sup> specie gebaggerd. De uitkomende specie werd, voor zover ze bruikbaar was, verwerkt in een aantal ophogingen op het Hellegatsplein. De bouwput voor de inlaat- en jachtensluis werd geïnundeerd.

In april 1976 was de specie uit de noordelijke voorhaven van de jachtensluis en de noordelijke toeleidingsgeul naar de inlaatsluis weggebaggerd. Bovendien was het bijbehorend glooiingwerk gereedgekomen. Het verkeer tussen Brabant en Flakkee kon gebruik maken van de nieuwe wegen. Met de uitvoering van de reconstructie van het kruispunt Hellegatsplein was begonnen. Alle wegen die in verband met deze nieuwe werken werden verlegd, waren in juli gereedgekomen, behalve de reconstructie van het kruispunt Hellegatsplein. Het verkeer tussen Brabant en Zuid-Holland kon gebruik maken van de nieuwe hoofdrijbaan. Er werd nog verder gewerkt met het aanbrengen van klei in de bekleding.

In september 1976 was de aanleg van de wegen op het Hellegatsplein grotendeels klaar. Het ontmantelen en ontgraven van de zuidelijke ringdijk van de bouwput voor de inlaat en jachtensluis werd ter hand genomen. Op 23 september werd deze ringdijk doorgebaggerd en is het getij toegelaten tot aan de schuiven van de inlaatsluis.

De wegenwerken op het Hellegatsplein waren in januari 1977 gereed.

Op 3 december 1976 was de ringdijk ter plaatse van de inlaatsluis weggebaggerd. Bij de jachtensluis werd de ringdijk op 12 oktober 1976 doorgebaggerd.

Op de dammen aan de Malthaoever en in de ontgrondingskuil werd verder gegaan met het maken en afzinken van zinkstukken. De kleitaluds werden afgewerkt.

Het baggerwerk in de noordelijke en zuidelijke voorhaven van de derde schutsluis werd voltooid. Gedeeltelijk was dit onderhoudsbaggerwerk in opdracht van de beheersdirectie.

Verschillende terreinen werden met een laag klei afgewerkt en ingezaaid. De bedieningswegen werden geasfalteerd.

Op 15 september 1977 werd het werk opgeleverd.

Ook zijn er nog kleitaluds afgewerkt en ingezaaid. In de komende onderhoudsperiode van zes maanden zijn nog werkzaamheden uitgevoerd op staat van meerwerk.



## *Wegen in de buitenpolder Maltha*

De plaats waar de caissons voor de afsluiting werden gemaakt was gelegen ten westen van het sluisencomplex. Er werd verbindingsweg aangelegd tussen de toeleidingsweg naar de sluisen en het werkterrein voor de caissonbouw. De verbindingsweg bestond uit een 1010 meter lang gedeelte met een verhardingsbreedte van 7,33 meter. Verder uit een gedeelte op de afrit naar de toekomstige Zoomweg gelegen, ter lengte van 890 meter en met een verhardingsbreedte van 5,08 meter. Voor het landbouwverkeer en het toekomstige lokale verkeer werden nog wegen aangelegd ter gezamenlijke lengte van 820 meter met een verhardingsbreedte van 3,20 meter.

De verhardingsconstructie van de verbindingsweg bestond uit een zandcement stabilisatie van de ondergrond ter dikte van 15 centimeter, waarop twee lagen grindzandasfalt ter dikte van 6 centimeter werden gespreid. De voorlopige toplaag bestond uit een 3 centimeter dikke laag open asfaltbeton. De constructie van de landbouwwegen bestond uit een fundering van silex van 20 centimeter waarop een penetratiedek van slakkenzand en een slijtlaag werden aangebracht.

Met de wegenbouwwerkzaamheden werd begonnen in september 1966. Half november was de fundering van de zandcement met daarop twee lagen grindasfalt gereed voor het verkeer naar het terrein van de inmiddels aangevangen caissonbouw.

Het nog te verrichte grondwerk en het aanbrengen van de asfalttoplagen werden in het voorjaar van 1967 uitgevoerd.

In het voorjaar waren op de afwerking na de wegen voltooid. Het aanbrengen van de asfalttoplagen, de wegmeubilering en het eggen en inzaaien van wegbermen en overige terreinen, werden uitgevoerd toen de weersomstandigheden het toelieten. In verband hiermee werd de aannemer uitstel van oplevering verleend tot 3 mei 1967.

Het werk werd op 1 juni 1967 voor de eerste maal opgeleverd en goedgekeurd, nadat de aannemer in verband met de minder gunstige weersomstandigheden nogmaals uitstel van oplevering was verleend tot 3 juni 1967.

Op 1 september 1967 werd het werk, na een onderhoudsperiode van drie maanden voor de tweede maal opgeleverd.



# Ontwerp van de caissons voor de afsluiting

## Inhoud

- Inleiding.
- Caissonontwerp voor de afsluiting van het Volkerak.
- Het bouwdok voor de doorlaatcaissons ten behoeve van de Volkerakafsluiting.
- De ontgraving van het bouwdok voor de doorlaatcaissons ten behoeve van de Volkerakafsluiting.
- Het grondverzet.
- De taludbekleding.
- Zandpalen.
- Caissonbouw.
- Herstel van de ringdijk van de bouwput voor de caissons.

## Inleiding

In het Volkerak werd de drempel opgebouwd tot N.A.P. - 7 meter, de breedte van het sluitgat was ongeveer 550 meter. Het constructieplan voor het Volkerak voorzag in eerste opzet in tien caissons van 55,50 meter met tien doorstroomopeningen van vijf meter in iedere caisson.

De ontworpen caisson was symmetrisch opgebouwd. Om voldoende drijfvermogen te krijgen werden de zijwanden tijdelijk gedicht met houten drijfschotten.

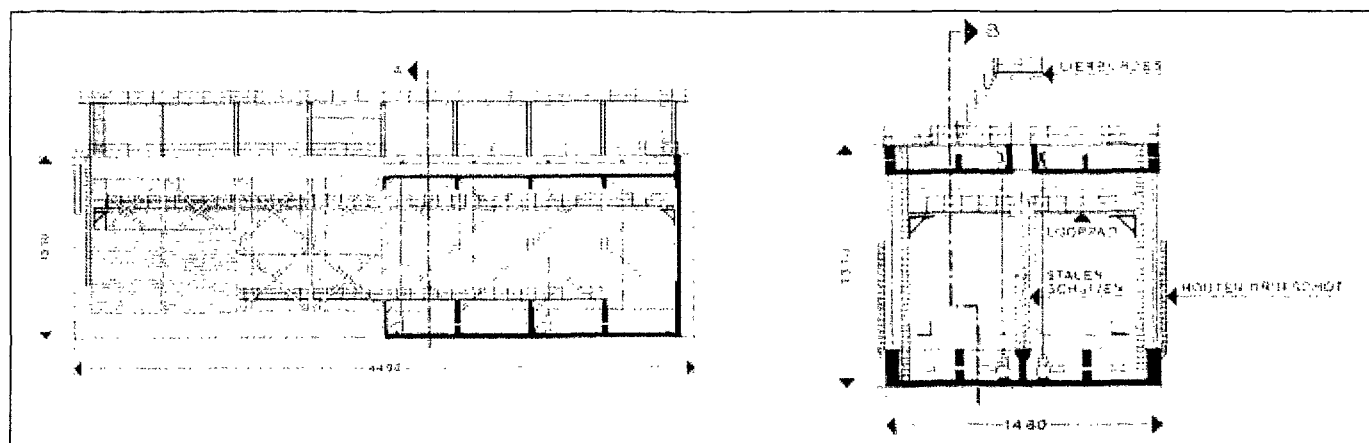
De schuiven zaten niet aan de buitenkant, maar in het midden. Deze oplossing maakte niet alleen het rechtstandig zinken gemakkelijker, maar de noodzaak verviel om een apart slingerschot te construeren en na het zinken neer te laten vallen. De taak van het slingerschot werd tijdens transport en zinkmanoeuvre door de naast elkaar neergelaten schuiven overgenomen. Bij onverhoopt weigeren van een schuif konden schotten of schotbalken in een reservesponning worden neergelaten. Mocht ook dit mislukken, dan kon tot de gewenste hoogte steen worden gestort door de opening in het dek tussen de beide ballastbakken. Deze openingen konden ook worden gebruikt om de caissons vol zand te spuiten, zodat in het dijklichaam geen holle ruimte van betekenis overbleef. De aanstorting met steen onmiddellijk na het zinken vonden nu in elk geval op een behoorlijke afstand van de schuif-aanslagen plaats, wat de kans op een niet sluitende schuif geringer maakte. Een nadeel van de plaats der schuiven in het midden was, dat men bij een verschil in waterstand aan weerszijden van de caisson op de helft van de caissonbodem het gewicht aan water miste. Door iets meer zand in de bovenbak kon dit echter gemakkelijk worden gecompenseerd, terwijl bovendien de caisson in staat moest zijn de waterdruk naar weerszijden te keren. Na het zinken werden de schuiven gehesen door elektrisch aangedreven lieren, en de houten drijfschotten verwijderd. Met steenstortingen aan weerszijden van de bodembak werd de onderloopsheid bestreden en aan de caisson meer weerstand tegen verschuiven gegeven. Meteen werden ook de naadvullingen van grof grind tussen de kopribben aangebracht. Nadat alle caissons aldus waren geplaatst en geconsolideerd, werden de schuiven van de hele caissonreeks ongeveer tegelijkertijd tijdens laagwaterkentering neergelaten, waarmede de afsluiting een feit was.

Constructief was de langsligger, bestaande uit ballastbak, bodembak en stalen diagonalen in dwarsdoorsnede verstijfd door spanten. Deze hadden openingen van zo groot mogelijke afmetingen om ook bij scheve aanstroming zo weinig mogelijk weerstand en wervelstraten te veroorzaken.

De onderbak bestond uit een vijftal doorgaande ribben van twee meter hoogte, waartussen de vloervelden zodanig werden gestort dat de bodem enigszins gewelfd was. Op grond van wat in het Veersche Gat werd geconstateerd over de spanningen en vervormingen van de stenen drempel werd verondersteld dat ribben niet op de steen zouden blijven staan, maar gemakkelijker in de drempel dringen dan platen, met het gevolg dat de caisson voornamelijk op die plaatsen zou gaan dragen waar de onderkant van de vloerplaten op een hoogte lag met de onderkant van de ribben. Uit de berekeningen van T.N.O. was gebleken dat met die bodemvorm ook bij een ruw gevormde drempel en een daarmee overeenkomende ondersteuning van de caisson een gelijkmatige en efficiënte krachtenverdeling in de constructie bleef behouden, terwijl toch de caissonlengte werd uitgebreid tot tien velden, en dus een lengte / breedte verhouding had gekregen van 3,5: 1.

## Caissonontwerp voor de afsluiting van het Volkerak

Het sluitgat voor het Hellegat zou betrekkelijk klein zijn. De behoefte aan een zo gering mogelijk aantal caissons van zo groot mogelijke lengte werd hier niet zo sterk gevoeld. Daarom werd de gewelfde bodem hier niet toegepast en werd een caisson ontworpen van 45 meter lengte. Hierbij waren de maximum spanningen van dezelfde orde van grootte als bij een caisson van rond 55 meter lengte met een gewelfde bodemvorm. Een en ander werd berekend volgens beschreven exacte methode. Het bouwen was wat eenvoudiger, de zinkmanoeuvre moest daarentegen 12 maal inplaats van 10 maal worden uitgevoerd.

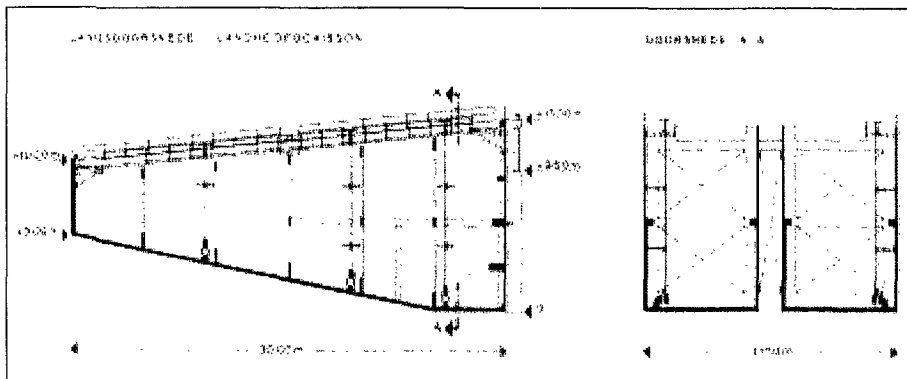


Zijaanzicht caisson

Vooraanzicht caisson

## Het bouwdok voor de doorlaatcaissons ten behoeve van de Volkerakafsluiting

Het Volkerak werd afgesloten met doorlaatcaissons. In totaal werden twaalf caissons in het sluitgat geplaatst. De lengte, breedte en hoogte van deze caissons werden respectievelijk 45 meter, 15 meter en 13 meter. In drijvende toestand was de diepgang 4,60 meter. Voor de bouw van de doorlaatcaissons - in totaal dertien, waarvan een reserve - was een bouwdok nodig. De oppervlakte van dit dok werd bepaald door het aantal en de afmetingen van de te bouwen caissons en de ruimte die beschikbaar moest zijn voor het tijdens de bouw te gebruiken hulpmaterieel. Bij het uitvaren van de caissons naar het sluitgat moest er bovendien voldoende ruimte voor de sleepboten zijn.



Landhoofd caisson

De diepte van het dok werd bepaald door de diepgang van een drijvend caisson. Daarbij ging men er vanuit dat de caissons tijdens de hoogwaterperiode uit het dok gesleept werden. De caissons werden gebouwd op een filterbed van grof grind ter dikte van 0,50 meter, zodat bij een diepte van het dok van N.A.P. - 6 meter de onderkant van de caissons op N.A.P. - 5,50 meter lag. Bij een waterstand van ca. N.A.P. zouden de caissons loskomen en opdrijven. Voor het uitvaren tijdens de hoogwaterperiode was dan voldoende tijd beschikbaar waarin de ruimte tussen de bodem en de onderkant van de drijvende caisson groot genoeg was. Voor de plaats van het bouwdok werden verschillende mogelijkheden onderzocht. De aanlegkosten van de verschillende oplossingen werden onderling vergeleken.

Overwogen werden:

- Gecombineerde bouw van de caissons voor de afsluiting van het Brouwershavensche Gat en het Volkerak in een dok;
- Een dok alleen bestemd voor de Volkerakcaissons bij de zuidelijke toerit van de brug nabij Numansdorp;
- Een dok alleen bestemd voor de Volkerakcaissons ter plaatse van het terrein waarin de toekomst eventueel een derde schutsluis zou worden gebouwd.

Bij nader onderzoek van de eerste mogelijkheid bleek, dat het kostenverschil tussen een gecombineerde en een afzonderlijke bouw zeer gering was. Bovendien werden de voordelen van een gecombineerde bouw overtroffen door de nadelen.

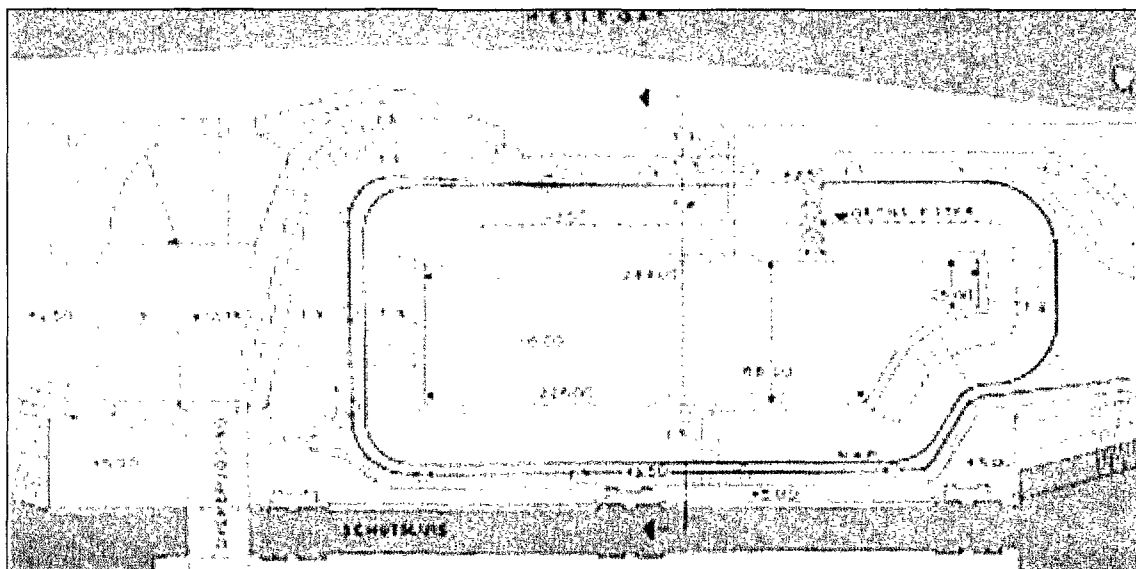
Om te kunnen kiezen tussen de beide andere mogelijkheden werd een grondmechanisch onderzoek ingesteld en aan het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening advies gevraagd over het te verwachten waterbezwaar en de in verband daarmee benodigde capaciteit van de bemaling.

Uit de gemaakte kostenramingen bleek, dat een dok ter plaatse van de derde sluis goedkoper zou zijn dan een dok bij de zuidelijke toerit van de brug. Een doorslaggevend argument hierbij was dat het overtollige zand, vrijkomende bij de ontgraving van het dok ter plaatse van de derde sluis, meteen verwerkt kon worden bij de aanvulling van de sluisterreinen.

De grondgesteldheid van het voor de opbouw van het dok gekozen terrein was blijkens de verrichte boringen en sonderingen als volgt:

- van maaiveldhoogte tot N.A.P. - 4,50 meter fijn zand met slechts een veenlaag van N.A.P. - 4,50 meter tot N.A.P. - 5,50 meter;
- Daaronder tot N.A.P. - 10 meter een zandhoudende kleilaag en beneden N.A.P. - 10 meter vastere zandlagen.

Uit een door het Laboratorium voor Grondmechanica nader ingesteld onderzoek volgde dat een grondverbetering tot N.A.P. - 8 meter noodzakelijk was om de zetting, maar vooral de zettingsverschillen tijdens de bouw van de caissons te reduceren tot aanvaardbare grootte.



Ontwerp voor bouwdok caissons

Verder dienden de binnentaluds aan de noordwestelijke en noordoostelijke zijde van het dok ter verzekering van de stabiliteit onder een helling van 1: 4 te worden gebracht. Aan de andere twee zijden van het dok kon met een helling van 1: 3 worden volstaan.

Om de stabiliteit van de oprit naar de bruggen over de sluizen niet in gevaar te brengen tijdens de ontgravingen diende op N.A.P. + 2,50 meter een berm ter breedte van 10 'a 15 meter te worden gemaakt. Het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening berekende het waterbezwaar van het dok op 900 'a 1000 m<sup>3</sup>/uur. Hierdoor waren voor de bronbemaling 19 'a 20 putten nodig, ieder met een onderwaterpomp met een capaciteit van 50 m<sup>3</sup>/uur.

Deze diepe bronbemaling moest reeds bij de ontgraving van het dok in werking zijn om openbarsting van de klei en veenlagen te voorkomen.

De bronnen voor de diepe bemaling werden in de binnenberm op N.A.P. + 2,50 meter geplaatst. De verdeling van de bronnen langs de omtrek van het dok werd zodanig gekozen, dat de onderlinge tussenafstanden langs de noordwestelijke en noordoostelijke zijde kleiner waren dan langs de zijden van de schutsluis en de oprit. De omstorting met fijn grind van de diepe bronnen werd ook doorgevoerd tot in het ondiepe pakket van fijn zand, zodat een deel van de grondwaterstroom door deze zandlaag kon worden opgevangen.

Het grootste gedeelte van deze grondwaterstroom drong tussen de diepe bronnen door naar het dok. In het advies van het Rijksinstituut voor Drinkwatervoorziening werd voorgesteld deze resterende hoeveelheid ondiep grondwater door een ondiepe bemaling af te voeren.

Onderzocht werd of deze ondiepe bemaling niet kon worden weggelaten en vervangen worden door een open bemaling en zo ja, welke nadere voorzieningen dan getroffen moesten worden om de stabiliteit van het binnentalud te verzekeren.

Uit dit onderzoek, dat werd uitgevoerd met behulp van elektrische analogon, bleek dat de ondiepe bemaling kon worden weggelaten bij een talud van 1: 4 en een 5 meter brede berm op N.A.P. + 2,50 meter. Om uitspoelen van het fijne zand te voorkomen diende een filterconstructie op het zandlichaam te worden aangebracht. De hoeveelheid water die door de open bemaling verwijderd diende te worden, werd geschat op 40 m<sup>3</sup>/uur.

Op grond van deze uitkomsten werd langs de noordwestelijke en noordoostelijke zijde van het dok een filterconstructie aangebracht vanaf N.A.P. - 2,50 meter tot N.A.P. - 6,50 meter. Het filter bestond uit een 20 centimeter dikke laag grindzand, afgedekt door een laag grof grind van 30 centimeter dikte.

Om de hinder van het uittredende grondwater tijdens de ontgravingen en het aanbrengen van de filterconstructie te voorkomen was een tijdelijke vacuumbemaling van de ondiepe zandlaag noodzakelijk.

Na het gereedkomen van het dok werd het uittredende grondwater opgevangen in een sleuf of sloot, die zich onder aan de teen van het binnentalud bevond. Deze sleuf werd gevormd door bij het ontgraven een rug van klei te laten staan.

Boven het peil van N.A.P. - 2,50 meter werd de grove grindlaag doorgezet tot N.A.P. + 2,50 meter; hij diende als bescherming van de taluds tegen de schroefstroom van sleepboten tijdens het uitvaren van de caissons.

Het bouwdok werd in de periode januari tot april 1966 geheel tot N.A.P. - 5 meter ontgraven. Het uitkomende zand werd verwerkt in de ophoging nabij het landhoofd van het viaduct en aan de rivierzijde van de tweede sluis.

Begonnen werd met de ontgraving voor de grondverbetering van N.A.P. - 5 meter tot N.A.P. - 8 meter. De uitkomende grond werd gestort op een terrein van 2 hectare ten zuidwesten van het schutsluizencomplex. Er werd begonnen met het aanbrengen van zand voor de grondverbetering van N.A.P. - 8 meter tot N.A.P. - 6 meter. Door vertraging in de winterperiode was het werk ongeveer vier weken achter geraakt op het tijdschema.

De ontgraving voor de grondverbetering van N.A.P. - 4,70 meter tot N.A.P. - 8 meter kwam gereed. De uitkomende grond, ruim 65.000 m<sup>3</sup>, werd in depot gereden ten zuidwesten van het schutsluizencomplex. Naderhand werd deze gebruikt als afdekgrond voor de havendam. Het bij ontgraving boven N.A.P. - 4,70 meter vrijkomende zand werd verwerkt in grondverbetering van de bouwput van N.A.P. - 8 meter tot N.A.P. - 6 meter.

Het overige zand werd verwerkt nabij het landhoofd van het viaduct in totaal werd ongeveer 115.000 m<sup>3</sup> zand verwerkt.

De taluds van de bouwput werden bekleed met een laag grof grind 3 - 20 centimeter ter dikte van 50 centimeter. Aan de rivierzijde werd beneden N.A.P. - 3,25 meter een filterconstructie voor het kwelwater aangelegd van 20 centimeter grindzand, waarop 30 centimeter grind 3 - 8 centimeter.

Door de slechte weersomstandigheden in het begin van 1966 is een kleine achterstand opgetreden. Men hoopte echter het werk op 8 juli voor de eerste maal op te leveren.

Op 8 juli werd dit werk inderdaad voor de eerste maal, en na de onderhoudsperiode op 8 september voor de tweede maal opgeleverd en goedgekeurd.

Men verwachtte nog in 1966 met de bouw van de caissons te kunnen beginnen.

#### **De ontgraving van het bouwdok voor de doorlaatcaissons ten behoeve van de Volkerak afsluiting**

Voor de bouw van de doorlaatcaissons en de landhoofdcaissons ten behoeve van de afsluiting van het Volkerak was een bouwdok nodig. Na een vergelijkend onderzoek werd besloten dit bouwdok te maken op de plaats waar in de toekomst eventueel een derde schutsluis kon worden gebouwd. Uit een door het Laboratorium voor Grondmechanica ingesteld onderzoek bleek dat een grondverbetering tot N.A.P. - 8 meter noodzakelijk was om zettingsverschillen tijdens de bouw van de caissons tot een aanvaardbare grootte te beperken. De binnentaluds van de noordwestelijke en noordoostelijke zijde van het dok dienden ter verzekering van de stabiliteit onder een helling van 1: 4 te worden gebracht. Aan de andere zijde van het dok kon met een helling van 1: 3 worden volstaan.

Volgens ter plaatse verrichte boringen en sonderingen kon de volgende bodemopbouw worden verwacht:

- Van maaiveldhoogte tot N.A.P. - 4,50 meter fijn zand met slib;
- Een veenlaag van N.A.P. - 4,50 meter tot N.A.P. - 5,50 meter;
- Een zandhoudende kleilaag van N.A.P. - 5,50 meter tot N.A.P. - 10 meter;
- Beneden N.A.P. - 10 meter vastere zandlagen.

Toen met de ontgraving van het bouwdok werd begonnen, was een gedeelte van de laag fijn zand tot N.A.P. - 4,50 meter reeds gebruikt voor aanvulling van de sluissterreinen van de schutsluizen.



## Het grondverzet

Het grondverzet bij het ontgraven van het bouwdok omvatte de verwerking van 115.000 m<sup>3</sup> zand en het ontgraven en afvoeren van 65.000 m<sup>3</sup> veen en klei. De ontgraving en het transport van het zand leverden geen moeilijkheden op. Het zand kon in diverse aanvullingen in de onmiddellijke omgeving van het bouwdok worden verwerkt. Een groot gedeelte werd zelfs gebruikt als grondverbetering ter plaatse van het ontgraven klei en veenpakket. Bij het transport werd voornamelijk van vrachtwagens gebruik gemaakt. Toepassing van dit vervoermiddel bij de verdere ontgraving, met name van de veen en kleilagen, stuitte echter op ernstige bezwaren.

Deze lagen sloten het vele water dat door de overvloedige regenval in het erboven liggende zand aanwezig was, van het diepe grondwater af en verhinderden daardoor een normale afvoer via de aangebrachte bronbemaling. Bovendien was het zand van een samenstelling die drainage er door nauwelijks mogelijk maakte. Voor de vrachtwagens zou daarom de rijbaan van rijplaten voorzien moeten worden, terwijl, om het grote hoogteverschil van N.A.P. - 4 meter tot N.A.P. + 5 meter te overwinnen, betrekkelijk lange op en afritten nodig waren. Men heeft daarom omgezien naar een ander middel van vervoer. De keuze viel op de zogenaamde grondkar of leipkar, die een inhoud had van 2 m<sup>3</sup> en voorzien was van twee vliegtuigbanden met lage druk. De grondkarren werden getrokken door landbouwtractors met een 4-cilinder motor van 56 pk.

De karren konden, gegeven de vervoersafstand van 400 meter heen en 400 meter terug, per uur vijf vrachten wegbrengen, en vervoerden dus 10 m<sup>3</sup> per uur per kar. Voor de ontgraving kon over 17 transporteenheden worden beschikt, waarvan er echter telkens enkele voor reparatie stonden. Met de gemiddelde beschikbare 15 eenheden kon in theorie per week  $45 \times 15 \times 10 = 6750$  m<sup>3</sup> worden vervoerd; een productie die echter nooit werd gehaald. De karren werden geladen door drie draglines. Elke dragline had dus vijf karren te vullen, en moest  $5 \times 5 \times 2 \times 9 = 450$  m<sup>3</sup> per dag produceren.

Aan de hand van de beschikbare gegevens werd een produktielijn opgesteld van de afvoer met grondkarren van het afgegraven klei en veenpakket uit het bouwdok. Ter vergelijking werd in deze grafiek bovendien de denkbeeldige produktielijn getekend van de afvoer van de specie met vrachtwagens. Deze lijn werd verkregen door te veronderstellen dat dezelfde topproductie van de drie draglines van 450 m<sup>3</sup> per dag per dragline werd afgevoerd door G.M.C. vrachtauto's, waarbij het transport op regendagen en een etmaal na een regendag zonder toepassing van rijplaten, niet mogelijk zou zijn.

Het ontgraven van het bouwdok en het aanbrengen van de grondverbetering van N.A.P. - 8 meter tot N.A.P. - 6 meter werd in drie fasen uitgevoerd.

1. In de eerste fase van het werk werden in de lengterichting van de te maken ontgraving in de laag zand een aantal sloten getrokken tot N.A.P. - 4,50 meter. Het water dat zich in deze sloten verzamelde werd met klokpompen verwijderd. Het zand uit de sloten werd tussen de sloten gestort op de rijbanen van de grondkarren.
2. In de tweede fase werd de grond van N.A.P. - 4,50 meter tot N.A.P. - 8 meter ontgraven en getransporteerd naar een stortplaats op het terrein van de zuidelijke voorhaven, waar de specie uit de karren tegen elkaar werd gestort en daarna met een lichte bulldozer geëgaliseerd.
3. In de derde fase werd het zand boven N.A.P. - 4,50 meter gebruikt om de ontgraving aan te vullen tot N.A.P. - 6 meter.

Nadat de grondverbetering in het gehele bouwdok was aangebracht werd het oppervlak ter voorkoming van verstuiwen van het fijne zand met stro ingeegd.

## De taludbekleding

Om uitspoelen van het fijne zand te voorkomen werd langs de noordwestelijke en noordoostelijke zijde van het dok een filterconstructie aangebracht vanaf N.A.P. - 6,50 meter tot N.A.P. - 2,50 meter. Het filter bestond uit een 20 centimeter dikke laag grindzand, afgedekt door een laag grind (3-8 centimeter) van 30 centimeter dikte. Boven dit filter, van N.A.P. - 2,50 meter tot N.A.P. + 2,50 meter, en op het talud langs de zuidwestelijke en zuidoostelijke zijde van het bouwdok, moest een 50 centimeter dikke laag grof grind (3-20 centimeter) worden aangebracht.

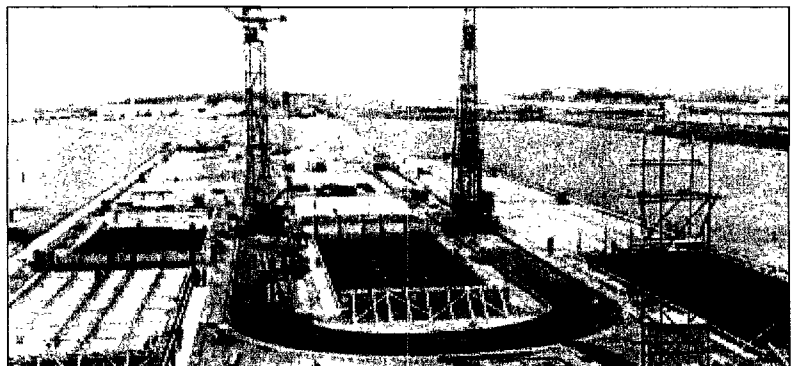
Het door het filter uittredende water werd in een in de kleilaag op N.A.P. - 6,50 meter uitgespaarde sloot opgevangen. Bij hoge waterstanden in de sloot kon het water niet naar het bouwdok afvloeien. Overigens werd het water in deze sloot op peil gehouden door twee klokpompen, elk met een capaciteit van 80 m<sup>3</sup> per uur. Deze klokpompen waren opgehangen in pompputten aan de uiteinden van de lange zijden van het dok. De pompputten bestonden elk uit twee betonringen met een doorsnee van twee meter, die zodanig waren geplaatst dat de bovenkant van de onderste ring gelijk lag met de bodem van de sloot, terwijl in de bovenste ring openingen waren aangebracht waardoor het water kon toestromen.

## Zandpalen

Na een periode van overvloedige regenval bleek de grondverbetering in het noordelijk gedeelte van het bouwdok volkomen met water verzadigd te zijn. De bronbemaling kon dit water niet of uiterst langzaam aan het zand onttrekken doordat de kleilaag ter plaatse niet was doorgebroken. Aangezien de caissons onmogelijk op deze ondergrond van met water verzadigd zand zouden kunnen worden gebouwd, werd besloten een deel van het dok van zandpalen te voorzien. In totaal werd 10 000 meter zandpaal aangebracht, in lengte variërend van 4 meter tot 9,50 meter, al naar gelang de dikte van de te doorboren kleilaag. Na het gereedkomen van de zandpalen was het waterbezwaar opgeheven.

## Caissonbouw

Op 26 augustus 1966 werd onderhands aanbesteed het maken van 13 caissons en 2 landhoofdcaissons. De laagste inschrijver was de N.V. Betonmaatschappij Bato te 's-Gravenhage met een bedrag van f 7.922.000,-.

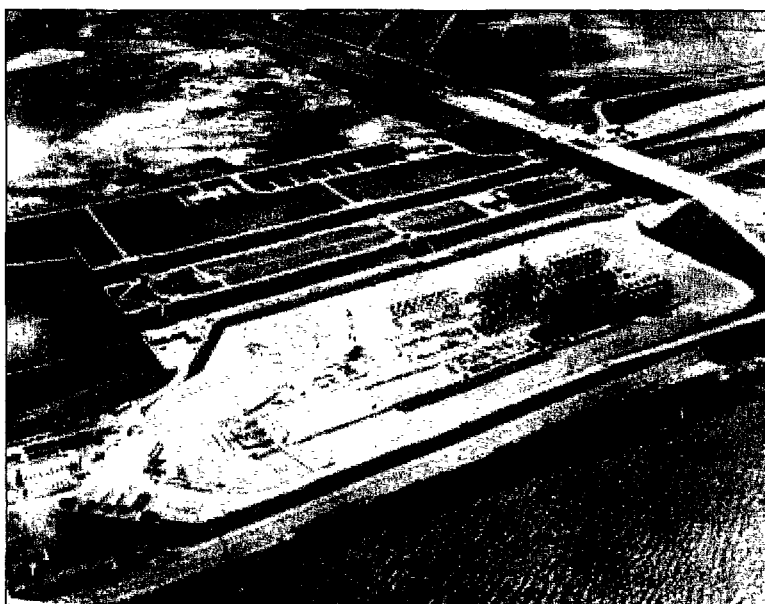


Bouwdok doorlaatcaissons

Op 22 september 1966 werd een aanvang gemaakt met de werkzaamheden, die tot dusverre hoofdzakelijk bestonden uit het inrichten van het werkterrein in de bouwput, de aanleg van wegen en kraanbanen en het maken van een loswal in de noordelijke voorhaven. De drainagebedden voor 2 caissons kwamen gereed.

Mede door de zachte winter vorderde het werk goed. Er werden acht vloeren van de onderbak van de doorlaatcaissons gestort. Daarna werd begonnen met het stellen van de tien meter hoge diagonaal verbanden. Voor drie caissons kwam men hiermee gereed. Met de bouw van de landhoofdcaissons werd een begin gemaakt. De grondverbetering hiervoor werd aangebracht.

Van dertien caissons kwamen de vloeren en de onderbak gereed. Op vijf van die vloeren werden de twee meter hoge balken van het roosterwerk gestort. Voortgegaan werd met het stellen van de tien meter hoge diagonaal verbanden en schuifgeleidingen. Van een caisson werden de portalen gestort die de verbinding vormen tussen de onder en de bovenbak. Deze zogenaamde derde storten zijn zeer bewerkelijk omdat ze zo hoog moeten worden uitgevoerd. Om niet achter te raken op het tijdschema had de aannemer een vierde bouwkranaan in gebruik genomen. De levering van 2000 ton stalen onderdelen verliep naar wens. Een begin werd gemaakt met de vervaardiging van de aan de zij-kanten van de caisson te plaatsen waterdichte drijfschotten van vurenhout.



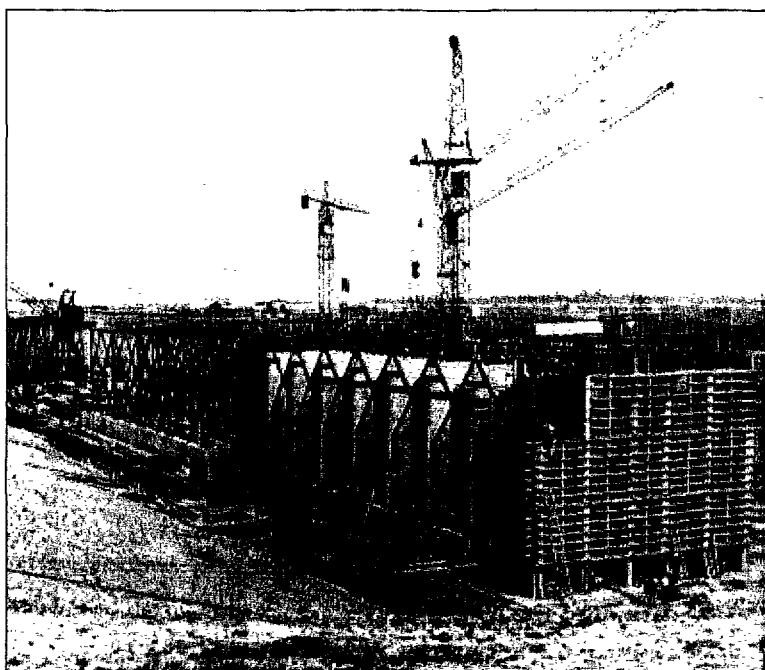
*Bouwput caissons (boven)*

*Caissons in aanbouw (onder)*

In de periode juli tot oktober 1967 werden op negen van de dertien gereedgekomen vloeren van de caisson onderbakken de twee meter hoge balken van het roosterwerk gestort. Van vier caissons werden bovendien de portalen en de kopwanden gestort, die de verbinding vormden tussen de onder en bovenbak. Bij drie caissons zijn voor de bovenbak vloeren van voorgespannen platen gelegd; van een caisson werd begin oktober de bovenbak gestort, zodat die dan wat betreft het betonwerk gereed was. De bouwtijd had negen maanden geduurd.

De werkzaamheden werden in verhoogd tempo uitgevoerd om de opgelopen achterstand op het tijdschema in te halen. Van dertien caissons kwamen de onderbakken gereed terwijl van tien de portalen en van zeven de kopwanden werden gestort. Van vier caissons kwamen bovendien de bovenbakken gereed, zodat hiervan het betonwerk was voltooid. Een begin werd gemaakt met de aankleding zoals het aanbrengen van schuiven en lierbordessen.

De bouw en de afwerking van de dertien caissons en de twee landhoofdcaissons kwam eind mei 1968 geheel gereed. Tussentijds werd begonnen met de demontage van de bouwkransen, de verwijdering van de hulpwegen en de opruiming van de bij de bouw gebruikte elektrische installaties. Op 14 juni 1968 werd een aanvang gemaakt met het inunderen van de bouwput tot circa N.A.P. + 25 centimeter, waarna de caissons een voor een drijvend gemaakt en beproefd konden worden.



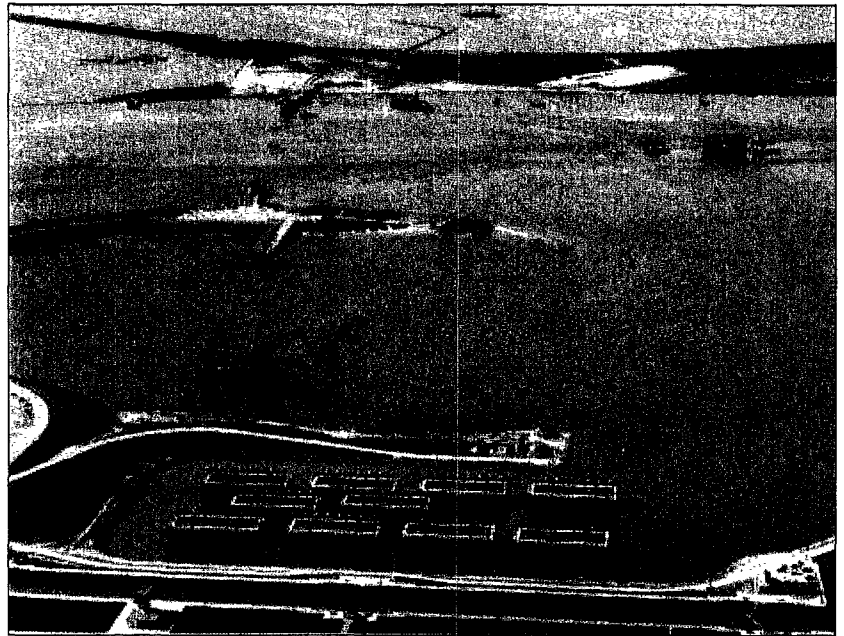
#### Inunderen van de bouwput met caissons

Dankzij het hoge tempo waarin werd gewerkt, hoopte de aannemer op 15 augustus 1968, dus circa 5 maanden eerder dan aanvankelijk was voorzien, het werk voor de eerste maal op te leveren.

In totaal werd in de caissons globaal verwerkt:

- 16 000 m<sup>3</sup> beton;
- 2 000 ton wapeningsstaal;
- 2 000 ton stalen onderdelen;
- 2 000 m<sup>3</sup> vurenhout voor drijfschotten.

De caissons werden na de inundatie van de bouwput aan een aantal proeven onderworpen. De proeven met de landhoofdcaissons leverde geen bijzonderheden op. Aan de waterdichtheid van de doorlaatcaissons, die aan beide lange zijden zijn afgedicht met houten drijfschotten, werd de eis gesteld dat de lekkage per caisson in drijvende toestand niet meer mocht bedragen dan 10 meter<sup>3</sup> per uur. Daar het hout van de schotten tijdens de bouw van de caissons sterk was uitgedroogd, werd besloten de schotten in de geïnundeerde bouwput eerst de gelegenheid te geven dicht te zwellen, alvorens de waterdichtheidsproef te nemen. Na de bouwvakvakantie werden de schotten aan de buitenzijde afgestrooid met een mengsel van koolas en azobe-zaagsel, terwijl grote spleten aan de binnenzijde werden gebreeuwd met hennepouw. Pas daarna werden de caissons in drijvende toestand gebracht. Toen bleek gedurende een proefperiode van 12 uur dat de lekkage van een drijvende caisson niet meer bedroeg dan 2 tot 5 m<sup>3</sup> per uur. Dit was dus zeker aanvaardbaar.



*Bouwput en afsluitgat*

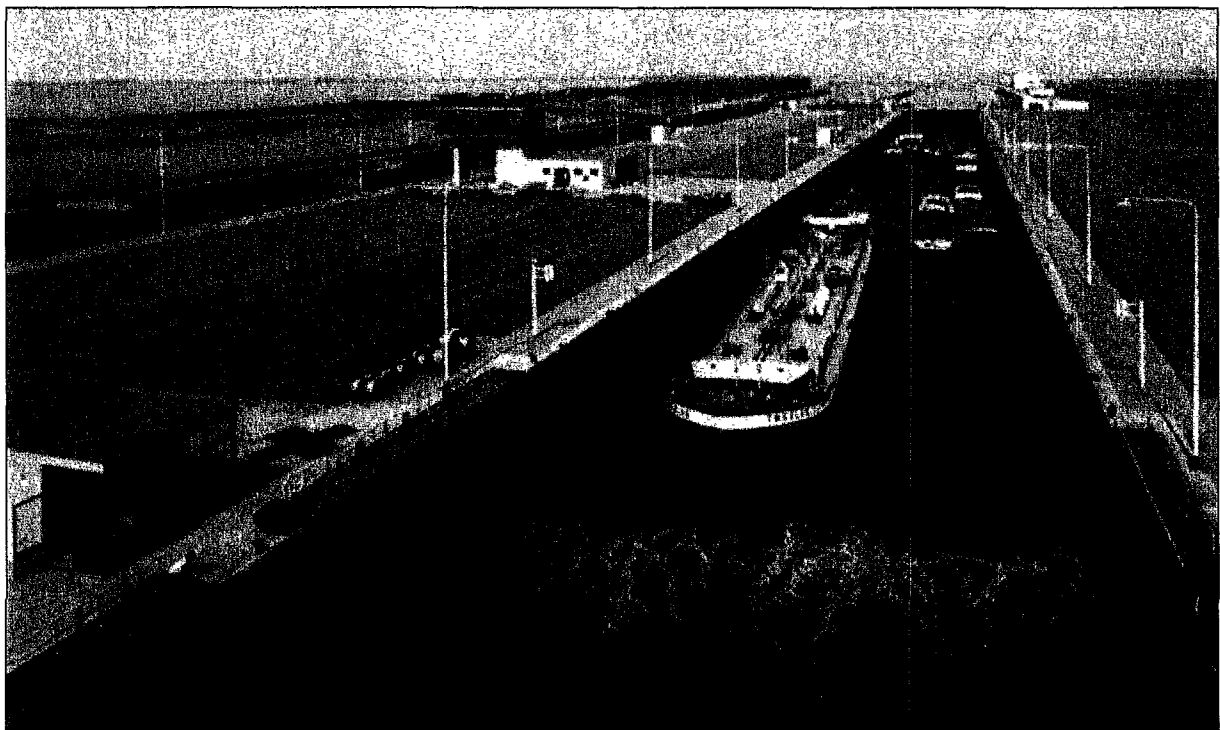
Bovendien werd een aantal afzinkproeven genomen om na te gaan hoe de caissons zich gedroegen onder verschillende minder gunstige omstandigheden. Het was bijvoorbeeld denkbaar dat op het kritieke ogenblik een afsluiter niet open wilde, of dat de caissons slagzij maakte. Tijdens de afzinkproeven door het Nederlands Scheepsbouwkundig Proefstation werd daarom met verschillende afsluiters gemanipuleerd, terwijl in enkele gevallen aan een caisson met behulp van gewichten een dwarshelling van 1:30 of 1:15 werd gegeven. Ook werd geprobeerd of de schuiven der caissons onder ongunstige omstandigheden, zoals slagzij van de caissons, nog goed liepen. Alle proeven leidden tot een volledig bevredigend resultaat.

Op 2 september 1968 werden de caissons voor de eerste maal opgeleverd en goedgekeurd. De tweede oplevering zou plaats hebben op 1 november.

#### **Herstel van de ringdijk van de bouwput voor de caissons**

Na de afsluiting van het Volkerak werd de doorgraving van de ringdijk van de bouwput voor de caissons weer aangevuld. Daartoe werd door de zandzuiger 'Ijmuider 11' zand gewonnen op de rivier dat vervolgens met onderlossers werd geklapt in het tracé van de ringdijk. Toen het peil N.A.P. - 1,50 meter was bereikt werd de rest van het zand per auto uit het depot aangevoerd. Op dinsdag 17 juni 1969 werd de ringdijk bij laagwater gesloten, waarna men de verdere opbouw van het dijklichaam ter hand heeft genomen.

De werkzaamheden werden op 25 september 1969 voor de eerste maal opgeleverd en goedgekeurd.



*Sluizen met lege bouwput*

# De afsluiting van het Volkerak

## Inhoud

- Inleiding.
- Modelproeven.
- De caissons.
- Enkele onderdelen van de drempel en ringdijk.
- Het damvlak over de plaat van Maltha, de stortsteendrempel en verdere voorzieningen in het sluitgat in het Volkerak.
- Waterloopkundige studie voor de Volkerakafsluiting.
- Het plaatsen van doorlaatcaissons in het Volkerak met behulp van sleepboten.
- Methode van plaatsen van caissons.
- Hoogwater of Laagwater kentering?
- Krachten van water en wind.
- De afsluiting.
- Vaarschema.
- Het plaatsingsschema in de praktijk.
- De afsluitdam in het Volkerak en de uitbreiding van de Hellegatsplaten.
- Operationele begeleiding van de Deltar bij de afsluiting van het Volkerak.
- De opzet van de Deltar proeven.
- IJking van de Deltar.
- De voorlopige voorspelling van de Volkerakafsluiting.
- De getijvoorspelling gedurende de afsluitingsperiode, in het bijzonder de kenteringstijd na hoogwater.

## Inleiding

Bij de werken tot afsluiting van het Volkerak had steeds de bouw van de schutsluizen met de beide voorhavens en inrichtingswerken in het centrum van de belangstelling gestaan. Verwacht mocht worden, dat in de geplande periode de schutsluizen en voorhavens gereed waren, zodat dan de scheepvaart door het schutsluizencomplex kon worden geleid.

Op 2 november 1965 werd door de Combinatie Schutsluizen Volkerak te Willemstad een prijsaanbieding gedaan tot het maken van een bouwput met bijbehorende bronbemaling ten westen van het sluisencomplex ten behoeve van de caissonbouw. Er was een bedrag van f 1.920.000, - mee gemeoid. Reeds werd een aanvang gemaakt met de ontgravingen; de bronbemaling was naar verwachting in februari 1966 geheel bedrijfsklaar.

Hoewel al in het voorjaar van 1967 met de afsluitingswerken zou worden begonnen, waren de werkzaamheden gedurende de eerste helft van 1967 nog niet van zodanige omvang, dat de scheepvaart, die dan nog de oude weg volgde, er door werd gehinderd.

Toen geruime tijd geleden aan het plan tot afsluiting van het Volkerak gestalte moest worden gegeven, moest worden beslist op welke wijze deze afsluiting gerealiseerd diende te worden. Gekozen moest worden tussen een afsluiting met doorlaatcaissons en een geleidelijke afsluiting met behulp van een kabelbaan.

Uit een vergelijkende studie, waarbij een globaal afsluitingsplan volgens beide methodes werd opgesteld, bleek dat voor de afsluiting van het Volkerak het gebruik van doorlaatcaissons de voorkeur verdiende.

De totale kosten van beide mogelijkheden liepen niet ver uiteen. Deze hebben bij de uiteindelijke keuze dan ook geen rol van betekenis gespeeld.

Een belangrijke overweging bij de keuze was de verwachting, dat na het plaatsen van de doorlaatcaissons de maximale snelheden in het sluitgat belangrijk kleiner zouden worden dan bij een kabelbaansluiting, waardoor de risico's gedurende de sluiting iets minder groot zouden zijn. Voorts was nog van belang, dat bij gebruik van een gewijzigd type doorlaatcaisson en bij de toepassing van zogenaamde schuine landhoofdcaissons nieuwe ervaringen met dit type afsluiting zouden worden opgedaan, welke bij latere afsluitingen in het Deltagebied ( Oosterschelde) wellicht konden worden benut.

Wat het gebruik van schuine landhoofdcaissons betrof, kan nog het volgende worden opgemerkt. Tot dan toe was het gebruikelijk de zijanten van een sluitgat verticaal af te werken en bij de sluiting met de caissons tegen deze verticale wand aan te sluiten. De aanwezigheid van zulke loodrechte begrenzingen bij een caissonsluiting kon evenwel zodanige ontgravingen veroorzaken dat zij de voordelen van een caissonsluiting weer tenietdeden. Door de toepassing van speciale landhoofdcaissons, waardoor het mogelijk werd de zijbegrenzingen van het sluitgat onder talud af te werken, kon dit nadeel grotendeels worden geëlimineerd.

Bij de keuze van de methode van afsluiting moest ook nog rekening worden gehouden met de afsluiting van het Haringvliet. Omdat de afsluitingen van het Volkerak en van het Haringvliet snel op elkaar volgden, kon geen economisch voordeel worden behaald door in beide gevallen dezelfde kabelbaan te gebruiken. Daar de kabelbaan van de Grevelingen in het Haringvliet zou worden toegepast, zou voor het Volkerak een nieuwe installatie nodig zijn geweest. Ook om deze reden paste een caissonsluiting beter in het tijdschema van de afsluiting dan een kabelbaansluiting.

Reeds eerder werd een uiteenzetting gegeven omtrent het bouwdok waarin de caissons werden gebouwd. Het bouwdok was inmiddels gereedgekomen, zodat met de bouw van de doorlaatcaissons en de landhoofdcaissons kon worden begonnen. Het eerste werk voor de eigenlijke afsluiting van het Volkerak omvatte de bouw van een damvlak op de plaat van Maltha en het gereedmaken van de drempel in het diepe deel van het sluitgat, waarop de afsluitcaissons zouden worden geplaatst. Het damvlak op de plaat van Maltha maakte deel uit van de ringdijk voor de bouwput van de inlaatsluis en jachtensluis, die in een latere fase van de werkzaamheden ter plaatse zouden worden gebouwd.

Het damvlak en de drempel werden in de jaren 1967 en 1968 aangelegd, waarna in het voorjaar van 1969 de sluiting kon plaatsvinden.

Na de afsluiting volgden de opbouw en de voltooiing van het damlichaam, waarop een weg zal worden aangelegd. Deze weg, die deel uitmaakte van de toekomstige Zoomweg, werd vermoedelijk in 1970 voor het verkeer opengesteld. Ter plaatse van de ringdijk zou dan voorlopig nog moeten worden gereden over een tijdelijke wegverbinding. De definitieve weg werd over de toekomst-

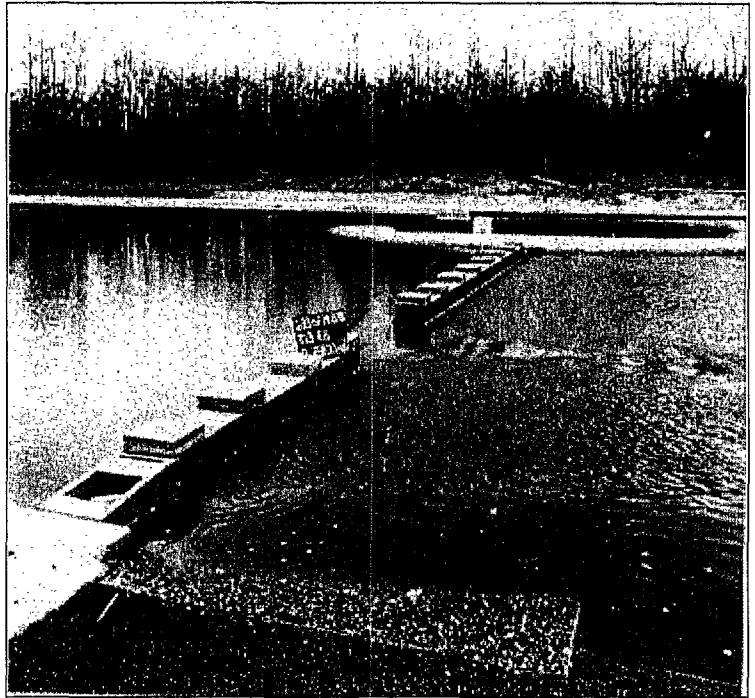
stige inlaatsluis gevoerd. In verband met het streven naar een beperking van de overheidsuitgaven moest de bouw van de inlaatsluis voorlopig worden uitgesteld.

### Modelproeven

Om een inzicht te verkrijgen in de moeilijkheden welke zich bij de afsluiting konden voordoen, werden in het Waterloopkundig Laboratorium De Voorst uitgebreide proefnemingen verricht. Deze hadden o.a. betrekking op de vorm die het einde van het damvak op de Hellegatsplaat diende te verkrijgen en op de te verwachten ontgrondingen.

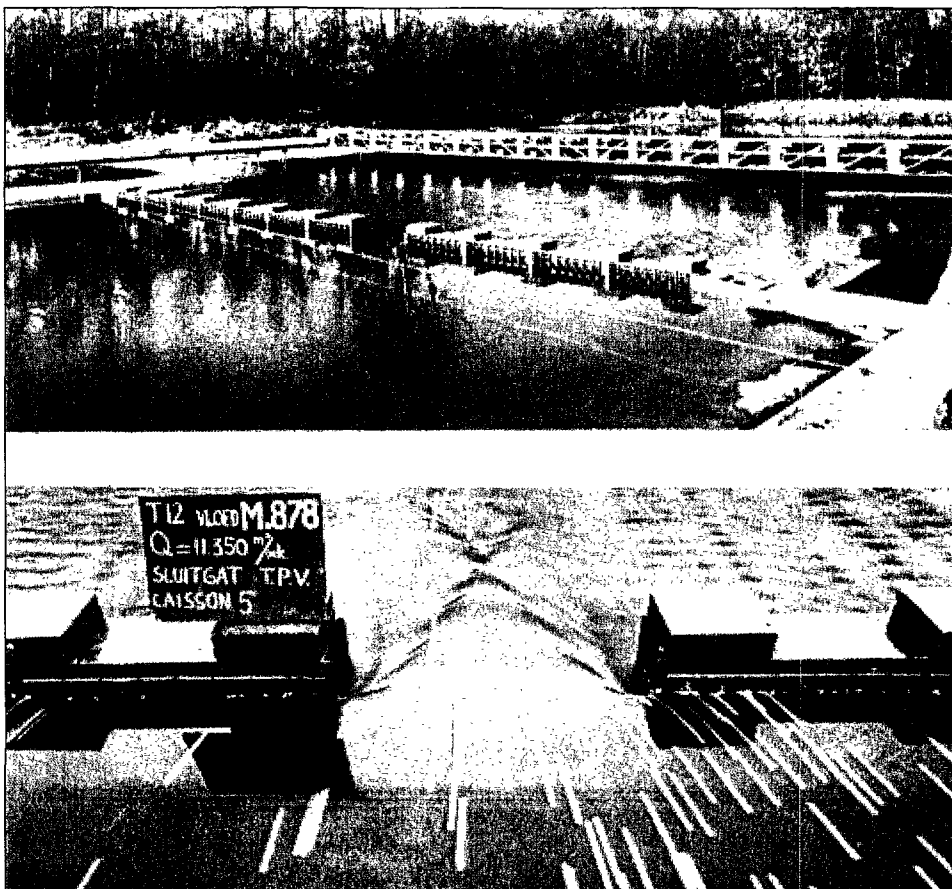
Uit het onderzoek was gebleken, dat waar de drempel aansloot op een krib van de bestaande Hellegatsdam, onder invloed van deze krib belangrijke ontgrondingen konden ontstaan. Daarom werd in het model nagegaan over welke afstand de bodembescherming van het sluitgat langs de westelijke oever van de geul zou moeten worden uitgebreid om de verdiepingen binnen zekere grenzen te houden, en of een inkorting van de bestaande krib wellicht aanbeveling verdiende.

Ter illustratie volgen in tabel 1 enige resultaten. Tot goed verstaan moet worden meegedeeld dat werd uitgegaan van een oorspronkelijke diepte van N.A.P. - 9 meter.



Tabel 1

Onder invloed van de vloedstroom bij:	Zal de bodemligging na ongeveer 1 jaar zijn:
Volle lengte van de krib	N.A.P. - 24 á 25 meter
Verkorting van de krib met 25 meter	N.A.P. - 22 meter
Verkorting van de krib met 45 meter	N.A.P. - 14 meter
Verkorting van de krib met 75 meter	N.A.P. - 12 meter
Volledige lengte van de krib, maar uitbreiding van de bodembescherming met 50 meter	N.A.P. - 18 á 19 meter.



Het sluitgat in waterloopkundig model.

Na ombouw en herijking van het model werden de proeven voor ebstroom herhaald. De verwachting was dat het beeld dan nog ongunstiger werd.

Ook de stroombestendigheid van de drempel werd onderzocht. Daarbij bleek dat het kritieke debiet voor middelzwaar stortsteen (115 kg) bij eb 7500 m<sup>3</sup>/sec bedroeg. De waterstand aan de benedenzijde van de drempel bedroeg dan N.A.P. - 1 meter. Het kritieke debiet voor zware stortsteen (700 kg) lag slechts 12 % hoger, namelijk bij 8400 m<sup>3</sup>/sec.

Op grond van deze bevindingen en het feit dat met kleinere steen een gelijkmatiger, vlakker ondergrond kon worden aangelegd, werd besloten de drempel uit te voeren in middelzware stortsteen, en daarvan de bovenste 20 centimeter met gietasfalt te penetreren. Het onderzoek moest tenslotte ook aanwijzingen geven omtrent de volgorde waarin de caissons het best konden worden geplaatst.

### De caissons

Eind augustus 1966 had de aanbesteding plaats van de bouw der voor de afsluiting benodigde caissons. Er werden dertien normale caissons gebouwd, waarvan een als reserve, en twee scheve aanloopcaissons. De normale caissons waren een iets gewijzigde versie van de in het Veersche Gat gebruikte doorlaatcaissons. Het meest in het oog lopende verschil bestond daarin dat de schuiven bij het nieuwe type niet aan de buitenkant maar in het midden zaten. Daardoor kwam ook het lierbordes centraal te liggen. De lengte, breedte en hoogte van deze caissons waren respectievelijk 45, 15 en 13,30 meter. De scheve caissons dienden, zoals reeds opgemerkt, om de bouw van verticale landhoofden overbodig te maken. De manoeuvres met deze caissons zouden tot de nieuwe ervaringen van de Volkerakafsluiting behoren. Het dok waarin deze caissons werden gebouwd was zo gesitueerd, dat de gereedgekomen caissons zo dicht mogelijk bij het sluitgat lagen, zodat er zo min mogelijk mee behoefde te worden gesleept.

Om te kunnen berekenen wat voor waterstanden er aan weerszijden van het sluitgat zouden optreden en hoe sterk de stroming zou zijn door de caissons, was het noodzakelijk de afvoercoëfficiënt van de caisson te kennen. De stroomsnelheid van het water bij verschillende waterstanden aan weerszijden van het sluitgat werd voornamelijk bepaald door het waterstandsverschil, maar hing ook af van de vorm van de doorstroomopeningen in de caisson. Hoe beter die de stroom geleiden, hoe groter de afvoer zou zijn. De invloed van de vorm van de doorstroomopening werd uitgedrukt in afvoercoëfficiënt.

Uit het modelonderzoek was gebleken dat vooral de stalen diagonalen die om constructieve redenen in de doorstroomopeningen waren geplaatst een nadelige invloed hadden op de afvoercoëfficiënt. De stroomgeleiding van de stalen balken waaruit deze diagonalen waren samengesteld was slecht vanwege de rechthoekige vorm. Rondde men het profiel ervan echter af, met halve cirkelvormige buizen, dan werd de afvoercoëfficiënt met 8 % 'a 10 % vergroot.

De volgorde waarin de caissons zullen moeten worden geplaatst werd bepaald op grond van uitvoeringstechnische en waterloopkundige overwegingen. In principe kon men bij de plaatsing op twee manieren te werk gaan:

- Men kon van de ene zijde van het sluitgat naar de andere zijde toewerken, zodat de laatste caisson nabij een landhoofd werd geplaatst;
- Men kon ook afwisselend aan de ene en de andere zijde een caisson afzinken, de laatste caisson werd midden in het sluitgat geplaatst.

De laatste werkwijze verdiende uitvoeringstechnisch gezien de voorkeur. Men kon dan de werkzaamheden rond een eenmaal geplaatste caisson, zoals het vullen van de ballastbak en de naden tussen de caissons, vanaf beide oevers verrichten en ze dus over twee fronten verdelen. Hierdoor ontstond een evenwichtiger verdeling van de werkzaamheden en een minder gespannen werkprogramma. Waterloopkundig waren zowel het stroombeeld in het sluitgat, als het verloop van de ontgrondingen in samenhang met de morfologische en grondmechanische gesteldheid van de ondergrond van belang, als ook het verloop van het krachtenspel bij het plaatsen van de caissons met behulp van sleepboten.

Bij het onderzoek in het Waterloopkundig Laboratorium naar de vormgeving van het sluitgat werd er naar gestreefd de stroomverdeling zo regelmatig mogelijk te doen zijn en het optreden van wervelstraten zoveel mogelijk te voorkomen. Uit metingen die in het sluitgat werden uitgevoerd bleek dat de resultaten van het modelonderzoek op bevredigende wijze met de werkelijkheid overeenstemden.

Het grondmechanisch onderzoek naar de gesteldheid van de bodem had uitgewezen dat plaatselijk losgepakte zandlagen voorkwamen. Deze konden een gevaar vormen voor de stabiliteit van de constructie. Met het oog hierop moest er naar worden gestreefd de ontgrondingen welke zouden optreden tijdens het plaatsen van de caisson zoveel mogelijk te beperken. Wanneer afwisselend aan de ene en aan de andere zijde een caisson werd geplaatst, bestond er naar het onderzoek uitwees de meeste kans dat de ontgrondingen binnen de perken bleven.

Naarmate er meer caissons waren geplaatst nam de stroomsnelheden in het overblijvende gat toe. De krachten die bij het plaatsen van de caissons door de sleepboten moesten worden geleverd, waren evenredig met het kwadraat van de stroomsnelheid, en namen derhalve in nog sterkere mate toe. Hierbij was ook het stroombeeld in het overblijvende gat van belang. Hoe schever de stroom door het gat trok, hoe meer het gedrag van de caissons in de stroom ging verschillen, al naar de zijde van het gat waar ze werden geplaatst. Dit werd als ongunstig beschouwd in verband met de wenselijkheid bij de plaatsingsmanoeuvres met de sleepboten de nodige routine op te laten doen.

Uit het onderzoek was gebleken dat een symmetrisch stroombeeld het best kon worden verkregen als de laatste caisson in het midden van het sluitgat werd geplaatst.

Zowel uit uitvoeringstechnisch als waterloopkundig standpunt gezien verdiende het dus aanbeveling de caissons afwisselend aan de ene en de andere zijde af te zinken, zodat de laatste caisson ongeveer in het midden van het sluitgat werd geplaatst. De caissons werden drijvend vanuit het bouwdok aangevoerd en moesten op het moment dat de stroom kenterde op de drempel worden afgezonken. Het vermoedelijke krachtenspel op de caisson tijdens het slepen vanuit het bouwdok, bij het op zijn plaats stellen boven de drempel en bij het afzinken werd berekend aan de hand van de proeven in het Waterloopkundig Laboratorium.

Doel van dit onderzoek was een werkwijze te vinden waarbij de krachten die moesten worden geleverd bij de verschillende manipulaties met de caissons beperkt bleven en waarbij de risico's zoveel mogelijk werden verminderd. De resultaten van dit onderzoek en aan de hand daarvan gekozen werkwijze zullen nog nader worden behandeld.

De drempel waarop de caissons moesten worden geplaatst werd opgebouwd in de vorm van een filter waarvan de bovenste laag

bestond uit stortsteen met een stukgewicht tussen de 80 en 300 kilogram met een gemiddelde afmeting van 40 centimeter. Deze steen werd aangebracht met behulp van een steenstorter, waarbij er naar werd gestreefd de lagen zo vlak mogelijk af te werken. Desondanks ontstond een betrekkelijk onregelmatig oppervlak waarin hoogteverschillen van 40 tot 60 centimeter konden voorkomen. Wanneer daarop caissons werden geplaatst bleven er plaatselijk spleten open tussen het drempeloppervlak en de vlakke onderzijde van de caissons. Wanneer geen bijzondere voorzieningen werden getroffen, zou na de sluiting van de schuiven der caissons door het waterstandverschil een sterke stroming in deze spleten optreden, de drempelsteen zou er door kunnen worden meegevoerd, wat ernstige verzakkingen van de caissons tot gevolg kon hebben. Om dat te voorkomen werden tegen de bodembak van de caisson aanstortingen aangebracht die de spleten af dichtten. In het Waterloopkundig Laboratorium was onderzocht hoe zwaar de bestortingen moeten zijn om niet door de stroom te worden weggedrukt, of ze van een of twee zijden moesten worden aangebracht, en welk stukgewicht het materiaal ervan moest hebben.

Gebleken was dat vooral het soortelijk gewicht van het materiaal van grote invloed was op de stabiliteit ervan. De stabiliteit was recht evenredig met het soortelijk gewicht van het materiaal verminderd met dat van water. Besloten werd daarom voor de aanstortingen loodslakken te gebruiken, waarvan het soortelijk gewicht ongeveer 3700 kilogram per m<sup>3</sup> bedraagt.

Zoals in het voorgaande werd uiteengezet, was de waterbeweging gedurende de afsluiting bepalend voor de manoeuvres welke met de caissons moesten worden uitgevoerd. Een belangrijk punt was de voorspelling van het moment van kentering waarop de caissons moesten worden afgezonden. Immers, voor de daaraan voorafgaande handelingen met de caisson was nogal wat tijd nodig. Het moment waarop een caisson het bouwdok moest verlaten lag ongeveer twee uur voor de kentering.

Voor het voorspellen van de kentering was de waterbeweging in het Haringvliet, in het Volkerak, het Zijpe, het Mastgat en het Hollandsch Diep met de daarop aansluitende riviertakken van belang. Deze waterbeweging kon worden gereproduceerd in het elektrische getijmodel

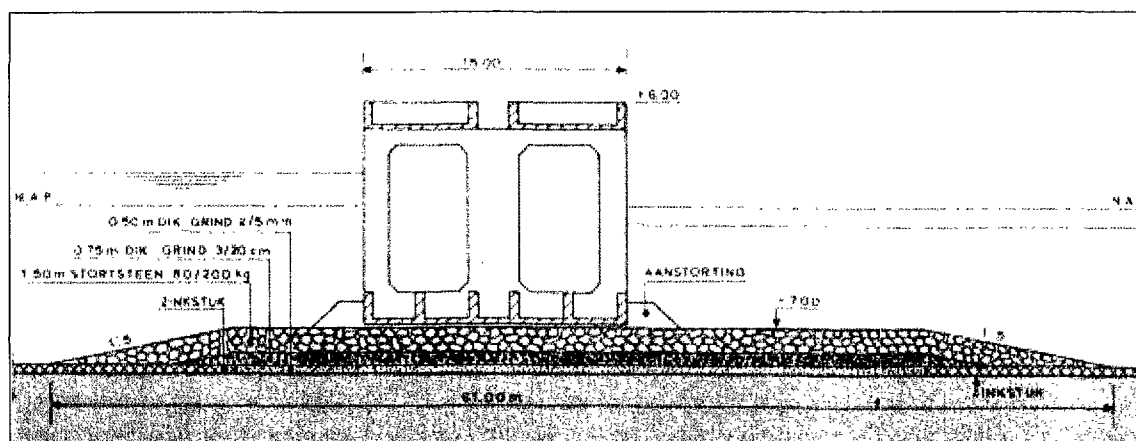
'Deltar', dat wanneer het zover was dan ook geheel voor de Volkerakafsluiting zou worden ingezet. De waterstanden en stromen in de genoemde riviertakken en zeearmen werden bepaald door de getijbewegingen op zee enerzijds en de rivierafvoeren anderzijds. Deze randvoorwaarden werden in de Deltar ingevoerd. Ter verkrijging van de benodigde gegevens werd een aantal peilschalen, waaronder die te Hoek van Holland, te Hellevoetsluis, te Stavenisse en te Moerdijk, per telefoonkabel verbonden met de Deltar. Men was dus voortdurend op de hoogte van het verloop van het getij langs de kust, terwijl men daarnaast de beschikking had over de gemeten en voorspelde rivierafvoeren.

Behalve de bepaling van het kenteringstijdstip en het verloop van de stroomsnelheid voor de kentering, moesten de maximum vervallen voorspeld worden. Dit laatste in verband met de stabiliteit van de geplaatste caissons en de bovenlaag van de drempel.

#### Enkele onderdelen van de drempel en de ringdijk

De drempel waarop de caissons zouden worden gezonken werd opgebouwd tussen de ringdijk van de bouwput en de Hellegatsdam. Gedurende de werkzaamheden aan de afsluiting van het Volkerak wordt de toekomstige bouwput voor de inlaatsluis niet geheel gesloten, zodat hij dienst kon doen als werkhaven. Uit het dwarsprofiel van de dijk bleek duidelijk dat men hier te doen had met de ringdijk van een later te sluiten bouwput. Aan de zuidzijde werd op het talud een filterglooiing aangebracht, opgebouwd uit een laag grind en een laag stortsteen van 750 kg/m<sup>2</sup>. Aan de noordzijde werd het talud tot N.A.P. + 4 meter bekleed met een laag grind en vanaf dat peil tot de kruin met een laag klei. Tot een hoogte van N.A.P. + 1,20 meter werd een kunstmatig strand aangelegd. Een deel van dit damvak deed dienst als stroomgeleidende dam voor het sluitgat, en werd aangelegd op een bodembezinking die ophield waar het sluitgat begon. Ten westen van de stroomgeleidende dam werd over een breedte van 110 meter aan weerszijden van de as van het sluitgat een rechthoekig vak gebaggerd dan wel opgestort tot een diepte van N.A.P. - 10 meter. De begin en eindbelopen ervan kregen hellingen van 1:5. Over de gehele lengte van deze rechthoek werd een bodembezinking aangebracht van rijshouten zinkstukken met 250 kilogram zinksteen per m<sup>2</sup>; de zinkstukken werden bestort met 750 kilogram stortsteen (80 - 200 kilogram) per m<sup>2</sup>. De bezinking strekte zich in de breedte uit aan beide zijden van de drempel, en wel van 24 tot 100 meter uit de as van het sluitgat. Aan de oostzijde sloot ze aan op het zinkwerk van de stroomgeleidende dam. Aan de westzijde werd de bodembescherming voortgezet tot waar de bodem kwam op een hoogte van N.A.P. - 1 meter. Ze sloot dan aan op de krib in de Hellegatsdam.

In de 48 meter brede sleuf tussen de bodembezinking werd direct na het plaatsen van de zinkstukken een laag mijnsteen van 1 meter dikte gestort. Later werd deze laag verhoogd tot N.A.P. - 8,20 meter. Met zijdelingse belopen van 1:5. Daar overheen kwam een laag stortsteen (20 - 80 kilogram) van 1,20 meter dik, waarvan de bovenste 20 centimeter werd gepenetreerd met gietasfalt. De stortsteendrempel kreeg op N.A.P. - 7 meter een breedte van 40 meter en lengte van 551 meter en ging aan de beide einden over in de stortsteenbekleding van de kribkop en de stroomgeleidende dam.



Caisson op drempel

Het damvak over de Plaat van Maltha, de stortsteendrempel en verdere voorzieningen in het sluitgat in het Volkerak.

Op 22 mei 1967 werd met het werk begonnen. Eerst werd over een lengte van vijfenzeventig meter aansluitend aan het te maken damvak over de Plaat van Maltha een verdieping tot N.A.P. - 9,75 meter gebaggerd. Daar moest de drempel van het sluitgat komen. Nog voor de bouwvak vakantie konden aan weerszijden van de toekomstige drempel in deze put drie zinkstukken worden afgezonken, terwijl ook een aanvang werd gemaakt met het aanbrengen van de grondbezinking van het damvak. Na de bouwvak vakantie werden het baggerwerk en zinkwerk in hoog tempo voortgezet. De baggermolen kon begin augustus voorlopig worden afgevoerd en met het zinkwerk aan weerszijden van de drempel kwam men medio augustus klaar. De aannemer van de zinkwerken concentreerde zich daarna geheel op de grondbezinking van het damvak.

Dit was temeer nodig omdat na de bouwvakvakantie ook het mijnsteenbedrijf was begonnen. Na aanvankelijke moeilijkheden in de aanvoer kwam dit bedrijf omstreeks half augustus op volle toeren, en bereikte het producties van 15 000 ton per week. Op 15 september was reeds 100.000 ton mijnsteen in het damvak gelost.

Op 15 en 16 augustus werden de landhoofden geplaatst in het oostelijke landhoofd van het sluitgat. Hierna werd begonnen met de opbouw van het drempelgedeelte, dat bestond uit 50 centimeter grind van 2-5 mm, 75 centimeter grind van 3-20 centimeter en daarboven op een steenbestorting van steen van 80-300 kilogram ter dikte van 1,50 meter.

Het grind werd tot nu toe met onderlossers geklapt. Alleen de laag grind van 3-20 centimeter werd daarna met een baggermolen geëgaliseerd. De steen van 80-300 kilogram, werd met twee op het werk aanwezige steenstorters 'Ram' en 'Steenbok' aangebracht. In de periode van 20 juli tot 8 september 1967 werd ruim 203.000 m<sup>3</sup> zand geperst in het werkterrein achter het toekomstige westelijke landhoofd van het sluitgat. Het zand werd gewonnen in het Hellegat door de zuiger 'Ijmuider 2' en in het werk geperst door de bakkenzuiger 'Anversoise 2'. Aan beide oevers van het Hellegat werden aanlegsteigers voor de directievaartuigen gebouwd.

Tot medio december 1967 werd in het damvak ruim 234.000 ton mijnsteen verwerkt. Een gedeelte werd onder profiel gebracht waarna er een laag grind 3-20 centimeter ter dikte van 0,70 meter op aangebracht werd, tot N.A.P. + 2 meter. De grindlaag werd afgedekt met een laag zware stortsteen 60-300 kilogram, met een gewicht van 750 kilogram per vierkante meter. Deze zware stortsteen op de taluds werd boven N.A.P. gevlijd. Achter de mijnsteenrug werd tot midden december ca. 400 000 m<sup>3</sup> zand gespoten, waarna een gedeelte werd afgewerkt tot de voorgeschreven hoogte van N.A.P. + 2 meter.

Het eerste gedeelte van de drempel ter lengte van ongeveer 70 meter kwam gereed. Daar de voor dit werk te gebruiken steenstorters nog niet volledig op het storten van grind waren ingericht, vond het opstorten van het grind voor dit damgedeelte met onderlossers plaats, waarna de bovenkant van het grindbed met een baggermolen werd vlak gemaakt. De stenen mantel van de drempel werd in meerdere lagen met steenstorters opgebouwd, waarbij een redelijk resultaat werd verkregen.

In januari 1968 werd dit damvak uitgebouwd tot de Brabantse oever. Tevoren werd de Geul van Maltha met zand afgesloten, waarvoor de bakkenzuigers 'Voorburg' en 'Anversoise' beschikbaar waren, en ook de winzuigers 'Flevo' en 'Ijmuider'. Ongeveer 900 meter ten noorden van deze sluiting werd in de Geul van Maltha een 200 meter lange krib van zandasfalt uitgebouwd. De aanleg van deze krib was noodzakelijk voor het verkrijgen van een regelmatig stroombeeld in het sluitgat bij eb, waardoor de ontgrondingen in het sluitgat werden beperkt.

Met het bouwen van deze dam werd oktober 1967 begonnen met behulp van het asfaltschip 'Dorus Heijmans' van de N.V. Bitumarin te Zaltbommel.

De zandwinning voor de oprit van de overbrugging der Volkeraksluizen en voor de opbouw van de dam over de Plaat van Maltha tot N.A.P. + 2 meter werd reeds in mei 1968 beëindigd, evenals het cutterwerk in het havenbassin binnen het dijkvak. Het uit het bassin afkomstige zand werd boven N.A.P. + 2 meter in het damvak geperst. Daarnaast werd nog een depot gevormd van ongeveer 40.000 m<sup>3</sup>. Zowel bij de zandwinning als bij het cutterwerk werden de geraamde hoeveelheden ruim overschreden ten gevolge van de verplaatsing van een groot gedeelte van de Plaat van Maltha naar het te cutteren havenbassin, door de stroomschuring tijdens de uitvoering van het werk.

De zandbelopen van het gereedgekomen damvak, de aardebaan en de werkterreinen bij het oostelijk landhoofd en aan de zuid-oostelijke zijde van het damvak waren nagenoeg geheel afgewerkt. De belopen werden praktisch helemaal met mijnsteen en grind bekleed, terwijl op de bovenbelopen bijna alle vlijsteen en klei was aangebracht. De bestrating van de op het damvak aan te leggen weg vorderde goed, zodat spoedig zou kunnen worden begonnen met de bestrating van het werkterrein bij het oostelijk landhoofd.

Het baggerwerk voor de toegangseul naar het binnen het damvak gelegen bassin was voltooid.

Na de bouwvakvakantie was men begonnen de zinkstukken aan weerszijden van het sluitgat met zware stortsteen na te bestorten. Daarbij werden twee steenstorters gebruikt, die 's avonds nog een keer extra werden beladen, zodat men door 's morgens meteen geladen uit te varen een hoge weekproductie kon halen.

De opbouw van de drempelconstructie was nagenoeg voltooid. De bovenzijde werd zoveel mogelijk afgewerkt met behulp van het zinkgewicht van een zinkponton. Dit 15 ton zware gewicht, dat oorspronkelijk was ontworpen om de kop van een zinkstuk mee op de bodem te drukken, werd voor dit doel ondersteboven over de stortsteen 80/300 kilogram geschoven en werkte hier dus als een soort buldozerblad. Te hoge opstortingen werden met een drijvende grijperkraan verwijderd.

Waterloopkundige studie voor de Volkerakafsluiting.

Er werden reeds enige beschouwingen gewijd aan de drempelconstructie en de caissons, zoals die op basis van het toen bekende konden worden opgesteld. Inmiddels had het onderzoek geleid tot een herzien ontwerp. Met de uitvoering werd een begin gemaakt.

Volgens het oorspronkelijke ontwerp zou de drempel bestaan uit een laag mijnsteen ter dikte van 1,80 meter, afgedekt met een laag stortsteen 20/80 kilogram ter dikte van 1,20 meter. De mijnsteen zou direct op het zand worden aangebracht en het bovenste deel van de laag stortsteen, ter dikte van 20 centimeter, zou worden gepenetreerd met asfalt.

Een caissondrempel mag noch tijdens, noch na de afsluiting verzakken, want dat zou de stabiliteit en de kerende hoogte van de caissons verkleinen. Aan de drempel moest dan ook onder meer de eis worden gesteld dat voor de toestand na de sluiting als



kritiek te beschouwen omstandigheden geen uitspoeling van zand mocht optreden. De drempel moest zanddicht zijn bij het maximale verhang dat zich in het drempelpakket onder de caissons kon instellen. Dit verhang was in principe gelijk aan het verval over de caissons, gedeeld door de lengte van de door het water af te leggen weg, in dit geval 15 meter, namelijk de breedte van de caissons. Bij een als filter uitgevoerde drempelconstructie moest niet alleen aan de eis van zanddichtheid worden voldaan, maar moesten ook de grensvlakken tussen de drempelmaterialen onderling stabiel zijn. Uit het in het Waterloopkundig Laboratorium uitgevoerde onderzoek bleek dat het niet mogelijk was het grensvlak tussen zand en mijnsteen en het grensvlak tussen mijnsteen en stortsteen tegelijk aan de gestelde stabiliteitscriteria te laten voldoen. Daarom werd de laag mijnsteen in het ontwerp vervangen door een laag fijn grind, afgedekt met een laag grof grind. De drempel werd als volgt opgebouwd. Op het zand werd een laag fijn grind met een korreldiameter van 2 tot 5 millimeter gestort, van 50 centimeter dikte. De grindlaag werd afgedekt door een 75 centimeter dikke laag grof grind met een korreldiameter van 3 tot 20 centimeter. Daarop werd een laag stortsteen aangebracht van 1,50 meter dikte, bestaand uit basaltstortsteen met een stukgewicht variërend tussen 80 en 300 kilogram.

De in deze filterconstructie voorkomende grensvlakken voldeden aan de eis dat ze in elk geval stabiel waren bij een verhang van 20 %, dat wil zeggen bij een verval van 3 meter.

Volgens het oorspronkelijk ontwerp zou de bovenste laag van de drempel bestaan uit stortsteen 20/80 kilogram gepenetreerd met asfalt. Proeven die nadien werden verricht ter bepaling van de wrijvingscoëfficiënt tussen caissons en de gepenetreerde stortsteen, toonden aan dat de wrijving tussen caissonbodem en stortsteen door de penetratie zo ernstig werd gereduceerd, dat het gehele caisson ontwerp zwaarder zou moeten worden uitgevoerd wilde men bij hetzelfde drempeloppervlak toch voldoende garanties hebben tegen het afschuiven van de caissons. Dit werd niet aanvaardbaar geacht. Door de drempel in plaats van met stortsteen 20/80 kilogram af te dekken met basaltstortsteen 80/300 kilogram wist men een voldoende stabiele afdekking van de drempel te verkrijgen voor de laatste fase van de caissonplaatsing, terwijl niettemin aan de eisen van de filteropbouw werd voldaan. Een nadeel van deze wijziging was, dat de drempel minder vlak kon worden afgewerkt dan bij lichter stortsteen het geval zou zijn geweest.

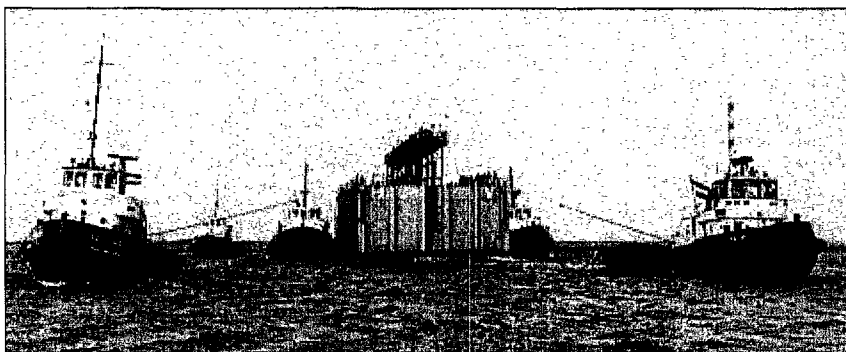
Teneinde inzicht te verkrijgen in de vervallen die gedurende en na de sluiting als maatgevend moesten worden beschouwd werd de sluiting van het Volkerak gereproduceerd in het getijmodel der benedenrivieren en in het elektrische getijmodel 'Deltar'. Een beschouwing over de frequenties van voorkomen van bepaalde vervallen werd al spoedig zeer ingewikkeld doordat de waterbeweging in het Volkerak afhankelijk was zowel van het getij in de mond van het Haringvliet als in de mond van de Oosterschelde. Hoewel de getijden in beide mondingsgebieden met elkaar samenhangen op grond van het feit dat ze beide bepaald werden door het getij op de Noordzee, konden meteorologische omstandigheden de waterbewegingen in deze twee gebieden verschillend beïnvloeden. Bij de binnenwaartse voortplanting van het getij konden de stromen in de verbindingswateren Volkerak, Zijpe, Mastgat en Keeten op telkens wisselende wijze worden beïnvloed. Bovendien waren de waterstanden in het Haringvliet en dus ook de waterbeweging in het Volkerak afhankelijk van de opperwaterafvoer van de Rijn, waarvan het verloop gedurende de sluitingsperiode slechts kort van tevoren kon worden voorspeld.

De vorm die de bodembescherming moest hebben werd vastgesteld op grond van proeven in het Waterloopkundig Laboratorium. Bij deze proeven was er naar gestreefd de ontgrondingen die buiten de bezinkvelden ontstonden zo regelmatig mogelijk te doen zijn. Grote plaatselijke verdiepingen dienden te worden vermeden. Bovendien werd de eis gesteld dat de rand van de bezinking niet mocht worden onderspoeld. Aan deze eisen kon grotendeels worden voldaan bij een breedte van de bodembescherming van 100 meter aan weerszijden van de as van het sluitgat. Uit later onderzoek bleek dat het gewenst was nabij de landhoofden een bredere bodembescherming aan te brengen, om de sterkere aanval te kunnen weerstaan van de wervelstraten die daar werden opgewekt.

#### Het plaatsen van doorlaatcaissons in het Volkerak met behulp van sleepboten

In het voorjaar van 1969 werd het Volkerak met behulp van twee landhoofdcaissons en twaalf doorlaatcaissons afgesloten. De caissons, die werden gebouwd in een nabij de plaats van afsluiting gelegen bouwdok, waren alle op hun waterdichtheid getest en in orde bevonden. Met het baggeren van een vaargeul van het bouwdok naar het sluitgat werd in het najaar van 1968 een begin gemaakt. Er werd naar gestreefd de geul vroeg in het voorjaar van 1969 op diepte te hebben.

De plaatsing van een doorlaatcaisson bestond in hoofdzaak uit de volgende handelingen. Na het opdrijven van de caisson in het bouwdok werd hij door sleepboten via de vaargeul enige tijd voor kentering naar buiten gebracht en op enkele honderden meters benedenstrooms van de drempel geparkeerd.



*Caisson op weg naar het sluitgat*

Vervolgens werd de caisson wanneer de stroomsnelheden voldoende waren afgenomen langzaam door de sleepboten tot recht boven de drempel getrokken. Tijdens het opvaren lag de caisson met zijn lengteas in de stroomrichting teneinde zo weinig mogelijk stroom te vangen. Was de caisson boven de drempel aangekomen dan werd een hoekpunt ervan scharnierend verbonden met het hoekpunt van een reeds geplaatste caisson. Bij de Volkerakafsluiting werden de korte verbindingsdraden op dit scharnierpunt niet meer op de bolders belegd, maar werden vastgemaakt aan lieren met een begrenste kracht. Werden de belastingen te groot, dan liet de lier de draad slippen. De caissons werden dan tegen de stroomrichting in door de sleepboten ingedraaid totdat zijn lengteas samenviel met de lengteas van de drempel. Was deze positie bereikt dan kon de caisson op het moment dat de stroomsnelheden voldoende waren afgenomen worden afgezonden. Daartoe draaide men de afsluiters open die in de bodem van de caisson zaten. Langzaam zakte de caisson tot op de drempel, daarbij op zijn plaats gehouden door de sleepboten. Daarna werden de houten drijfschotten, welke aan weerskanten van de caisson voor de afdichting zorgden verwijderd, terwijl tegelijkertijd de

stalen schuiven in het midden van de caisson werden geheven.

Nu kon het water vrijelijk door de caisson stromen. De schuiven hadden tijdens het afzinken de taak als slingerschotten. Dit om de stabiliteit van de caisson te vergroten. Nadat alle caissons waren geplaatst werden de schuiven tijdens de kentering weer neergelaten, waarmee dan de eigenlijke afsluiting was voltooid. Deze werkwijze zal nu nader worden toegelicht, vooral om het erbij optredende krachterspel.

Methode van plaatsen van de caissons.

Bij het uitwerken van de plaatsingsmethode was overwogen om behalve sleepboten ook vaste lieren te gebruiken. Deze lieren zouden dan op een verankerde ponton, op de reeds geplaatste caissons of op de wal kunnen worden opgesteld. Mogelijk zou door het gebruik van deze lieren het benodigde aantal sleepboten kunnen worden beperkt. Een aantal sleepboten bleef in ieder geval nodig om de caissons uit het bouwdok naar de omgeving van het sluitgat te brengen en daarvoor was heel wat trekkracht nodig. Daarna echter, wanneer de caisson op korte afstand van de drempel was aangekomen, zou het werk voor een deel door de vaste lieren kunnen worden gedaan. Een bezwaar dat tegen het gebruik van lieren kon worden ingebracht lag daarin dat hun samenwerking met sleepboten nooit zo soepel kon verlopen als die van sleepboten met elkaar. Het voordeel van gebruik van boten was dat zij al trekkende aan de caisson een elastisch samenstel vormden. Was de stroom te sterk dan werd de sleep in zijn geheel wat achteruit gezet om daarna weer langzaam tegen de stroom in te kruipen. Het risico dat de draden waarmee de sleepboten aan de caisson vastzaten, braken, was hierdoor zeer klein. Bij het gebruik van lieren was het veel groter, tenzij een speciaal type lier met een krachtbegrenzer werd toegepast. Een ander voordeel van het gebruik van boten was dat de caisson veel minder ging gieren in de stroom dan bij het gebruik van een vaste draad op een lier en dat dus met kleinere krachten kon worden volstaan. Tenslotte, een lier was aan een vaste positie gebonden en trok dus gedurende de gehele manoeuvre in een en dezelfde richting. Sleepboten konden voortdurend van plaats veranderen, wat vooral bij het indraaien een groot voordeel was gebleken. Op grond van deze overwegingen werd afgezien van het toepassen van lieren in combinatie met sleepboten. Er moesten dus voldoende sleepboten aanwezig zijn om de caisson onder alle omstandigheden in bedwang te kunnen houden. Er werd gekozen voor een plaatsingsmethode waarbij de caissons steeds tegen de stroom in naar de drempel werden getrokken en ingedraaid. Een ogenblik werd overwogen de caissons met de stroom te laten afvieren. Deze methode werd evenwel vanwege de te grote risico's verworpen. Mocht er tijdens het afvieren een draad breken of een sleepboot uitvallen, dan zou de caisson door de stroom meegevoerd worden en tegen de reeds geplaatste caissons aanbotsen, waarbij de kans zou bestaan, dat de drijfschotten het begaven en de caisson zonk. Bij de gekozen werkwijze was dit uitgesloten. Raakte men nu de caisson kwijt, dan dreef hij van het sluitgat af en kon in rustiger water door de boten weer onder bedwang worden gekregen.



*Drijfschotten worden verwijderd*

#### **Hoogwater- of laagwaterkentering?**

Van alle met de caisson te verrichten handelingen bracht het afzinken de grootste risico's met zich mee. Immers, wanneer de sleepboten de caisson tijdens het afzinken niet in bedwang konden houden en hij door de stroom van zijn plaats werd gedrukt, dan kwam hij of verkeerd op de drempel te staan of, nog erger, half op de drempel en half op de 2 meter lager gelegen bodembescherming. Wanneer de caisson niet uit deze positie kon worden verwijderd - en die kans was groot - dan was het twijfelachtig of de afsluiting nog kon worden gerealiseerd. Het welslagen van de afzinkmanoeuvre hing van een aantal factoren af, te weten de zinkdiepte en de grootte van de op de caisson door de stroom uitgeoefende krachten, en ook de variaties die daarin tijdens het afzinken optraden, in samenhang met het gezamenlijk vermogen en de reactiesnelheid van de sleepboten. Daarnaast was het belangrijk dat de caisson nagenoeg rechtstandig zonk. Afzinkproeven met een modelcaisson in het Nederlandsch Scheepsbouwkundig Proefstation te Wageningen, zowel als met een echte caisson in het bouwdok, hadden inmiddels uitgewezen dat de caisson ook bij het zinken geheel aan de verwachtingen voldeed.

De grootte van de door het water op de caisson uitgeoefende krachten hadden een kwadratisch verband met de stroomsnelheid: een 2 maal zo grote stroomsnelheid gaf 4 maal zo grote krachten. Het was dus van het grootste belang dat het afzinken bij zo gering mogelijke snelheden gebeurde, dus rond de kentering. Men kon kiezen tussen de hoogwaterkentering, waarbij de vloedstroom kenterde en overging in ebstroom, en de laagwaterkentering, waarbij het omgekeerde gebeurde. Uit metingen en berekeningen was gebleken dat de hoogwaterkentering gemiddeld optrad bij een waterstand van N.A.P. + 0,95 meter, terwijl de laagwaterkentering rond N.A.P. - 0,80 meter lag. Daar de bovenkant van de drempel was gelegen op N.A.P. - 7 meter en de caisson een diepgang had van 4,80 meter, bedroeg de zinkweg bij hoogwaterkentering 3,15 meter en bij laagwaterkentering 1,40 meter. De hierbij behorende afzinktijden waren respectievelijk 7 á 8 en 4 á 5 minuten.

Een korte zinkweg leverde minder risico's op dan een lange, en dus zou plaatsing op de laagwaterkentering de voorkeur verdienen. Daartegenover stond evenwel dat het verloop van de stroomsnelheden en het daaruit resulterende verloop van de op de caisson uitgeoefende krachten rond de laagwaterkentering ongunstiger was dan bij hoogwaterkentering. Dit gold in nog sterkere mate voor de korte tijd die aan de kentering vooraf ging, en waarin het opvaren en het indraaien moest plaatsvinden. Nadat de voor- en nadelen tegen elkaar waren afgewogen werd gekozen voor plaatsing tijdens de hoogwaterkentering.

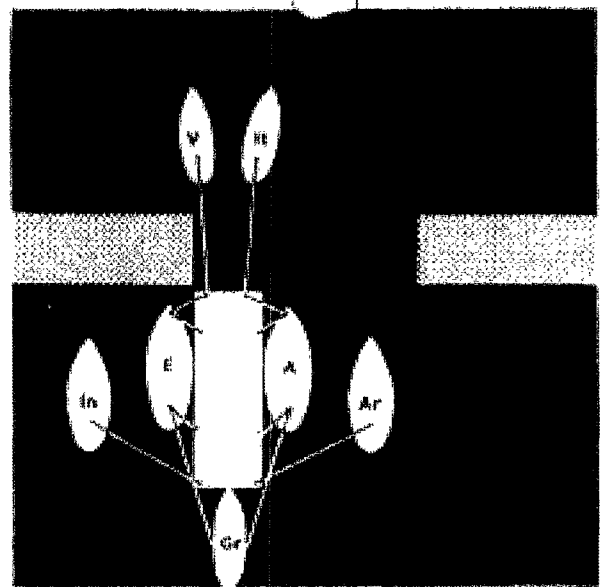
#### **Krachten van water en wind**

Om te kunnen bepalen hoeveel sleepboten er bij het verslepen van de caisson van het bouwdok naar het sluitgat nodig zouden zijn, diende men te weten welke krachten er bij die manoeuvres geleverd moesten worden. Om hiervan een indruk te krijgen, werd een serie sleep- of weerstandsproeven verricht.

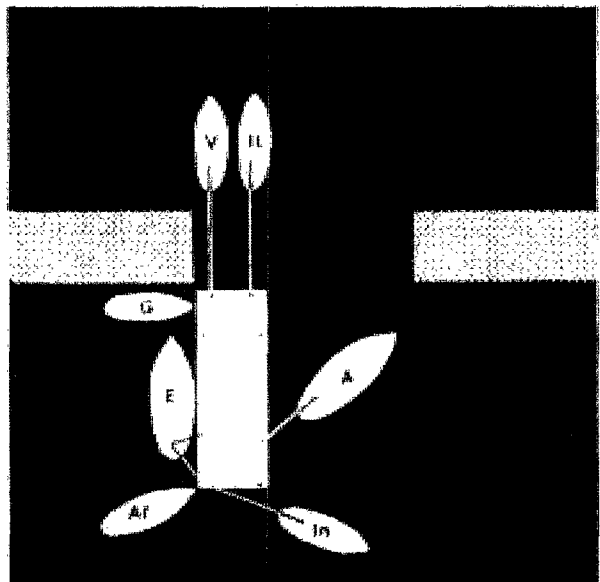
Bij deze proeven werd de caisson gesleept in diep water, waarbij de hoek die zijn lengteas maakt met de stroomrichting telkens

Schema van de positie van de sleepboten rond een te plaatsen caisson

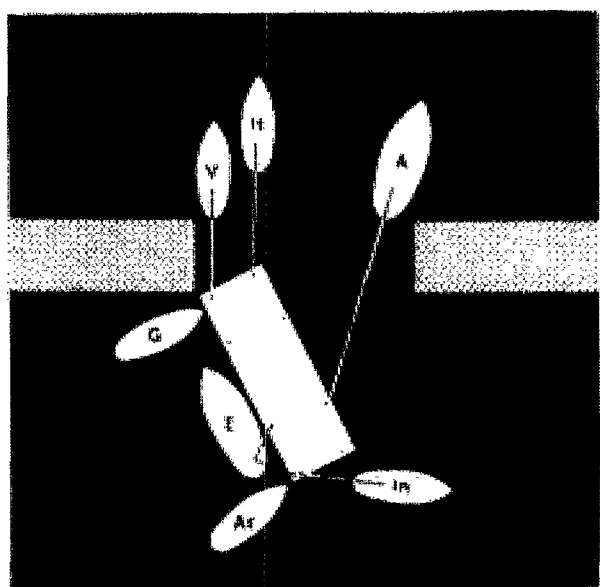
1. Varend naar het sluitgat en geparked tot 40 minuten voor kentering
2. Geparked vanaf 40 minuten tot 10 minuten voor kentering
3. Invaermanoeuvre; caisson op 30°
4. Invaermanoeuvre; caisson op 60°
5. Afzinkpositie, begin van het wegtrekken der drijfschotten



2

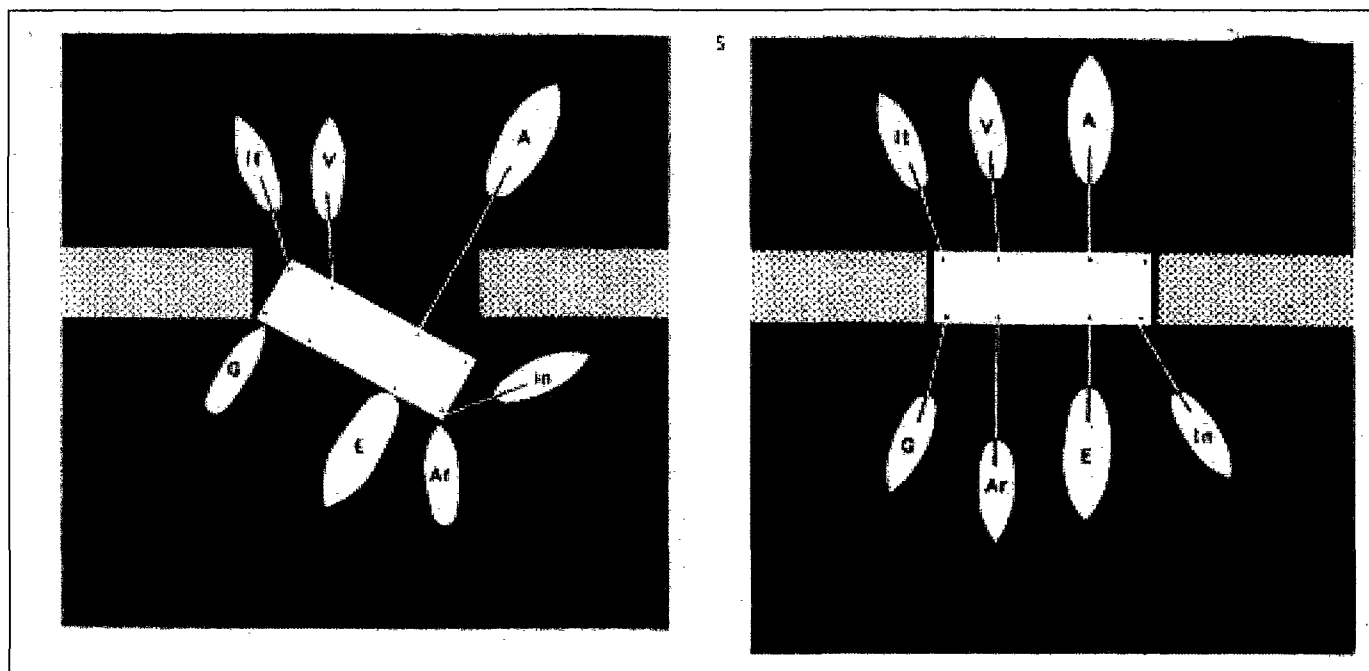


3



- |      |            |          |
|------|------------|----------|
| A :  | Azië       | ± 18 ton |
| Ar : | Argentinië | ± 12 ton |
| E :  | Europa     | ± 18 ton |
| G :  | Oriëntland | ± 7 ton  |
| In : | Indië      | ± 12 ton |
| H :  | Italië     | ± 12 ton |
| V :  | Volkland   | ± 12 ton |

veranderde. De daarbij optredende krachten werden gemeten en ontbonden in twee richtingen, de weerstandskracht die werkte in de richting van de stroom, en de daar loodrecht op staande 'liftkracht'. Op overeenkomstige wijze kon worden bepaald welke krachten er door de wind op de caisson werden uitgeoefend. Bijgaande figuren 1 en 2 geven hiervan een beeld.



Een mogelijke opstelling van de sleepboten rond de caisson bij het opstomen, het indraaien en het afzinken

Wanneer de caisson de drempel dicht was genaderd werd het gedrag ervan bepaald door het stroombeeld ter plaatse. Dit stroombeeld werd beïnvloed door de geplaatste maar openstaande caissons en het nog resterende open gedeelte. Benedenstrooms van de drempel vond de stroom een wijder doorstroomprofiel en de vertraging die de stroom door deze verruiming van het profiel onderging heeft onder meer tot gevolg dat de waterspiegel opliep.

In het Waterloopkundig Laboratorium was van het sluitgat een model gemaakt, waarin met een model van de caisson werd gemanoeuvreed. De krachten die hierbij optraden werden gemeten. De resultaten vindt men in bijzondere grafieken weergegeven. Ter toelichting moet het volgende worden opgemerkt. De caisson voer naar de drempel en draaide in op een moment van het getij waarop de stromen voortdurend afnamen. Op de kentering als de stromen afnamen tot nul, werd hij afgezonken. De stromen varieerden echter van dag tot dag door astronomische invloeden. Met springtij zijn zij maximaal, met doodtij minimaal.

Daarom bepaalde ook het tijdprogramma, dat was het plan dat aangaf hoeveel tijd voor de kentering de caisson zich in een bepaalde positie moest bevinden, in belangrijke mate de totaal benodigde trekkracht. Naarmate de handelingen met de caisson sneller konden worden uitgevoerd en dus korter voor de kentering vielen waren de stromen geringer en kon met geringere kracht worden volstaan. In de bijgevoegde grafieken wordt uitgegaan van een tijdschema waarbij de caisson op 80 minuten voor de kentering vanuit een positie op 200 meter benedenstrooms van de drempel begon op te varen en op 55 minuten voor kentering bij het scharnierpunt arriveerde. Op 30 minuten voor de kentering werd met indraaien begonnen, 15 minuten later was deze handeling voltooid. Juist op de kentering moest de caisson worden afgezonken. Wanneer de manoeuvres meer tijd mochten vergen dan was voorzien, dan kon de caisson ook nog vlak na de kentering worden afgezonken. De tijd na de kentering werd dus als reserve beschouwd. De grafieken geven de krachten die volgens dit tijdschema zouden optreden voor de maximaal en minimaal te verwachte stromen, bij het opvaren en indraaien van de laatste caisson.

Tijdens het opvaren werd een maximale kracht bereikt van ongeveer 24 ton wanneer de caisson tot op 7,5 meter uit de as van de drempel was genaderd en gereed lag in de positie waarop het scharnierpunt werd geformeerd.

Tijdens deze werkzaamheden nam de stroom en daarmee de kracht af totdat met indraaien werd begonnen en de krachten sterk opliepen tot een maximale waarde van ongeveer 40 ton op het moment dat de caisson 60 graden was ingedraaid. Daarna namen de krachten af tot ongeveer 20 ton als de caisson volledig was ingedraaid.

Bij de voorgaande caissons waren de te leveren krachten geringer. Figuur 3 geeft aan hoe de krachten opliepen naarmate er meer caissons waren geplaatst.

Nu de voor het plaatsen van de caissons te leveren krachten bekend waren kon worden bepaald hoeveel sleepboten moesten worden ingezet. Daarbij moest worden bedacht dat naast de kracht die een sleepboot kon leveren ook zijn wendbaarheid en diepgang van belang waren. Verder was het in verband met het manoeuvreren gewenst dat het totaal aantal sleepboten dat aan een caisson trok zo klein mogelijk werd gehouden. Er werd derhalve gezocht naar sterke, gemakkelijk wendbare boten. Het type dat aan deze wensen voldeed werd o.a. gebruikt bij het binnenbrengen van grote zeeschepen in het Europoortgebied.

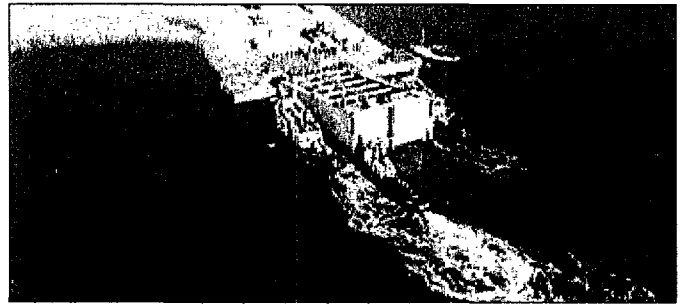
De volgende sleepboten werden ingezet:

- "Azië" 1500 pk ; propellerboot van het Voit-Schneider-type.
- "Europa" 1500 pk; propellerboot van het Voit-Schneider-type.
- "Volharding XII" 900 pk.
- "Italië" 900 pk.
- "Argonaut" 900 pk.
- "Independent" 900 pk.
- "Groenland" 500 pk.

## De afsluiting

In de periode van 8 tot 25 april 1969 werd het wintersluitgat van het Volkerak met behulp van caissons dicht gezet. Daarmee werd de afsluiting van deze rivierarm voltooid, en werden het noordelijk en zuidelijk Deltagebied in waterloopkundig opzicht van elkaar gescheiden. Om vast te stellen in welke maand van het jaar de sluiting zou moeten worden voltrokken werd een vergelijking getrokken tussen de maanden april, mei en juni. In maart was er nog te weinig daglicht, en was ook het weer nog te ongunstig voor een werk als dit. Uit een onderzoek naar de te verwachten getij-omstandigheden, de kansen van optreden van stormen en hoge waterstanden en van hoge rivierafvoeren kwamen de maanden mei en juni als marginaal gunstiger naar voren dan de maand april. Toch werd april voor de afsluiting gekozen, omdat het overblijvend werkseizoen dan langer was. Voor 1 november moest de rij caissons immers veilig voor de najaarsstormen onder het zand en de taludbekleding geborgen liggen, zodat er zonder enig risico mee kon overwinterd.

Zoals reeds eerder werd uiteengezet konden ontgrondingen een groot gevaar vormen voor het welslagen van een afsluiting. De afsluitdammen moesten worden gefundeerd op de doorgaans zandige bodem van de geulen, die in een labiel evenwicht verkeerden met getijstromen. De aanwezigheid van de drempel waarop de caissons werden geplaatst, en in sterkere mate de caissons zelf, verstoorde de getijbeweging, waardoor het evenwicht verloren ging en de bodem plaatselijk werd uitgeschuurd. De stabiliteit van de hele constructie kon daardoor in gevaar komen. Hoe beter de stroomgeleidende vorm van het sluitgat was, en hoe sneller er werd gewerkt, des te geringer zouden de ontgrondingen zijn. De ervaring met onder andere de afsluiting van het Veersche Gat had geleerd dat de sterke wervelstraten die werden opgewekt door de verticale wanden van de landhoofden van het wintersluitgat, zeer gevaarlijk waren. Daarom werden de landhoofden in het Volkerak vervangen door een stroomgeleidende dam met een taludhelling van 1: 5. De vormgeving van deze dam was bepaald in het Waterloopkundig Laboratorium met behulp van het hydraulische model van het Volkerak. Om de doorlaatcaissons te doen aansluiten op de geleidedam moesten toen speciale landhoofdcaissons worden ontworpen om de opening op te vullen. Na plaatsing van deze caissons ontstond dan alsnog een verticale begrenzing, maar de wervelstraat die daarvoor werd opgewekt, was maar 2 'a 3 weken actief.



*Het plaatsens van een landhoofdcaisson.*

Bij het vaststellen van het plaatsingsprogramma der twee landhoofdcaissons en twaalf doorlaatcaissons werd ervan uitgegaan dat zoveel mogelijk gewerkt moest worden bij daglicht, dat de caissons bij de hoogwaterkentering moesten worden afgezonken, en dat de laatste plaatsingen zouden geschieden in een periode van dooftij. Om tegenslagen tijdens de werkzaamheden op te vangen werd een aantal inhaaldagen in het tijdschema opgenomen. Uitgaande van het plan om de laatste caisson te plaatsen op het dooftij van 25 april 1969, en voor de hele operatie een periode van 20 dagen nemende, 14 afzinkdagen en 6 inhaaldagen, kwamen ertoe, de aanvang der werkzaamheden te plannen omstreeks de vijfde april. Dat was echter vlak voor Pasen, en daarom werd besloten pas op dinsdag 8 april de eerste caisson op zijn plaats te brengen, 26 en 27 april werden dan nog als reserve dagen beschouwd bij mogelijke tegenslag. In de periode van 8 tot en met 25 april moesten dus 14 caissons worden afgezonken onder zo gunstig mogelijke omstandigheden van tij en licht, zo gelijkmatig mogelijk in de tijd verdeeld, en als het kon met vrijlating van zondagen. Bruikbaar waren op de overgebleven dagen alleen de hoogwaterkenteringen waarbij het mogelijk was de caissons bij daglicht een uur voor hoogwater uit het bouwdok te laten vertrekken, en waarbij een caisson minstens een uur voor zonsondergang kon worden afgezonken, omdat een binnen het uur na afzinken invallende duisternis een aantal noodzakelijke werkzaamheden onmogelijk maakte. In het bijgevoegde plaatsingsschema vindt men behalve de planning bovendien weergegeven wat er in feite van is terechtgekomen.

De doorlaatcaissons die in het geïnundeerde bouwdok wachten op overbrenging naar hun plaats van bestemming werden twee dagen voor het zover was, gesloten door het dichtdraaien van de afsluiters in de bodem, en vervolgens leeggepompt, zodat ze begonnen te drijven. Er waren twee sleepboten bij de hand, die het gevaarte zo nodig wegsleepten naar een parkeerplaats in de bouwput, gelegen tussen de reserve caisson en de laatste te plaatsen caisson. Met het 'aankleden' van een caisson was ongeveer een heel etmaal gemoeid. Generatoren werden aan boord gebracht voor de eigen elektriciteitsvoorziening, klokpompen, schijnwerpers, kapbijlen, werplijnen, EHBO en reddingsuitrustingen enz.

Om de sleepboten tijdens de manoeuvres in open water in de gelegenheid te stellen langsij de caisson aan te leggen moesten per caisson zes drukschotten worden aangebracht en afgesteld. Er werden sleepdraden bevestigd aan de drijfschotten, waarmee ze na het zinken van de caisson konden worden weggetrokken en bordessen aangebracht van waaraf men de navigatie van de caisson in het sluitgat nauwkeurig kon dirigeren. Ook werden de opzetstukken van de bovenvergrendeling der drijfschotten aangebracht en werden de onderste vergrendelingshaken verwijderd. Nadat alle voorbereidende werkzaamheden waren voltooid, werden de elektrische verbinding met de wal verbroken.

## Vaarschema

Bij het plaatsens van de caisson in het sluitgat van het Volkerak was een aantal belangrijke tijdstippen te onderscheiden:

- Het ogenblik van vertrek uit het bouwdok naar de afwachtingsopstelling benedenstrooms van de drempel.
- Het moment waarop van de parkeerplaats werd opgevaaren naar het sluitgat.
- Het moment waarop de caisson indraaide.
- Het moment waarop de afsluiters worden geopend.

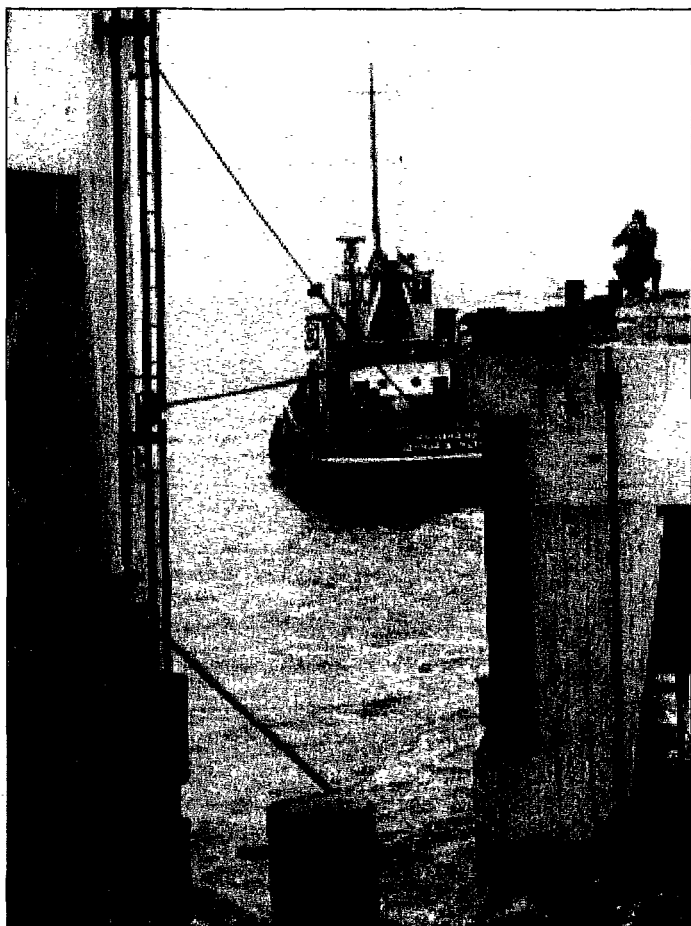
Wanneer het ogenblik waarop een caisson aan de grond moest staan nauwkeurig bekend was, en men ook een schatting had gemaakt van de tijd die de voorbereidende manoeuvres vergden, kon men terugrekenend het ogenblik bepalen, waarop met varen moest worden begonnen om op tijd alle voorbereidende fasen te doorlopen, en juist op tijd de drempel te raken. Bij het plaatsens van de caissons in het Volkerak werd gerekend dat de vaart vanuit het bouwdok naar de parkeerplaats 20 minuten zou

duren, het opvaren van de parkeerplaats tot bij de drempel eveneens 20 minuten, het formeren van het scharnierpunt met de vorige caisson en het indraaien 50 minuten, en het afzinken tenslotte 6 minuten.

De caisson zou dus ruim anderhalf uur voor de kentering uit het bouwdok moeten vertrekken. Aangezien de kentering in het Volkerak als regel twee uur na hoogwater viel, zou de caisson het bouwdok moeten uitvaren bij vallend water. Daarbij moest een smalle en ondiepe uitvaargeul worden gepasseerd. Het was echter niet onmogelijk dat een caisson daar aan de grond zou raken. Wanneer zoiets gebeurde bij vallend water, was de kans klein dat de caisson snel kan worden vlot getrokken. Om dat risico te vermijden werd gesteld dat de caisson het bouwdok ongeveer een uur voor hoogwater moest verlaten. Liepen ze dan vast, dan konden ze bij stijgend water allicht weer vrijkomen. Om dit te verwezenlijken werd het noodzakelijk dat de caissons anderhalf tot twee uur geparkeerd bleven in diep water op enige afstand van de drempel. Al met al moest de caisson dus niet een uur, maar drie uur voor de voorspelde kentering uit het bouwdok vertrekken. Op de voorspelling op lange termijn die over het moment van kentering door de Deltar was gedaan op grond van het berekende astronomische getij, moest doorgaans een correctie worden aangebracht, daar het in de werkelijkheid optredende getij ten gevolge van meteorologische omstandigheden pleegde af te wijken van het astronomische. Een eerste correctie werd gegeven bij het uitvaren van de caisson uit het bouwdok, een tweede ongeveer een uur voor het verwachte kenteringmoment. Vanaf het uitvaren van de caisson werden alle gegevens betreffende waterstanden, stroomsnelheden, windsnelheden en richtingen, als ook de correctie op de vooraf gegeven Deltar-voorspellingen doorgegeven aan de centrale post op de caisson.

Het aantal minuten dat nog restte voor de kentering en de stroomsnelheid op de drempel werd aangegeven op een bord dat goed zichtbaar was voor allen die direct bij de plaatsingsmanoeuvre waren betrokken. Op grond van de gegevens op dit bord werd het vaarplan afgewerkt en het moment van openen van de sluiters vastgesteld.

Hierna volgt, als voorbeeld, het tijdschema van de plaatsing van de achtste doorlaatcaisson, die op 21 april aan de zuidzijde van het sluitgat werd afgezonken



	Tijd	Stroomsnelheid op de drempel.
Vertrek uit het bouwdok	06.15	2,17 meter /seconde
Caisson geparkeerd op stroom	06.35	
Begin opvaren, afstand tot de drempel 350 m	08.13	2,12 meter /seconde
Voorzijde van de caisson ter hoogte van de drempel	08.26	1,70 meter /seconde
Scharnierpunt gereed, caisson 60 graden ingedraaid	08.32	1,20 meter /seconde
Caisson 90 graden ingedraaid	08.37	1,07 meter /seconde
Sein afsluiters opendraaien	08.59	0,30 meter /seconde
Caisson aan de grond	09.04	Kentering.

Om afwijkingen van de Deltar-voorspellingen te kunnen vaststellen had er gedurende de gehele sluitingsperiode een meetvlet boven de drempel gelegen op de plaats waar de laatste caisson moest worden afgezonken. Ieder half uur werd op dit vaartuig de gemiddelde stroomsnelheid over de verticaal gemeten. Werd er een caisson geplaatst, dan werd vanaf het ogenblik van uitvaren uit het bouwdok gemeten op een diepte van 2,50 meter beneden het wateroppervlak, dat was de helft van de diepgang van de caissons. De snelheid daar was representatief voor de stromingsdruk op de caisson, en gaf dus aanwijzingen, welke krachten de sleepboten zouden moeten leveren. Om de twee en een halve minuut werd de gemeten waarde doorgegeven aan de caissons, en vanaf 15 minuten voor de kentering zelfs iedere minuut.

Vooraf bij de plaatsing was de afstand tussen de zinkplaats en de meetvlet nogal groot. Daarom werd gebruik gemaakt van een tweede meetvlet, die zo dicht mogelijk bij de af te zinken caisson op dezelfde diepte en met dezelfde tijdsinterval de snelheden registreerde. Deze vlet werd alleen ingezet tijdens een plaatsing, en wel vanaf drie uur voor de kentering. Uit vergelijking der metingen bleek dat er aanzienlijke verschillen voorkwamen tussen het midden van het sluitgat en nabij de landhoofden, zowel wat betreft de snelheden als het tijdstip van kentering. Bovendien bleek dat de metingen ernstig werden verstoord door het schroefwater van de sleepboten, zelfs nog op afstanden van 75 'a 100 meter.

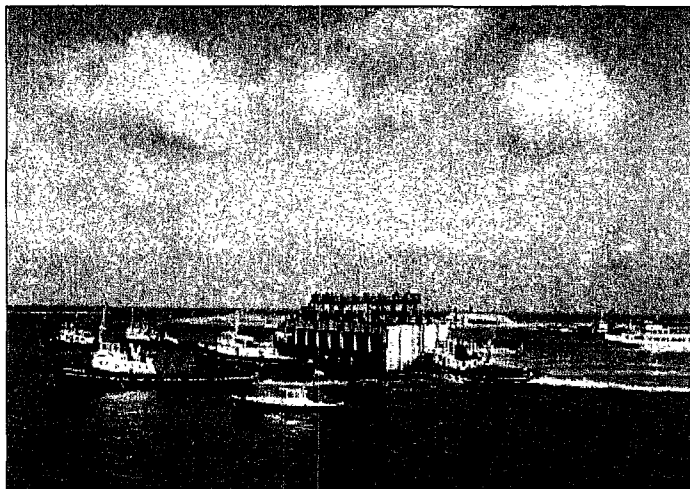
Nadat de twee landhoofdcaissons en drie van de doorlaatcaissons waren geplaatst, was het overblijvende sluitgat zo nauw geworden dat de posities van beide meetvletten elkaar te dicht naderden om nog belangrijke verschillen te registreren. Daarom werd de opstelling gewijzigd. De tweede vlet werd nu ongeveer 80 meter bovenstrooms van de meetvlet in het sluitgat gelegd. Op die manier wilde men het verband bepalen tussen de stroomsnelheden in deze twee punten. Zodra de laatste caisson zijn zinkplaats naderde zou de meetvlet die op die plek lag immers moeten verdwijnen, en men wilde dan toch een indruk hebben van de snelheden op de drempel.

Een zelfde werkwijze werd gevolgd met de meetbordessen die aan de reeds geplaatste caissons aan weerszijden van het overblijvende sluitgat waren opgehangen. Deze opstelling, waarmee de snelheid op de drempel in verscheidene punten tegelijk kon worden waargenomen, had zijn nut overtuigend bewezen. Door defecten in de apparatuur of door verstoringen van het beeld door de sleepboten werd zo nu en dan een der meetpunten uitgeschakeld. Dat heeft bij deze meetopstelling nimmer tot moeilijkheden geleid.

Het plaatsingsschema in de praktijk.

De ongunstige weersomstandigheden hadden belet dat de plaatsing der caissons de gehele sluiting door verliep in overeenstemming met de volgorde en het tijdplan die het vooraf opgestelde plaatsingsschema aangaf. Aanvankelijk werd met goed weer gewerkt, zodat, te beginnen met het plaatsen van de landhoofdcaissons op 8 en 9 april, de caissons volgens het tijdschema en om en om de noord- en de zuidzijde van het sluitgat werden afgezonken.

*De laatste caisson op weg naar het sluitgat*



In de loop van vrijdagmorgen 11 april stak de wind echter snel op. Aangezien de weersverwachting voor de volgende dag een toenemen van de wind inhield, zelfs tot 7 Beaufort, werd besloten noch zaterdag noch zondag een caisson te plaatsen. De eerste week had, met de plaatsing van vier caissons, al met al een goed resultaat te zien gegeven. Op maandag 14 april kon weer een caisson worden afgezonken. Maar alweer stak de wind op, en gelet op de weersverwachting voor de volgende dag, werd ook voor dinsdag 15 april geen caissonplaatsing voorgenomen. Het was intussen ook veel kouder geworden, vooral in de vroege ochtend. Dat begon juist nu te hinderen, omdat de tijden van hoogwaterkentering, die tot dan toe midden op de dag hadden gelegen, nu in de avond of vroege ochtend begonnen te vallen. Het moment naderde waarop moest worden overgesprongen van de hoogwaterkentering in de avond naar die op de vroege ochtend. Aangezien er enige achterstand op het schema viel in te lopen, zouden dan twee caissons binnen 13 uur moeten worden afgezonken. Hoewel de weersverwachting voor 16 april niet erg gunstig was, werd besloten die dag toch een caisson af te zinken. Om minder last te hebben van de straffe wind, zou de plaatsing echter niet, zoals het schema aangaf, aan de Brabantse zijde, maar aan de kant van de Hellegatsdam geschieden, in de luwte van die dam. Aan de Brabantse oever was de vloedstroom sterker, en bij de wind die er stond was dit tevens de lage wal. Deze ongunstige omstandigheden wilde men bij het slechte weer liever vermijden. Op donderdag 17 april werd in de vroege ochtend opnieuw een caisson afgezonken, minder dan een halve dag na de vorige plaatsing. Dit stelde hoge eisen aan het personeel, met name aan de ploegen die belast waren met het vaarklaar maken van de caisson in het bouwdok. Alles verliep echter naar wens, en na donderdag 17 april lag het werk op schema; en het bleef erop, want de overige caissons werden geheel in overeenstemming geplaatst.



*De laatste caisson wordt op zijn plaats gebracht*

Op vrijdag 25 april om 11.27 uur zakte de laatste caisson op de drempel.



*De laatste caisson zinkt naar de drempel*

Men kon wel zeggen dat allen die een aandeel hebben gehad in de sluiting die tijd onder hoogspanning hebben gewerkt en geleefd, in het bijzonder de operationele staf van directie en aannemers. In een eindeloos aantal besprekingen vooraf waren de kleinste details van de operatie besproken en uitgewerkt. Niettemin moesten de meest vitale beslissingen, die het welslagen van de hele operatie konden beïnvloeden, onmiddellijk voorafgaand aan elke afzonderlijke caissonplaatsing worden genomen.

Er was voortdurend contact met de Deltarzaal te Den Haag en met het weerkundig station van het K.N.M.I. voor het Deltagebied te Zierikzee. Achteraf, nu bleek dat de Deltar de hoogwatertijdstippen wonderbaarlijk accuraat had voorspeld, en men wist dat de depressieve storingen niet ontaard waren in een serie voorjaarsstormen die het weer absoluut onwerkbaar maakten, was het moeilijk zich nog de spanning van die dagen, toen dat alles onzeker was, voor de geest te halen.

Voor het manoeuvreren met de caissons werd een vloot ingezet van zeven sleepboten, met een gezamenlijk vermogen van 7100 PK. Waarom men sleepboten verkoos boven vaste lieropstellingen is reeds eerder geargumenteed. De schema's die werden gegeven van de dispositie der boten rond de caisson konden nu worden vervangen door een kleine fotoserie, die de opeenvolgende manoeuvres met een caisson laat zien.

Het grootste verschil tussen de voorgenomen sleep- en afzinkprogramma's en de werkelijkheid lag wel in het tijdplan. Wegens gebrek aan ervaring was het tijdschema vooraf tamelijk ruim opgezet, en waren de verschillende fasen van de manoeuvre sterk geschematiseerd. In de praktijk liepen de fasen ongemerkt in elkaar over. Nog voor het scharnierpunt met de vorige caisson gereed was, lag, om een voorbeeld te noemen, de caisson meestal al 20 á 30 graden ingedraaid. Daardoor werd het tijdschema niet onbelangrijk verkort. Door de versnelde afwikkeling waren ook de optredende krachten enigszins lager dan waarmede was gerekend en konden de boten in het algemeen wat makkelijker manoeuvreren. Alle sleepboten bleken overigens voor het werk onmisbaar. Bij de plaatsing van de laatste caisson besloot men zelfs met acht boten te werken, omdat het nu niet meer mogelijk zou zijn, wanneer de stroom van richting veranderde, om te varen naar de andere kant van de caissons. De gehele plaatsingsmanoeuvre verliep zonder uitzondering steeds soepel en vlot.

Voor het vormen van het scharnierpunt tussen de laatste aan dezelfde zijde afgezonken caisson en de nog af te zinken caisson werd een lierdraad gebruikt die op een vaste, van tevoren bepaalde spanning van 4 tot 6 ton kon worden afgesteld. Hierdoor werd een flexibel vasthoudpunt gevormd dat uitermate goed functioneerde en waarmee draadbreek werd voorkomen.

Behalve bij het afzinken van de laatste caisson was de speling die in het tijdschema voorkwam om eventuele vertragingen te kunnen opvangen, steeds ongebruikt gebleven, en, moest tussen het moment dat de caisson was ingedraaid en het sein 'afsluiters open' ongeveer tien minuten worden gewacht. De caisson mocht pas met de kentering aan de grond komen ten einde tijdens de zinkweg zo weinig mogelijk zijwaarts drukkende krachten te ontmoeten. Maar de reservetijd moest niettemin steeds in acht worden genomen, om te voorkomen dat een gehele plaatsing bij onverwachte tegenslag zou moeten worden uitgesteld.

Het afzinken op de juiste plaats bleek het beste te verwezenlijken door de drijvende caisson zo hard mogelijk tegen de reeds afgezonken caisson te drukken. Daartoe duwden de sleepboten "Groenland" en "Independent" voluit tegen de vrije kopwand van

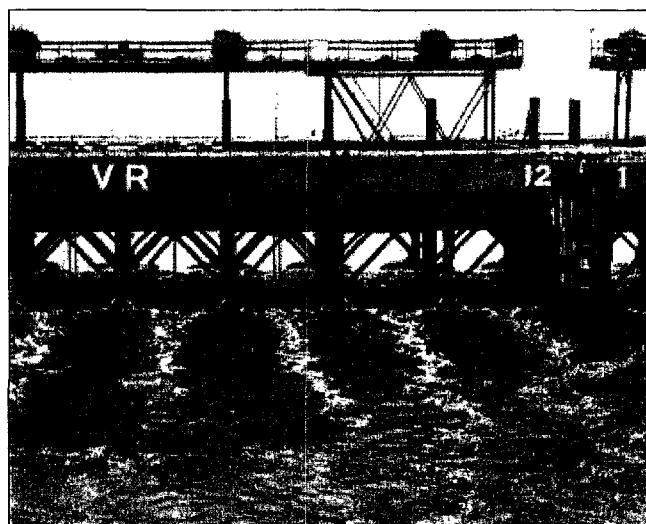
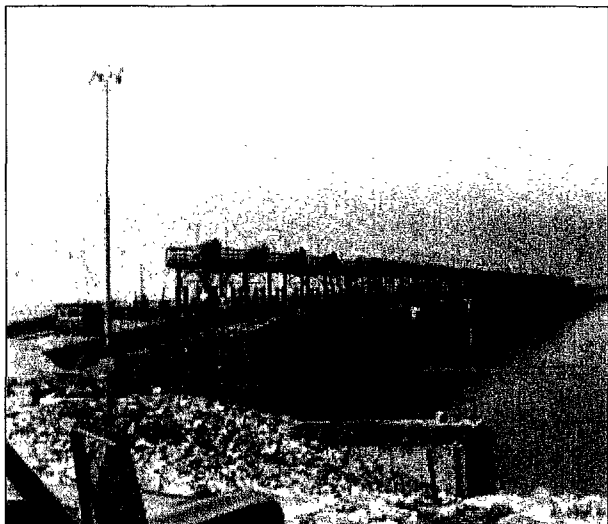


de drijvende caisson gedurende de gehele tijd dat die dwars op stroom lag. Alleen bij de laatste plaatsing kon bij gebrek aan ruimte niet op deze doeltreffende manier voor juiste plaatsing boven de drempel worden gezorgd. Daar waar de twee caissons tegen elkaar werden geduwd, kon de hoek waaronder de nieuwe caisson tegen de vorige aansloot, zo nodig worden gevarieerd door verschil aan te brengen in de dikte van de hardhouten opvullingen tussen de steunberen. De vrije zijde van elke nieuwe caisson moest echter worden 'ingezicht', dat wil zeggen door optische waarneming precies in de raai 'as de caissons' worden gebracht. Deze plaatsbepaling werd zeer bemoeilijkt door het feit dat elke caisson wel enige slagzij maakte. Hierdoor lag het midden van de bovenkant van de caisson, waar de waarnemer voor het inzichten stond, nimmer recht boven het midden van de onderkant, waar het bij de plaatsbepaling om begonnen was. Een eenvoudige berekening leerde, dat de horizontale verschuiving op 15 meter - de afstand tussen de onderkant en de bovenkant van de caisson - bij een graad slagzij 35 centimeter bedroeg. Met behulp van een hellingmeter en een schaalverdeling van 35 centimeter per graad slagzij, kon de afwijking worden gecorrigeerd. De laatste caisson vormde ook in dat opzicht een uitzondering. Hier werd aan beide einden het midden van de onderkant ingezicht. Het resultaat van deze eenvoudige methode van plaatsbepaling heeft goed voldaan.

Onmiddellijk nadat een caisson op de drempel was afgezonken, werden in korte tijd nog een groot aantal handelingen uitgevoerd. De langs- en kruisdraden waarmee de caisson aan de vorige was vastgemaakt, werden verwijderd; zo ook de lieren waarmee de draden tijdens het zinken op spanning gehouden waren. Hierdoor werd vrij baan gemaakt voor auto's die de nu weer overbodige hulpstukken van de pas afgezonken caisson afvoerden. Zo spoedig mogelijk werd voor elektrische aansluiting gezorgd. Sleepboten zorgden voor de afvoer van de 16 drijfschotten, die door het losdraaien van de bovenvergrendeling - de onderste vergrendelingshaken waren al voor het afzinken verwijderd - vrij kwamen. De drukschotten werden reeds voor het afzinken afgevoerd. Leuningen en bordessen werden afgebrand, de afsluiters in de bodem werden weer gesloten en ook tot de bodem van de ballastbak afgebrand. Nadat de caisson op deze manier was ontmanteld werden er, teneinde onderloopsheid te voorkomen, aanstortingen tegen de bodembak aangebracht. De naden tussen de caissons werden gevuld met zand en de bodembak werd met zand volgestort.



De naden tussen de caisson werden als regel gevuld met loodslakken en steen 80/300 kilogram, soms ook zwaarder. Na het plaatsen van de laatste doorlaatcaisson bleef aan de oostzijde een naad over van 5 meter, gemeten tussen de uitstekende steunberen van de caissons. Deze ruimte werd afgeschermd met een paar torpedonetten, en vervolgens gevuld met 1815 ton loodslakken, 990 ton steen en 7 torpedonetten. De aanstortingen tegen de bodembak van elke afgezonken caisson werden zo spoedig mogelijk na het afzinken door de steenstorters 'Steenbok' en 'Ram' aangebracht. Ze werden opgebouwd uit loodslakken en steen 80/300 kilogram, en een hoeveelheid van 8 ton loodslakken en 3 ton steen per strekkende meter. Elke steenstorter kon voor 30 meter aanstortingsmateriaal meenemen. De landhoofdcaissons en de ballastbakken van de doorlaatcaissons werden met zand gevuld vanuit depots, gelegen aan weerszijden van het sluitgat. Het zand in de ballastbakken werd met behulp van een trilslee afgetrild, waarna een 20 centimeter dikke laag hoogovenslakken werd aangebracht, geëgaliseerd en droog en nat ingewalst. Op die manier ontstond een ruwe weg over de caissons.



*Caissons op een rij (links) en stroming door caissons (rechts)*

Toen op vrijdagmorgen 25 april 1969 te 11.27 uur de laatste doorlaatcaisson was afgezonken moest aan elke kant van de caissonrij nog 60 meter aanstorting worden aangebracht en gecontroleerd. In vorige gedeeltes waren inmiddels door verkenning met de 'Krabbe' dunne plekken aan het licht gekomen, die nog dienden te worden aangevuld alvorens de schuiven van de doorlaatcaissons konden worden neergelaten. Teneinde daarenboven volledig zeker te zijn dat er geen onderloopsheid zou kunnen optreden, werd het veiliger geacht na het aanbrengen van alle aanstortingen nog een volledige controle te houden langs de gehele caissonrij.

Op de laagwaterkentering van maandagmorgen 28 april omstreeks 09.15 uur werden 192 schuiven van de 12 doorlaatcaissons neergelaten, en was de afsluiting van het Volkerak een hydraulisch feit. Onmiddellijk hierna werd begonnen met zandsputten.

Van het Hollandsch Diep perste de 'Queen of Holland' en van de zijde van het Volkerak de 'Concorde' en de 'Versde' zand tegen de caissons. De onderslag van de opspuiting werd uitgevoerd als een vrij stort, terwijl het bovengedeelte werd opgespoten tussen de perskaden van schraal zandasfalt. Binnen drie weken was de eerste miljoen m<sup>3</sup> zand van de totaal te verwerken hoeveelheid van 5,6 miljoen opgespoten.



*Caissons onder het zand in september 1969*

In alle opzichten was de afsluiting een succes geweest. Zowel de stroomgeleidende dam als de landhoofdcaissons hebben bijzonder goed voldaan. In de aan de eigenlijke sluiting voorafgaande periode waren ontgroningen opgetreden tot maximaal 5 meter, wat in vergelijking met de 12 á 13 meter van het Veersche Gat gering was. Tijdens de plaatsing van de caissons was de verdieping nabij de landhoofden beperkt gebleven tot 1 á 2 meter. In het middendeel van het sluitgat was, met name door ebstroom, een verdieping opgetreden van maximaal 4,50 meter.

Deze ontgroning was veroorzaakt door de hoge snelheden in het steeds verder vernauwde sluitgat, en niet door wervelstraten. De aanzethelling van de ontgrondingskuil bleef dan ook betrekkelijk flauw en er ontstond geen enkel gevaar voor de stabiliteit van de rand van de bodembescherming. De opgetreden ontgroningen vertoonden een goede overeenkomst met de voorspellingen die op basis van modelonderzoek in het Waterloopkundig Laboratorium waren gedaan.

De afsluitdam in het Volkerak en de uitbreiding van het Hellegatsplein.

Er werd aanvankelijk met drie cutterzuigers en later met twee cutterzuigers zand geperst in de afsluitdam aan weerszijden van de caissons. Op 1 oktober 1969 werd ter plaatse van de caissons een zandhoogte bereikt van N.A.P. + 6 meter.

In de dam en de daarbij behorende primaire uitbreiding van het Hellegatsplein werd 4,5 miljoen m<sup>3</sup> zand geperst. De aannemer had inmiddels de perskade van mijnsteen aan de zuidzijde van de afsluiting voltooid en het benodigde zinkwerk uitgevoerd, waarna werd begonnen met het profileren van het beloop en de verdere opbouw van grof grind, zware vlijsteen 80/200 kilogram, het plaatsen van damwand op N.A.P. + 2,75 meter en het gereed maken van het zandbeloop voor de tot N.A.P. + 6 meter reikende asfaltglooiing.

Aan de noordzijde werd in plaats van mijnsteen zandasfalt verwerkt met het asfaltschip ' Jan Heymans '. Het tempo van de verwerking en de resultaten met dit materiaal waren bevredigend te noemen.

De aannemer was na de voltooiing van het zinkwerk eveneens begonnen met de opbouw van de glooiing aan de noordzijde. Het terrein aan de zuidzijde van het Hellegatsplein moest worden voorzien van een betonglooiing met daarvoor een kreukelberm. Ten gevolge van de versterkte getijbeweging ondervonden de werkzaamheden hier enige vertraging.

Aan de noordwestzijde van het Hellegatsplein werd de bestaande asfaltglooiing tot N.A.P. + 5 meter verwijderd en werd uitbreiding van zand in ruwe vorm aangebracht.

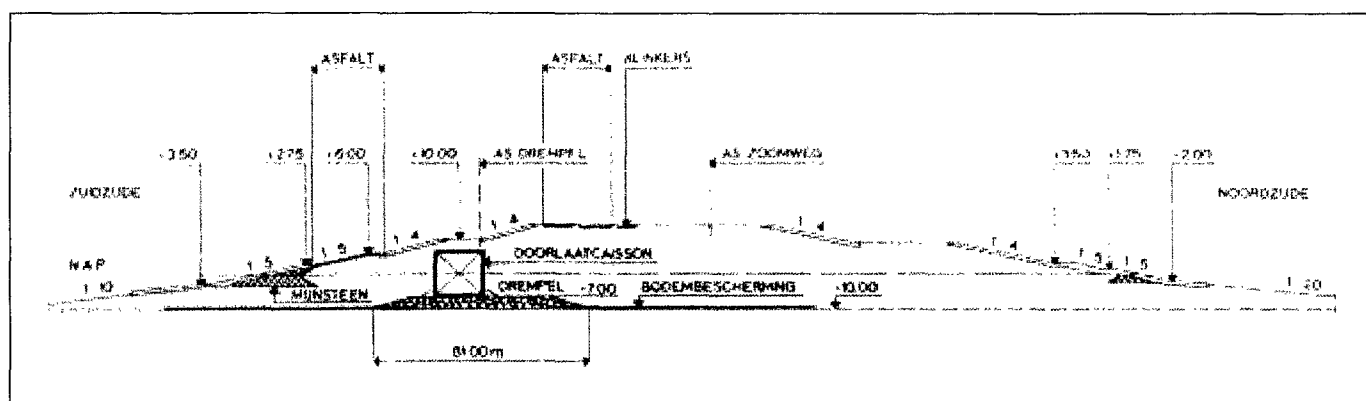
Het aantal cutterzuigers voor de zandwinning in het Volkerak werd in de periode oktober 1969 / januari 1970 nog verder teruggebracht. Er werkte nog maar een cutterzuiger aan de opbouw van het zandlichaam van de dam, ter plaatse van de inloop van het voormalige Hellegat, aan de noordzijde van de dam. Aan de zuidzijde van de dam werd het onderbeloop van het talud tot N.A.P. + 2.75 meter voltooid. Het beloop werd hier opgebouwd uit grof grind en zware vlijsteen 80/200 kilogram. Ook de teenvoorziening van dit talud, dat bestond uit 2 meter lange grenen planken, onderling verbonden door een gording, was gereedgekomen. Daarna werd de berm op N.A.P. + 2.75 meter gereed gemaakt voor afwerking met gietasfalt. De asfaltspreidmachine had wel een begin gemaakt met de penetratie van deze berm met asfalt, maar door de vroeg invallende vorst moest dit werk worden gestaakt.

Wel kwam men aan de zuidzijde van het Hellegatsplein gereed met de opbouw van de daar geprojecteerde betonglooiing met teenvoorziening, en met de aanleg van de kreukelberm. Boven N.A.P. + 6 meter, waar het asfaltbeloop eindigde, werd een begin gemaakt met de kleibekleding. Aan de noordzijde van de dam was het beloop van zandasfalt afgedekt met grind, en werd begonnen met het aanbrengen van een bekleding van steen 80/200 kilogram. Aan de noordwestzijde van het Hellegatsplein werd een begin gemaakt met de teenvoorziening voor de daar aan te leggen asfaltglooiing. Ook werd gewerkt aan de grondlichamen voor de toekomstige rijbanen over het plein. Het zinkwerk aan weerszijden van de dam werd nagestort met zware stortsteen.

In de periode januari / april 1970 werd de zandwinning in het voormalig Hellegat voortgezet. Verwacht mocht worden dat de bovenbouw van het damlichaam voor wat betreft het zandbedrijf eind april of begin mei kon worden voltooid. Inmiddels werd begonnen de verschillende onderdelen onder profiel te brengen.

Er wordt klei aangevoerd voor de bekleding van de belopen. Ondanks de uitzonderlijk slechte weersomstandigheden was de productie voor dit onderdeel niet tegengevallen. Bij het aanbrengen van asfaltbeton op de belopen werden evenwel verschillende moeilijkheden ondervonden. Eensdeels ten gevolge van het koude en natte weer, maar anderdeels ook in verband met de beproeving van een nieuw asfaltmengsel, het zogenaamde gapgraded mengsel. Het was gebleken dat dit mengsel buitengewoon gevoelig was en grote moeilijkheden veroorzaakte bij het afwerken van de belopen.

Aan de zuidzijde van de dam werd het asfaltbeloop tot N.A.P. + 6 meter voltooid. De daarop aansluitende glooiing van betonblokken die de zuidzijde van het Hellegatsplein begrenste, was eveneens gereed. Aan de andere kant van het asfaltbeloop was de aansluitende glooiing van gevlijde stortsteen nagenoeg klaargekomen. De glooiing van asfaltbeton tot N.A.P. + 3,50 meter aan de noordzijde van het damlichaam was eveneens af. De aannemer begon met straatwerk voor de weg voor langzaam verkeer op de berm van de noordelijke afsluiting van het Hellegatsplein. De uitbreiding van het Hellegatsplein aan de noordwestzijde was in ruwbouw gereed. Er is een teenvoorziening aangebracht van gecreosoteerde damwanden met een kreukelberm. Het asfaltbeloop moest nog vrijwel geheel worden gemaakt. Begin mei kwam het persen van zand in de persvakken van de toekomstige rijbanen op het plein klaar. Hierna kon worden begonnen met het maken van de tijdelijke wegverbinding tussen het viaduct over de sluisen en de weg Rotterdam - Flakkee. In verband met de gewijzigde getijomstandigheden aan de zuidzijde van de afsluitdam diende de bestaande glooiing van betonblokken tot N.A.P. + 3 meter over 3500 meter te worden verhoogd tot N.A.P. + 4 meter. Dat werk werd inmiddels voltooid.



Dwarsdoorsnede dam met plaats caissons

Eind april 1970 was er voldoende zand geperst in de bovenbouw van het damlichaam door het Volkerak, en kon de zandwinning in het voormalige Hellegat worden beëindigd. De profilering van de belopen van de dam en de bekleding ervan met klei was vergevorderd. De uitbreiding aan de noordwestzijde van het Hellegatsplein was inmiddels voltooid. Nu daar het asfaltbeloop tot N.A.P. + 5 meter was gereedgekomen, was het verwerken van asfalt op de belopen tot een einde gekomen. Op het damlichaam en op het plein werden nu asfaltwegen gemaakt.

De onderbaan van zand-cementstabilisatie was gereed, en men mocht verwachten dat de asfalterwerkzaamheden eind juli 1970 voltooid konden worden. Ook de aanleg van wegen voor langzaam verkeer werd voortgezet. In verband met de slechte weersomstandigheden in het winterseizoen 1969-1970 en de grote hoeveelheid meerwerk die de aannemer had opgedragen gekregen, werd hem uitstel van eerste oplevering verleend tot 15 september 1970.

De wegen over de afsluitdam en op het Hellegatsplein, waren in oktober 1970 geasfalteerd. In de bermen van de wegen op de afsluitdam werden over een lengte van 7 kilometer vangrails aangebracht terwijl in de middenberm lichtmasten werden geplaatst. Voortgegaan werd met de aanleg van een weg voor langzaam verkeer. Op 17 augustus 1970 werden de asfaltwegen als B-weg voor het verkeer opengesteld.

Op 5 oktober werd het werk voor de eerste maal opgeleverd. De afsluitdam door het Volkerak en de uitbreiding van het Hellegatsplein met een aantal bijkomende werken werden op 5 april 1971 voor de tweede maal opgeleverd.

### **Operationele begeleiding van de Deltar bij de afsluiting van het Volkerak**

Reeds vanaf 1962 was het elektrische analogon 'Deltar' in gebruik bij het onderzoek naar de getijbeweging in het Deltagebied en de veranderingen die daarin optraden door waterstaatkundige ingrepen, zoals de afsluiting van zeearmen. Bij de afsluiting van de zuidelijke Grevelingen in 1962, evenals bij de afsluiting van het Volkerak in april van 1969, werd de Deltar bovendien operationeel ingeschakeld. Het is de bedoeling in dit artikel de betekenis van de Deltar toe te lichten bij het opstellen van de getijprognoses voor en tijdens de afsluiting van het Volkerak.

Men kan het werk dat de Deltar in dit verband heeft verricht in twee fasen verdelen. Allereerst voerde het analogon een voorspelling op lange termijn uit van de getijbeweging tijdens de sluitingsperiode van het Volkerak. Deze prognose werd geruime tijd voor de eigenlijke afsluiting verstrekt, ten behoeve van het op te stellen tijdschema voor de plaatsing van de doorlaatcaissons. Uitgangspunt bij deze voorspelling was de prognose van het astronomisch getij ter plaatse van de getijstations op de rand van het te beschouwen gebied te Stavenisse, Hellevoetsluis en Hoek van Holland, berekend uit 115 componenten, en de gemiddelde Rijn- en Maasafvoer over de maand april. Vervolgens werd de Deltar in meer eigenlijke zin operationeel ingezet tijdens de sluiting van het Volkerak, waarbij dan rekening gehouden moest worden met de afwijkingen die normaliter optreden tussen het berekende astronomische verticale getij ter plaatse van de genoemde getijrandvoorwaardestations en het aldaar in werkelijkheid optredende en geregistreerde getij. Deze afwijkingen werden eensdeels veroorzaakt door de windrichting en de windkracht, anderdeels door onvolkomenheden in de berekeningsmethode van de astronomische getijden. Verder konden er verschillen optreden doordat de Rijn- en Maasafvoer afwijkt van het gemiddelde waarvan voor de voorspelling op lange termijn werd uitgegaan, en door onvoldoende kennis van de afvoer- en verliescoëfficiënten van het sluitgat en de caissons. In het navolgende wordt de voorspellings-techniek meer in detail behandeld.

### **De opzet van de Deltar-proeven.**

Het gebied waarvan de Deltar de getijdenbeweging met elektrische stroom nabootste, omvat de wateren van het Deltagebied met inbegrip van de bovenrivieren Lek-Nederrijn, Waal en Maas, maar zonder Oosterscheldegebied en het Grevelingenbekken. De zeevaartse begrenzing van het gebied lagen ter plaatse van de registrerende peilschaalstations Stavenisse en in de Keeten, Hellevoetsluis in het Haringvliet, en Hoek van Holland in de Nieuwe Waterweg. De verticale getijden te Stavenisse, Hellevoetsluis en Hoek van Holland, verder aan te duiden als de getijrandvoorwaarden, samen met de bovenafvoeren van Lek, Waal en Maas, en de rivierfiguratie van het betrokken gebied, met inbegrip van de daarmee samenhangende weerstands coëfficiënt, waren voldoende gegevens voor de nabootsing van de getijbeweging in het Deltagebied. In het hier besproken geval moesten aan deze gegevens nog de verlies- en afvoercoëfficiënten van het sluitgat in het Volkerak en van de te plaatsen caissons worden toegevoegd.

Om de rivierfiguratie te kunnen invoeren in de Deltar, werd het beschouwde Deltagebied met inbegrip van de genoemde bovenrivieren opgedeeld in een groot aantal vakken van een beperkt aantal kilometers. De gemiddelde diepte, die met behulp van peilkaarten was bepaald, en de stroomvoerende en bergende breedte van elk vak werd in een sectie van de Deltar als functie van de waterhoogte voorgesteld. Op de juiste geografische wijze met elkaar verbonden stelden de 120 secties van de Deltar ertoe in staat, de gevraagde getijbeweging elektrisch na te bootsen, mits de getijrandvoorwaarden en de bovenafvoeren gegeven waren. In iedere sectie konden energiehogten, waterstanden, stromen en snelheden - en wel de gemiddelde snelheden in het stroomvoerende dwarsprofiel - gemeten worden. Een getij in de Deltar duurde ongeveer 7 ½ minuut. Teneinde de waterbeweging in het sluitgat en door de caissons met de Deltar te kunnen voorstellen werden een paar bijzondere secties bijgebouwd. In de bijzondere secties moesten de verlies- en afvoercoëfficiënten van het sluitgat en de doorlaatcaissons, nadat ze uit hydraulisch modelonderzoek waren verkregen, worden ingesteld. Voor de caissons werden vaste gemiddelde waarden ingevoerd, terwijl de waarden van de beide coëfficiënten voor het sluitgat telkens na de plaatsing van een caisson opnieuw moesten worden ingesteld. De mogelijkheid bleef overigens bestaan ze zo nodig gedurende de operatie zelve nog aan de hand van snelheidsmetingen op de drempel van het sluitgat te corrigeren. Een moeilijkheid daarbij was echter dat gedurende de operatie slechts op een punt op de drempel continue snelheidsmetingen konden worden verricht, en wel in het midden van de toekomstige plaats van caisson B6. De Deltar werkte echter steeds met gemiddelde snelheden in het effectieve stroomprofiel, zodat beide snelheden niet geheel vergelijkbaar waren. Daar de snelheid - het horizontale getij - in het sluitgat gedurende het getij veranderde, waarbij de waterstanden - het verticale getij - mee veranderden, varieerde ook de afvoer en verliescoëfficiënten. Vanwege de onvoldoende informatie die men op dit punt had werd in de Deltar voor beide coëfficiënten gedurende de eb- en vloedperiode een gelijke constante waarde ingevoerd.

Wanneer later, bij en eventuele nacontrole, de beschikbare gegevens uit de natuur bestudeerd waren, kwam er meer inzicht in de variabiliteit.

### **Ijking van de Deltar.**

Evenals een hydraulisch model moest ook de Deltar aan de hand van natuurmetingen geïkt worden. Voor het ijken waren de resultaten van een aantal stroommetingen in het Volkerak ter plaatse van de ontworpen afsluitdam beschikbaar, en bovendien de simultaan gemeten verticale-getijkrommen van een aantal peilschaalstations.

Om de uitkomst van de Deltar nogmaals te controleren, vooral over de tijdstippen van de HW.-kentering - waarop immers de caissons zouden worden geplaatst - werd de getijbeweging in het beschouwde Deltagebied nagebootst voor de maand april 1968. Hierbij werd onder meer uitgegaan van de werkelijke getijden ter plaatse van de getijrandvoorwaarden en de dagelijkse Rijn en Maas afvoeren in de maand april 1968. In deze maand waren namelijk continue metingen verricht van de stroomsnelheid en de stroomrichting met behulp van fotografisch registrerende apparatuur die was opgesteld in de onmiddellijke omgeving van de toen nog in aanleg zijnde drempel van het sluitgat. Vergeleek men de geregistreerde tijden van de hoogwaterkentering met de uitkomsten die de Deltar voorspelde op basis van de werkelijke randvoorwaarden en bovenafvoeren, dan waren de Deltar uitkomsten redelijk te noemen. Bij vergelijking van deze Deltar-uitkomsten met de resultaten die de Deltar kreeg op basis van een uit 115 componenten berekend getij en een over 25 jaar gemiddelde bovenafvoer voor de maand april, was het verrassend, dat de verschillen in de tijden van hoogwaterkentering zo gering waren, terwijl er toch afwijkingen voorkwamen tussen de geregis-

treerde getijden te Stavenisse, Hellevoetsluis en Hoek van Holland en de voor diezelfde punten voorspelde getijden op basis van 115 componenten, zoals hiervoren is vermeld.

### **De voorlopige voorspelling voor de Volkerakafsluiting**

De getijcomponenten bij de randstations werden als volgt bepaald. Uit een jaarwaarneming van de waterstanden over 1968 te Stavenisse, Hellevoetsluis en Hoek van Holland werd een harmonische getijanalyse gemaakt volgens de methode der kleinste kwadraten. Hiervoor werden 115 componenten beschouwd. Bij eerder uitgevoerde voorspellingen was gebleken dat men met minder componenten niet toekon, omdat anders de specifieke vorm van de verticale getijkrommen omstreeks laagwater te Hoek van Holland en te Hellevoetsluis, en van de hoogwaterkop te Stavenisse bij de latere samenvoeging der componenten niet geheel tot zijn recht kwam.

Een verder noodzakelijk gegeven was de te verwachten afvoer van de Rijn en van de Maas gedurende de maand april 1969. Voor de Rijnafvoer te Lobith werden de aprilmaanden beschouwd van de voorafgaande 25 jaren. De gemiddelde afvoer van de Rijn in april kan over die periode worden gesteld op 2450 m<sup>3</sup>/sec. , die van de Maas op 350 m<sup>3</sup>/sec. Met de aldus verkregen informatie betreffende de te verwachten verticale getij randvoorwaarden en de berekende Rijn en Maas afvoer werd voor de maand april 1969 met de Deltar de getijbeweging in het Volkerak nagebootst, waarbij een van tevoren ingediend voorlopig programma voor de plaatsing van de caissons ten tijde van de hoogwaterkentering werd aangenomen.

*De getijvoorspelling gedurende de afsluitingsperiode, in het bijzonder de kenteringstijden na hoogwater.*

Om gedurende de operationele inzet onmiddellijk over de in de natuur voorkomende verticale-getijkrommen ter plaatse van de getijrandvoorwaardestations te kunnen beschikken, werden de door de peilschrijvers aldaar gemeten waterstanden van ogenblik tot ogenblik elektrisch overgebracht en via door de P.T.T. ter beschikking gestelde telefoonkanalen doorgegeven naar de Deltarzaal aan de Boorlaan te 's-Gravenhage. De binnenkomende signalen der peilschrijvers werden daar op banden geregistreerd. Bovendien werden ter controle van de uitkomsten van de Deltar de getijkrommen te Moerdijk, Tiengemeten Oost en Dintelsas naar de Deltarzaal doorgegeven en geregistreerd. In de Deltarzaal stonden voor dit doel drie recorders opgesteld, die elk de waterstand ter plaatse van twee peilstations registreerden. Met behulp van deze registraties werden de vooraf voorspelde verticale-getijrandvoorwaarden gecorrigeerd. Windgegevens, zoals windrichting en windkracht, gemeten op het lichtschip Goeree, werden via het filiaal van het K.N.M.I. te Zierikzee telefonisch doorgegeven aan de Deltarzaal in Den Haag, evenals de weersverwachting voor het betreffende Deltagebied. Ook kwamen daar elke morgen informaties binnen betreffende de Rijn, Waal, Nederrijn en Maasafvoer.

Bovendien was er een directe telefoonverbinding tussen het directiekantoor van de Deltadienst aan het Volkerak en de Deltarzaal in Den Haag. Deze verbinding werd enerzijds gebruikt voor het doorgeven van de informaties van de Deltar, met name de voorspelde kenteringstijden en snelheden, en anderzijds voor het overbrengen van waarnemingen in het sluitgat, zoals gemeten waterstanden en snelheden aan weerszijden van de drempel, die van belang waren voor de controle van de Deltar.

Reeds gedurende de maanden januari tot en met maart 1969 waren de verbindingen met de getijrandvoorwaardenstations tot stand gebracht, teneinde vooraf inzicht te verwerven in de verschillen die verwacht mochten worden tussen het voorspelde en het daar optredend werkelijk getij. De windinvloed bleek, overeenkomstig de verwachtingen, de belangrijkste oorzaak te zijn van de afwijkingen. Aangezien de wind vooral in ons land van grote invloed kon zijn op het natuurlijke getij, lag het voor de hand, gedurende de sluitingsoperatie zoveel mogelijk uit te gaan van de natuurgetijden. Dit was uiteraard niet mogelijk gedurende een beperkt aantal uren voor het moment van sluiting. In die periode werd het voorspelde getij met 115 componenten als richtlijn gebruikt. Correcties daarop werden nog aangebracht aan de hand van geconstateerde afwijkingen tussen het voorspelde getij en het natuurgetij daaraan voorafgaande.

Ten behoeve van hen die met de uitvoering van de sluitingsoperatie waren belast, werd een eerste gecorrigeerde voorspelling uitgegeven drie uur voor het tijdstip van de volgens de voorspelling op lange termijn verwachte hoogwaterkentering. Bij de verstrekking van dit gegeven werd ook het verloop van de snelheden in het sluitgat van drie uur voor tot een uur na de kentering opgegeven. Daarna werd nog een tweede voorspelling gegeven een uur voorafgaande aan de laatst verwachte tijd van hoogwaterkentering, weer met het verloop van de snelheden van drie uur voor tot een uur na de kentering. Bij het invoeren van de informaties betreffende de getijrandvoorwaarden moest een marge van vier getijden - twee etmalen in de natuur, een half uur in de Deltar - in acht worden genomen om inspeelverschijnselen van de Deltar te laten uitdempen. Daar het vervaardigen van het laatste gedeelte van de ponsbanden, inclusief de controle, ook een half uur vergde, moesten de voorspelde waterstanden voor het eerste bericht gedurende ongeveer vijf uren worden gecorrigeerd, en voor het tweede bericht ongeveer gedurende ongeveer drie uren. De daaraan voorafgaande waterstanden waren afkomstig van registraties van het natuurgetij.

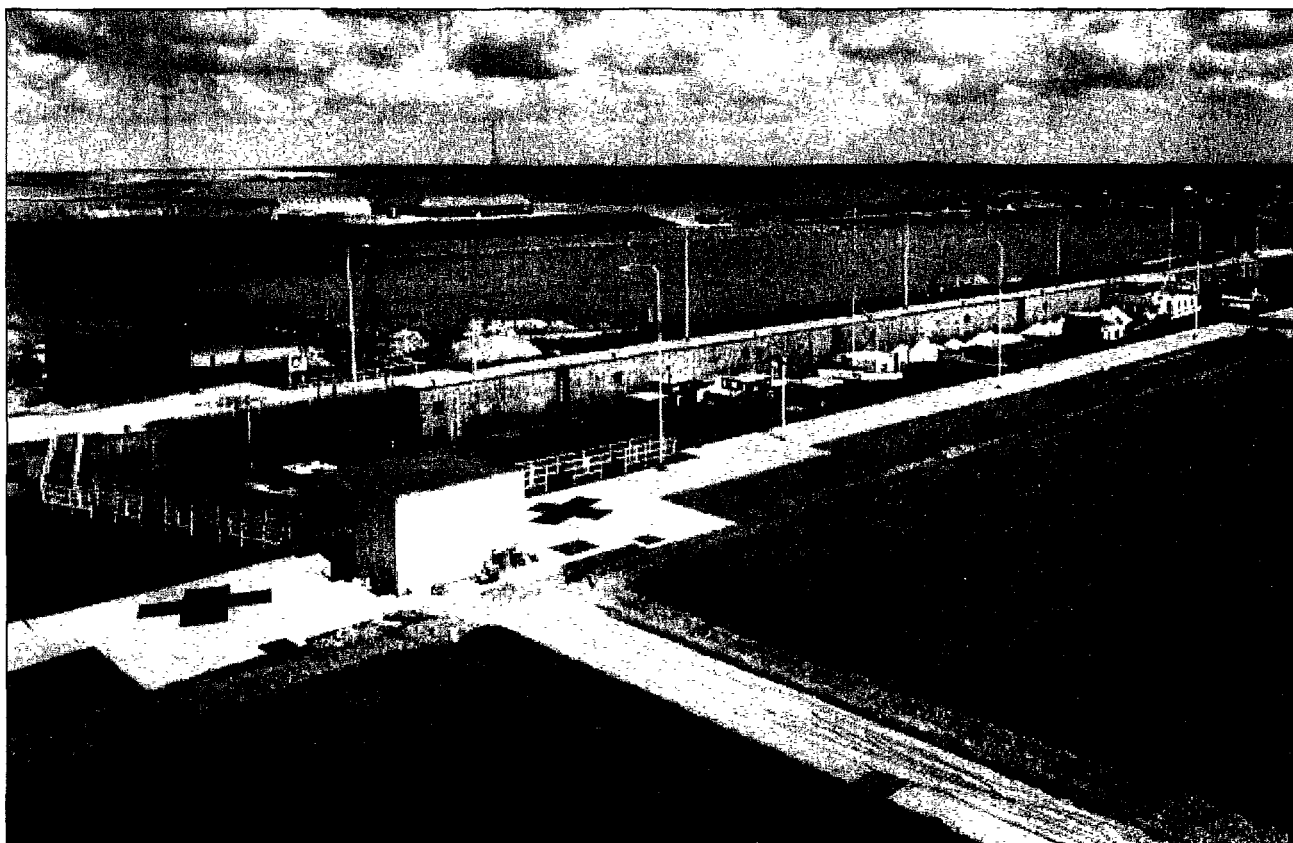
De eerste nadere voorspelling van de getijbeweging werden als volgt verkregen. De verschillen tussen de voorspelling en de registratie van het vorige getij werden op het actuele voorspelde getij gesuperponeerd, en wel zo dat de afstand tussen de lijnen van voorspeldt en gecorrigeerd getij bij beide getijden steeds even groot was. Met het voortschrijden van de tijd werden de werkelijk opgetreden waterstanden bekend, en daarmee de verschillen tussen de werkelijkheid en de eerste verwachting. Op basis van dat verschil werd voor de laatste vijf uur van het actuele getij nogmaals een correctie op de verwachting aangebracht. Van de waterstanden ter plaatse van de randstations werden ponsbanden gemaakt van de vier voorafgaande getijden, gevolgd door de waterstanden volgens de gecorrigeerde eerste verwachting. Met behulp van deze banden werd het verticale getij ter plaatse van de getijrandvoorwaarden in de Deltar ingevoerd. Ook de werkelijke Rijn- en Maasafvoeren werden ingesteld, en de getijbeweging, dus stromen en waterstanden, werden dan op basis van die gegevens berekend, en ook het tijdstip van hoogwaterkentering in het sluitgat. Dit tijdstip werd, samen met de verlangde gegevens omtrent de stroomsnelheden, naar Willemstad doorgegeven als eerste bericht. Afwijkingen die tussen drie en vijf uur voor het einde van het actuele getij nog werden gesignaleerd tussen het werkelijke getij en de eerste gecorrigeerde verwachting, dienden als richtlijn voor het aanbrengen van nieuwe correcties op de waterstanden, en het opstellen van een nader gecorrigeerde verwachting voor de laatste drie uren. Zoals vanzelf spreekt moest het ponsbandgedeelte dat door de feiten achterhaald was, worden vervangen door een registratie van de werkelijke waterstanden, en de eerste verwachting zodra dat mogelijk was door de tweede. Met deze ponsbanden werd opnieuw in de Deltar gerekend, en werd opnieuw een hoogwatertijdstip en een verloop van de stroomsnelheden vastgesteld. Deze verwachting werd een uur voor de kentering nog doorgegeven als tweede bericht. Voor de laatste apriildagen waren ook de tijden van laagwaterkentering voorspeld, aangezien uit Deltarmetingen was gebleken dat het verstandig was de schuiven van de caissons neer te laten tijdens laag-

waterkentering. Dit in verband met het onmiddellijk daarop volgende verval over de caissons in de vloedperiode. Waterloopkundig gesproken was de afsluiting van het Volkerak pas een feit geworden op 28 april, des morgens om 09.15 uur, toen tijdens de laagwaterkentering de schuiven werden neergelaten.

Reeds werd er op gewezen dat de maximale snelheden die in de Deltar werden gemeten maximale gemiddelde snelheden zijn over het gehele dwarsprofiel, en die welke werden gemeten in de natuur de maximale gemiddelde snelheden in de snelheidsverticaal in een punt op de drempel, in het midden van het sluitgat. Volgens uitvoerige stroommetingen op 22 maart en 19 en 20 april 1969 bedroeg de afwijking tussen de twee genoemde maximale snelheden zowel tijdens de vloed als tijdens de eb 15 %. Bij het nauwer worden van het sluitgat werden de verschillen kleiner, begrijpelijk als men bedenkt dat de stroom zich in de slotfase van de sluiting regelmatig over het vernauwde sluitgat verdeelde.

Omtrent de waarde van de doorstroom- en verliescoëfficiënten van het sluitgat en de caissons bestond, zoals boven opgemerkt, onzekerheid. Aanvankelijk had men het plan de waarden tijdens de operatie aan te passen, maar toen in het begin van de operationele fase bleek dat deze coëfficiënt maar geringe repercussies had op de snelheden in het sluitgat, werd besloten de oorspronkelijk gestelde coëfficiënt steeds aan te houden.

Overziet men de met Deltar verkregen resultaten, dan was de conclusie gewettigd dat de analogon zowel bij het opstellen van het tijd- en plaatsingsschema als in de operationele fase van de sluiting van veel nut was geweest. Men mocht daaruit niet opmaken dat, dat het bij elke sluiting zo zou wezen, dat Deltar overal van gelijk nut kon zijn. Naar het zich laat aanzien heeft vooral de gunstige geografische positie van het Volkerak, nabij de samenvloeiing van twee grote zeearmen, in belangrijke mate tot het succes bij gedragen.



*De lege bouwput van de caissons wordt bewerkt voor de aanleg van de derde schutsluis*



# Getij

- Inleiding.
- Invloed op de verticale getijbeweging in het noordelijk Deltagebied.
- Veranderingen van de horizontale getijbeweging in het noordelijk Deltagebied.
- Invloed op de verticale getijbeweging in het zuidelijk Deltagebied.
- Toetsing van de voorspelde veranderingen van de verticale getijbeweging in het Deltagebied door de afsluiting van het Volkerak.
- Veranderingen van de stroomsnelheden ten zuiden van de Volkerakdam.
- Het Keeten.
- Traject Volkerak - Krammer - Zijpe - Mastgat - Keeten.

## Inleiding

Door de afsluiting van het Volkerak werd in het Deltagebied een scheiding tot stand gebracht tussen het noordelijk en het zuidelijk Deltagebied. Deze twee afzonderlijke gebieden zouden hun definitieve vorm krijgen na de afsluiting van het Haringvliet in 1970 en de Oosterschelde omstreeks 1978. Het toekomstige Grevelingenbekken, dat na de afsluiting van het Brouwershavensche Gat tot stand zou komen, was reeds van de beide genoemde bekkens gescheiden door de aanleg van de Grevelingendam. De aanleg van een dam door het Volkerak, met name ter plaatse van het Hellegat, was uitvoerig gemotiveerd. In dat zelfde deel van het rapport vindt men ook getijgegevens voor de toestand die in het noordelijke gebied zal optreden na de afsluiting van zowel het Volkerak als het Haringvliet. Naar het zich liet aanzien zou het Volkerak echter een jaar eerder worden afgesloten dan het Haringvliet en voor de tussenliggende fase bood het Deltarapport geen getijgegevens. Het was noodzakelijk gebleken deze lacune aan te vullen.

Op grond van daartoe verrichte onderzoeken kunnen in dit artikel gegevens worden verschaft over de berekende getijbewegingen in de overgangsfase tot aan de afsluiting van het Haringvliet. Om de veranderingen in de getijbeweging ten gevolge van de afsluiting van het Volkerak te doen uitkomen, werd steeds een vergelijking gemaakt tussen het gemiddeld getij in de overgangsfase en dat bij de huidige toestand, met afgesloten Haringvliet en een gemiddelde Rijn afvoer van 2200 m<sup>3</sup> per seconde. Voor de bepaling van het gemiddelde getij in de overgangsfase werd gebruik gemaakt van het hydraulisch getijmodel van de benedenrivieren in het waterloopkundig laboratorium te Delft en het elektrisch analogon 'Deltar'. Behalve de invloed van de afsluiting van het Volkerak op de gemiddelde getijbeweging in het noordelijk Deltagebied worden ook enkele gegevens vermeld over de gevolgen van de afsluiting op het zuidelijk Deltagebied.

## Invloed op de verticale getijbeweging in het noordelijk Deltagebied

Uit de modelproeven bleek dat de afsluiting van het Volkerak verzwakking ten gevolgen zou hebben van het verticale getij in het noordelijk Deltagebied. De tijverschillen werden geringer bij ongeveer gelijkblijvende middenstand. De vermindering van het tijverschil zou het sterkst zijn in de onmiddellijke nabijheid van de dam in het Volkerak. Vandaar werd deze zowel zeewaarts als landwaarts geringer. Het hoogwater werd ongeveer 35 centimeter lager en het laagwater 25 centimeter hoger. Te Dordrecht zouden deze verschillen 25 en 20 centimeter bedragen.

Ten gevolge van het afsluiten van het Volkerak zullen ook de havengetallen in het noordelijk Deltagebied toenemen. Onder het havengetal moet de tijdsperiode worden verstaan die verloopt tussen een maanculminatie en het daaraan volgend optreden van hoog of laagwater. De verandering van het havengetal zal eveneens het sterkst zijn in de onmiddellijke nabijheid van de dam door het Volkerak, terwijl de veranderingen in zeewaarts geringer zouden worden. Na de afsluiting van het Volkerak zullen het gemiddeld hoog en laagwater te Willemstad ongeveer 45 minuten later blijken op te treden. Te Dordrecht zal de vertraging van het gemiddeld hoogwater ongeveer 15 minuten bedragen en die van het gemiddeld laagwater ongeveer 20 minuten.

## Veranderingen van de horizontale getijbeweging in het noordelijk Deltagebied

Door het zwakker wordende verticale getij in het noordelijk Deltagebied zouden in het algemeen ook de eb en vloeddebiëten veranderen. Op de Nieuwe Waterweg veranderen de maximale eb en vloeddebiëten slechts weinig. De maximale ebdebiëten zouden enigszins afnemen, wat gunstig kon zijn voor de beperking van de erosie op de Nieuwe Waterweg. De veranderingen van de eb en vloeddebiëten bij gemiddelde getijomstandigheden en normale Rijnafvoer door het afsluiten van het Volkerak zijn het grootst in het Hollandsch Diep, de Dordsche Kil en de Noord. In het Hollandsch Diep namen de maximale stromen met ongeveer 30 % af. In het Haringvliet direct ten westen van het Volkerak namen de maximale ebdebiëten met 30 'a 40 % en de maximale vloeddebiëten met ongeveer 50 % toe. Te Hellevoetsluis was er sprake van een geringe afname van de eb en vloeddebiëten met ongeveer 10 %. In de Dordsche Kil zouden de ebstromen behoorlijk afnemen en het maximale vloeddebiëte werd ook kleiner. Bij voldoende grote oppervlatafvoer zou het vloeddebiëte geheel verdwijnen. In de Noord zouden de veranderingen belangrijk geringer zijn dan in de Dordtsche Kil. Ook in het tijdstip van optreden van de maximale gemiddelde debiëten, ten opzichte van de maanculminatie zouden uiteraard veranderingen optreden.

Door de relatief grote veranderingen in het gemiddeld tijverschil en havengetal in het Hollandsch Diep, De Kil en de Noord zou de oppervlatafverdeling zich na de afsluiting van het Volkerak wijzigen. Een groter gedeelte van het oppervlatafvoer ging via het Haringvliet stromen. Deze vergroting van de oppervlatafvoer van het Haringvliet ging ten koste van de oppervlatafvoer van de Nieuwe Waterweg. Na de afsluiting van het Volkerak zou de Waterweg bij gemiddelde getijomstandigheden en normale oppervlatafvoer 10 'a 15 % minder oppervlatafvoeren dan tot dusver. Na de afsluiting van het Haringvliet in het voorjaar van 1970, kan men met behulp van de uitwateringssluizen in de mond van het Haringvliet een zo gunstig mogelijke verdeling krijgen van de oppervlatafvoer over het stelsel der benedenrivieren. In de tussenliggende fase moest men echter rekening houden met een situatie, die voor de verdeling van het oppervlatafvoer over de benedenrivieren, minder gunstig was. Daar de Rijnafvoeren voor een groot deel afhankelijk zijn van de klimatologische omstandigheden in de winterperiode, en de verdeling van de Rijnafvoer over het jaar een statisch proces volgt, bestond de mogelijkheid dat de ongunstiger afvoerverdeling in de loop van het jaar gecompenseerd werd. De verkleining van het getij op het Haringvliet zou echter steeds een gunstig effect op de stormvloedstanden in dit gebied en in de onmiddellijke omgeving hebben.



### **Invloed op de gemiddelde verticale getijbeweging in het zuidelijk Deltagebied**

In het zuidelijk Deltagebied werd de verticale getijbeweging, in tegenstelling tot het noordelijk Deltagebied, door de afsluiting van het Volkerak sterker. De hoogwaterstanden werden hoger en de laagwaterstanden lager. Deze veranderingen waren opnieuw het grootst bij de dam en namen zeewaarts af.

Onmiddellijk ten zuiden van de dam door het Volkerak zou het gemiddelde tijverschil, na de afsluiting van het Volkerak, van 225 centimeter toenemen tot 390 centimeter. Een verhoging van 165 centimeter.

### **Toetsing van de voorspelde veranderingen van de verticale getijbeweging in het Deltagebied door de afsluiting van het Volkerak**

Voordat het Volkerak werd afgesloten, werden door de Deltadienst een aantal voorspellingen opgesteld, over de invloed die deze afsluiting zou hebben op de getijbeweging in het noordelijk en zuidelijk Deltagebied. Reeds eerder is een overzicht gegeven van de voorspelde veranderingen bij een Bovenrijnafvoer van 2200 m<sup>3</sup>/sec. en een gemiddeld getij in zee waarvan de hoog- en laagwaterstanden overeenkomen met de gemiddelde Hoogwater en Laagwaterstanden over de periode 1950 - 1960.

Na de afsluiting van het Volkerak had men de voorspelling voor zover mogelijk aan de natuur getoetst. Hiertoe waren de getijgegevens verzameld over de periode vanaf de afsluiting van het Volkerak tot ongeveer een maand na de sluiting. Daarnaast werden zowel in het noordelijk als het zuidelijk Deltagebied stroommetingen uitgevoerd. De resultaten van deze stroommetingen kwamen pas in een later stadium ter beschikking. De afsluiting van het Volkerak in waterloopkundige zin bestond uit het sluiten van de schuiven van de doorlaatcaissons, op 28 april 1969 's morgens omstreeks 09.15 uur vlak na de laagwaterkentering. In de periode die onmiddellijk aan de sluiting voorafging werd de getijbeweging reeds in geringe mate beïnvloed door de verkleining van het doorstroomprofiel in het Volkerak. Na de afsluiting moest enige tijd verlopen voor de getijbeweging zich op de nieuwe situatie had ingesteld. Deze aanpassing bleek zoals verwacht een snelverlopend proces te zijn; reeds na enige getijden had ze haar beslag gekregen. Daarnaast bleken, in de onmiddellijke nabijheid, zowel ten noorden als ten zuiden van de caissons, kleine translatiegolven op te treden op het moment van definitieve sluiting.

Door het gemiddelde getij, waarvan de hoog- en laagwaterstanden overeenkwamen met de gemiddelde Hoogwater en Laagwaterstanden, werd voor de toetsing van de voorspellingen aan de natuurwaarnemingen de volgende methode gevolgd. De Hoogwater en Laagwaterstanden van de verschillende stations werden gecorreleerd aan een station waarvan verwacht mocht worden dat de verticale getijbewegingen niet door de afsluiting van het Volkerak werden beïnvloed. Voor het noordelijk Deltagebied werd hiervoor het station Hoek van Holland gebruikt, en voor het zuidelijk Deltagebied het station Vlietepolder in de mond van de Oosterschelde. Wanneer de Rijnafoer gedurende de onderzochte periode nu maar voortdurend 2200 m<sup>3</sup>/sec zou bedragen, zouden de veranderingen op eenvoudige wijze uit boven aangeduide correlatie afgeleid kunnen worden. De sterk veranderlijke Rijnafoer compliceerde het probleem echter. Gedurende de onderzochte periode varieerde de Rijnafoer in het benedenrivierengebied ten noorden van het Volkerak van ongeveer 5000 m<sup>3</sup>/sec aan het begin van de onderzochte periode tot ongeveer 2000 m<sup>3</sup>/sec aan het einde van deze periode. Teneinde toch een indruk te krijgen van de toestand bij een gemiddelde rivierafvoer werden in het noordelijk bekken slechts die waarnemingen voor de toetsing in beschouwing genomen waarbij de rivierafvoer kleiner was dan 3000 m<sup>3</sup>/sec. Voor wat betreft het zuidelijk Deltagebied konden alle waarnemingen in beschouwing genomen worden daar de getijbeweging in dit gedeelte van het Deltagebied na de afsluiting van het Volkerak niet meer beïnvloed werd door de opperwaterafvoer.

De hoogwater en laagwaterstanden van de stations Tiengemeten en Moerdijk zijn gecorreleerd aan de overeenkomstige Hoogwater en Laagwaterstanden te Hoek van Holland. Daar het getij in het noordelijk Deltagebied vooral in de rivierwaarts gelegen stations afhankelijk was van de opperwaterafvoeren, werd in dit gebied het reeds vermelde onderscheid gemaakt tussen waarnemingen bij Rijnafoeren kleiner en groter dan 3000 m<sup>3</sup>/sec. Ook hier waren de voorspelde Hoogwater en Laagwaterstanden na de afsluiting van het Volkerak bij gemiddeld getij in zee en in dit geval ook bij de gemiddelde rivierafvoer, in de correlaties opgenomen. Nogmaals bleek de voorspelling van de veranderingen van de getijbeweging door de Volkerakafsluiting in bevredigende mate met de werkelijkheid overeen te stemmen. Verder kan nog worden medegedeeld dat was berekend welke stormvloedstanden in het zuidelijk Deltagebied zouden zijn opgetreden, onder de omstandigheden die de ramp van 1 februari 1953 veroorzaakte. Bij deze berekening werd gebruik gemaakt van het elektrische analogon 'Deltar'. Hieruit bleek dat een stormvloedstand veroorzaakt door de omstandigheden van 1 februari 1953 ten gevolge van de afsluiting net zoveel hoger zou zijn geworden als het gemiddeld getij. Onmiddellijk ten zuiden van het Volkerak zou deze verhoging hoogstens 50 centimeter hebben bedragen, en bij Bruinisse ten hoogste 25 centimeter, dat wil zeggen dat het water op die twee punten een hoogte zou hebben bereikt van respectievelijk 4,90 meter en 4,65 meter boven N.A.P. Dit is ruim beneden de bestaande kruinhoogten ter plaatse.

### **De waterbeweging in het Deltagebied benoorden de Volkerakdam na de afsluiting van het Haringvliet**

Na de blokkering van het Rak van Scheelhoek, de laatste open stroomgeul van het Haringvliet begonnen in het Deltagebied noordelijk van de Volkerakdam grote veranderingen op te treden in de waterbeweging.

De getijgolf vanuit zee zou in de toekomst, doordat Haringvliet en Volkerak waren afgesloten, alleen nog via de mond van de Nieuwe Waterweg vrij kunnen binnendringen in het benedenrivierengebied. Bij de monding van het Haringvliet werd de toegang voor de vloedstroom blijvend versperd. Afvoer van zoet water naar zee kon alleen nog tijdens eb perioden plaatsvinden. De mate waarin de Haringvlietssluisen gedurende de ebperiode geopend zouden worden, werd afhankelijk gesteld enerzijds van de afvoer van water door Rijn en Maas, en anderzijds van de zoetwaterbehoefte van de landbouw en industrie, de zoutbestrijding op de Waterweg, en enkele andere belangen zoals de doorspoeling van verzilte en verontreinigde binnenwateren.

In tijden van lage rivierafvoeren zou zo zuinig mogelijk met het beschikbare Rijn en Maas water worden omgesprongen, en het was duidelijk dat vooral dan de afvoer van zoet water via het Haringvliet naar zee zoveel mogelijk moest worden beperkt. Een ononderbroken afvoer van 40 m<sup>3</sup>/sec. door de in de sluisen ingebouwde zoutriolen bleef echter noodzakelijk voor het terugdringen van zout overslag-, lek- en kwelwater in de naaste omgeving van de uitwateringssluizen. Het Rijnwater werd in de perioden van weinig bovenafvoer vrijwel geheel via de Waterweg naar zee geleid. Slechts de natuurlijke of eventuele met behulp van stuwen kunstmatig vergrote afvoer langs de Gelderse IJssel had een andere bestemming.

De laagste Rijnafoer te Lobith werd waargenomen, bedroeg 600 meter<sup>3</sup> / sec.

De uitwateringssluizen in het Haringvliet zouden niet alleen bij zo'n extreem lage afvoer, maar bij alle Rijnafoeren kleiner dan 1500 m<sup>3</sup>/sec, ononderbroken gesloten blijven. Nam de afvoer toe tot boven de gestelde kritieke waarde, dan werden de sluisen bij eb geopend, minder of meer, afhankelijk van de afvoer. Bij hoge afvoeren zouden de sluisen gedurende de eb geheel geopend

worden. Er zou echter steeds op gelet moeten worden dat de snelheden in de benedenrivieren niet te groot werden voor de scheepvaart. Anderzijds mocht geen water met een chlooriongehalte boven 300 mg CL<sup>-</sup>/L het benedenriviereengebied bij de laagwater stroomkentering verder penetreren dan het punt waar de Hollandse IJssel uitmondt in de Lek. Aangezien men de uitwateringssluizen opende wanneer de waterstanden aan de zeezijde lager waren dan die in het bekken, zou de waterstand in het Haringvliet op en neer gaan door lozing, die immers fluctueert afhankelijk van de buitenwaterstand. Deze waterstandfluctuatie zou zich landinwaarts voortplanten en samen met het via de Waterweg binnengedrongen getij de getijbeweging in het benedenrivierenstelsel en het aangrenzend gedeelte van de bovenrivieren bepalen. De dagelijkse getijbeweging in het benedenriviereengebied werd dus bepaald door het getij in zee bij Hoek van Holland en in de mond van het Haringvliet - dit laatste afhankelijk van het spuiprogramma met de Haringvlietsluizen -, en verder door de Rijn en Maasafvoer, die door stuwprogramma's werden geregeld. Veranderingen in deze getijbeweging konden worden bewerkstelligd door wijzingen in de figuratie van het benedenriviereengebied die men aanbracht ter verbetering van de scheepvaartwegen, de zoutbestrijding en het water vrij maken van oudsher bestaande kombergingsgebieden.

Tot hertoe werd alleen gesproken over de normale getijbewegingen in het Deltagebied benoorden de Volkerakdam. Voor een onderzoek naar de veiligheid van dit benedenriviereengebied moest men echter de situatie onder ogen zien bij minder frequent optredende hoge en zeer hoge waterstanden. Stormen vanuit zee, vooral de beruchte noordwesterstormen, deden de waterstanden oplopen. De mate waarin was natuurlijk afhankelijk van de duur en de kracht der stormen. In zulke perioden kon men met de sluisen slechts in beperkte mate spuien, of zelfs geheel niet. Als de sluisen gesloten waren, zouden ze voor de duur van de storm gesloten blijven tot de binnen en de buitenwaterstand bij dalende buitenwaterspiegel aan elkaar gelijk waren geworden, zodat de sluisen - tenzij de golfaanval te zwaar zou zijn - weer geopend konden worden. Tijdens zo'n storm werden de waterstanden in het benedenriviereengebied en in de erop aansluitende bovenrivieren niet alleen bepaald door het verloop van de waterstanden in de mond van de Waterweg en door de afvoeren van Nederrijn, Waal en Maas, maar ook door het windeffect op de benedenrivieren zelf. Vooral op de Nieuwe Waterweg en het Haringvliet deed het windeffect zich gevoelen, omdat die wateren vrijwel van noordwest naar zuidoost lopen, precies in de richting van een noordwester storm. Omdat de afvoer van Rijn en Maas werd beïnvloed door de kanalisatie van deze rivieren lijkt het goed daar even op in te gaan.

In de gekanaliseerde Benedenrijn komen drie stuwen voor. In stroomafwaartse richting achtereenvolgens bij Driel, Amerongen en Hagestein. De stuw bij Driel is het regelpunt voor de distributie van de Rijnaafvoer naar het IJsselmeer en naar het zuidwesten van ons land. Door met deze stuw te manoeuvreren kan Rijnwater via de Gelderse IJssel naar het IJsselmeer worden gedirigeerd. Men hanteert al naar behoefte de stuwprogramma's "250" dan wel "350", om beknopt te zijn aan te duiden als S250 en S350.

- Bij S250 wordt de afvoer langs de Nederrijn met behulp van de stuw in Driel zolang op 50 m<sup>3</sup>/sec gehandhaafd tot de IJsselafvoer 250 m<sup>3</sup>/sec bedraagt. Bij verdere stijging van de Rijnaafvoer wordt de stuw van Driel zodanig getrokken dat de IJsselafvoer 250 m<sup>3</sup>/sec blijft; bij voldoende hoge Rijnaafvoer is de stuw volledig getrokken.
- Bij programma S350 begint men de stuw bij Driel pas te trekken wanneer de IJsselafvoer een waarde heeft bereikt van 350 m<sup>3</sup>/sec.

In de regel hield men programma S250 aan; alleen in droge voorjaren kon S350 nodig zijn om het IJsselmeer op zomerpeil te brengen. In het vervolg van dit artikel wordt steeds verondersteld dat de stuw bij Driel werkt volgens programma S 250.

Bij een Bovenrijnaafvoer van 1500 m<sup>3</sup>/sec. Was de stuw te Driel goeddeels gesloten, zodat hij maar 180 m<sup>3</sup>/sec. doorliet. Als men te Driel de stuw trok nam de afvoer langs Nederrijn en Lek toe. De stuw bij Amerongen kon dan ook worden getrokken. Bij hoge Rijnaafvoer kon ten slotte ook de stuw bij Hagestein geheel worden getrokken, zodat het hele stelsel werkt als een open rivier. Bij gestuwde Nederrijn en Lek vond de afvoer te Hagestein plaats via een regelbare doorlaatopening onder water. Dit had tot gevolg dat het getij zich nog in geringe mate kon doen gelden in het eerste stuwpannd.

De stuwing van de Nederrijn leidde bij lage Rijnafvoeren tot vermindering van de afvoer langs de Nieuwe Maas. De zoutgrens op de waterweg zou daardoor te ver kunnen opdringen. Door de werking van de Haringvlietsluizen werd echter het zoete water dat vroeger langs het Haringvliet naar zee stroomde, via Oude en Nieuwe Maas naar zee omgeleid. De Rijnkanalisatie zou zonder de afsluiting van het Haringvliet niet goed mogelijk zijn. De afvoeren langs de Waal werden ook door de Rijnkanalisatie beïnvloed. De Waalafvoer nam bij stuwing van de Nederrijn toe. Aangevuld met de afvoeren van de Maas, verdeelde de Waalafvoer zich voorts over het benedenrivierenstelsel afhankelijk van het spuiprogramma van de uitwateringssluizen in het Haringvliet en van de gestuwde Nederrijn te Hagestein.

De Maaskanalisatie had een andere opzet dan de kanalisatie van de Benedenrijn. Deze was uitsluitend ten dienste van de scheepvaart ontworpen en kon de afvoer van het Maaswater naar het benedenriviereengebied niet regelen. De afvoer van de Maas te Lith kwam tot stand via een regelbare overlaathoogte. Men trachtte hier onmiddellijk bovenstrooms van de stuw een peil te handhaven van N.A.P. + 4.60 meter.

Het getij aan de benedenstroomse zijde van de stuw kon zich niet via de overlaat in het eerste stuwpannd doen gevoelen. De stuw te Lith werd geopend bij hoge afvoeren, in orde van grootte van 800 tot 1000 m<sup>3</sup>/sec. Dit ook bij ijsgang op de rivier of wegens onderhouds en reparatie werkzaamheden.

De wateronttrekking voor industriële doeleinden in het benedenriviereengebied was een variabele maar, gezien te verwachten ontwikkelingen, hoogstwaarschijnlijk groeiende grootte. Op een onttrekking van 60 m<sup>3</sup>/sec uit de Hollandsche IJssel ten behoeve van de watervoorziening van Midden-West Nederland moest wel gerekend worden. De wateronttrekking door het Zeeuwse Meer zou zolang de Oosterschelde nog niet was afgesloten niet belangrijk zijn. Vermoedelijk zou een naar verhouding beperkte waterhoeveelheid nodig zijn voor de zoutbestrijding bij de Volkeraksluisen. In deze beschouwingen wordt de wateronttrekking naar het Zeeuwse Meer buiten beschouwing gelaten. Volgens door Rijkswaterstaat gepubliceerde nota 'De waterhuishouding van Nederland' zou de wateronttrekking bij een Rijnaafvoer groter dan 1000 m<sup>3</sup>/sec zeker gemiddeld 300 m<sup>3</sup>/sec kunnen bedragen. Hier dient nog te worden gewezen op het verschillend karakter, wat hun afvoerregime betreft, van Rijn en Maas. De Rijn wordt wel een gletsjerrivier genoemd. Behalve door afvoer van regenwater in zijn stroomgebied wordt de afvoer van de Rijn bepaald door de sneeuwval in Zwitserland en in Duitsland. De Maas echter is een regenrivier. Zijn afvoer wordt hoofdzakelijk bepaald door de regenval in zijn stroomgebied in België en Frankrijk. De afvoer van Rijn en Maas zijn derhalve nauwelijks gecorreleerd. In een grafiek zou men zien dat de afvoerkrommen van beide rivieren op onregelmatige wijze van elkaar afwijken. In het vervolg van dit artikel zal bij elke opgegeven Rijnaafvoer de Maasafvoer zodanig gekozen worden, dat er evenveel kans bestaat, dat deze Maasafvoer er onder als erboven ligt. We noemen dat dan de 50 % kans afvoer van de Maas.

De afvoerverdeling van het benedenrivierenstelsel kon dus bestuurd worden door twee regelpunten, de stuw te Driel en de Haringvlietsluizen. Van invloed waren voorts de aftappunten, zoals in de Hollandsche IJssel te Gouda en het toekomstige inlaat-

werk voor het Zeeuwse Meer in de Volkerakdam. De getijbeweging in zee, die mede een belangrijke rol speelde bij de afvoer-verdeling in het benedenrivierengebied, was een van dag tot dag verschillend fenomeen; men behoefde allen maar te denken aan dootij, normaalij en springtij. In dit artikel zullen we veronderstellen dat in zee steeds het gemiddeld getij aanwezig is. Onder gemiddeld getij wordt verstaan een getij waarvan onder meer het hoogwater en het laagwater waarden hebben die verkregen zijn door het gemiddelde te nemen van hoogwater en laagwater uit een lange reeks van waarnemingen, terwijl de tijdstippen van hun optreden waren verkregen door de tijdstippen bij elk hoogwater en laagwater ten opzichte van de maan Culminatie van de plaats van de waarneming te middelen. Dan nog was het onzeker of dit gemiddelde getij voor ons doel bruikbaar was. Het was namelijk onzeker hoe de verticale getijden te Hoek van Holland en in de mond van het Haringvliet in de naaste toekomst zouden veranderen door de aanleg van een nieuw havenmond, waarvan de leidammen enkele kilometers verder in zee zouden steken en van de overige Euro-poortwerken en van de natuurlijke aanpassing van de bodemfiguratie in de mond van het Haringvliet door de binnenwaarts gelegen afsluiting.

In het vervolg van deze uiteenzetting werden de veranderingen in de getijbeweging in het benedenrivierengebied beschouwd uitgaande van gegeven Rijnafvoeren en de bijbehorende 50 % kans Maasafvoer, het gemiddeld getij in zee, het stuwprogramma S 250 van de Rijn en het spuiprogramma van de Haringvlietsluizen. Aangenomen werd dat de sluisen tot een Rijnafvoer van ongeveer 1500 m<sup>3</sup>/sec gesloten bleven terwijl de doorstroomopening van de sluisen bij hogere afvoer vergroot werden, en wel steeds zo, dat de 300 mg CL/L grens beneden de Hollandsche IJssel bleef.

Aan de hand van modelproeven en berekeningen zijn prognoses opgesteld over de waterbewegingen in het benedenrivierenstelsel na het gereedkomen van het noordelijk Deltaplan. De onderzoeken betreffende de waterbewegingen in het benedenrivierengebied hadden trouwens steeds voortgang.

Teneinde de veranderingen in de waterbewegingen aanschouwelijk te maken hebben wij voor een aantal peilschaalstations, namelijk die te Hoek van Holland, Rotterdam, Dordrecht, Willemstad Hellevoetsluis en Godschalksoord, de hoogwater en laagwater lijnen getekend die golden voor de afsluiting van het Volkerak, respectievelijk na de afsluiting van zowel het Volkerak als het Haringvliet. Het hoogwater en laagwater te Hoek van Holland bleken nog in geringe mate afhankelijk te zijn van de Rijnafvoer, zodat strikt genomen het verticaal getij te Hoek van Holland niet als onveranderlijke getijrandvoorwaarde mocht worden ingevoerd. Daarom werd bij onderzoeken het zee-einde van het huidige noorderhoofd als randvoorwaarde ingevoerd. De hoogwater en laagwater lijnen te Rotterdam ondergingen een duidelijke grotere verandering door de afsluiting van het Haringvliet en het spuiprogramma met de Haringvlietsluizen.

In Dordrecht werden de veranderingen in de hoogwaters en laagwaters nog veel sprekender dan te Rotterdam. Bij een afvoer van de Bovenrijn van 1500 m<sup>3</sup> / sec., waarbij de Haringvlietsluizen gesloten waren, liep het laagwater 85 centimeter minder laag weg dan vroeger. Het kwam niet meer onder N.A.P. Ook het hoogwater onderging een opmerkelijke verandering. Ten opzichte van het hoogwater van voor de afsluiting van het Volkerak daalde het 40 centimeter. Bij bovengenoemde afvoer daalde het tijverschil dus van 190 centimeter tot 65 centimeter. In het Haringvlietbekken waren de veranderingen van hoogwater en laagwater het grootst. Te Willemstad bedroeg het getijverschil bij gesloten Haringvlietsluizen nog maar 20 centimeter. Bij een afvoer van 1500 m<sup>3</sup>/sec was het laagwater ten opzichte van dat voor de afsluiting van het Haringvliet gedaald met 70 centimeter en het hoogwater gestegen met 130 centimeter.

Wanneer de sluisen bij hoge Rijnafvoeren in de ebperiode werden geopend namen de getijverschillen geleidelijk aan weer toe, zoals ook blijkt uit de grafieken voor de andere stations. Bij Rijnafvoeren groter dan 5000 m<sup>3</sup>/sec, wanneer de Haringvlietsluizen gedurende de lozingsperioden geheel geopend waren, werd het getijverschil te Willemstad ongeveer 85 centimeter; nog een heel verschil met 210 centimeter voorheen.

Tenslotte bleek uit de grafiek voor Hellevoetsluis, dat hoogwater en laagwater daar zeer grote overeenkomst vertoonden met die te Willemstad. Bij hoge Rijnafvoeren zou het tijverschil te Hellevoetsluis ongeveer 10 % groter zijn dan te Willemstad, omdat het laagwater er lager wegliep, door de lozing op volle capaciteit door de sluisen. De hoogwater en laagwater lijnen te Godschalksoord zijn slechts ter wille van de volledigheid bijgevoegd. In fig 4 zijn hoogwater en laagwater dat optreed bij een Rijnafvoer van minder dan 1500 m<sup>3</sup>/sec, wanneer de Haringvlietsluizen dus gesloten blijven, uitgezet als functie van de afstand, te beginnen bij Hoek van Holland en vervolgens landinwaarts via de Nieuwe-Waterweg, de Nieuwe Maas, de Noord, de Oude Maas en de Kil naar het Hollandsch-Diep en het Haringvliet tot aan de mond van het Haringvliet. De overeenkomstige hoogwater en laagwater lijn zijn uitgezet voor het riviertraject Nieuwe Waterweg - Oude Maas en vervolgens weer via de Kil en het Hollandsch-Diep naar de mond van het Haringvliet tot aan de gesloten sluisen. Aan weerszijden van de sluisen traden zeer verschillende hoogwater en laagwater standen op. Het getij dat zich aan de binnenzijde van de sluisen zou manifesteren was immers een gevolg van het getij dat zich vanaf de mond van de Waterweg via de beneden rivieren naar het Haringvliet voortplant.

Door de wrijvingsweerstand, traagheid en komberging onderging het verticale getij gedurende de voortplanting naar het Haringvliet een opmerkelijke verandering zowel in amplitude als in fase. Bij de hierdoor veroorzaakte stromen voegde zich dan voor iedere getijrivier in het benedenrivierengebied het aandeel in de afvoer van Waal, Lek en Maas. De meest opmerkelijke verandering was, dat de bovenafvoer langs de Kil en het Spui nabij de Oude Maas groter werden dan aan de zijde van het Haringvlietbekken.

Wanneer de afvoer van de Bovenrijn groter werd dan 1500 m<sup>3</sup>/sec. en de sluisen geleidelijk aan gedurende de ebperiode verder werden geopend, nam de afvoer langs de Kil en het Spui eerst af om ten slotte bij voldoende grote spuiopening van de sluisen weer dezelfde richting aan te nemen als bij de Toestand.

Ditzelfde verschijnsel zou zich kunnen voordoen indien bij een lage Rijnafvoer met een grote opening van de Haringvlietsluizen gespuid zou worden. De afvoer door de Noord zou dan in plaats van naar het noorden naar het zuiden gericht zijn. In dit geval zou een permanente stroom ontstaan vanaf de mond van de Waterweg naar het Haringvlietbekken en van daar naar de zee. Een dergelijke circulatiestroom zou in korte tijd het gehele benedenrivierengebied doen verzilten.

Tot het moment van de ingebruikneming van de Haringvlietsluizen als regelinstrument waren de sluisen gedurende het gehele getij geopend. Ten gevolge van de blokkering van het Rak van Scheelhoek kon het getij dan vrijwel alleen via de geheel geopende sluisen het Haringvliet binnendringen. Hierdoor zou demping optreden van het getij landinwaarts van de sluisen. Het tijverschil nam te Willemstad af van 165 centimeter tot 145 centimeter en te Dordrecht van 170 centimeter tot 155 centimeter.

Pas bij een rijnafvoer groter dan 1500 m<sup>3</sup>/sec. werd met de sluisen geloosd. Dat betekende dat de sluisen gemiddeld ongeveer 150 dagen per jaar gesloten bleven. In zomers met een lage Rijnafvoer, zoals in 1947 en 1949, zou zelfs gedurende een reeks van maanden geheel niet of nagenoeg niet geloosd worden.

Ten slotte volgt nog een enkele opmerking over de omstandigheden bij hogere afvoeren. Bij Rijnafvoeren groter dan 5000 m<sup>3</sup>/sec

zouden de sluizen vermoedelijk gedurende de eb volledig openstaan. Tijdens zeer hoge Rijnafoeren, zoals de 12500 m<sup>3</sup>/sec in 1926, zouden de sluizen slechts gedurende een beperkt aantal uren per getij gesloten zijn. Ze zijn dan ook nog gedeeltelijk tijdens de vloed open. Bij nog hogere Rijnafoeren zou de tijd van sluiting steeds korter worden, zodat bij zeer extreme omstandigheden voor wat de Rijn- Maasafvoer betrof een toestand wordt bereikt als was terplaatse van de sluizen slechts een open sluitgat aanwezig met een effectieve doorstroomopening beneden N.A.P. van 6000 m<sup>2</sup>. Uiteraard waren dan de stuwen in de Nederrijn en de Maas geheel geopend.

De voor de veiligheid maatgevende waterstanden langs de bovenrivieren zelf werden bepaald door de extreme afvoer van 18000 m<sup>3</sup>/sec, die een kans van optreden heeft van gemiddeld 1 dag per 1000 jaar. De bij deze zeer extreme afvoer behorende waterstanden zouden nauwelijks beïnvloed worden door het Deltaplan. Wel door de kunstmatige en natuurlijke veranderingen in de rivieren bodemfiguratie van de bovenrivieren. In het eigenlijke benedenrivierengebied zelf, beneden Schoonhoven en Werkendam, werden de waterstanden wel beïnvloed door het Deltaplan. In dit gebied bleven de maximale maatgevende stormvloedstanden bepaald door het optreden van een hyperstorm als waarop de beveiliging van het Deltaplan was gericht. Ten slotte kon de vraag gesteld worden hoelang het duurde voordat een wijziging in de afvoer, veroorzaakt door het openen of sluiten van de Haringvliet-sluizen, merkbaar werd in de stromingen op de benedenrivieren en speciaal op de Nieuwe Waterweg.

#### Veranderingen van de stroomsnelheden ten zuiden van de Volkerakdam

De bouw van de Volkerakdam had tot gevolg dat de getijstromen op het riviertraject Volkerak - Krammer - Zijpe - Mastgat - Keeten aanzienlijk was gewijzigd. Hier zullen de veranderingen in het horizontale getij, dus in de stroomsnelheden, worden besproken.

Om onder de invloed van de Volkeraksluiting opgetreden veranderingen te kunnen vaststellen, was een vergelijking getrokken tussen de gegevens van stroomsnelheidsmetingen in de jaren 1965 - 1968, de periode tussen de afsluiting van de Grevelingen en die van het Volkerak, en de resultaten van een aantal meetseries die dateren van na 28 april 1969, de dag waarop het Volkerak dichtging. We maken gebruik van sinds die dag uitgevoerde continue stroomsnelheidsregistraties in het Zijpe, verricht op twee punten in de meetraai op vier tienden van de waterhoogte boven de bodem, van snelheidsmetingen in een raai in de mond van het Keeten nabij Stavenisse, en van de snelheidsmetingen op verschillende hoogten van de verticaal in enkele punten op het traject Volkerak - Zijpe. De exacte bepaling van veranderingen in het horizontale getij was echter veel moeilijker dan men op het eerste gezicht zou zeggen, ze was met name veel moeilijker dan de bepaling van verschillen in het verticale getij. Allereerst omdat het meetmateriaal veel beperkter was dan dat voor verticale tijverschillen. Stroommetingen konden nu eenmaal niet zo gemakkelijk over lange tijd continu worden verricht als registraties van het verticale getij, dat op een peilschaal werd aangetekend. Daar kwam bij dat de stroomsnelheden veel meer dan waterstanden afhankelijk waren van toevallige plaatselijke omstandigheden. Kon men een vaste relatie leggen tussen het horizontale en het verticale getij op een bepaalde plaats, dan zou men vervolgens uit de makkelijker verkregen gegevens omtrent de tijverschillen gevolgtrekkingen kunnen maken voor wat betreft de stromingen. Zulk een verband was er in het algemeen inderdaad. Voor de afsluiting van het Volkerak bleek er in het Zijpe een min of meer lineaire betrekking te bestaan tussen de maximale stroomsnelheden en het getijverschil. En zo mocht men ook aannemen dat er een verband bestond tussen de maximale eb en vloodsnelheden en het getijverschil op een punt aan de kust waarop de afsluiting van het Volkerak geen invloed had gehad. Aan die laatste voorwaarde voldeed zeker het meetstation Grevelingen, onmiddellijk ten westen van de schutsluis te Bruinisse. Dit punt representeerde in onze beschouwing de toestand op zee.

De verandering van het verticale getij te Bruinisse, aan de oostzijde van de Grevelingendam, waar de afsluiting van het Volkerak dus wel invloed had gehad, werd gevonden door vergelijking van de waterstanden in de stations Bruinisse en Grevelingen, waarvan de algemene relatie uit vroegere meetseries bekend was. Het bleek dat die twee getijgrootheden nauw samenhangen en dat hun relatie kon worden benaderd door rechte lijnen. Bij vergelijking van de genoemde lijnen bleken te Bruinisse de volgende veranderingen te zijn opgetreden opgenomen in tabel 1

Tabel 1.

	Hoogwater	Laagwater	Tijverschil
Doodtij	23 centimeter hoger	23 centimeter lager	46 centimeter groter
Gem. tij	28 centimeter hoger	23 centimeter lager	51 centimeter groter
Springtij	32 centimeter hoger	23 centimeter lager	55 centimeter groter

De relatie die op het Zijpe na de afsluiting van het Volkerak was ontstaan tussen horizontaal en verticaal getij kon nu worden benaderd door de maximale stroomsnelheden, verkregen uit de continue registraties op het Zijpe, uit te zetten tegen de in het meetstation Grevelingen geregistreerde getijverschillen. Ter vergelijking waren ook de snelheden in dezelfde punten van het Zijpe voor de afsluiting van het Volkerak opgenomen. Bij deze grafische voorstelling ontstonden puntwolken die inzicht verschafte in de bedoelde betrekkingen. Zo goed mogelijk werd een rechte lijn door deze puntwolken bepaald. Door correlatieberekening werd de vergelijking van de lijn verkregen, terwijl ook standaarddeviatie en correlatie coëfficiënt werden bepaald.

Na de afsluiting van het Volkerak was de correlatiecoëfficiënt bij eb toegenomen, of, in gewone taal: na het wegvallen van de invloed van de stroming door het Volkerak was de maximale ebstroomsnelheid in het Zijpe sterker dan voorheen afhankelijk geworden van het tijverschil. Niet alleen de veranderingen in de maximale vloed en eb snelheden, maar ook de veranderingen in de snelheidskrommen in het Zijpe verdienen de aandacht. De krommen werden samengesteld uit de gegevens van een aantal 13 uren metingen in de verschillende waterloopkundige perioden, namelijk 28 van dergelijke metingen verricht in 1962, dus voor de afsluiting van de Grevelingen en het Volkerak, 18 metingen in 1965 na de afsluiting van de Grevelingen, en 5 gedaan in 1969 na de sluiting van zowel de Grevelingen als het Volkerak.

Om onderlinge vergelijkingen mogelijk te maken werden de gemeten snelheden met behulp van het verticale getij herleid tot gemiddelde getij omstandigheden en daarna opnieuw gemiddeld.

Ook dan bleek, dat na de afsluiting van het Volkerak een geringe toename van de maximum ebsnelheid, ongeveer 3 %, en een flinke vermindering van de maximale vloodsnelheid, ongeveer 22 %, was opgetreden. Opmerkelijk was voorts dat de ebstroom in meetplaats 2, 10 tot 45 graden van richting was veranderd en daardoor tegenwoordig meer naar de oever van St. Philipsland gericht. Voor het Zijpe konden dus de volgende conclusies worden getrokken:

- De maximumsnelheid was er bij gemiddeld getij met 3 % toegenomen.
- Het tijdstip van maximum ebstroom trad er omstreeks 1 uur en 20 minuten eerder op dan voor de afsluiting van het Volkerak.
- De maximum vloednelheid was er bij gemiddeld getij met 21 % afgenomen, terwijl het tijdstip van maximum vloed onveranderd bleef op 1 uur en 50 minuten voor hoogwater.
- Het kenteringstijdstip na laagwater trad 1 uur en 20 minuten eerder op en viel omstreeks 1 uur na laagwater.
- Het kenteringstijdstip na hoogwater trad 1 uur eerder op en viel ongeveer 15 minuten na hoogwater.
- Na de afdamming van de Grevelingen waren de maximale vloednelheden groter dan de maximale ebsnelheden.
- Na de afsluiting van het Volkerak waren de maximale vloednelheden kleiner dan de maximale ebsnelheden.

### Het Keeten

Ook naar de veranderingen van de snelheden in de mond van het Keeten nabij Stavenisse werd een onderzoek ingesteld. In het vaste meetpunt in de meetraai aldaar werd na de afsluiting van het Volkerak de stroomsnelheid een aantal malen gemeten, en wel vier maal gedurende de vloedperiode en zeven maal gedurende de ebperiode.

Voor de afsluiting van het Volkerak waren de snelheden op dit zelfde punt zowel gedurende de vloed als de ebperiode 14 maal gemeten. Alle gemeten snelheden werden weer volgens het gevonden lineaire verband lineair herleid tot het gemiddeld getij te Bruinisse.

De volgende veranderingen konden worden vastgesteld:

- De maximale ebsnelheid was in het meetpunt bij gemiddeld getij ongeveer 30 % toegenomen.
- De duur van de maximumsnelheid was echter wat korter geworden.
- Het tijdstip van maximum ebstroom trad ongeveer 1 uur en 15 minuten eerder op dan voorheen.
- De maximum vloednelheid was bij springtij met 4 % afgenomen.
- De maximale vloed en ebsnelheden waren na de afsluiting van het Volkerak aan elkaar gelijk geworden.
- De kenteringstijdstippen nabij laagwater en hoogwater traden respectievelijk 60 minuten en 40 minuten vroeger op.
- Evenals in het Zijpe was de stroomsnelheidskromme bij vloed sterk van vorm veranderd.

### Traject Volkerak - Krammer - Zijpe - Mastgat - Keeten

In het gebied van het Volkerak en de Krammer werden op 13 en 14 mei 1969 in een zeven tal punten de stroomsnelheden en richtingen gemeten. De gemeten snelheden werden vervolgens herleid tot de waarden bij gemiddeld getij en daarna gemiddeld over twee meetdagen.

Aangezien de snelheden bij de dam nu nul waren, waren daar de grootste veranderingen opgetreden.

De ebsnelheid nam vanaf de Volkerakdam in westelijke richting af tot de oostkant van de Plaat van Oude-Tonge. In nog verder westwaartse richting veranderde de vermindering geleidelijk in een vermeerdering die nabij Stavenisse het maximum bereikte. In het traject Volkerak - Krammer viel het tijdstip van maximale vloed ongeveer 20 minuten vroeger, terwijl het tijdstip van maximale eb ruim 1 ½ uur eerder viel dan voor de afsluiting van het Volkerak. Dit laatste betekende dat de maximale ebstroom optrad bij een omstreeks 1 meter hogere waterstand dan voorheen. Om een volledige verklaring te vinden voor de toename van de ebsnelheden op het traject Zijpe - Mastgat - Keeten werd nog een nader onderzoek ingesteld.

Het gebied waarbinnen het onderzoek werd verricht, werd begrensd door de meetraaien in het Zijpe, in de Krabbenkreek nabij St. Annaland en in het Keeten nabij Stavenisse. Met als randvoorwaarde de gemiddelde verticale getijden te Bruinisse en Stavenisse werd het verloop van de komberging in dit gebied gedurende het getij, zowel voor als na de afsluiting van het Volkerak berekend. Na de optelling van de kombergingsstromen en de stromen door de raaien bij Zijpe en St. Annaland gedurende het verloop van het getij kon de stroom door de raai bij Stavenisse worden berekend, immers het verschil tussen de afvoeren in de raaien Zijpe en St. Annaland enerzijds en Stavenisse anderzijds moest op elk ogenblik gelijk zijn aan de komberging in dit gebied.

Uit de snelheidsgrafieken konden de totale stromen worden afgeleid door de afvoer per eenheid van breedte als functie van de plaats in de meetraai uit te zetten en daarna te sommeren. Voor het berekenen van het verloop van de komberging gedurende het getij in het gebied van Zijpe, Krabbenkreek - Mastgat en Keeten werd het betreffende gebied in een aantal vlakken verdeeld. In elk vak werd de getijlijn bepaald door interpolatie tussen het verticale getij te Bruinisse en Stavenisse. Vervolgens werd met intervallen van een halve meter het oppervlak van de waterspiegel bepaald en uitgezet tegen de waterstand. Daarnaast kon voor elk vlak de waterstandsverandering per tijdseenheid bepaald worden. Door de waterstandsveranderingen te vermenigvuldigen met het oppervlak van het kombergingsgebied kon men op elk moment de hoeveelheid water berekenen die het vak in en uit stroomt.

Dan bleek na de afsluiting van het Volkerak dat de maximale ebafoer in de Krabbenkreek door de grote tijverschillen maar een beetje was toegenomen, die in het Zijpe echter met 12 %, en die in de mond van het Keeten bij Stavenisse zelfs met 28 %.

Men kon zich nu afvragen of de vermeerdering met 12 % van de maximum ebafoer in het Zijpe niet in tegenspraak was met de reeds eerder genoemde toename van de maximum ebsnelheid met 3 %. Dat dit echter niet het geval was kon met de volgende redenering worden aangetoond. De toename van de maximum ebafoer met 12 % was niet alleen een gevolg van de snelheidstoename, maar ook en meer van het grotere stroomvoerende dwarsprofiel dat het Zijpe na de afsluiting van het Volkerak tijdens maximum ebstroom had gekregen.

Het bleek dat het stroomvoerende dwarsprofiel met omstreeks 7 % was toegenomen. Voegde men dit bij de snelheidstoename van 3 %, dan kwam men al aardig in de buurt van 12 %. Voorts bleek uit de afvoerkrommen dat de maximale ebstroom in de mond van het Keeten voor de afsluiting van het Volkerak optrad 3 uur en 20 minuten na hoogwater en na de afsluiting 1 uur en 55 minuten na hoogwater.

Op bovengenoemde tijdstippen werden voor de komberging en de afvoeren in de verschillende raaien de waarden gemeten die in tabel V zijn verantwoord.

De toename van de maximale ebstroom in het Keeten kon dus verklaard worden uit de toeneming van de ebafoeren in het Zijpe en de vervroeging in fase van het tijdstip van de maximum ebstroom, en ook doordat het tijdstip van maximale stroom in de mond van het Keeten na de afsluiting van het Volkerak zeer dichtbij viel bij het tijdstip van de maximum afvoer in de Krabbenkreek, wat vroeger in mindere mate het geval was. Bovendien werd door het vroeger optreden van het tijdstip van maximale stroom ook de komberging van het gebied op dit tijdstip groter dan voorheen, in de eerste plaats omdat dit tijdstip optrad bij een hogere waterstand en er daardoor een groter kombergingsoppervlak aanwezig was, en ten tweede omdat ook de waterstandsveranderingen per tijdseenheid door de toename van het getijverschil groter was geworden.

Tabel III. Raai Zijpe, meetplaats 1.

Vloed / Eb	Tijverschil in cm.	Snelheid in cm/sec voor afsluiting Volkerak	Snelheid in cm/sec na afsluiting Volkerak	Toename / afname in %
Vloed	248	176	137	afname 22 %
Vloed	310	215	178	afname 18 %
Vloed	350	241	203	afname 16 %
Eb	248	174	154	afname 11,6 %
Eb	310	187	187	0
Eb	350	195	208	toename 6,8 %

Raai Zijpe, meetplaats 2.

Vloed / Eb	Tijverschil in cm.	Snelheid in centimeter / sec voor afsluiting Volkerak	Snelheid in centimeter / sec na afsluiting Volkerak	Toename / afname in %
Vloed	248	167	120	afname 28 %
Vloed	310	199	151	afname 24 %
Vloed	350	220	171	afname 22 %
Eb	248	152	149	afname 2 %
Eb	310	166	175	toename 5 %
Eb	350	176	192	toename 9 %

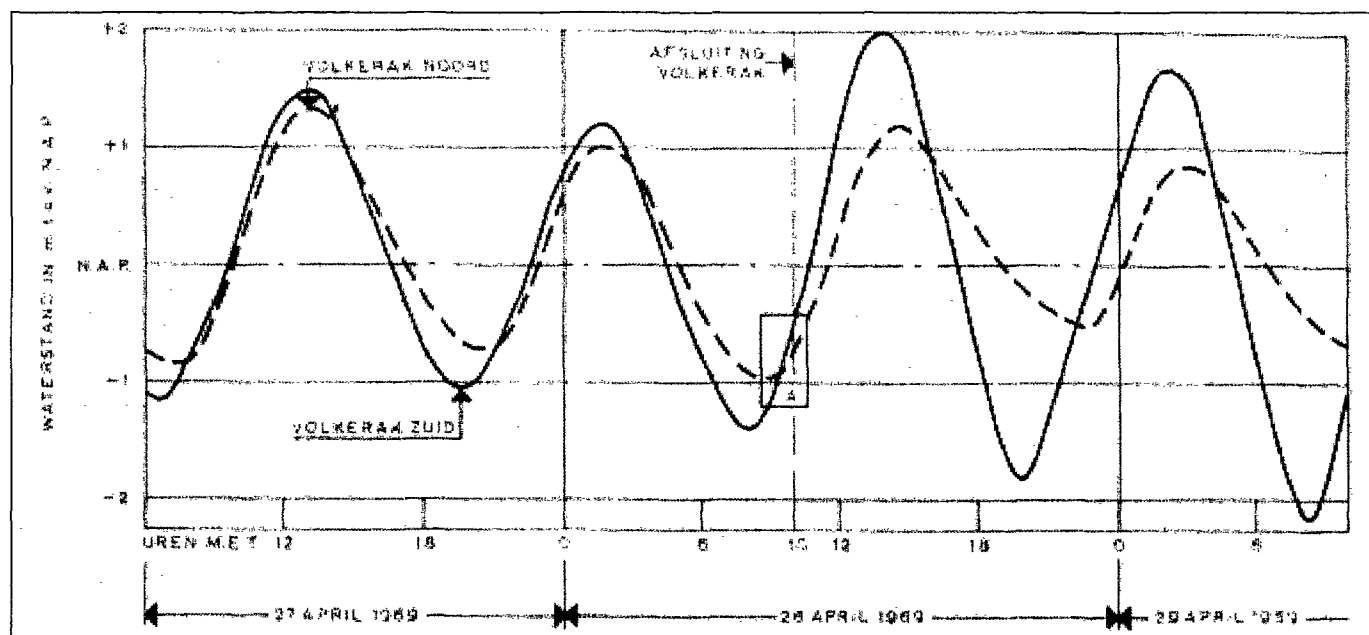
Tabel IV.

Waterstand en oppervlaktwaarsprofiel in het Zijpe tijdens maximale ebstroom bij gemiddeld getij te Bruinisse.

Raai Zijpe	Voor afsluiting van het Volkerak	Na afsluiting van het Volkerak	Toename
Waterstand	N.A.P. - 0.80 m	N.A.P. + 0.20 m	1.00 m.
Oppervlak	10450 m <sup>2</sup>	11120 m <sup>2</sup>	670 m <sup>2</sup>

Tabel V.

Meetraai	Voor afsluiting Volkerak 3 u 20 min na hoogwater max ebafvoer in m <sup>3</sup> /sec.	Na afsluiting Volkerak 1 u 55 min na hoogwater max ebafvoer in m <sup>3</sup> /sec.	Verskil in m <sup>3</sup> /sec.
Zijpe	13500	15200	1700
Krabbenkreek	800	2400	1600
Mond Keeten	15900	20300	4400
Komberging	1600	2700	1100



Waterstanden na de afsluiting van het Volkerak



# De verziltingstoestand op de wateren van het Noordelijk Deltabekken na de afsluiting van het Haringvliet

## Inhoud

- Inleiding
- Vergelijking met het einde van de jaren '60.
- Vergelijking met de jaren '50.
- Inlaatmogelijkheden van zoet water op het noordelijk Deltabekken.
- Maatregelen ter bestrijding van het zoutbezwaar van de Volkeraksluizen.
- Het Hollandsch Diep als natuurlijke zoutopvang van de Volkeraksluizen.
- Zoutbestrijdingsmaatregelen.

## Inleiding

Sedert de ingebruikstelling van de uitwateringssluizen in het Haringvliet in november 1970 was het nog slechts in beperkte mate mogelijk geweest de betekenis en functie van deze sluisen in de werkelijkheid te vergelijken met de voorspellingen die daaromtrent waren gedaan. De onmogelijkheid om de voorspellingen op ruime schaal te toetsen aan de realiteit was te wijten aan de exceptioneel lage Rijnafoeren die sedert het midden van 1971 voortdurend waren opgetreden, en die er de oorzaak van waren dat de sluisen, anders dan bij normale afvoeren het geval zou zijn geweest, vrijwel doorlopend nagenoeg gesloten werden gehouden. Een enkel aspect kan daarentegen door de bijzondere situatie juist zeer goed worden onderzocht, namelijk de betekenis van de Haringvliet-afsluiting voor de vanuit zee in het benedenrivierengebied doordringende verzilting. Juist bij lage Rijnafoeren immers reikte die zoutpenetratie het verst. Daar het middenwesten van ons land voor zijn watervoorziening in hoofdzaak was aangewezen op de Hollandse IJssel, zou het zoutgehalte op de Nieuwe Maas bij de mond van de Hollandse IJssel gehanteerd worden als maat voor de zoutpenetratie vanuit zee in het noordelijk Deltabekken. In concreto werd nagegaan onder welke omstandigheden het zoutgehalte van het water ter hoogte van de Van Brienoordbrug bij gemiddeld getij tijdens hoogwater kentering nog juist geen verhoging onderging door de zeeinvloed. Volgens het eindrapport van de Deltacommissie zou dit bij de overgangstoestand, nog geen watervoorziening van het zuidelijk Deltabekken en nog maar een beperkte rivierwateronttrekking, het geval zijn wanneer de Rijnafoer 1300 tot 1350 m<sup>3</sup>/sec bedroeg en de Haringvlietssluisen nagenoeg gesloten waren. In de jaren waarin het betreffende deel van het eindrapport werd samengesteld, was de zee-invloed op dezelfde plaats tijdens de hoogwater kentering al merkbaar bij 2200 m<sup>3</sup>/sec. Rijnafoer. Volgens de verwachtingen zou de overgangstoestand dus al een belangrijke verbetering betekenen, zeker als men bedenkt dat ook een afvoervermindering moest worden gecompenseerd die optrad door de Rijnkanalisatie.

Men kon zich echter afvragen of toetsing van de genoemde voorspelling wel zin had. In de jaren '60 waren immers belangrijke veranderingen opgetreden in het profiel van de Nieuwe-Waterweg. Naast omvangrijke rivierverbreding- en verdiepingswerken ten behoeve van de scheepvaart kwamen een nieuwe toeleidingsgeul vanuit de Noordzee en een verdieping van de mond bij Hoek van Holland tot stand. Door deze laatste werken trad bovendien nog achterwaartse erosie op. De verziltingstoestand op Oude en Nieuwe Maas verslechterde daardoor aanzienlijk. Het Maaswater ter hoogte van de Van Brienoordbrug bleef in 1966 bij de hoogwater kentering alleen nog vrij van zee invloed bij Rijnafoeren van 2750 m<sup>3</sup>/sec en meer. In 1969 was deze kritieke waarde al opgelopen tot 3500 m<sup>3</sup>/sec. Daar stond echter tegenover dat sinds 1968, tegelijk met de aanleg van de oliegeul, werd overgegaan tot kunstmatige verontdieping van de Rotterdamse Waterweg opdat van de door het Deltaplan mogelijk geworden verbetering van de verziltingstoestand op de Oude en Nieuwe Maas zo min mogelijk verloren zou gaan. Berekeningen volgens een recentelijk ontwikkelde empirische methode wezen uit dat bij verontdieping van de Rotterdamse Waterweg conform de in de Rijkswaterstaatnota 'De waterhuishouding van Nederland' (1968) aangegeven trapjeslijn, een Rijnafoer van 1200 à 1250 m<sup>3</sup>/sec al voldoende zou zijn om de Nieuwe Maas bij de Van Brienoordbrug tijdens hoogwater kentering te vrijwaren van zee-invloed.

## Vergelijking met het einde van de jaren '60

Met behulp van de genoemde empirische methode werd berekend tot waar de zoutpenetratie uit zee onder gemiddelde getij-omstandigheden langs de Nieuwe en Oude Maas tijdens de hoogwater en laagwater stroomkentering zou doordringen bij een Rijnafoer van 1000 en 1500 m<sup>3</sup>/sec en nagenoeg gesloten Haringvlietssluisen. De aandacht wordt gevestigd op de gemiddelde getijomstandigheden. In werkelijkheid doen zich van getij tot getij grote positieve en negatieve afwijkingen voor.

De overeenkomst tussen berekeningen en meting bleek bevredigend. Uit een vergelijking van de verschillende op N.A.P. - 2,50 meter gemeten gradiënten bleek dat de verziltende invloed van de zee nu minder ver langs de Oude en Nieuwe Maas doordrong dan omstreeks 1968 (zie tabel 1).

Tabel 1. Afstand in kilometer waarover de zoutpenetratie uit zee thans minder ver doordringt dan op het einde van de jaren '60.

Rijnafoer te Lobith	1000 m <sup>3</sup> /sec		1500 m <sup>3</sup> /sec	
Stroomkentering	HOOGWATER	LW	HW	LW
Nieuwe Maas	0	1	4	4
Oude Maas	2	2	5	4,5

Verder bleek, dat het zoutgehalte in de mond van de Nieuwe Waterweg bij beide Rijnafoeren vooral tijdens de laagwater stroomkentering was afgenomen, dat de longitudinale gradiënt in het bijzonder tijdens de hoogwater stroomkentering was toegenomen. Dat betekend een aanzienlijke verlaging van de zee-invloed op N.A.P. - 2,50 meter op het rivierenknooppunt bij Vlaardingen (tabel 2).

Tabel 2. De op N.A.P. - 2,50 meter gemeten zee-invloed in milligram CL/L op het rivierenknooppunt bij Vlaardingen: Td t.o.v. To :

Rijnafoer in m <sup>3</sup> /sec	Hoogwater stroomkentering		Laagwater stroomkentering	
	To	Td	To	Td
1000	8500	4000	2700	1000
1500	6500	1700	1300	200



De oorzaak van deze aanzienlijke verbetering van de verziltingtoestand op de Nieuwe Waterweg was gelegen in het feit dat door het bij de lagere rivierafvoeren nagenoeg gesloten houden van de Haringvlietsluizen de vloedvolumina op deze rivier aanzienlijk meer waren afgenomen dan de ebvolumina. Dit betekende een grotere afvoer van opperwater en een gunstiger verhouding tussen afvoer van opperwater en een gunstiger verhouding tussen de afvoer van vloedvolumen dan op het einde van de jaren '60. Daar het zoutgehalte op het rivierenknooppunt bij Vlaardingen kon worden beschouwd als randvoorwaarde voor de verziltingtoestand op de Oude en Nieuwe Maas, doet de verbetering in de verziltingtoestand zich in principe ook op beide laatste genoemde riviertakken gelden.

Een nadere beschouwing laat echter zien dat de Nieuwe Maas bij lage afvoeren anders reageerde dan de Oude Maas. De gemiddelde zoutgehalten waren op beide riviertakken weliswaar aanzienlijk verlaagd, de longitudinale gradiënt was echter op de Nieuwe Maas afgenomen en op de Oude Maas in vergelijking met het einde van de jaren '60 ongeveer 2 kilometer minder ver door, terwijl deze invloed op de Nieuwe Maas tijdens hoogwater stroomkentering even ver en tijdens laagwater stroomkentering bijna even ver merkbaar was als toen. Op de benedenloop van de Oude Maas was de oorzaak van de verbetering gelegen in het feit, dat de nagenoeg gesloten Haringvlietsluizen bij lage rivierafvoeren, een vermindering veroorzaakten van de vloedvolumina. Een aanzienlijke vergroting van de ebvolumina resulteerde in een grotere afvoer van opperwater en een gunstige verhouding tussen afvoer en vloedvolumina. Afvoervermeerdering langs de Nieuwe Waterweg blijkt vrijwel geheel afkomstig van de Oude Maas. Door de op de Oude Maas afgenomen vloedvolumina werd de verhouding tussen afvoer en vloedvolumen op deze rivier tegenwoordig driemaal zo groot als die op de Nieuwe Waterweg. Op het einde van de jaren '60 was diezelfde verhouding op de Oude Maas anderhalf à tweemaal zo groot als die op de Nieuwe Waterweg.

Ondanks het nagenoeg gesloten houden van de Haringvlietsluizen, werd de vermindering van de vloedvolumina op de Nieuwe Maas tijdens normale Rijnafoeren slechts weinig groter en tijdens lage Rijnafoeren zelfs kleiner dan die van de ebvolumina. Als gevolg hiervan namen tijdens normale Rijnafoeren de afvoer van opperwater en de verhouding tussen afvoer en vloedvolumen op de Nieuwe Maas ten opzichte van het einde van de jaren '60 slechts weinig toe en namen zij tijdens de lagere afvoeren van de Rijn zelfs af. De overgang van toe- naar afnemend geschiedde voor wat betreft de opperwaterafvoer vrij abrupt bij Rijnafoeren van 1400 à 1500 m<sup>3</sup>/sec; en voor wat betreft de verhouding tussen afvoer en vloedvolumen meer geleidelijk.

Het afwijkende gedrag van de Nieuwe Maas werd voornamelijk veroorzaakt door het stuwprogramma dat op de gekanaliseerde Nederrijn en Lek ter wille van het handhaven van een voldoende vaardiepte op de Gelderse IJssel moest worden toegepast.

Beneden een Bovenrijnafoer van 2100 à 2200 m<sup>3</sup>/sec werd volgens het stuwprogramma S '300' de afvoer van de IJssel namelijk zolang op 300 m<sup>3</sup>/sec gestabiliseerd, tot als gevolg hiervan de afvoer van de Nederrijn via de stuw bij Driel tot 50 m<sup>3</sup>/sec was gedaald. Beneden een Rijnafoer van 1400 à 1500 m<sup>3</sup>/sec werd vervolgens de afvoer van de Nederrijn met behulp van de stuw te Driel op 50 m<sup>3</sup>/sec gestabiliseerd. Zonder de Rijnkanalisatie zou de afvoer langs de Nieuwe Maas niet alleen tijdens de normale, maar ook tijdens de lagere Rijnafoeren zijn toegenomen.

In dit verband moet worden opgemerkt dat in de periode van 22 september t/m 20 november 1970, toen de Rijnafoer kleiner was dan 1000 m<sup>3</sup>/sec, in feite geen 50 maar 25 à 35 m<sup>3</sup>/sec via de stuw te Driel werd afgevoerd en dat dit zich heeft herhaald in de periode na 7 december 1971, toen de Rijnafoer groter was en varieerde tussen 1100 en 1400 m<sup>3</sup>/sec. Deze relatief sterkere stuw van opperwater via de IJssel naar het IJsselmeer had evenwel geen gevolgen van betekenis gehad voor de zoutbestrijding op de Rotterdamse Waterweg. De vermindering van de afvoer via de stuw bij Driel ging namelijk niet geheel ten koste van de aanvoer van opperwater naar de noordrand van het noordelijk Deltabekken. Het 'knippen' van de stuw te Driel immers deed niet alleen de afvoer langs de IJssel, maar ook die langs de Waal toenemen. Overigens kwam de afvoervermeerdering van de Waal meer de Oude dan de Nieuwe Maas ten goede.

### **Vergelijking met de jaren '50**

De door het inwerking stellen van de Haringvlietsluizen op 2 november 1970 ontstane nieuwe toestand werd eveneens vergeleken met die van de jaren '50. Hoewel dit onderzoek nog niet was afgerond, konden wel enige algemene conclusies worden getrokken. De belangrijkste waren, dat we na 2 november 1970 de verziltingtoestand ten opzichte van die van de jaren '50 tijdens gemiddelde getijomstandigheden op de Oude en Nieuwe Maas bij Rijnafoeren gelijk aan of groter dan 1500 m<sup>3</sup>/sec was verbeterd. Bij kleine rivierafvoeren tijdens de laagwater stroomkentering ten naaste bij gelijk gebleven en tijdens hoogwater stroomkentering was het iets ongunstiger geworden.

Gegeven de rivierconfiguratie van de jaren '50 zou, volgens het Eindrapport van de Deltacommissie, in de periode direct volgend op het inwerkingstellen van de Haringvlietsluizen de verziltende invloed van de zee pas bij een Rijnafoer van 1300 à 1500 m<sup>3</sup>/sec op de Nieuwe Maas bij de mond van de Hollandse IJssel tijdens de hoogwater stroomkentering en gemiddeld getij op zee merkbaar zijn. Gegeven de rivierconfiguratie aan het einde van de jaren '60 en een verontdieping van de Rotterdamse Waterweg volgens de zogenaamde trapjeslijn uit de Rijkswaterstaatnota 'De waterhuishouding van Nederland', zou voor hetzelfde resultaat kunnen worden volstaan met een Rijnafoer van 1200 à 1250 m<sup>3</sup>/sec. Bij de rivierconfiguratie van de jaren '50 en zonder Haringvlietsluizen was daar een Rijnafoer voor nodig van 2200 m<sup>3</sup>/sec. Uit de sinds 2 november 1970 uitgevoerde natuurmetingen bleek, dat de verziltende invloed van de zee thans bij Rijnafoeren van 1500 m<sup>3</sup>/sec tijdens de hoogwater stroomkentering ter plaatse bij gemiddeld getij merkbaar werd. Daar de verontdiepingswerken op de Rotterdamse Waterweg voor wat betreft de Nieuwe Maas zo goed als gereed waren, maar op de Nieuwe Waterweg nog niet, lag het in de lijn der verwachtingen dat na het gereed komen van ook dat laatste deel van de verontdiepingswerken een Rijnafoer van 1250 m<sup>3</sup>/sec bij gemiddelde getijomstandigheden zeker voldoende was voor het weren van zeeinvloed bij de hoogwater kentering ter plaatse van de Hollandse IJsselmond. Daarmee zou dan de in de jaren '50 en '60 voor de thans bestaande overgangstoestand in het vooruitzicht gestelde verbetering van de zoutbestrijding werkelijkheid zijn geworden. Dat hield bovendien in dat de gunstige invloed van het Deltaplan zich ook bij extreem lage afvoeren nog deed gelden. Immers de ongunstige invloed van de door de Rijnkanalisatie veroorzaakte afvoervermindering van de Lek die reeds bij Rijnafoeren van 2200 m<sup>3</sup>/sec begon en bij een afvoer van 1500 m<sup>3</sup>/sec zijn maximum bereikte, nam bij lagere Rijnafoeren slechts zeer geleidelijk af, zonder geheel te verdwijnen. Dit betekende bovendien dat bij lage Rijnafoeren nu mede dank zij het gereedgekomen gedeelte van de verontdiepingswerken de nadelige gevolgen van de Rijnkanalisatie voor het overgrote deel door het Deltaplan werden gecompenseerd, en na het gereedkomen van de verontdieping van de Nieuwe Waterweg conform de voorspellingen geheel zouden worden gecompenseerd.

### **Inlaatmogelijkheden van zoet water op het noordelijk Deltabekken**

Bij een Rijnafoer van 1000 m<sup>3</sup>/sec reikte de zee-invloed tijdens de hoogwater stroomkentering op de Nieuwe Maas gemiddeld

tot op het splitsingspunt Berenplaat, dus tot voorbij de belangrijkste punten voor de onttrekking van rivierwater, de Hollandse IJssel, de inlaatsluis van de Brielse Maasboezem bij Spijkenisse en de inneming van de Rotterdamse Drinkwatermaatschappij op de Berenplaat. Dit wilde echter niet zeggen dat bij een Rijnafoer van 1000 m<sup>3</sup>/sec de inlaat van rivierwater bij de inlaatsluis bij Spijkenisse en het gemaal bij Gouda ten allen tijde moest worden gestaakt.

Bij Spijkenisse werd ingelaten tijdens de laagwater periode, zolang het zoutgehalte van de Oude Maas daar nog niet door de zee was verhoogd. Bij de genoemde Rijnafoer was terplaatse tijdens de laagwater periode gemiddeld nog geen zee-invloed merkbaar (zie fig 4), zodat bij een Rijnafoer van 1000 m<sup>3</sup>/sec via de Spijkenisser inlaatsluis en dus ook bij de Berenplaat nog steeds niet door de zee beïnvloed rivierwater kon worden ingelaten; zulks afgezien van getijafwijkingen.

De inlaatmogelijkheden bij Gouda hingen onder meer af van de vraag of de Hollandse IJssel al of niet verzilt werd door de zoutpenetratie uit zee. Evenals bij Spijkenisse werd dus ook hier uitgegaan van de veronderstelling dat het zoutgehalte van het opperwater zonder meer werd geaccepteerd, ook al steeg het boven 300 milligram/l-grens. De bij verzilting gemiddelde getijomstandigheden in de hier bedoelde zin als de zoutpenetratie uit zee bij de Van Brienoordbrug merkbaar was. Dit gebeurde niet bij een Rijnafoer van 1000 m<sup>3</sup>/sec. Daarom kon worden gesteld dat bij deze Rijnafoer en gemiddeld getij bij Gouda nog niet door de zee beïnvloed rivierwater kon worden ingenomen. Dit afgezien van getij afwijkingen.

Tijdens de droge periode van 1971 uitgevoerde natuurmetingen wezen uit dat de Hollandse IJssel onder gemiddelde getijomstandigheden en bij een dalende Rijnafoer verzilt in hetzelfde afvoerinterval als in de jaren '50, namelijk dat van 850 tot 800 m<sup>3</sup>/sec. Door de bufferwerking van de Hollandse IJssel duurde het ongeveer 4 dagen eer de verzilting bij Gouda merkbaar was. Over de inlaatsluis van de Brielse-Maasboezem kon op grond van dezelfde natuurmetingen worden gesteld, dat de zee-invloed onder genoemde omstandigheden in het afvoerinterval van 950 à 900 m<sup>3</sup>/sec tijdens de laagwater periode op de Oude Maas bij Spijkenisse merkbaar was. In de jaren '50 was dit reeds het geval bij een bijna 2 maal, en op het einde van de jaren '60 bij een 3 maal zo grote Rijnafoer.

Uit een oogpunt van watervoorziening betekende dit dat in beide gevallen een aanzienlijke verbetering werd bereikt in vergelijking met het einde van de jaren '60 en voor zover het de Spijkenisser inlaatsluis betrof ook ten opzichte van de jaren '50. De Deltawerken hebben in het noordelijk Deltabekken kunnen voorkomen dat bij lage Rijnafoeren de inlaatmogelijkheden bij Gouda uit de Hollandse IJssel ten opzichte van die in de jaren '50 door de Rijnkanalisatie werden verminderd.

Om dit te illustreren is het verloop van de daggemiddelden van het zoutgehalte van de Hollandse IJssel bij Gouda en dat van het Rijnwater tijdens de in de jaren 1959, 1969 en 1971 voorgekomen perioden met lage Rijnafoeren met elkaar vergeleken. Evenals in 1959 verzilte de Hollandse IJssel in 1971 in het voor deze rivierarm kritieke afvoerinterval van de Rijn van 850 tot 800 m<sup>3</sup>/sec, terwijl de gemiddelde zoutgehalten bij Gouda werden verhoogd met dezelfde waarden als toen, namelijk met ongeveer 50 milligram Cl/l. In dit verband mag het niet onvermeld blijven dat het zoutgehalte van het bij Lobith binnenstromende Rijnwater sedert deze vergelijkingsjaren ondanks het internationale overleg verder was toegenomen. Was in 1959 een gehalte van 300 milligram Cl/l nog een grenswaarde, toen werden ter plaatse al maxima gemeten van 360 milligram Cl/l.

De in 1969 voorgekomen periode met lage Rijnafoeren gaf enigszins een indruk van de niet onaanzienlijke mate waarin de verziltingtoestand tijdens de droge periode van 1971 ten opzichte van de jaren '50 zou zijn verslechterd, als men nog niet had kunnen werken met het door de Deltawerken mogelijk geworden waterbeheersingssysteem op het noordelijk Deltabekken. De Hollandse IJssel verzilte in 1969 namelijk in het afvoerinterval van 1350 tot 1400 m<sup>3</sup>/sec. De twee situaties waren in dit opzicht evenwel niet helemaal met elkaar te vergelijken. De door de Volkerakafsluiting veroorzaakte afvoervermindering langs de noordrand van het noordelijk Deltabekken werd immers voor slechts 16 % gecompenseerd door de afvoervermeerdering langs de Lek, zoals die bij de toen nog geopende stuwen van de Rijnkanalisatie optrad. Was de bodemligging van de Nieuwe Waterweg in 1971 zo goed als gelijk aan die van 1969, op het gedeelte van de Nieuwe Maas tussen de Van Brienoordbrug en Vlaardingen waren in 1969 de verontdiepingswerken pas in hun beginstadium, terwijl zij in 1971 bijna gereed waren. Door deze factoren zou de droge periode van 1969 in de hiervoor bedoelde hypothetische vergelijking met de droge periode van '1971 zonder Deltaplan ' een te ongunstig beeld geven. Daar stond echter weer tegenover dat in 1971 de Rijnafoeren veel lager waren dan in 1969 en het zoutgehalte van de Rijn veel hoger.

Naast de hiervoor beschreven voordelen van het Deltaplan voor de bestrijding van de zoutpenetratie vanuit zee, bood het plan nog een aantal andere voordelen. Het Deltaplan maakte een gunstiger verdeling over het noordelijk Deltabekken mogelijk van het zoutgehalte van het door Rijn en Maas aangevoerde opperwater, zowel naar plaats als naar tijd. Deze voordelen waren het gevolg van de langere tijd die het water nu verbleef op het noordelijk Deltabekken door het langdurig nagenoeg gesloten houden van de Haringvlietssluisen bij lage Rijnafoeren. Als deze toestand intrad - bij afvoeren lager dan 1700 m<sup>3</sup>/sec - kwamen de genoemde voordelen met name tot uiting wanneer het zoutgehalte van het opperwater hoog werd en de kwaliteit ook in andere opzichten te wensen overliet. Dit gold temeer naarmate de afvoer daalde en de kwaliteit verslechterde.

Voor de gunstiger verdeling naar plaats van het zoutgehalte van het opperwater dient in de eerste plaats te worden gewezen op de kwalitatief gunstige invloed van het Maaswater, dat bij genoemde Rijnafoeren over het gehele noordelijke Deltabekken merkbaar was. Vroeger werd het Maaswater voor het grootste deel via het Haringvliet en voor een kleiner deel via het Volkerak en de Oosterschelde naar zee afgevoerd. Nu werd het door de Waal via de Nieuwe Merwede en het door de Maas via de Amer aangevoerde opperwater even voorbij de Moerdijkbruggen, dat wil zeggen voor de mond van de Dortse Kil, zo goed als volledig gemengd. Van daar werd het via de Kil of het Hollandsch Diep, Haringvliet en Spui over het gehele noordelijk Deltabekken verdeeld. De kwalitatief gunstige invloed van het Maaswater was het sterkst op het Hollandsch Diep, het Haringvliet, de Kil, het Spui en de Oude Maas benedenstrooms van het splitsingspunt Berenplaat. Maar ook op de Noord, de Nieuwe Maas en de Hollandse IJssel was hij merkbaar en wel temeer naarmate de afvoer van de Lek door het 'knijpen' van de stuwen van de Rijnkanalisatie afnam en zolang althans de afvoer van de Maas voldoende groot bleef. In het voorgaande werd van de stilzwijgende veronderstelling uitgegaan, dat de door het schutbedrijf van de Volkeraksluisen op het Hollandsch Diep en Haringvliet veroorzaakte zoutbelasting te verwaarlozen was. In werkelijkheid was dit niet het geval. Onder invloed van krachtadige zoutbestrijdingsmaatregelen die vanaf 1 mei 1971 bij deze sluisen werden getroffen werd het restzoutbezwaar echter wel zover teruggedrongen dat de kwalitatief gunstige invloed van het Maaswater slechts voor een klein deel teniet werd gedaan.

Het 'knijpen' van de stuwen van de Rijnkanalisatie bij lage Rijnafoer teneinde zolang mogelijk voldoende vaardiepte op de IJssel te kunnen handhaven, had voor het noordelijk Deltabekken zowel nadelige als voordelige gevolgen. Op het nadelige effect voor de zoutbestrijding op de Nieuwe Maas en de compensatie die het Deltaplan die het Deltaplan in dit opzicht bood, werd reeds uitvoerig ingegaan. Het voordelige effect van een 'gestuwde' Nederrijn-Lek was gevolg van het feit dat de verblijfstijd van het via stuw Hagestein naar het riviertraject Hagestein/Krimpen a/d Lek aangevoerde opperwater werd vergroot, en wel temeer

naarmate de afvoer via deze stuw verminderde. Een Rijnafvoer van 1400 à 1500 m<sup>3</sup>/sec vormde in dat opzicht een belangrijke grenswaarde. Daalde de Rijnafvoer beneden deze waarde dan werd het gehalte aan opgeloste zouten steeds groter en nam de kwaliteit ook in andere opzichten steeds verder af. De doorvoer van dit steeds slechter wordende Rijnwater via de stuw te Hagestein bleef dan evenwel tot enkele m<sup>3</sup>/sec beperkt. Dit betekende dat bij Rijnafvoeren lager dan 1400 à 1500 m<sup>3</sup>/sec het opperwater op de Lek tussen Hagestein en Krimpen stagneerde, waardoor bijvoorbeeld het zoutgehalte op dit riviertraject slechts zeer vertraagt steeg ten opzichte van dat van het Rijnwater. Zo liep in de periode van 22 september tot 12 november 1971, toen de Rijnafvoer daalde van 1000 tot 760 m<sup>3</sup>/sec, het zoutgehalte van de Rijn te Lobith op van 300 tot 365 milligram/l, terwijl dat van de Lek bij Bergambacht beneden 300 milligram/l bleef. Door de grote verblijfstijd onderging het opperwater op dit riviertraject ook in andere opzichten een aanzienlijke kwaliteitsverbetering. Door een grotere zuurstofopname uit de lucht nam het zuurstofgehalte van het water toe en onderging het water een grote mate van zelfreiniging. Dat wil zeggen dat het nitrificatieproces - de omzetting van ammonia via nitriet in nitraat - werd versneld terwijl door de versterkte slibbezinking het aan het slib adhesief gebonden zware metalen en pesticiden met het slib mee naar de bodem zakte.

Deze in kwaliteit toenemende watervoorraad op de Lek benedenstreams Hagestein was voor de drinkwatermaatschappij van "s-Gravenhage gedurende de droge periode van 1971 van groot voordeel.

Soortgelijke processen als op de Lek hadden zich voorgedaan op het Hollandsch Diep, het Haringvliet en enkele aansluitende benedenrivieren, in het bijzonder als de Haringvlietsluizen bij Rijnafvoeren lager dan 1700 m<sup>3</sup>/sec nagenoeg gesloten bleven. Ook hier steeg het zoutgehalte van het opperwater - storende factoren als de zoutbelasting van de Volkeraksluizen en de verziltende invloed van de zee tijdens bijzondere stormeffecten daargelaten - langzamer dan dat van de Rijn. Bovendien nam in de maanden augustus en september 1971 over het traject Amer - Nieuwe Merwede - Haringvlietsluizen het gehalte aan zuurstof toe van 2 à 3 milligram/l tot 8 à 9 milligram/l, liep het ammoniumgehalte terug van 1,5 milligram/l à 2 milligrammen/l tot 0,7 milligram/l à 0,8 milligram/l en de zwevende stof van enkele tientallen tot enkele milligram per liter.

Daar het in het voornemen ligt verder en dieper in te gaan op de kwaliteitsverbetering die het opperwater in het noordelijk Deltabekken bij lage Rijnafvoeren als gevolg van het Deltaplan en de Rijnkanalisatie onderging, volstaan we met de algemene conclusie dat momenteel de kwaliteit van het opperwater nabij de uitwateringssluizen in het Haringvliet en nabij de Volkerakdam waar de toekomstige inlaatpunt lag voor het Zeeuwse Meer, aantrekkelijk beter was dan die van het Rijnwater bij het binnenkomen van ons land.

#### **Maatregelen ter bestrijding van het zoutbezwaar van de Volkeraksluizen**

Al spoedig na het inwerking stellen van de Haringvlietsluizen op 2 november 1970 bleek dat de zoutbelasting op het Haringvliet ten gevolge van het schutbedrijf met de Volkeraksluizen belangrijker groter was dan werd verwacht. De oorzaak bleek gelegen in het gedeeltelijk in het ongereede raken van de luchtbellenschermen. De installatie was inmiddels herzien, en daarnaast werden nog enkele aanvullende maatregelen getroffen in het belang van de zoutbestrijding. Sinds juli 1971 was de zoutbelasting van de Volkeraksluizen dan ook tot lage waarden teruggelopen.

De grootte van de zoutbelasting die de Volkeraksluizen oplegden aan het Haringvliet, werd berekend uit enkele incidentele zoutgehaltemetingen in en onmiddellijk buiten de schutkolken van de beide sluisen. En daarnaast door vergelijkingen van het continu geregistreerde zoutgehalte van het door de Nieuwe Merwede en Amer aangevoerde, nog niet door de Volkeraksluizen beïnvloede opperwater met dat van wèl door de sluisen beïnvloede water van het Haringvliet bij Middelharnis. Uit deze laatste vergelijking kwam in feite de zoutbelasting van de Volkeraksluizen naar voren, zoals die zich halverwege het Haringvliet, na volledige menging, manifesteerde.

De aldus berekende waarden zullen in het vervolg dan ook als "effectieve zoutbelasting van het Haringvliet" worden aangeduid. In de periode van de afsluiting van het Volkerak op 28 april 1969 en het in werking stellen van de Haringvlietsluizen waren de waarden van deze belasting met de helft teruggelopen. Halverwege 1971 trad dan opnieuw een verlaging op, nu tot relatief zeer lage waarden. Dit was de verbetering waarvan reeds eerder in dit artikel sprake was. Was de periode waarover de effectieve zoutbelasting van het Haringvliet werd voldoende lang, en hadden zich binnen de periode ook voldoende variaties voorgedaan in de afvoer- en getijomstandigheden, dan zou het gemiddelde van deze waarden gelijk zijn aan het gemiddelde van de in dezelfde periode opgetreden 'specifieke zoutbelasting' van de Volkeraksluizen. Deze laatste waarde varieerde door waterstands- en dichtheidsverschillen tussen het Volkerak en het Haringvliet, het aantal schuttingen door de sluisen, de bezettingsgraad van de kolken, en dergelijke meer. Steekproeven ter bepaling van de 'specifieke zoutbelasting' van de Volkeraksluizen konden dan alleen redelijk representatief geacht worden, als de omstandigheden waaronder ze werden uitgevoerd, redelijk representatief waren voor de betrokken periode. Hoewel dit moeilijk in de praktijk viel te arrangeren, werd er toch bij de opzet en de uitvoering van de steekproefmetingen op toegezien dat zo goed mogelijk aan die voorwaarde werd voldaan.

#### **Het Hollandsch Diep als natuurlijke zoutvang van de Volkeraksluizen**

Na het inwerking stellen van de Haringvlietsluizen traden grote variaties op in het verloop van de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet. Deze grote variaties konden niet zonder meer worden verklaard uit fluctuaties in de factoren die bij de bron de hoeveelheden zout bepalen door het schutbedrijf vanuit het Volkerak op het Haringvliet en het Hollandsch Diep werden gebracht. Er waren andere invloeden aan het werk geweest.

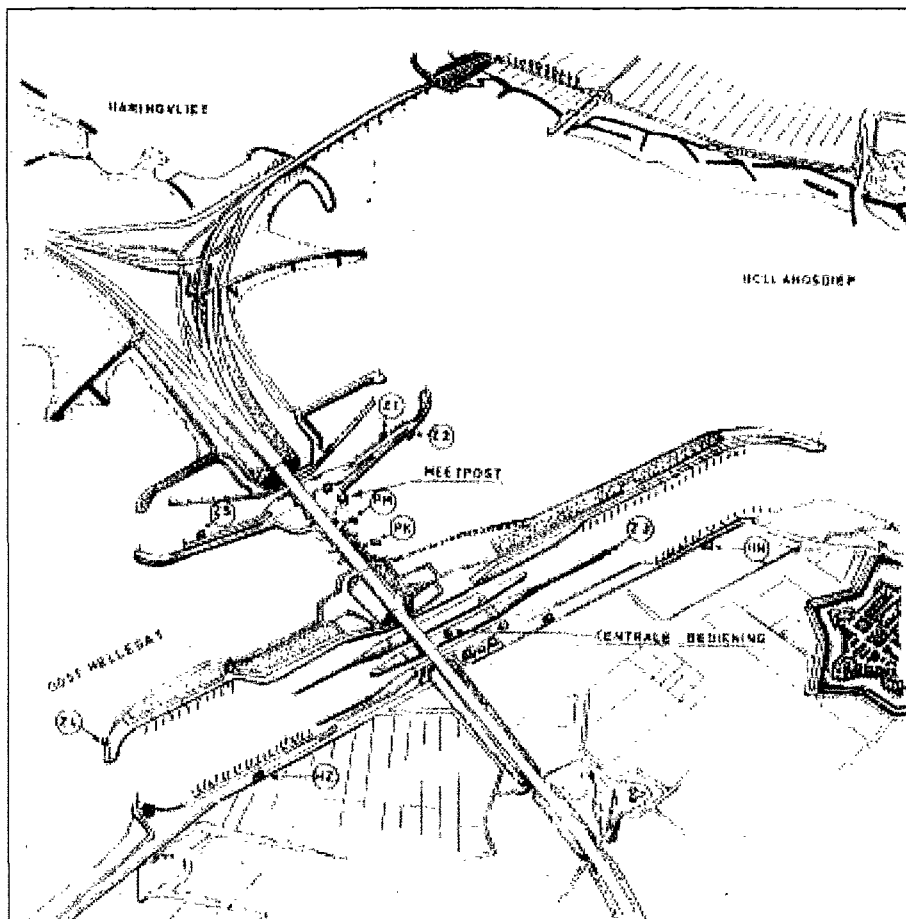
Onderzoek had uitgewezen dat bij opperwaterafvoeren kleiner dan het gemiddelde slechts een beperkt deel van het zoute water direct buiten de mond van de noordelijke voorhaven meteen via het Haringvliet werd afgevoerd. Het grootste en zoutste gedeelte van het schutwater stroomde bij lage opperwaterafvoeren echter over de bodem van de voorhaven naar het Hollandsch Diep. Daar bewoog het zich oostwaarts, dus tegengesteld aan de opperwaterafvoer, over de bodem van een 12 tot 15 meter diepe stroomgeul tussen Willemstad en Noordschans. Bij nog geringere rivierafvoer zocht het vervolgens zijn weg over de bodem van een circa 11 meter diepe scheepvaartgeul, die ten dienste van het industrieterrein bij Moerdijk was gebaggerd tussen Noordschans en Moerdijk. Deze oostwaarts gelegen dichtheidsstroming werd veroorzaakt door de bodemfiguratie van het overgangsgebied tussen het Haringvliet en het Hollandsch Diep. Even ten oosten van de Haringvlietbrug troffen we namelijk een betrekkelijk ondiep gedeelte van de rivierbodem aan. De noordelijke voorhaven stond daarentegen in directe verbinding met de relatief diepe stroomgeul tussen Willemstad en Noordschans.

In de diepe putten tussen de Noordelijke voorhaven en de Haringvlietbrug bleef ook zout water achter. Om dit te verwijderen werden pontons met daarop compressoren boven de diepe putten gelegd. Door met kracht lucht in deze putten te blazen vermengde het zoute en zoete water. Tijdens een spuiperiode met de Haringvlietsluizen werd dit water afgevoerd naar zee. Het

verhoudingsgewijs zware zoute water koos de weg van de minste weerstand, en belandde derhalve in de diepe geulen van het Hollandsch Diep waar het door dichtheidsstromen verder rivierwaarts trok.

Gebruik makend van de genoemde geulen weet de dichtheidsstroming vooral bij kleine rivierafvoeren zelfs langs de bovenstroomse zijde door te dringen in de betrekkelijk ondiepe stroomgeul die langs de noordoever van het Hollandsch Diep liep tussen Moerdijkbruggen en Strijensas. Illustratief daarvoor was dat al op 24 november 1970 een zoutgehalte werd gemeten van niet minder dan 600 milligram Cl<sup>-</sup>/l valk boven de rivierbodem bij de Moerdijkbruggen.

Afhankelijk van de grootte van de afvoer van Waal en Maas werd het zoute schutwater in de diepe geulen als gevolg van door de afvoer en de wind opgewekte turbulenties en circulatiestromingen in meer of mindere mate met het er overheen stromende opperwater gemengd, en tegelijk ermee afgevoerd. Hoe groter de rivierafvoeren, hoe meer de oostwaarts gerichte dichtheidsstromen werden afgezwakt. Bij een rivierafvoer van 2200 m<sup>3</sup>/sec - de gemiddelde afvoer - werd vrijwel al het van de noordelijke voorhaven vrijkomende zoute schutwater meteen langs het Haringvliet afgevoerd.



Meetpunten bij de Volkeraksluizen

De verschijnselen die we hierboven beschreven zijn van een gecompliceerd karakter. Zonder er al te diep op in te gaan kunnen we stellen dat de natuurlijke zoutvangfunctie van het Hollandsch Diep uit een oogpunt van zoutbestrijding zowel gunstige als ongunstige effecten had. Een en ander kon worden toegelicht aan het verloop van de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet in periode 2, 2 november 1970 - midden 1971.

Wanneer de afvoer van de Rijn na een periode van hoge waarden daalde beneden het gemiddelde, dan liep het eigen zoutgehalte van het opperwater vrij hoog op. Maar de effectieve zoutbelasting van het Haringvliet daalde tegelijkertijd, door de natuurlijke zoutvang in het Hollandsch Diep. Men kreeg bijvoorbeeld de in de tabel bij de 2<sup>de</sup> periode genoemde minimale waarden.

Kwam de Rijnafvoer binnen niet al te lange tijd vervolgens weer boven zijn gemiddelde waarde, dan zakte weliswaar het eigen chloridengehalte van het opperwater weer tot betrekkelijk lage waarden, maar de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet nam toe. Het tijdelijk in de diepe geulen geborgen zoute schutwater werd door de grotere afvoeren meegevoerd en bereikte dus met vertraging het Haringvliet. Tengevolge daarvan kon men juist bij grotere afvoeren een maximale zoutbelasting op het Haringvliet verwachten, bijvoorbeeld het maximum bij de 2<sup>de</sup> periode. Het 'eigen' zoutgehalte van het opperwater was dan echter relatief zo laag dat het gehalte op het Haringvliet ondanks de sterk verhoogde effectieve zoutbelasting beneden de 200 milligram Cl<sup>-</sup>/l bleef. Dit verloop heeft derhalve een veel gunstiger einduitwerking dan het omgekeerde, daling van de Rijnafvoeren beneden zijn gemiddelde waarde. Het 'eigen' zoutgehalte van het opperwater was in dat laatste geval doorgaans zo hoog, dat zelfs de sterk verlaagde effectieve zoutbelasting het gehalte op het Haringvliet boven de grens van 300 milligram Cl<sup>-</sup>/L deed stijgen. Het ongunstigst waren die situaties waarin de rivierafvoer langdurig en zonder veel variatie om een lagere dan de gemiddelde waarde bleef schommelen.

Zo'n situatie deed zich voor in de maanden maart, april en mei 1971. De effectieve zoutbelasting stelde zich in de periode in op zijn gemiddelde waarde, ongeveer 60 kg Cl<sup>-</sup>/sec, het eigen zoutgehalte van het opperwater schommelde tussen 280 en 310 milligram Cl<sup>-</sup>/L. Het eindresultaat was, dat het zoutgehalte op het Haringvliet en het Spui opliep tot 400 milligram Cl<sup>-</sup>/L. Op de benedenloop van de Oude Maas liep het gehalte niet verder op dan 300 tot 350 milligram Cl<sup>-</sup>/l, dit door de gunstige invloed van het opperwater van het bovenstroomse deel van de Oude Maas. Tijdens sterke wind kon door optredende circulatiestromingen en turbulenties een tamelijk groot gedeelte van het water in de diepe geulen van de natuurlijke zoutopvang gemengd worden met er overheen stromend opperwater. Even ten oosten van de Haringvlietbrug ontstond dan als het ware een grote zoutwolk in de bovenste waterlagen, die vervolgens langzaam westwaarts wegtrok. Al gaande vlakke die wolk af, dat wil zeggen dat het zoutgehalte dat het zoutgehalte in het centrum geringer werd, en langs de randen toenam. Tegelijkertijd verspreidde de wolk zich op het brede Haringvliet over een steeds grotere oppervlakte. Op het Spui en bij de prise d'eau op de Berenplaat bleek het voorbijrijven van zo'n wolk uit een vrij langdurige, betrekkelijk geringe verhoging van het zoutgehalte. Een bijkomend, zeer ongunstig effect van de natuurlijke zoutvang werd veroorzaakt door het feit dat de diepe geul zich oostwaarts uitstrekte tot voorbij de mond van de Dortse Kil.

Tabel - Effectieve zoutbelasting van het Haringvliet en specifieke zoutbelasting van de Volkeraksluizen.

Alle waarden in kg/sec	Effectieve zoutbelasting van het Haringvliet.			Specifieke zoutbelasting van de Volkeraksluizen	
	Weekgemiddelden			Kolkmeting	
Periode	max.	gem	min	Gemiddeld per etmaal	Datum
28 april '69 - 2 nov '70	242	120	45	ca. 135	17 aug '69
2 nov '70 - 7 juli '71	134	60	17	ca. 32	30 maart '71
7 juli '71 - 16 aug '72	66	18	< 0	19 à 23 1)	6, 9, 19 juli en 24 aug '71

1) deze gemeten waarden zijn inclusief het primair maar exclusief het secundaire effect van het 'nacht-spuien' en het schutten met 'lekkende ebdeuren'.

Het gevaar bestond dus dat ook de Kil werd besmet met het zoute schutwater; het noordelijk Deltabekken zou op die manier achterwaarts via de Oude Maas kunnen verzilten.

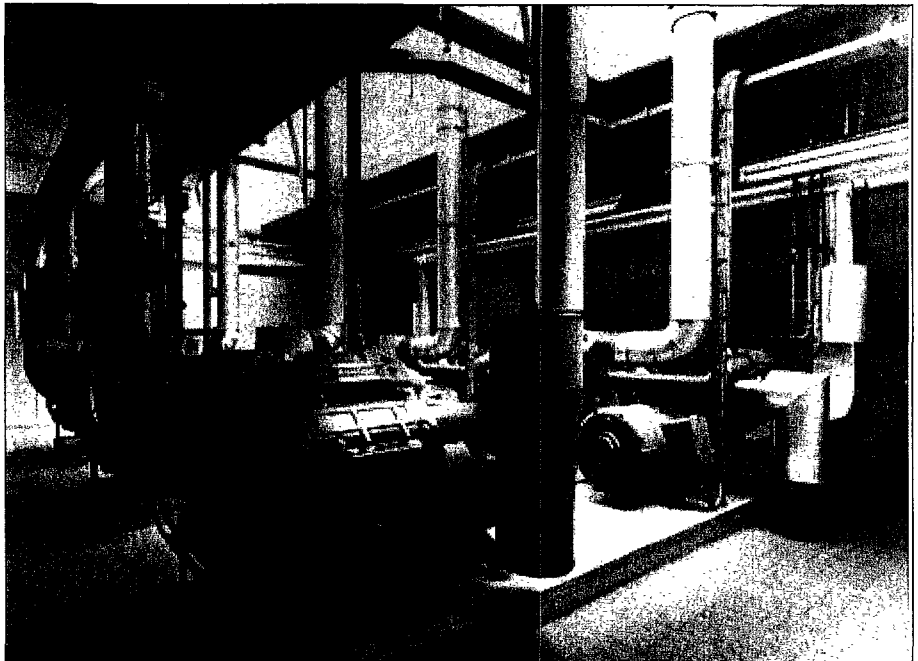
Uit deze problematiek valt af te leiden dat de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet in drie onderscheiden perioden in wezen telkens eender verloopt, en dat de variaties steeds mede een gevolg waren van de bufferwerking van de natuurlijke zoutvang. Het verschil ligt in de grootte van de zoutbelasting van de Volkeraksluizen, en daarmee ook van de effectieve zoutbelasting op het Haringvliet. In de middelste periode waren die waarden tweemaal zo hoog als in de voorafgaande. Ze daalden echter tot èèn zevende van die waarden nadat eenmaal bepaalde zoutbestrijdingsmaatregelen bij de Volkeraksluizen waren getroffen.

### Zoutbestrijdingsmaatregelen

Dat na het inwerkingstellen van de Haringvlietssluisen de zoutbelasting van de Volkeraksluizen terugliep, was voor een niet gering gedeelte te danken aan de sterke vermindering van de getijbeweging en de verhoging van de middenstand op het Haringvlietbekken. In hoeverre de luchtbellenschermen die opgenomen waren in de drempels van de schutkolken der Volkeraksluizen aan deze vermindering hebben bijgedragen, was door het ontbreken van de nodige technische en operationele gegevens helaas niet meer na te gaan.

De vele zoutmetingen die werden uitgevoerd op het Hollandsch Diep, het Haringvliet en het Spui, wezen echter uit dat de zoutbelasting van de twee schutsluizen nog ver boven het toelaatbare lag, ondanks de vermindering die vanaf 2 november 1970 was opgetreden. Na enig onderzoek bleek dat dit onder meer moest worden toegeschreven aan het nog niet operationeel zijn van de bellenschermen omdat deze nog in afbouw verkeerden.

De zoutbelasting diende drastisch te worden beperkt. In de tijd tussen 1 mei en 7 juli 1971 werden toen met kracht een aantal technische voorzieningen en operationele maatregelen doorgevoerd. Allereerst werd het systeem van luchtbellenschermen voorzien van snel te monteren tijdelijke injectiebuizen.



Compressorenkelder voor luchtbellenscherm.

Daarnaast werd de operationele bedrijfsvoering van de Volkeraksluizen geperfectioneerd, zodat een groter rendement van de installatie werd verkregen. Voorts werd besloten dat zolang de waterstanden op het Volkerak lager waren als op het Haringvliet - dus tot na de afsluiting van de Oosterschelde - 's nachts, indien het aanbod van de scheepvaart dit toeliet, met een van de schutsluizen werd gespuid, en dat bovendien ten alle tijde in beide schutsluizen zou worden geschut met 'lekkende ebdeuren', dat wilde zeggen dat de rinketschuiven in de betreffende sluisdeuren gedurende de periode dat het water op het Volkerak lager was dan op het Hollandsch Diep, 60 centimeter open stonden. Ook met de jachtensluis werd geschut met lekkende ebdeuren en er werd 's nachts met deze sluis gespuid. Deze maatregelen hadden tot doel, het water onmiddellijk ten zuiden van de Volkeraksluizen te verzoeten. Om het over de bodem van het Hollandsch Diep doorgedrongen zoute schutwater vlotter te laten afvoeren werd tenslotte de eerder vermelde bodemdrempel ten oosten van de Haringvlietbrug weggebaggerd. Al deze maatregelen en voorzieningen tezamen hadden tot gevolg dat de zoutbelasting van de schutsluizen in het Volkerak was teruggelopen tot van voor deze overgangperiode tot aan de afsluiting van de Oosterschelde acceptabele waarden. De scheepvaart ondervond van het nachtspuien, het schutten met lekkende ebdeuren en van de krachtige luchtbellenschermen relatief slechts weinig hinder. Sinds 1 mei 1971 werd gemiddeld met de twee schutsluizen 30 m<sup>3</sup>/sec naar het Volkerak gespuid.

Door de perfectionering van het systeem van luchtbellenschermen in de zes sluishoofden verminderde de uitwisseling tussen het zout Volkerak en de beide schutkolken en tussen tussen de brakke schutkolken en het zoete Haringvliet. Ook dat kwam de verlaging van de effectieve zoutbelasting ten goede. Het nachtelijk spuien en het schutbedrijf met lekkende ebdeuren deden het zoutgehalte aan de zuidzijde van het sluisencomplex dalen. Bijgevolg nam het dichtheidsverschil over de sluisen af, en daarmee

de resterende zoutbeasting. Ook bleek een niet onaanzienlijk deel van het ondanks de zoutbestrijdingsmaatregelen in de lange voorhaven doorgedrongen zoute schutwater tijdens het nachtelijk spuien naar het Volkerak te worden teruggevoerd.

Het zoete Haringvlietwater dat vanaf 1 mei 1971 werd afgelaten op het Volkerak, moest zich eerst met het zoute water tussen de sluisen en de Oosterschelde vermengen voordat zich een min of meer stabiele zoutgradiënt kon instellen tussen de Oosterschelde en het sluisencomplex. Dit proces verliep, zoals men uit ervaringen tijdens en na de afsluiting van het Volkerak weet, slechts langzaam.

Het nagestreefde effect op de zoutbelasting werd dan ook pas omstreeks het midden van juli goed merkbaar, mede doordat ook de andere maatregelen en voorzieningen verspreid over de maanden mei en juni werden gerealiseerd. Periode 2 ging dus medio 1971 geleidelijk over in periode 3.

De in aanvang genoemde kolkmetingen van de zoutbelasting werden uitgevoerd op 17 juli 1969, op 30 maart 1971, op 6, 9 en 19 juli 1971 en tenslotte op 24 augustus 1971.

Er werd steeds gedurende een dag gemeten. Per sluis werd uit de laatste vier kolkmetingen een 'specifieke zoutbelasting' berekend van ongeveer 16 kg Cl' / sec. Overdag werd met beide sluisen geschut; 's nachts werd met de ene sluis geschut en met de andere sluis gespuid indien de scheepvaart dit toeliet.

Hield men vervolgens rekening met een factor 0,5 tot 1,0 voor het nachtelijke scheepvaartverkeer in de overblijvende sluis, dan kon de specifieke zoutbelasting van het hele sluisencomplex op grond van drie puntmetingen gesteld worden op 19 tot 23 kg Cl' / sec gemiddeld over het etmaal.

Deze waarden lagen iets hoger dan het weekgemiddelde, zoals dat in tabel 1 voor periode 3 is berekend. Dit vond zijn oorzaak in het feit dat het 'nachtspuien' en het werken met lekkende ebdeuren naast het eerder omschreven primaire effect nog een bijkomend voordeel had. Een deel van het in de noordelijke voorhaven doorgedrongen zout werd hierdoor namelijk weer naar het Volkerak teruggevoerd. Uit metingen dienaangaande was gebleken, dat de hierdoor bereikte extra vermindering van het zoutbezwaar varieerde van 1 tot maximaal 5 kg Cl' / sec.

Hield men hiermede rekening dan waren de kolkmetingen en de specifieke zoutbelasting in zeer goede overeenstemming met de berekende gemiddelde waarde van de zoutbelasting in periode 3.

In feite varieerden het spuidebiet en het zoutgehalte van het gespuide water voortdurend, en daarmee ook het resterende zoutbezwaar. Tijdelijk konden daarbij waarden worden bereikt, groter dan 10 kg Cl' / sec; anderzijds konden ze soms zelfs dalen tot beneden nul. Door de krachtdadige zoutbestrijdingsmaatregelen die sinds 1 mei 1971 bij de Volkeraksluisen werden getroffen werd het resterende zoutbezwaar zo geminimaliseerd, dat de kwalitatieve gunstige invloed van het Maaswater, die zich vanaf 2 november 1970 over het hele noordelijke Deltabekken doet gevoelen, slechts voor een klein deel werd tenietgedaan.

Het zoutgehalte van het door de Volkeraksluisen beïnvloede opperwatermengsel van Waal en Maas, dat via het Spui langs de Berenplaat afstroomde op de Oude Maas, bleef zelfs bij lage Rijnafvoeren gemiddeld beneden het zoutgehalte van het Rijn- Waalwater zelf. Vroeger passeerde bij het splitsingspunt Berenplaat alleen door de Waal en Oude Maas aangevoerd Rijnwater. Afgezien van de eventuele verziltende invloed van de zee schommelt het zoutgehalte van het water op dit splitsingspunt nu tussen dat van het Spui en dat van de benedenloop van de Oude Maas. Zoals reeds werd opgemerkt was het resterende zoutbezwaar van de Volkeraksluisen in de bestaande overgangperiode tot kort na de afsluiting van de Oosterschelde nog net aanvaardbaar. Pas bij de afsluiting van de Oosterschelde en het inwerkingstellen van het daarin te bouwen selectieve lozingsmiddel zou deze zoutbelasting definitief tot het einde behoren.

### **Sluis 3 mocht niet gebruikt worden**

Toen de derde sluis kolk gereed was, mocht er toch maar met twee sluisen geschut worden. Dit om te voorkomen dat er teveel zout water naar het Hollandsch Diep werd geschut. Dit gaf veel onbegrip bij de scheepvaart. Ook de medewerkers van de Volkeraksluisen waren verbaasd over deze maatregel. De wachttijden voor de schepen namen niet af. Doordat de medewerkers veel praktische voorbeelden gaven werd bereikt dat tijdens de ebperiode met drie sluisen geschut mocht worden indien dit voor de scheepvaart noodzakelijk was.

Deze maatregel heeft nooit geleid tot een hoger zoutgehalte op het Hollandsch Diep.



# *De instrumentatie van de inlaatsluis in de Volkerakdam*

- Inhoud
- Inleiding.
- Taak van inlaatsluis.
- INVOL-systeem

## **Inleiding**

In de Volkerakdam was, naast een duwvaartsluizencomplex en een jachtensluis voor de scheepvaart, ook een sluis voor de waterhuishouding gebouwd. Deze sluis fungeerde primair als inlaatsluis voor het zoete Zoommeer dat in 1985 ontstond achter de compartimenteringdammen in de Oosterschelde. Voor een doelmatige waterhuishoudkundig beheer, zowel in kwantitatief als in kwaliteit opzicht, moest zoet water in het Zoommeer kunnen worden ingelaten en overtollig water kunnen worden geloosd.

## **Taak van inlaatsluis**

De inlaatsluis in het Volkerak was als inlaatmiddel aangewezen, omdat slechts van het Hollandsch Diep en het Haringvliet zoetwatersuppletatie van voldoende omvang mogelijk was. Als lozingsmiddel werd een spuikanaal naar de Westerschelde geprojecteerd. De Volkerak-inlaatsluis zou dan ook, tezamen met de Haringvlietsluizen, als regelkraan voor de waterbeheersing van het noordelijk Deltagebied werken. Daarnaast had de inlaatsluis tijdelijk nog een aantal andere functies. De belangrijkste daarvan was het aflaten van zoet water uit het Haringvliet ter reductie van de tot 1985 soms aanzienlijke zoutbelasting die het gevolg was van het verkeer door de scheepvaartsluizen in de Volkerakdam.

## **INVOL-systeem**

Ter wille van deze beheersfunctie was een goed inzicht vereist in het afvoerdebiet van de sluis en het zoutgehalte aan weerszijden van de sluis. Voor het bepalen van het afvoerdebiet was bij het Waterloopkundig Laboratorium te Delft hydraulisch modelonderzoek verricht, waaruit verbanden konden worden afgeleid tussen de waterstanden aan weerszijden van de sluis, de stand van de sluisdeuren en het afvoerdebiet. Voor de bepaling van het zoutgehalte moest de geleidendheid en de temperatuur van het water gemeten worden. De indirecte bepaling van zowel het debiet als het zoutgehalte vereiste veel rekenwerk. De resultaten kwamen daardoor vertraagt ter beschikking. Om deze redenen en omdat presentatie van de resultaten op verscheidene plaatsen tegelijk gewenst was, werd de Volkerak-inlaatsluis uitgerust met een instrumentatiesysteem voor automatische bepaling van de debieten en zoutgehalten. Dit was het 'INVOL' systeem.

Het INVOL-systeem werd opgebouwd uit een aantal inwinstations, een centrale verwerkingseenheid en een aantal presentatieplaatsen. Voor de inwinning van waterstanden, schuifstanden, geleidendheid en temperaturen werden 42 opnemers geplaatst, ondergebracht in negen inwinstations op het terrein van het Volkerakcomplex. Twee opnemers voor de waterstandsmeting bevonden zich, verdeelt over twee peilhuisjes - Rak Noord en Rak Zuid - aan weerszijden van de sluis. Dan waren er acht opnemers voor de metingen van de hefhoogten van de vier sluisdeuren over twee inwinstations in de pijlers van de inlaatsluis. Verder telden we nog elf opnemers voor meting van de geleidendheid van het water verdeeld over vijf inwinstations op het sluisencomplex, samen met nog elf andere opnemers, voor meting van de watertemperatuur als onderdeel van de geleidenheidsmetingen.

De geleidenheidsmetingen en temperatuurmetingen waren verdeeld over verschillende niveaus. De inwinstations moesten de meetwaarden vertalen in natuurkundige grootheden, de waterstand bijvoorbeeld in meters ten opzichte van N.A.P., de watertemperatuur in graden Celsius. Hiertoe werden de inwinstations uitgerust met een minicomputersysteem, dat bovendien een eerste controle uitoefende op de meetwaarden. Eén keer per minuut verzonden de inwinstations hun gegevens via kabelverbindingen naar de centrale verwerkingseenheid, die eveneens was uitgerust met een minicomputer. De centrale verwerkingseenheid was opgesteld in een meetpost op het terrein van het Volkerakcomplex bij de inlaatsluis.

Deze centrale computer voerde als eerste bewerking verschillende controles uit op de ingewonnen meetwaarden, waarbij apart foute meetgegevens werden uitgefilterd. De computer beschikte over een aantal verwerkingsprogramma's voor de berekening van het optredende en gesommeerde debiet van elke spuiopening en voor de berekening van het zoutgehalte van elk meetpunt. Door vergelijking van de waterstanden voor en achter de sluis bepaalde de computer het begin en einde van de theoretische spuiperiode en gaf aan het einde het commando 'sluis dicht'. Van elke spuiperiode werd een rapport opgemaakt met daarin de tijdsgegevens, het berekende, gesommeerde en gemiddelde debiet over de spuiperiode en de berekende maximale, gemiddelde en minimale zoutgehalten in een aantal meetpunten. Indien een of meer gegevens niet ingewonnen konden worden, of een inwin- of presentatiestation niet goed functioneerde, werden alarm- of storingsmeldingen verstuurd naar de presentatiestations. Er was onderscheid tussen alarmmeldingen, die werden gegeven wanneer berekening van het debiet onmogelijk was en storingsmeldingen, die betrekking hadden op alle overige storings. Zoals reeds vermeld dienden de gegevens op meer dan een plaats tegelijk te worden gepresenteerd, en wel, behalve in de meetpost van het INVOL-systeem, voor controle en onderhoud van het systeem, niet alleen in het centrale bedieningsgebouw op het sluisencomplex voor de storingswacht maar ook in de meetzaal van het bedieningsgebouw van de Haringvlietsluizen te Stellendam ten behoeve van de onderlinge afstemming van beide sluisen. De stuwmeester van de Haringvlietsluizen was immers verantwoordelijk voor de dagelijkse stuwning. Ten slotte werden de resultaten ook nog gepresenteerd in de meetzaal van de Directie Benedenrivieren en de Directie waterhuishouding en Waterbeweging, district Zuidwest te Dordrecht, dit in het belang van het beheer van het Deltabekken.

De presentatiestations waren uitgevoerd met schrijvers voor de grafische weergave, displays, die een oplichtend cijferbeeld lieten zien, en printers die getypte tekst leverden. Op de schrijvers werden continu de zoutgehalten, het optredende debiet en de waterhoogten geregistreerd. Op de displays werd continu het gesommeerd debiet van de lopende spuiperiode weergegeven. De printer drukte na elk getij het spuirapport over de achterliggende spuiperiode af. Bovendien vond op elk presentatiestation een uitgebreide storingsmelding plaats met oplichtende signaallampjes en berichten op de printers. Het presentatiestation te Dordrecht werd naderhand uitgebreid met een systeem voor registratie van de gegevens op de ponsband, die dan weer dienden als invoer voor water- en zoutbalansen in het noordelijk Deltabekken. De verbinding met Dordrecht en Stellendam werden gerealiseerd via P.T.T.-huurlijnen. De verbinding met de meetpost en het centrale bedieningsgebouw via eigen kabelverbinding. Het INVOL-systeem was zo uitgevoerd dat het later kon worden ingepast in een landelijk meetnet.

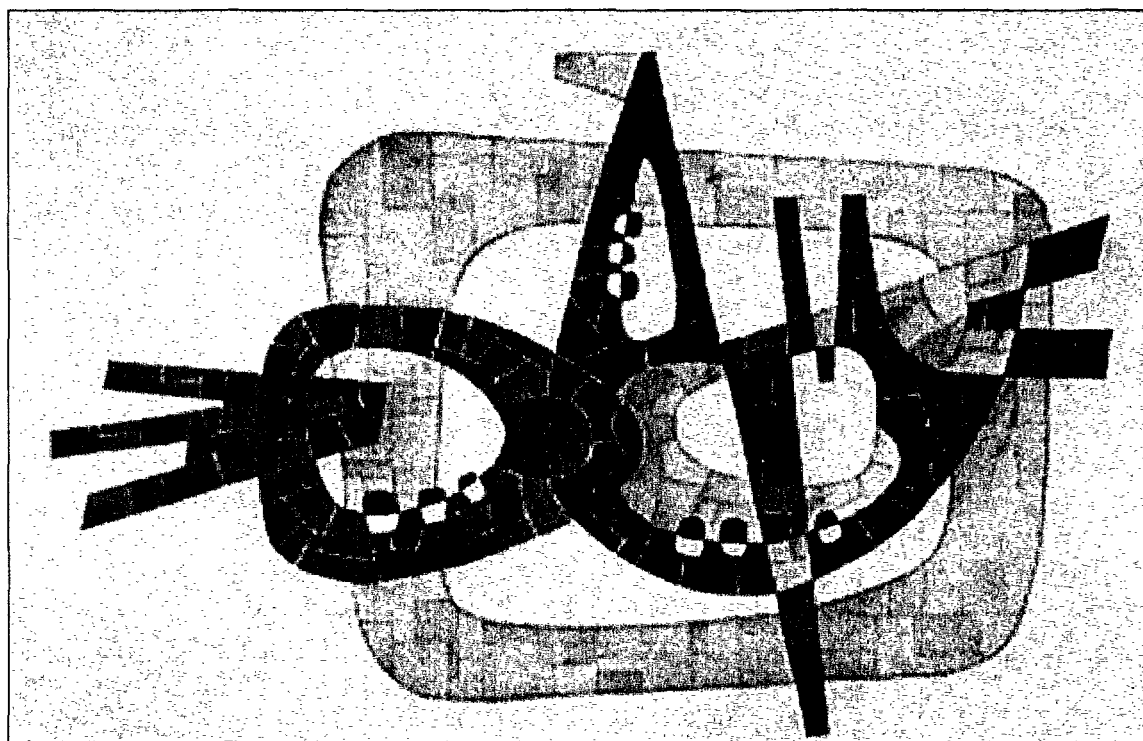




## Kunstwerk

Het centraal machinegebouw van de schutsluizen in het Volkerak was zo zwaar ontworpen dat het behalve een directe voltreffer ook tijdens en na een nucleaire oorlog kon blijven functioneren. Het behoeft misschien geen betoog, dat deze additionele eis het machinegebouw esthetisch niet ten goede kwam. Het ziet er dreigend en massief uit en het aanbod van de aannemer om een der gevels van dit gebouw met een plastiek te laten versieren, werd door de Deltadienst dankbaar aanvaard.

Een vrije opdracht werd verstrekt aan de kunstenaar Jan van den Brink te Etten in Noord-Brabant, die een reliëf in keramische tegels ontwierp met als belangrijkste figuur een vogel. De kunstenaar koos de noordgevel van het gebouw uit als plaats voor zijn plastiek. Omdat daar weinig scherp licht kwam, had het geen zin een plastische vorm te ontwerpen. Om het grijze betonvlak zo veel mogelijk te verlevendigen, heeft de kunstenaar het grove materiaal bouwkeramiek gekozen, een van de weinige grondstoffen die tegen zoveel beton niet vervielen. Het gebouw staat nogal geïsoleerd en de plastiek werd dan ook meestal van vrij grote afstand gezien. De vormen werden daarom eenvoudig gehouden, mede om de harmonie met de betonkubus niet te verstoren. Een rand van kwartsiet zorgt voor de overgang van keramiek naar beton. De plaats op de gevel werd bepaald door en viertal uitlaatpijpen die links in de muur waren verwerkt. Om een zeker kleurevenwicht te bereiken, zou onder de uitlaatpijpen een opgaande beplanting worden aangebracht. Het ontwerp van Van den Brink werd aanvaard, en werd aan het machinegebouw aangebracht.





# De stormen van het najaar 1973 en januari 1976

## Inhoud

- De stormen in het najaar van 1973.
- Golfwaarnemingen.
- Het verloop van de waterstanden en golfbewegingen langs de Nederlandse kust tijdens de storm van 3 en 4 januari 1976.

## De stormen in het najaar van 1973

Zoals vrijwel ieder jaar waren ook in de herfst van 1973 verschillende stormen opgetreden die een nadere beschouwing waard zijn. Op 21 oktober trad een storm op waarbij geen bijzonder hoge waterstanden werden waargenomen, maar wel hoge golven. In november waren met korte tussenpozen gedurende een periode van acht dagen een aantal stormen opgetreden waarbij hoge waterstanden voorkwamen. In december waren twee stormen voorgekomen, en wel op 6 en 7 en op 13, 14 en 15 december. Deze laatste storm was de belangrijkste in het besproken seizoen, en veroorzaakte de hoogste waterstanden.

## Beschouwing

Voor een beschouwing van de waterloopkundige gevolgen der stormen in het Deltagebied waren alleen de stormen van november en december van belang.

In de nacht van 12 op 13 november 1973 trok het frontensysteem van een diepe depressie van noordwest naar zuidoost over ons land. Voor de windsnelheden die daarmee in het Deltagebied gepaard gingen, kiezen we Vlissingen als representatief weerstation. Op 13 november 1973 bedroegen de over 6 uren gemiddelde windsnelheden te Vlissingen.

Tijd	Windsnelheid in m/sec.
00.00	18.0
06.00	10.8
12.00	13.9
18.00	14.4
24.00	10.8

In het noorden van het land was de windsnelheid aanzienlijk groter, op Texel zelfs tot 28 m/sec. De schade aan dijken en duinen was tijdens deze storm in het noorden van ons land dan ook groter geweest dan in het Zeeuwse gebied, waar slechts op het eiland Schouwen duinvoetafslag van 5 meter werd geconstateerd. De waterstanden liepen echter hoog op.

Tabel 1

Datum	Windrichting in graden	Windsnelheden in m/sec.	Sign. Golfhoogte in meter	Gemiddelde periode in sec.	Waterstandsverhoging in meter
November 1972	300	20	4.4	6.7	+ 1.1
April 1973	320	20	4.7	7.8	+ 0.4
Oktober 1973	300	22	4.6	6.6	+ 1.3
November 1973	290	18	3.8	6.0	+ 1.5
December 1973	300-320	21	4.7	6.4	+ 1.5

Door de uitvoering van de Deltawerken waren in het gebied van Oosterschelde en Volkerak in waterloopkundig opzicht ingrijpende veranderingen veroorzaakt. De afsluiting van het Volkerak had het traject Oosterscheldemond - Zijpe - Volkerak tot aan de Volkerakdam in principe gelijk gemaakt aan het traject Oosterscheldemond - Bergen op Zoom. Het was nu eveneens een bassin met afgesloten achterzijde, en een open verbinding met de Noordzee. Kon de getijgolf zich voor de afsluiting van het Volkerak ongehinderd voortplanten naar het noordelijk Deltagebied, sinds de afsluiting werd deze weg door de Volkerakdam afgesneden. Dit veroorzaakte een aanzienlijke versterking van het verticale getij op het Volkerak, omdat de getijgolf nu teruggekaatst werd door de Volkerakdam. De gemiddelde overschrijdingswaarden van de hoogwaterstanden waren daardoor voornamelijk op het Volkerak sterk gewijzigd. De gemiddelde jaaroverschrijdingswaarde van 0,5 of anders gezegd het peil dat gemiddeld een maal per twee jaar werd overschreden noemt men het 'grenspeil'. Wordt deze hoogwaterstand bij overwegend westelijke winden bereikt of overschreden, dan spreekt men van een stormvloed.

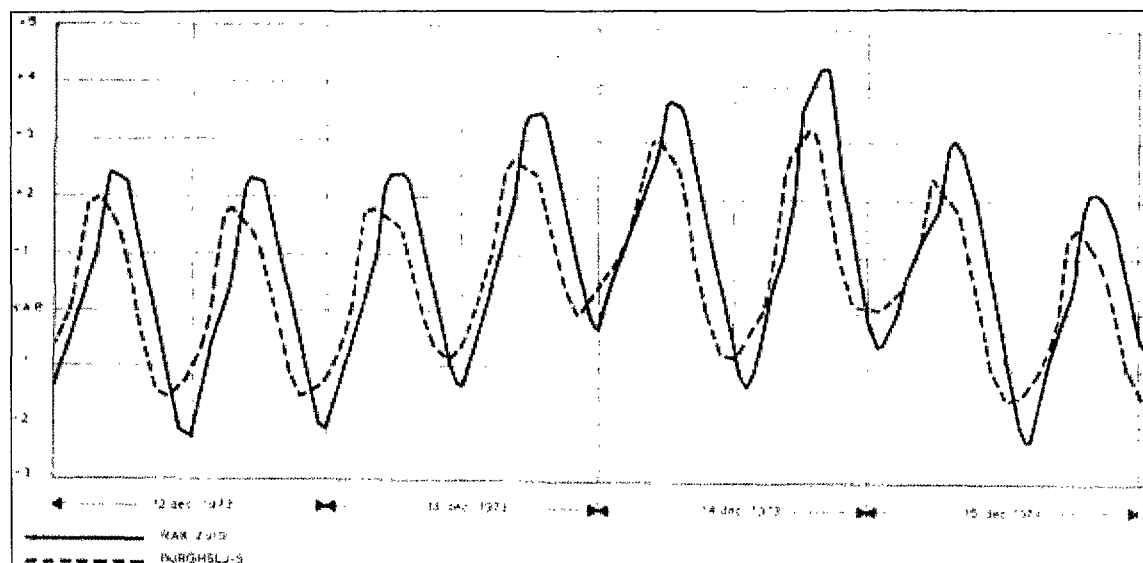
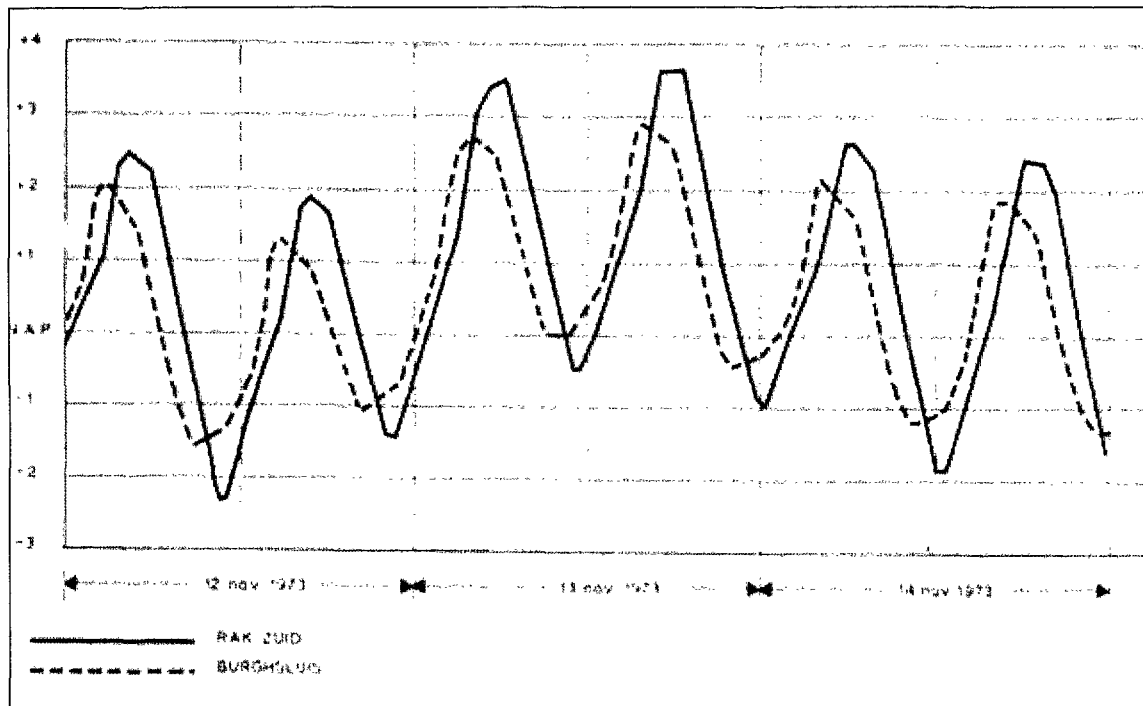
In tabel 2 zijn voor de verschillende stations in het beschouwde gebied de grenspeilen van voor en na de afsluiting van het Volkerak weergegeven.

Tabel 2.

Station	Grenspeil in 1953	Dijkskruinhoogte in 1953	SV-stand 1-2-1953	Grenspeil geldend na afsluiting Volkerak in 1969	Dijkskruinhoogte in 1973	SV-stand 13-11-1973	SV-stand 14-12-1973
Noord-Brabant							
Rak Zuid	305		440	375		364	435
Dintelsas	320	510/530	455	372	620/670	362	430
Steenbergse sas	320	530/580	465	365	570/610	363	426
Overflakkee							
Krammer					620/700	348	413

Schouwen-  
Duiveland

Bruinisse-Zijpe	315	440/500	450	335	510/570	348	414
Zierikzee	290	420/440	432	293	520	275	363
Burghsluis	275	460	420	275	580	286	324
Tholen							
Razernijpolder		640			675	365	434
Stavenisse	305				509	319	391
Zuid-Beveland							
Wemeldinge	330	535		330	680	334	400
Noord-Beveland							
Kats		510/560	460		525/760	319	397
Colijnsplaat	285	520	445		655	297	366
Vlietepolder	285	580	435	285	690	291	330



Bij de storm van 13 november 1973 werd het grenspeil slechts op enkele plaatsen overschreden, en dan nog maar met enkele centimeters.

Achter een op 14 december 1973 oostwaarts over de Atlantische Oceaan koersende depressie ontwikkelde zich een noordwestelijk stormveld over de gehele Noordzee. Deze bereikte zijn hoogtepunt in de nacht van 13 op 14 december, met windsnelheden tot 25 à 30 meter per seconde. Op 14 december waren de over 6 uren gemiddelde windsnelheden te Vlissingen als volgt:

Tijd	Windsnelheid in m/sec.
00.00	13,9
06.00	10,8
12.00	14,4
18.00	16,0
24.00	10,3

Die dag erachter kwam erboven Schotland een storing tot ontwikkeling die in zuidelijke richting koerste. De verwachting was dat deze storing zijn zuidelijke koers zou blijven volgen, met als gevolg dat het bijbehorende stormveld zich zou richten op de Belgische kust. Dijkbewakingstelegrammen waren er dan ook niet uitgegaan. De storing veranderde echter vrij plotseling van richting. De koers werd iets oostelijker, waardoor het stormveld juist over Zeeland trok. De dijkbewakingberichten werden toen telefonisch gegeven.

Deze storm had in het Zeeuwsche gebied aanzienlijk meer schade aangericht aan de waterkeringen dan de storm van november. Tijdens de storm van 14 december waren de grenspeilen in het beschouwde gebied overal aanmerkelijk overschreden. Als men wil zien hoe de waterstanden in het achterwaarts afgesloten bekken steeds verder werden opgezet, bestudeert men in tabel 1 de maximale stormvloedstanden van deze storm in vergelijking met die van 1 februari 1953.

In de mond van de Oosterschelde, nabij Burghsluis, bedroeg het verschil in stormvloedhoogte tussen de stormvloed van 1953 en die van 1973 96 centimeter. In de richting van de Volkerakdam blijkt het verschil geleidelijk af te nemen. De hoogste stormvloedstand van 1973 nabij de Volkerakdam - meetpunt Rak Zuid - lag nog maar 5 centimeter onder het in 1953 bereikte maximumpeil. Dit ondanks het feit dat de stormvloed van 1973 als een lage stormvloed moest worden geclassificeerd.

De verschillen waren niet alleen het rechtstreekse gevolg van de windsnelheid. Er was ook een verschil opgetreden in de manier waarop het astronomische getij zich landinwaarts voortplantte, en wel door de tijdelijk toegenomen waterdiepte.

De maximale waterstandsverhoging door het schijnbare windeffect binnen het Zeeuwse gebied bleek nagenoeg overal ruim 200 centimeter te zijn geweest. Alleen bij de mond van de Oosterschelde, nabij Burghsluis en Vlietepolder, was de verhoging iets minder geweest, ongeveer 170 centimeter.

In 1965 had de Deltadienst een studie gemaakt van het verloop van de hoogwater en laagwater standen die na de afsluiting van het Volkerak bij gemiddeld springtij, tij en doortij op het traject Stavenisse - Volkerakdam zouden gaan optreden. De verschillen tussen de stormvloedlijnen van november en december 1973 en de in 1965 voorspelde hoogwater lijnen zijn nagenoeg constant. Dit zou kunnen betekenen dat het interne windeffect op dit traject tijdens de hier besproken stormvloeden gering was geweest.

Om na te gaan of in de afgesloten Deltabekken, het Veerse Meer en het Grevelingenmeer, tijdens de najaarsstormen waterstandsverschillen waren opgetreden tussen de westelijke en oostelijke oever, werden vergelijkingen gemaakt tussen de peilregistraties aan deze tegenoverliggende oevers.

Door de verschillen in de waterstanden tussen de betrokken peilschaalstations te tekenen, kreeg men een vervalcurve, die de op- en afwaaiing weergaf voor respectievelijk het Veerse Meer en het Grevelingenmeer tijdens de laatste grote storm van 1973. Om de vervalcurve te interpreteren had men bovendien een voorstelling nodig van het verloop van de windsnelheid en de windrichting. Daarom zijn deze gegevens voor het station Vlissingen onder aan de figuur meegegeven.

Tussen 16 en 17 uur daalde de windsnelheid van gemiddeld  $17 \frac{1}{2}$  m/sec tot  $14 \frac{1}{2}$  m/sec om 18 uur. Om 19 uur was de snelheid weer toegenomen tot 16 m/sec. Daarna nam de windsnelheid af tot 8 m/sec om 22 uur.

Bovendien ruimde de wind toen van NNW naar NW ten Noorden. De stuwende kracht waarmee het water tot dan toe in oostelijke richting was gedreven, viel daarmee gedeeltelijk weg, wat tot direct gevolg had dat de waterstanden te Kats en te Bruinisse scherp daalden, zelfs tot beneden de waterstanden aan de westzijde van beide meren. Op 15 december luwde de storm. Beide meren kwamen toen in een periode van uitslingering, wat vooral aan de vervalcurve van het Grevelingenmeer goed te zien is. Berekeningen en metingen van stroomsnelheden zijn in beide meren niet uitgevoerd. Uitgaande van de resultaten van vroegere berekeningen en metingen kon vrijwel met zekerheid worden gezegd dat de stroomsnelheden tijdens de hier besproken stormachtige perioden vrij groot waren geweest, en dat ze de menging in beide meren aanzienlijk hadden bevorderd.

### Golfwaarnemingen

Tijdens de storm van 21 oktober, 13 november en 14 december 1973 waren hoge golven voor de kust opgetreden. Figuur 7 geeft een overzicht van de verschillende meetstations die tijdens de stormperiode informatie over de golfbewegingen hebben verzameld. De meetstations O.S X, B.G. II, Ha VI en Ha I staan langs de zeevaartse rand van de onderwaterdelta van de Oosterschelde, het Brouwershavense Gat en het Haringvliet. De twee eerst genoemde stations op een diepte van N.A.P. - 10 meter, en de overige op N.A.P. - 5 meter. Daarnaast bevonden zich nog twee stations in de nabijheid van het damtracè van de Oosterschelde op ongeveer N.A.P. - 5 meter, èèn station op 1 kilometer zeewaarts van de Haringvlietsluizen en èèn meetstation ten zuidwesten van de Maasvlakte. Twee van deze meetstations, Ha VI en Ma III, waren tijdens de storm van 12 en 13 november omvergegaan, terwijl O.S. X tijdens de novemberstorm defect was. Uit de verkregen golfregistraties werd een aantal karakteristieke parameters van het golfbeeld berekend, de gemiddelde golfperiode en de significante golfhoogte, dat was de gemiddelde hoogte van het hoogste derde deel der golven van een waarneming. In het algemeen kon een duidelijke invloed worden vastgesteld van de variaties in de windsnelheid. Daarnaast viel, met name voor de meetstations O.S. IX, O.S. IV en E'70, de invloed op van het waterstandsverloop. Tijdens de storm van 21 oktober waren de hoogste golven opgetreden omstreeks het hoogwater van 10.00 uur.

Langs de zeevaartse rand van de onderwaterdelta werden in de Oosterschelde significante golfhoogten en gemiddelde golfperiodes gemeten van respectievelijk 4,6 meter en 6,6 sec bij een waterstand van N.A.P. + 2 meter. In de mond van het Haringvliet waren wat lagere waarden gemeten, respectievelijk 3,6 meter en 6,4 sec. Vooral de significante golfhoogte was dus geringer. Deze verlaging was het gevolg van het ondieper liggen van de bodem ter plaatse van de meetstations. De verder landinwaarts gelegen meetstations toonden nog verder gereduceerde waarden, door het energie verlies dat de golven ondervonden terwijl ze via geulen en platen verder de zeearm inliepen.

Ter plaatse van het damtracè in de Oosterschelde liepen de waarden van de significante golfhoogten en van de gemiddelde golfperiodes terug tot respectievelijk 2,0 meter en 3,8 sec. Op 13 november traden de hoogste waarden op tijdens hoogwater van 16 uur. De waterstand bedroeg toen ongeveer N.A.P. + 2,4 meter. Langs de zeevaartse rand van de onderwaterdelta van de

Oosterschelde bedroeg de significante golfhoogte 3,8 meter, en de gemiddelde golfperiode 6,0 sec. Ter plaatse van het meetstation HaVI waren de overeenkomstige waarden 3,0 meter en 6,0 sec. Bij het meetpunt E 70 bedroegen ze 1,20 meter en 4,3 sec. Over het algemeen waren de gemeten waarden wat lager dan tijdens de oktober storm. De oorzaak lag voornamelijk in de wat lagere windsnelheden.

In december traden weer enkele stormen op, de zwaarste op 14 december. De hoogste golven werden toen gemeten tijdens het hoogwater van 18 uur. Bij een waterstand van N.A.P. + 3 meter werden langs de zeewaartse rand van de Oosterscheldemond significante golfhoogten van 4,7 meter gemeten. De daarbij behorende gemiddelde periode bedroeg 6,4 sec. Langs de zeewaartse rand van de mond van het Haringvliet bedroegen deze waarden respectievelijk 3,7 meter en 7,4 sec. Ter plaatse van het damtracé in de Oosterschelde was de golfbeweging aanzienlijk gedempt, en wel tot waarden van 2,5 meter en 5,2 sec. In de mond van het Haringvliet was de golfbeweging terplaatse van E 70 gereduceerd tot respectievelijk 0,8 meter en 4,2 sec.

Uit de besprekingen bleek dat de onderwaterdelta een reducerend effect had op de naar binnen lopende golven. Deze reductie werd voornamelijk veroorzaakt door de breking der golven. Ze had tot gevolg dat bij een bepaalde waterdiepte een bovengrens was aan de mogelijke golfhoogten.

Om een indruk te geven van in hoeverre de najaarsstormen nu vergelijkbaar waren met de zeer zware stormen van 12 en 13 november 1972 en die van 2 en 3 april 1973, zijn de golfenergie-dichtheidsspectra, de significante golfhoogten en de gemiddelde golfperiodes van metingen bij gelegenheid van al die stormen in punt BG II weergegeven.

Dan bleek dat de stormen gemeten naar de golven die ze opriepen voor de kust van het Deltagebied, ongeveer even zwaar waren. Alleen de novemberstorm van het najaar 1973 was niet zo zwaar.

Niet ieder jaar kent een even zwaar stormseizoen. Uit een vergelijking van de overschrijdingsfrequenties van windsnelheden voor de periode september - december van de jaren 1970 tot 1972 met de overeenkomstige waarden voor najaar 1973 bleek dat 1973 een zeer 'onrustig' stormseizoen had gehad. Het aantal stormen waarin windsnelheden van meer dan 18 m/sec voorkwamen, lag in 1973 ongeveer zesmaal zo hoog als in de andere jaren.

#### Het verloop van de waterstanden en golfbeweging langs de Nederlandse kust tijdens de storm van 3 en 4 januari 1976

Op 3 januari 1976 werd ons land geteisterd door een zware tot zeer zware storm. Er traden windkrachten op van 11 tot 12, volgens de schaal van Beaufort. De storm naderde in de avond van 2 januari ons land vanuit het zuid-westen. Het hoogtepunt ervan viel in de nacht van 3 januari tussen middernacht en 4 uur. Langs de Nederlandse kust werden toen gemiddelde windsnelheden bereikt van 25 tot meer dan 30 m/sec. De wind kwam toen uit het westen; vervolgens ruimde hij naar het noordwesten. Pas in de nacht van 4 januari nam de storm sterk in betekenis af. De belangrijkste oorzaak voor het optreden van deze storm moest gezocht worden in een actieve depressie waarvan de kern zich van de Atlantische oceaan via Schotland en Denemarken verplaatste naar Polen. Omstreeks 1 uur in de nacht van 3 januari bevond de kern zich boven het midden van de Noordzee. Omstreeks dat tijdstip kwam bovendien een secundaire depressie van Zuid-IJsland boven het midden van de Noordzee aan, en werd in de hoofdkern opgenomen. Waarschijnlijk werd de oostwaartse beweging van de depressie door deze ontwikkeling vertraagd, waardoor de storm langer bleef aanhouden.

Tijdens het hoogtepunt van de storm, in de nacht van 3 januari had de wind ter plaatse van het lichteiland Goeree en te Hoek van Holland een snelheid van tussen de 22,5 en 25 meter / seconden. Daags daarna bleven nog lange tijd windsnelheden voorkomen tussen de 17,5 en 20 meter /seconden. De meer noordwaarts gelegen stations van IJmuiden en Terschelling gaven daarentegen maximale gemiddelde windsnelheden van 30 à 32,5 m/sec en de windsnelheid bleef daar nog lange tijd liggen tussen 22,5 en 25 m/sec.

De storm ging gepaard met hoge waterstanden langs de kust. De hoge waterstanden werden echter mede veroorzaakt door dat toevallig juist tegelijkertijd met de storm een springtij optrad. In tabel 1 zijn de hoogste waterstanden vermeldt die tijdens de storm van januari 1976 op verschillende plaatsen langs de kust werden waargenomen.

Daarnaast zijn ter vergelijking het grenspeil - dat is het peil dat gemiddeld een maal in de twee jaar overschreden werd - en enige vrij recente stormvloedstanden vermeld.

Tabel 1. Waterstanden t.o.v. N.A.P.

	Vlissingen	Hoek v. Holland	Den Helder	Harlingen	Delfzijl
3 januari 1976	398	296	297	370	440
grenspeil	327	242	215	275	334
ramp in 1953	455	385	325	366	327
22/23 dec.1954	356	300	289	369	393
13/14 dec.1973	355	278	232	330	397

Overeenkomstig de voor de stormvloeden geldende classificatie behoorde de stormvloed van 3 januari 1976 tot de normale stormvloeden. De opgetreden hoogste waterstanden langs de Nederlandse kust kwamen, zeer globaal genomen, gemiddeld èèn keer in de 20 jaar voor.

Ook het golfbeeld langs de Nederlandse kust werd sterk beheerst door de storm. Ter hoogte van IJmuiden op een diepte van 16 meter en ter hoogte van Hoek van Holland op een diepte van 22 meter hadden golfmeetboeien regelmatig golven geregistreerd. Op de zeewaartse rand van de onderwaterdelta van de Oosterschelde werden op een diepte van 10 meter met behulp van een golfmeetpaal golven geregistreerd.

De verschillen in het verloop van de significante golfhoogten en golfperiodes en de hoogste waarden daarvan werden voornamelijk veroorzaakt door lokale verschillen in windsnelheid en bodemdiepte. Hogere windsnelheden veroorzaken uiteraard hogere golven, terwijl vermindering van de waterdiepte toenemende bodemwrijving veroorzaakt, met als gevolg dat de golfhoogte afneemt.

De studie over de gedeeltelijke afsluiting van de Oosterschelde maakte dat de golfbeweging in het mondingsgebied van de Oosterschelde sterk in de belangstelling stond. In dat gebied hebben vier golfmeetpalen regelmatig de golfbeweging vastgelegd: de BG

II, OS X, OS IX, en de OS IV. De BG II en de OS X stonden ongeveer langs de zeevaartse rand van de onderwaterdelta in een waterdiepte van 4,50 meter, respectievelijk 7,50 meter.

Het bleek dat zowel de significante golfhoogten als de gemiddelde golfperioden van de BG II en de OS X hoger liggen dan die van de OS IX en de OS IV. De significante golfhoogten en de gemiddelde golfperioden van de BG II lagen hoger dan die van de OS X. De geconstateerde verschillen tussen de golfparameters van de diverse meetlocaties werden voornamelijk veroorzaakt door de configuratie van geulen en platen.

Voordat de golven uit zee de OS X bereikten, waren zij reeds over banken of platen gekomen met een bodemdiepte van minder dan 10 meter beneden N.A.P. Zulks in tegenstelling tot de golven die BG II bereikten. De golven die aankwamen bij de OS X en de OS IV, waren reeds platen gepasseerd die op 2 à 3 meter beneden N.A.P. lagen. Bovendien bleek dat in het verloop van de significante golfhoogten van de OS IX en de OS IV tijdens de storm duidelijke toppen en dalen te onderscheiden vielen. Op 3 januari omstreeks 2 en 15 uur en op 4 januari om 3 uur zien we toppen en op 3 januari om 7 en 20 uur nemen we dalen waar. Vergelijking van het verloop van de golfhoogten bij de OS IX en de OS IV enerzijds en het verloop van de waterstand ter plaatse van de OS IV, dat nagenoeg gelijk was aan dat ter plaatse van de OS IX, anderzijds leerde dat deze toppen en dalen samenvielen met de hoog- en laagwaterstanden. Naarmate de golven hoger gelegen platen of banken passeerden ging de waterstand blijkbaar een grotere rol spelen in het golfbeeld.

Uit verschillende golfstudies in ondiep water was gebleken dat bij bepaalde waterdiepte een bovengrens bestond voor de daar voorkomende significante golfhoogte. Dit kwam omdat de golven bij geringe waterdiepten energie verloren door wrijving met de bodem. Van deze resultaten werd dankbaar gebruik gemaakt bij het schatten van de ontwerp-golfparameters voor de stormvloedkering in de Oosterschelde. Wanneer men voor de storm van 3 januari het verloop van de significante golfhoogten uitzet als functie van de waterstand, dan ziet men dat de significante golfhoogte iets meer dan de rechtevenredig afneemt met de waterdiepte. Ter wille van de hierboven reeds genoemde studies naar de ontwerp-golfparameters voor de stormvloedkering werd ook naar een relatie gezicht tussen de significante golfhoogte en de gemiddelde golfperiode. Hieruit kwam naar voren dat de significante golfhoogte ter plaatse van het damtracè gemiddeld evenredig was met de gemiddelde golfperiode tot de macht 2,65. Bij het onderzoek indertijd waren slechts significante golfhoogten ter beschikking tot maximaal 1,80 meter.

Tijdens de januaristorm waren echter significante golfhoogten voorgekomen hoger dan 2 meter, met een maximum van 2,25 meter. Bij analyse bleek nu dat de vastgestelde relatie ook voldeed voor de tijdens de januaristorm opgetreden hogere golven. De laatste jaren had het golfonderzoek in de mond van de Oosterschelde zich vooral geconcentreerd op het analyseren van de golfbeweging tijdens zware stormen. De voornaamste reden hiervan was dat de invloed van de onderwaterdelta op de golfbeweging zo ondoorzichtig was dat volstaan moest worden met een hoofdzakelijk empirische aanpak. Het spreekt vanzelf dat de extrapolatie van dergelijke empirische relaties naar ontwerpomstandigheden, met bijvoorbeeld een gemiddelde overschrijdingskans van eens in de 2500 jaar, veel onzekerheden meebracht. Door met name de zeer zware stormen te analyseren kon men dan meer inzicht verkrijgen in de waarde van de toegepaste extrapolaties.

Vanuit het oogpunt van de golfstudie waren de veelvuldig voorgekomen zeer zware stormen van de afgelopen jaren dan ook bijzonder interessant geweest.





# De wegverbinding over het Hellegatsplein

## Inhoud

- Inleiding.
- Dwarsprofielen.
- Verkeerskokers op het Hellegatsplein

## Inleiding

In juni 1976 werd het gedeelte van Rijksweg 19 tussen de Haringvlietbrug en de overbrugging van het sluisencomplex in het Volkerak voor het verkeer opengesteld. Opnieuw was daarmee een fase afgerond in de uiteindelijke vormgeving van het Hellegatsplein, dat fungeerde als knooppunt van de Rijkswegen 18 en 19. Met de aanleg van dit wegenknooppunt midden in het water werd zo'n twintig jaar geleden een begin gemaakt. Maar het Hellegatsplein was niet voor de wegen aangelegd. Het ging primair om de aanleg van een secundaire Deltadam. Deze dam diende tevens om een deel van de Zuid-Hollandse en Zeeuwse eilanden en van West-Brabant uit hun isolement te verlossen, dat wil zeggen, vanuit de Randstad gemakkelijker toegankelijk te maken.

In 1957 kwam de werkhaven te Willemstad gereed, en daarna kon het werk aan de afdamming en aan de aanleg van het verkeerseiland een aanvang nemen. In 1958 en 1959 kwam de secundaire dam over de Hellegatsplaten klaar. Hij vormde een deel van de afsluiting tussen het Haringvliet en het Volkerak, maar tevens de ondergrond voor de aardebaan waarop aan de Flakkeese kant de toerit zou komen naar de brug bij Numansdorp over het Haringvliet. Aan de Haringvlietzijde van deze dam werd een tuimelkade gemaakt van zand bekleed met asfalt, met een kruinhoogte van N.A.P. + 6,75 meter, om de weg op N.A.P. + 5,10 meter te beschermen tegen hoge waterstanden en tegen opwaaiing zolang het Haringvliet nog niet afgesloten was.

In 1964 werd op de aan de Volkerakzijde gelegen brede berm èèn hoofdrijbaan met twee rijstroken van asfaltbeton aangelegd. Daarnaast een 5 meter brede parallelweg van klinkers. In dat jaar kwam ook de brug over het Haringvliet gereed. De wegverbinding Hoekse Waard - Flakkee werd toen in gebruik genomen.

Inmiddels was men begonnen met de bouw van de twee schutsluizen in het Volkerak. Deze sluizen werden in 1967 opgeleverd. Twee jaar later werd de laatste caisson geplaatst in het resterende sluitgat.

Zodar de caissons waren gesloten werd begonnen met het opspuiten van het Hellegatsplein. Toen daar in 1970 de asfaltwegen op waren uitgevoerd, kon de verbinding met Brabant tot stand worden gebracht. Deze verbindingsweg, die later werd uitgebreid tot een verkeersweg van 2x2 rijstroken en daarnaast een parallelweg, had destijds een bochtig tracé vanwege het feit dat hij liep over de zuidelijke ringdijk van de bouwput voor de inlaatsluis en de jachtensluis. Er kwam een gelijkvloerse met stoplichten beveiligde T-aansluiting tot stand tussen deze weg en de eerder genoemde verbinding Hoekse Waard - Flakkee. Voor de definitieve tracés van de wegen werden intussen zoveel mogelijk de aardebanen aangelegd als deel van het opspuitwerk op het Hellegatsplein. De bedoeling was dat er uiteindelijk een driehoekig verkeersknooppunt op het eiland zou ontstaan met ongelijkvloerse kruisingen. Een 'snavelbek' heet dat verkeerstechnisch. De verbinding tussen de Hoekse Waard en Noord-Brabant - Rijksweg 19 - was daarbij ontworpen als doorgaande weg, met een horizontale straal van 1500 meter. Er werden op het plein geen lokale aansluitingen gemaakt. Alle recreatieve bestemmingen op het plein werden uitsluitend bereikbaar gemaakt vanaf de parallelweg.

De verticale belijning van Rijksweg 19 eiste zeer veel ruimte, vanwege de grote doorvaarthoogte die werd aangehouden voor de jachtensluis; niet minder dan 19 meter. Dat hield in dat de bovenkant van de weg daar op N.A.P. + 22 meter kwam te liggen. Deze hoge brug sloot aan op de verlengde overbrugging van de noodzakelijk gebleken derde schutsluis op N.A.P. + 17,40 meter. Maar de grote vrije doorvaarthoogte van de nieuwe jachtensluis was zeker in het belang van de weggebruiker. Tot nu toe betekende passage van elk jacht met meer dan 14 meter masthoogte een brugopening. In juli 1975 waren er bijvoorbeeld gemiddeld 20 brugopeningen per dag. Dit was voor een Rijksweg die in de toekomst een directe verbinding ging vormen met Antwerpen onaanvaardbaar. Temeer daar 3,5 kilometer noordwaarts een beweegbare brug over het Haringvliet lag. De weggebruiker kon dus binnen enkele minuten twee keer voor een omhooggedraaide brug komen te staan. Men verwachtte echter nu de passage tot 19 meter vrij was, dat er bijvoorbeeld zelfs in 1990 in de maand juli niet meer dan 1 à 2 brugopeningen per dag voor de pleziervaart nodig waren.

## Dwarsprofiel

Rijksweg 19, uitgevoerd met 2 x 2 rijstroken, was voor wat het grondwerk betrof geschikt voor 2 x 3 rijstroken. Hiermee werd met de asfaltverharding rekening gehouden. De aanwezige vluchtstrook heeft de breedte gekregen van een toekomstige derde rijstrook, om in de toekomst een langснаad in deze strook te voorkomen.

Verbreding tot 2 x 3 rijstroken op de Haringvlietbrug is echter pas mogelijk indien de aanwezige 5 meter brede parallelweg op die brug kan vervallen.

Het dwarsprofiel van de brug over de schutsluizen is wel geschikt voor 2 x 3 rijstroken, weliswaar dan zonder vluchtstroken, met instandhouding van de parallelweg. De overige verbindingswegen op het plein bestaan uit twee rijstroken met een vluchtstrook. De verlegde parallelweg tussen de overbrugging en de Haringvlietbrug heeft een asfaltbreedte van 5 meter.

## Verkeerskokers op het Hellegatsplein

Op 8 maart 1974 werd te Utrecht de bouw aanbesteed van drie verkeerskokers in gewapend beton op het Hellegatsplein. Het werk werd opgedragen aan de laagste inschrijver, de firma Haverkort te Vroomshoop, voor een bedrag van f 3.427.000, -.

Rijksweg 19 wordt geleid over verkeerskokers en verbindingswegen Flakkee - Hoekse Waard en Brabant - Flakkee. De parallelweg gaat door een afzonderlijke koker. Deze drie kunstwerken konden zonder meer op staal worden gebouwd. In èèn geval was een grondverbetering van 3 meter nodig. De onderdoorgangen hebben een lengte van 120 meter, zijn 15,50 meter breed. Hierin is begrepen een extra breedte voor de nodige zichtlengte, daar de kokers zijn gelegen in horizontale stralen van 400 en 580 meter. Bovendien zijn de kokers al op ruime afstand herkenbaar door hun lange vleugelmuren, die in een zeer opvallende rode kleur geschilderd werden. De kunstwerken werden vanwege hun lengte ook nog voorzien van een dag en nachtverlichting. De directe werkzaamheden tot realisering van de huidige wegverbindingen op het plein werden in feite begonnen in 1972 met de verlenging van de overbrugging van de schutsluizen in verband met de bouw van de derde schutsluis. Hiertoe werd het verkeer ruim een jaar lang over drie baileybruggen geleid. Tegelijk werden een inlaatsluis en een jachtensluis gebouwd, de in rijksweg 19 gelegen overbrugging, en de eerder genoemde verkeerskokers.

Om het verkeer zo weinig mogelijk hinder te laten ondervinden van de werkzaamheden en omgekeerd werd het verkeer verscheidene malen omgelegd. Om voldoende zand uit de zuidelijke ringdijk te kunnen vrijmaken en de continuïteit van de graafwerkzaamheden te verzekeren moest op een gegeven moment worden besloten om het verkeer in twee richtingen door de zuidelijke verkeerskoker te laten rijden, waarvoor per richting èèn rijstrook beschikbaar was. Ondanks het bochtige tracé en spitsuur intensiteiten van zo'n 1350 auto's per uur gaf dit geen moeilijkheden.

Op 27 maart 1976 trad de eerste stremming van het verkeer over de Moerdijkbrug op door het plaatsen van een nieuw brugdeel. Te verwachten was dat dit een aanzienlijke vergroting van het verkeersaanbod op het plein ten gevolge zou hebben. Daarom werd er - en met succes - naar gestreefd om voor die datum weer 2 x 2 rijstroken voor het verkeer te kunnen openstellen. Hiertoe werd de nieuwe oprit in de verbinding naar Brabant aangesloten op de reeds van asfalt voorziene overbrugging van de inlaat- en jachtensluis.

Nadien ging men verder met de afwerking en het asfalteren van de aardebaan van rijksweg 19 en de verbindingswegen in de richting van de Haringvlietbrug. De asfaltconstructie van de hoofdrijbanen bestaat uit twee lagen grindasfaltbeton, 8 en 6 centimeter dik, en een 4 centimeter dikke laag open asfaltbeton.

De parallelwegen bestaan uit èèn laag grindasfaltbeton van 4 centimeter. In een later stadium werden alle wegen nog van een toplaag voorzien.

Daar na de doortrekking van rijksweg 19 alleen nog maar het verkeer van Brabant naar Flakkee en van Flakkee naar de Hoekse Waard en omgekeerd van de T-aansluiting gebruik zou maken, werd ook deze aansluiting gereconstrueerd.

Hiertoe werd al eerder de parallelweg ter plaatse verlegd. Ook werd een herstelmogelijkheid voor fouterijders ingebouwd. Deze T-aansluiting, ook weer van verkeerslichten voorzien, droeg overigens een tijdelijk karakter. Wanneer namelijk ook rijksweg 18 door het afgraven van de tuimelkade op de Hellegatdam tot 2 x 2 rijstroken kon worden verbreed en de twee nog te maken kunstwerken op het Hellegatsplein konden worden gebouwd, kon deze T-aansluiting vervallen. Voor de bouw van het viaduct over rijksweg 18 werd al bij voorbaat een slag gelegd in de verbindingsweg tussen de Hoekse Waard en Flakkee.

De verkeerskokers kregen de namen: Hollands Diep, Ventjager en Meeuwentunnel. Tussen de Meeuwentunnel en Ventjager maakt de weg een rare slinger. Dit is zo gemaakt omdat op het gebied tussen de tunnels meeuwen broeden. Toen de weg klaar was hebben ze een andere broedplaats gezocht.

# De regeringsbeslissing over de afsluiting van de Oosterschelde en de compartimentering

## Inhoud

- De Regeringsbeslissing.
- De waterhuishouding van het Zoommeer.

## De Regeringsbeslissing

Het advies van de Commissie Oosterschelde, dat op 1 maart 1974 aan de Minister van Verkeer en Waterstaat werd aangeboden, kwam in hoofdzaak neer op de bouw van een stormvloedkering, die onder normale omstandigheden een ongeveer tot op de helft gedempte getijbeweging op het Oosterscheldebekken zou toelaten, maar bij gevaarlijke storm zou worden gesloten. Met deze oplossing, zo meende de commissie, zou zowel de veiligheid voldoende zijn gediend - conform de bedoeling van de Deltawet - en kon ook het specifieke hydrobiologische milieu in deze zeearm worden behouden. Het gedeelte van de Oosterschelde dat op deze manier in open verbinding zou blijven met de zee, zou dan echter wel enigermate worden beperkt door de aanleg van twee compartimenteringstammen. Een dam in de zuidelijke mond van het Keeten, de zogenaamde Keetendam, en een in het oostelijk deel van de Oosterschelde, zover mogelijk verwijderd van de oesterbanken bij Yerseke, maar westwaarts van de nieuwe Schelde-Rijnverbinding.

De Raad van de Waterstaat, aan wie het rapport van de commissie Oosterschelde door de Minister van Verkeer en Waterstaat werd voorgelegd, kon zich met deze oplossing van de afsluiting van de Oosterschelde verenigen, zij het dat de Raad zijn voorkeur uitsprak voor een wat andere compartimentering, namelijk een dam tussen St-Philipsland en de Grevelingendam en een dam bij Wemeldinge. Zo zou beter rekening worden gehouden met de belangen van de scheepvaart. Daar stond tegenover, dat de schelpdiercultures bij Yerseke werden opgeofferd. De Raad achtte dit laatste aanvaardbaar, aangezien hij betwijfelde of deze cultures onder de condities van een gehalveerd getij nog wel toekomst hadden. Ook de Provinciale Besturen van Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland evenals de meeste betrokken waterschappen achtten deze wijze van afsluiting van de Oosterschelde desgevraagd aanvaardbaar, zij het onder beding dat het tijdstip van het bereiken van de optimale veiligheid, dat volgens het vigerende Deltaplan voor de betreffende gebieden omstreeks 1978 zou kunnen vallen, niet noemenswaard zou werd verlaat.

Ten slotte werd de Rijksplanologische Commissie door de Minister van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening gevraagd eveneens advies uit te brengen omtrent het rapport van de Commissie Oosterschelde. Deze commissie kreeg daartoe bovendien de beschikking over de adviezen en reacties die dateerden van vòòr dat rapport.

Ter voorbereiding van haar advies stelde de Rijksplanologische Commissie een werkgroep in onder voorzitterschap van de vertegenwoordiger van het Ministerie van Verkeer en Waterstaat.

In de werkgroep hadden vertegenwoordigers zitting van de Ministeries van Cultuur, Recreatie en Maatschappelijk werk. Financiën, Landbouw en visserij, Verkeer en Waterstaat, Volksgezondheid en Milieuhygiëne en Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening.

Op 18 september 1974 bracht deze werkgroep haar rapport uit, waarna op 26 september 1974 het advies van de Rijksplanologische Commissie aan de Minister van Volkshuisvesting en Ruimtelijke Ordening volgde.

Daarin werd de Regering aanbevolen de Oosterschelde, zo dit - na enige nadere studie, waarvan de duur werd geraamd op 1 à 1 1/2 jaar -, technisch uitvoerbaar zou blijken te zijn, af te sluiten met permanente stormvloedkerende doorlaatcaissons. Het advies sprak zich voorts uit ten gunste van een compartimentering van het Oosterscheldebekken, daarbij enerzijds de Raad van Waterstaat volgend in zijn advies omtrent de Philipsdam, anderzijds weer teruggrijpend op het voorstel van de Commissie Oosterschelde voor wat betrof de Oesterdam.

De Rijksplanologische Commissie meende namelijk, dat er goede redenen waren om aan te nemen dat de schelpdiercultures in het te creëren gedempte getij toch zouden kunnen voortbestaan. Teneinde echter daarbij aan de scheepvaartbelangen tegemoet te komen adviseerde de commissie tegelijk tot de aanleg van een nieuw Kanaal door Zuid-Beveland, ter hoogte van Waarde, op de Westerschelde aantakkend en uitmondend ten oosten van de Oesterdam, het zogenaamde Waardekanaal (fig 3). Dit advies werd voor wat betreft de wijze van afsluiting van de Oosterschelde door de Regering overgenomen in haar uiteindelijke beslissing, die op 9 november 1974 aan de Voorzitter van de Tweede Kamer de Staten-Generaal en aan Provinciale Staten van Zeeland werd medegedeeld. Daarbij werd aangetekend dat over de wijze van compartimentering en over de eventuele aanleg van een Waardekanaal nog nader met de Provincie Zeeland overleg werd gepleegd. Deze Regeringsbeslissing werd door de Tweede Kamer na debatten op 19 en 20 november aanvaard.

Er werden echter ontbindende voorwaarden aan deze beslissing verbonden. Indien de afsluiting met permanente stormvloedkerende caissons technisch niet realiseerbaar bleek of niet omstreeks 1985 kon worden verwezenlijkt, ofwel wanneer de kosten van deze afsluiting de nu geraamde kosten wezenlijk te boven gingen, dan ging deze afsluiting niet door, en werd de afsluiting verwezenlijkt volgens het oorspronkelijke Deltaplan.

De Minister verklaarde zich bereid de resultaten van de studies samenhangend met de bouw van de afsluitbare dam te zijner tijd aan de Staten-Generaal te sturen. Ook had de Minister binnen een jaar een interim-rapport over de Rijkswaterstaat in het vooruitzicht gesteld.

Er zouden artikelen verschijnen betreffende laboratoriumonderzoek dat uitgevoerd werd in verband met de hydraulische en de grondmechanische problemen. Voorts zou worden gerapporteerd over de stand van zaken over de mogelijkheden tot bodemverdichting van de ondergrond waarop de fundering van de caissons moest komen te rusten.

Op 23 juni 1976 heeft de Tweede Kamer der Staten-Generaal een brief besproken van de Minister van Verkeer en Waterstaat, gedateerd 17 juni 1976, en handelend over de Oosterschelde. De Minister berichtte daarin aan de Tweede Kamer dat de Regering definitief had besloten de Oosterschelde te doen afsluiten met een stormvloedkering. De brief ging vergezeld van het 'Eindrapport Stormvloedkering Oosterschelde' en een nota getiteld 'Analyse Oosterschelde-alternatieven'.

Zoals reeds werd medegedeeld, besloot de Regering in november 1974 in beginsel om de Oosterschelde te doen afsluiten met permanente stormvloedkerende doorlaatcaissons. Daarbij werden toen echter drie ontbindende voorwaarden gesteld, waarover

een studie van anderhalf jaar uitsluitend zou moeten verschaffen. Deze voorwaarden waren:

- 1 De afsluitbare dam moet technisch uitvoerbaar zijn ( de technische voorwaarden)
- 2 De werken moeten in 1985 kunnen zijn voltooid ( de voorwaarden over de tijdsduur).
- 3 De meerdere kosten mogen een bedrag van f 1750 miljoen met niet meer dan 20 % overschrijden ( de financiële voorwaarden).

Indien aan een of meer van deze voorwaarden niet zou worden voldaan, dan zou de bouw van de stormvloedkering niet doorgaan. In dat geval zou de Oosterschelde alsnog conform het oorspronkelijke Deltaplan worden afgesloten.

Uit het eindrapport 'Stormvloedkering Oosterschelde' bleek thans, dat aan de technische voorwaarden ten aanzien van de tijdsduur kon worden voldaan, terwijl de financiële voorwaarde met slechts een relatief gering bedrag zou worden overschreden.

In het eindrapport werden drie varianten behandeld, die op grond van voorstudies als meest belovend konden worden uitgeselecteerd en wel:

- Caissons op staal, dus gefundeerd op een stortstenen drempel, direct op de eventueel verdichte geulbodem;
- Caissons op putten, waarbij tot diepere draagkrachtige lagen reikende, zeer grote verticaal geplaatste betonbuizen de fundering van de caissons zouden vormen;
- De pijlers op putten waarover verderop iets meer.

Aan een fundering op staal kleefden zeer grote onzekerheden over de drempelopbouw, met name vanwege de natuurlijke zandbeweging in de zeegaten. De variant met de caissons op putten zou f 500 miljoen duurder worden dan de beide andere; ook waren aan de plaatsing van caissons op putten grote risico's verbonden. De voorkeur ging dan ook uit naar het ontwerp met pijlers op putten. De aan deze oplossing verbonden ontwerp- en uitvoeringsproblemen werden oplosbaar geacht ondanks het feit, dat met de uitvoering van zo'n constructie nog weinig ervaring was opgedaan. Deze kering kon in 1985 bedrijfsgereed zijn en de kosten ervan vielen in dezelfde orde van grootte als die van de variant 'caisson op staal'. Mogelijk waren ze zelfs nog wat lager.

De stormvloedkering volgens de 'pijlers op putten' bestond uit pijlers die in de drie geulen van de Oosterschelde werden geplaatst op onderlinge afstanden van 40 meter. Elke pijler werd gefundeerd op drie in de bodem ingegraven putten. Tussen de pijlers - in totaal 83 stuks - werden stalen schuiven gehangen, die onder normale omstandigheden open stonden, maar bij stormvloed konden worden gesloten.

Aanvankelijk was men van mening, dat de stormvloedkering met een dubbel stel schuiven moest worden uitgerust, zoals gebruikelijk bij kunstwerken in een belangrijke waterkering.

Uit de technische studies en uit een uitgevoerde risicoanalyse was evenwel gebleken dat bij een stormvloedkering volgens de pijlerconstructie, in een speciaal geval van de Oosterschelde, zonder enige concessie op het punt van veiligheid kon worden volstaan met een enkele kering.

Het in het eindrapport voorgelegde plan ging uit van een compartimentering volgens model C 3- Kanaal door Zuid-Beveland, overeenkomstig de beslissing van de Regering van december 1975. Dit compartimenteringmodel voorzag in de aanleg van een dam tussen St.-Philipsland en de Grevelingendam - de zogenaamde Philipsdam -, een dam tussen Zuid-Beveland en Tholen - de zogenaamde Oesterdam -, en het verbeteren van het Kanaal door Zuid-Beveland.

Met de bouw van de stormvloedkering was naar raming een bedrag gemoeid van f 2910 miljoen. De compartimentering vroeg een bedrag van f 1175 miljoen en de benodigde partiële dijkverhoging een bedrag van f 180 miljoen.

Vergeleken met de kosten van de afsluiting volgens het oorspronkelijke Deltaplan - totaal f 1550 miljoen - was het nieuwe plan f 2715 miljoen duurder. Deze bedragen waren gebaseerd op het prijspeil van begin 1976. Werd het toegestane bedrag van f 1750 miljoen eveneens omgerekend naar het prijspeil van begin 1976, dan werd dat f 2135 miljoen. Vermeerderd met de toegestane afwijking van 20 % leverde dit een bedrag op van f 2562 miljoen. De meerdere kosten van het nieuwe plan overschreden dit bedrag dus met f 153 miljoen. In het bedrag van f 2910 miljoen was buiten het gebruikelijke percentage voor onvoorzien een extra bedrag voor onvoorzien van f 130 miljoen opgevoerd, omdat het hier een constructie betrof die viel buiten het directe ervaringsveld van de tot op heden uitgevoerde waterbouwkundige werken. Liet men dit bedrag buiten beschouwing, dan kostte het nieuwe plan derhalve f 23 miljoen meer dan de toegestane overschrijding.

Ten tijde van de Regeringsbeslissing van 8 november 1974 had de Regering bepaalde verwachtingen over de toen in het geding zijnde alternatieven voor de beveiliging van het Oosterscheldegebied. Deze verwachtingen waren voornamelijk gebaseerd op datgene wat was neergelegd in de zogenaamde 'rode nota' van de Rijksplanologische Commissie over de Oosterscheldekwestie. Intussen was ons inzicht in deze materie belangrijk verbreed en verdiept, in het bijzonder door het opstellen van een beleidsanalyse door de Rand Corporation te Sancta Monica, Californie, in samenwerking met de Rijkswaterstaat, waarover reeds mededelingen werden gedaan.

Een eerste verslaglegging van deze beleidsanalyse had geresulteerd in de nota 'Analyse Oosterschelde-alternatieven', die zoals we al zeiden, door de Minister werd gevoegd bij zijn brief aan de Tweede Kamer van 17 juni j.l. In deze nota, die niet technisch van aard was, werden argumenten bij elkaar gezet op grond waarvan men tot de ene of andere beleidsbeslissing zou kunnen komen. In de hoofdstukken over veiligheid, milieu, visserij, waterhuishouding, scheepvaart, recreatie en ruimtelijke inrichting, procedures, kosten en uitvoeringsaspecten en werkgelegenheid en economie, werd getracht tot een zoveel mogelijk exact gekwantificeerde vergelijking te komen tussen de ter discussie staande alternatieven.

De Analysenota betreft in de vergelijking:

- Een stormvloedkering met compartimentering;
- Afsluiting conform het oorspronkelijke Deltaplan met compartimentering
- Het openlaten van de Oosterschelde met de dijkverhoging en compartimentering.

Op grond van de resultaten van de studies en gelet op de grote waarde die moest worden toegekend aan het behoud van onvervangbare natuurgebieden, meende de Regering dat moest worden heengestapt over de betrekkelijk geringe overschrijding van de financiële ontbindende voorwaarde, en besloot daarom de Oosterschelde te doen afsluiten met een stormvloedkering.

De Regering was er daarbij voorshands van uitgegaan dat de stormvloedkering een doorstroomopening zou krijgen van 11500 m<sup>2</sup>, datgene wat een getijverschil bij Yerseke mogelijk maakte van 2,30 meter, dat was 60 % van het toenmalige getij van de Oosterschelde. Aan de hand van de verdere studies van Rijkswaterstaat zou uiteindelijk voorjaar 1977 door de Regering nader worden beslist of het gewenst was de doorstroomopening van de stormvloedkering vast te stellen op maximaal 20 000 m<sup>2</sup>, dat-

gene wat bij Yerseke een gemiddeld getijverschil van 3,10 meter mogelijk zou maken, dat wilde zeggen 90 % van het huidige Oosterscheldegetij. Deze laatste oplossing vergde een extra investering van f 260 miljoen.

De Regeringsbeslissing werd na een debat op 23 juni door de Tweede Kamer aanvaard. Een doorstroomopening van 20000 m<sup>2</sup> werd door de Kamer echter voorshands afgewezen op grond van de eraan verbonden hogere kosten. De Kamer nodigde de Regering voorts uit om bij de verdere uitvoering van de werken grote prioriteit toe te kennen aan de zoetwaterhuishouding in het Zoommeer en in het noordelijk Deltabekken.

### **De waterhuishouding van het Zoommeer**

Reeds eerder werd geschreven over de instelling van de Commissie Compartimentering Oosterschelde en over de redenen om tot de aanleg van compartimenteringdammen over te gaan. Eén van de redenen was, dat het oostelijk deel van de Oosterschelde en het Volkerak zoet moest kunnen worden gemaakt in het belang van de waterhuishouding. Op het ogenblik werd het noordelijk Deltabekken namelijk nog zwaar met zout belast bij de Volkeraksluizen, omdat deze sluizen niet waren voorzien van een effectief systeem voor de scheiding van zout en zoet water.

Maar het noordelijk Deltabekken had een belangrijke functie te vervullen in de zoetwatervoorziening voor land- en tuinbouw en in de drinkwatervoorziening. Het was dus van groot belang dat er een einde kwam aan de zoutwaterbelasting bij de Volkeraksluizen. Men dacht dit te bereiken door een zoetwatermeer aan te leggen - het zogenaamde Zoommeer - ten zuiden van de Volkerakdam. Vanuit dit meer kon dan bovendien de zoetwatervoorziening van onder andere westelijk Brabant worden verzorgd.

Bij de Regeringsbeslissing van juni 1976 om de Oosterschelde af te sluiten met een beweegbare stormvloedkering werd bovendien vastgesteld dat de Oosterschelde zou worden gecompartmenteerd.

Eén van de nota's die aan de Regeringsbeslissing ten grondslag lag, was de nota 'Analyse Oosterschelde Alternatieven'. In deze nota vind men een globale beschouwing over de waterhuishouding van het Zoommeer. De beschouwingen zijn reeds samengevat, maar we gaan er hier nu verder op in en zullen de stand van zaken over de studie van waterstanden en de zoutgehalten op het Zoommeer bespreken. In het belang van de waterhuishouding op het Zoommeer werden overigens ook studies verricht naar andere facetten van het waterkwaliteitsbeheer. Hierop wordt nog nader ingegaan.

Het Zoommeer ontstond na de aanleg van de Philipsdam en de Oesterdam. Het zoete Zoommeer werd dan omgeven door het Haringvliet, het Grevelingenmeer, de Oosterschelde en de Westerschelde. Het Haringvliet was een zoet water. Het Grevelingemeer was nog zout, maar misschien werd het na 1985 verzoet. De Oosterschelde en de Westerschelde waren zoute getijdenwateren. Op het kaartje zien we voorts dat een aantal Brabantse riviertjes in het Zoommeer uitmondt. Dan waren er nog de op het Zoommeer uitslaande polders Tholen, Flakkee en westelijk Noord-Brabant. Het Zoommeer had voor zijn waterhuishouding verder nog te maken met de reeds bestaande scheepvaartsluizen in de Volkerakdam. Tevens met een sluiscomplex dat geprojecteerd was in de Philipsdam en met een sluis voor de kustvaart op Bergen op Zoom, die kwam in de Oesterdam. In de Volkerakdam werd een inlaatluis gebouwd waarmee zoet water uit het Haringvliet op het Zoommeer kon worden gelaten. Als complement daarop zou een waterlozing naar de Westerschelde moeten worden gecreëerd.

Wat waren nu de mogelijkheden en wensen voor het peilbeheer en het handhaven van de waterstand en het zoete karakter van het meer, dus van een laag zoutgehalte?

Uitgangspunt voor de studie van het peilbeheer was, dat het Zoommeer geen reservoir functie kreeg, en dat gemikt werd op een waterstand gedurende het gehele jaar van rond N.A.P. Extreme waterstanden konden optreden in perioden van grote wateroverlast en in de perioden van grote droogte. Het peilbeheer betrof naast die extreme waterstanden ook de normale peilvariëaties. Juist die peilvariëaties waren in hoge mate bepalend voor de natuurlijke ontwikkeling van het meer en zijn oevers. Volgens het met België gesloten traktaat over de Schelde - Rijnverbinding mag het maximum op dit kanaal 50 centimeter boven N.A.P. liggen en het minimum 1 meter eronder. Deze overeengekomen peilen, die zoals het kaartje laat zien ook bepalend waren voor het Zoommeer, omvatten niet de bij sterke wind optredende op- en afwaaiing.

Er werd vanuit gegaan dat op- en afwaaiing maximaal 35 centimeter verschil zouden uitmaken. De Brabantse rivieren, de Mark en de Roosendaalse en Steenbergse Vliet, zouden doorgaans onder natuurlijk verval op het Zoommeer kunnen lozen, zodat de sluizen bij de uitmonding van deze rivieren in het Volkerak open konden blijven staan. Als het peil op het Zoommeer belangrijk lager werd dan N.A.P., dienden ze echter te worden gesloten, om ontoelaatbare lage waterstanden in het achterland te voorkomen.

De peilvariëaties die men toelaatbaar achtte, hielden verband met het toekomstige karakter van het Zoommeer. Er werd reeds gewezen op de Brabantse belangen. Ook de scheepvaart en de recreatie hadden belang bij een zo vast mogelijk peil, terwijl het zich liet aanzien dat de peilfluctuaties ook vanuit een oogpunt van natuurbeheer beter niet al te groot konden worden. Ten slotte was er verband tussen de waterstanden en het zoutgehalte, zoals U in het vervolg van dit artikel kunt zien.

Het zoutgehalte op het Zoommeer werd voornamelijk bepaald door de belasting die het meer van buitenaf onderging. Bronnen van zoutbelasting waren allereerst de schutsluizen in de Philipsdam en Oesterdam, en de Kreekraksluizen in de Schelde-Rijnverbinding. Verder ook de polderlozingen op het meer. Het rivierwater, dat bij de Volkeraksluizen ingelaten werd, was ook min of meer verzilt en tenslotte ging er nog een verziltende invloed uit van de zoute kwel onder de dammen door. Op grond van oriënterende berekeningen werd geschat hoe groot de totale zoutbelasting op het Zoommeer zou kunnen zijn. Daarbij werd er van uitgegaan dat de schutsluizen in de Philipsdam en de Oesterdam te zijner tijd over net zo'n scheidingssysteem voor zoet en zout water zouden beschikken als de Kreekraksluizen. Met dit systeem kon bij een schutsluis die een zout en zoet waterbekken koppelt, de verzilting van het zoete water, maar in dit geval ook de verzoeting van het zoute water in belangrijke mate worden beperkt. Ondanks de toepassing van het systeem zou er nog wel een zeker zoutbezwaar resteren. Er vond intensief onderzoek plaats om het scheidingssysteem van zout en zoet water te optimaliseren, zodat het resterende zoutbezuwaar minimaal werd. Terugkoppeling naar de werking van de beoogde systemen in de werkelijkheid was helaas nog niet mogelijk, omdat het systeem alleen bij de Kreekraksluizen in werkelijkheid was uitgevoerd, en de Kreekraksluizen lagen nu nog tussen twee zoute bekkens. Pas na de voltooiing van het Zoommeer kon het scheidingssysteem in de Kreekraksluizen in werking treden, maar dan moesten de overeenkomstige systemen in de Philipsdam en de Oesterdam al gebouwd zijn. Men was dus voorlopig aangewezen op de resultaten van laboratoriumonderzoek ter zake, waarbij de uitkomsten over de zoutlasten bij het terugwinnen van zoet water nog een grote spreiding vertoonden. Tegelijk was een oriënterend onderzoek aan de gang om te bezien of de polderlozingen, met name die van het eiland Tholen, van het Zoommeer kunnen worden afgeleid.

Gegeven de binnenkomende zoutlasten was het van belang dat het Zoommeer extra met zoet water werd doorgespoeld. Zonder

dat zou het niet mogelijk zijn het zoutgehalte te beheersen. Doorspoeling was niets anders dan de vervanging van water met een relatief hoog zoutgehalte door water met een lager zoutgehalte. Het in te laten relatief zoet water kwam van het Hollandsch Diep. Het zoute getijddebekken van de Oosterschelde kon niet dienen als ontvanger van het doorspoelwater, want water dat in het Zoommeer als te zout werd doorgespoeld, was in de Oosterschelde te zoet. Het zou het zoutgehalte ter plaatse te zeer doen dalen, met negatieve effecten voor de flora, de fauna en de schelpdiercultures in het getijdengebied. De lozing kon dus nog het beste op de Westerschelde worden gericht.

Om oriënterende berekening te kunnen uitvoeren in verband met de doorstroming, werd het Zoommeer geschematiseerd en in drie vakken verdeelt. Per deelgebied werden grafieken opgesteld waarin op grond van de veronderstelde zoutlasten een verloop werd voorspeld van de doorstroomdebieten. De normen die onderscheiden moesten worden waren 300 milligram Cl/L voor de landbouw en 200 milligram Cl/L voor de drinkwatervoorziening.

Bezien we nog eenmaal de relatie van het Zoommeer met de omringende bekkens, het Haringvliet / Hollandsch Diep, de Grevelingen en de Ooster- en Westerschelde. Het Zoommeer werd, zoals we gezien hebben, zoet, en werd dan voor zijn zoetwatertoevoer afhankelijk van het noordelijk Deltabekken. Nu had dit noordelijk Deltabekken ook een belangrijke functie in de zoetwatervoorziening van zuidwest Nederland, onder andere bij de drinkwatervoorziening en de bestrijding van de zoutwaterindringing op de Rotterdamse Waterweg, dit in het belang van de tuinbouw in het westland en andere gebieden. In perioden met geringe Rijnafoeren zou het een afweging van belangen vergen om te bepalen hoeveel water ten behoeve van het Zoommeer aan het noordelijk Deltabekken onttrokken kon worden.

Het Grevelingenmeer, dat was ontstaan door de sluiting van de Grevelingendam in 1963 en de Brouwersdam in 1971, zou in elk geval tot aan de voltooiing van de compartimenteringdammen omgeven zijn door zout water. Er waren in die periode ook geen mogelijkheden om het meer volledig te doen verzoeten. De beslissing wat er uiteindelijk met het Grevelingenmeer ging gebeuren, of het zoet zou worden of zout blijven, was nog niet gevallen. De wijze waarop de Philipsdam aansloot op de Grevelingendam was inmiddels zo gekozen dat het later mogelijk wordt een inlaatwerk in de Grevelingendam te bouwen waar langs zoet water uit het Zoommeer kon worden toegelaten op het Grevelingenmeer. In dat geval ging het Grevelingenmeer indirect ook een beroep doen op de watertoevoer uit het noordelijk Deltabekken. Het zoutgehalte in het Grevelingenmeer zou dan mede bepaald worden door dat van het Zoommeer ter plaatse van de Grevelingendam.

De Oosterschelde bleef een zout bekken. Om achter in dit bekken het zoutgehalte op een aanvaardbaar niveau te houden was het nodig dat de sluizen in de Philipsdam en Oesterdam werden voorzien van een systeem dat de zoutlast op het getijddebekken beperkte. Dit geschiedde door het terugwinnen van zoet water. Als dat in het belang van het zoutgehalte op de Oosterschelde moest gebeuren, diende dit belang te worden afgewogen tegen de belangen van de zouthed van het Zoommeer. Het terug winnen van zoet water bracht onvermijdelijk ook weer een hoeveelheid zout water terug op het zoete bekken. De Westerschelde, die naar beide zijden openbleef, zou het doorspoelwater van het Zoommeer ontvangen, omdat daar anders geen beheersing van het zoutgehalte mogelijk was. Op de Westerschelde had deze instroom een verzoetende werking, evenals de rivierafvoer van de Belgische Schelde trouwens. De zoutgradiënt, dat was de geleidelijke verandering van het zoutgehalte tussen de rivieraansluiting en de uitmonding in zee, zou ten gevolge van de instroom van zoet water uit het Zoommeer waarschijnlijk enigszins veranderen.

De studies op een aantal probleemgebieden, die hier slechts vluchtig konden worden vermeld, werden uitgevoerd onder auspiciën van de Commissie Compartimentering Oosterschelde, die als taak had, de compartimenteringplannen nader uit te werken en te begeleiden. Binnen de overlegstructuur waren werkgroepen gevormd waarin de nodige onderzoeken werden stopgezet, en die er rapport over uitbrachten. Ten behoeve van het Zoommeer werden studies gedaan als aanzet tot een analyse van het gehele probleem. Op grond van die analyse moest het mogelijk worden te kiezen welke middelen men het best kan gebruiken voor de beheersing van de waterkwaliteit. Het ging er allereerst om, zoveel mogelijk beheersmogelijkheden open te houden. Daarna richtte de studie zich op het beheer zelf, met de bedoeling dat men een zo groot mogelijk inzicht had in de beheersmogelijkheden tegen de tijd dat het meer tot stand was gebracht. Dat zou omstreeks 1985 zijn. De verzoeting van het Zoommeer was vanzelfsprekend een van de eerste beheersmaatregelen.

# Een experimenteel lozingsprogramma voor de Volkeraksluizen

## Inhoud

- Experimenteel lozingsprogramma.
- Eerste resultaten.
- Waterloopkundig onderzoek.
- Ecologisch onderzoek.
- Resultaten van het lozingsprogramma.

## Experimenteel lozingsprogramma

Voor een goed beheer van het Oosterscheldegebied was kennis nodig van de factoren die er het natuurlijk milieu bepaalden. Het was, voor men verantwoorde beheersmaatregelen kon nemen, bijvoorbeeld nodig te weten welke invloed een bepaalde zoutverdeling had op de levensgemeenschap onder water. Even onmisbaar was inzicht in het mengingsmechanisme dat optrad tijdens de afvoer van het bij de Krammersluizen binnengekomen zoet water.

Veel van deze kennis was al voorhanden. Gedeeltelijk kwam ze voort uit de ervaring met de oude situatie, toen het Volkerak nog open was. Maar de verzameling van gegevens ging nog steeds door. Er werden in dit gebied vele metingen verricht, waarvan de gegevens werden gebruikt in mathematische en fysische modellen. Het was echter niet altijd duidelijk wat modeluitkomsten betekenden. Om ze te kunnen vertalen naar de praktijksituatie moest men de vertaalcode kennen, die alleen af te leiden was uit de rechtstreekse vergelijking tussen model en praktijk.

Het gebied nabij de Volkeraksluizen, het Volkerak en de Krammer, was zeer geschikt om deze vergelijking uit te voeren. Hier konden de processen bestudeerd worden die optraden in een getijdengebied dat onder invloed stond van een zoetwaterlozing. Door de inlaatluis in het Volkerak kon de zoetwatertoevoer in het gebied nauwkeurig worden geregeld, zodat de effecten van verschillen in de zoetwatertoevoer tamelijk exact konden worden vastgesteld. Verder vertoonde zowel de vorm van het gebied als de er heersende getijwerking een zekere overeenkomst met de situatie van Zijpe, Mastgat en Keeten, dus na voltooiing van de Philipsdam en de stormvloedkering. Het proefgebied zelf verloor overigens na het gereedkomen van de Philipsdam zijn getijdenkarakter en werd opgenomen in het Zoommeer.

Na 1 maart 1977 werd het spuidebiet van de Volkeraksluizen per getijperiode zodanig geregeld, dat een van tevoren vastgestelde hoeveelheid water op het Volkerak werd geloosd.

Het doel van dit spuiprogramma is drieledig:

- Er werd mee onderzocht in hoeverre de zoutlast vanuit het Volkerak op het Haringvliet, die het gevolg was van het schutbedrijf, verminderd kon worden door zoet water te spuien via de Volkeraksluizen.
- Er werd bestudeerd welke invloed een bepaalde zoetwatertoevoer had op de spreiding van de zoutgehalten in de Oosterschelde.
- Er werd nagegaan wat de consequenties van deze verdeling waren voor de levensgemeenschap onder water.

Vòòr de instelling van dit spuiprogramma was de zoetwatertoevoer op het Volkerak wisselend: 's zomers bedroeg hij gemiddeld tussen de 15 en 23 m<sup>3</sup>/sec. ; 's winters schommelde hij tussen 25 en 40 m<sup>3</sup>/sec. Vanaf 1 maart 1977 werd de zoetwatertoevoer op het Volkerak vastgesteld op gemiddeld 50 m<sup>3</sup>/sec. De afvoer van de riviertjes de Dintel en de Roosendaalse Vliet was bij die 50 m<sup>3</sup>/sec inbegrepen.

Het experimentele lozingsprogramma werd begeleid door een werkgroep waarin vertegenwoordigers zitting hadden van de Directie Benedenrivieren, de Directie Zeeland, de Directie Waterhuishouding en de Waterbeweging, het Rijksinstituut voor de Zuivering van Afvalwater en de Deltadienst.

Voordat er sprake was van een lozingsprogramma voor de Volkeraksluizen, was niet voldoende bekend aan welke omstandigheden de in de Oosterschelde optredende zoutverdelingen moesten worden toegeschreven. De externe factoren die deze verdeling bepaalden, zoals het zoutgehalte van het kustwater en de zoetwatertoevoer door neerslag, polderlozingen, het schutbedrijf bij de Volkeraksluizen, maar vooral de Brabantse riviertjes Mark en Dintel, wisselden natuurlijk met de tijd. Maar de termijn van die wisseling was zo kort, dat er geen evenwichtstoestand kon optreden. Voor het toetsen van de wiskundige en hydraulische modellen die ontwikkeld waren om een beschrijving te geven van de zoutverdeling in de Oosterschelde, was het echter noodzakelijk de zoutverdeling te leren kennen onder goed gedefinieerde omstandigheden.

Hiervoor bestonden twee mogelijkheden:

- De stabilisering van de factoren die bepalend waren voor de zoutverdeling;
- De permanente registratie van de zoutgehalten en de bepalende factoren.

Beide middelen werden te baat genomen. Door het lozingsprogramma te fixeren op 50 m<sup>3</sup>/sec werd de voornaamste zoetwatertoevoer op de Oosterschelde gestabiliseerd. Hierdoor had zich een zoutverdeling ingesteld die met name op het traject Krammer - Volkerak nog slechts in geringe mate fluctueerde. Verder werden in de Oosterschelde een aantal vaste meetopstellingen geplaatst, waar het zoutgehalte permanent werd geregistreerd aan bodem en oppervlakte. Dankzij dit meetnet was het mogelijk gebleken aan te geven welke externe factoren maatgevend waren voor de zoutverdeling in de Oosterschelde, en daarbij de verschillende invloeden van elkaar te onderscheiden en te kwantificeren. Dit leidde tot een belangrijke verfijning van de modellen aan de hand waarvan werd voorspeld welke zoutverdeling men in de toekomst kon verwachten bij verschillende beheersalternatieven.



	I (g/l)	
	Gemeten bij 50 m <sup>3</sup> /sec afvoer	Berekend (Ondergrens) bij 100 m <sup>3</sup> /sec afvoer
Krabbenkreek	15,3	12,6
Zeelandbrug	16,5	15,1
Kom Oosterschelde	15,6	14,2

Om meer inzicht te verkrijgen in de interne factoren die het zoutgehalte bepaalden, dat wil zeggen de mengprocessen die in het estuarium optraden, was een uitgebreide detailmeting van de zout- en snelheidsverdeling uitgevoerd op het traject -Keten - Mastgat - Zijpe - Krammer - Volkerak. Ook voor de interpretatie van deze resultaten was het essentieel dat de zoutverdeling in een evenwichtssituatie verkeerde. Hoewel de kwantitatieve uitwerking van de gegevens nog niet geheel was afgerond, waren er al een aantal belangrijke mengmechanisme aan het licht getreden en bestudeerd:

- De mengende invloed van de uitgestrekte platengebieden in de Oosterschelde.
- De mengende invloed die bij het optreden van de gelaagdheid uitgaat van de vorm van het geulenstelsel.

Kennis omtrent de relevante mengmechanisme was een noodzakelijke voorwaarde voor het opzetten van accurate modellen. Hiervan hing onmiddellijk de betrouwbaarheid af die aan de voorspellingen kon worden toegekend.

Door de afdeling milieuonderzoek werd sedert het instellen van het spuidebiet van 50 m<sup>3</sup>/sec op het traject Volkerak - onderzoek verricht naar het voorkomen van bodemdieren en het verloop van een aantal waterkwaliteitsparameters, zoals fosfaat, stikstof, silicium en colibacteriën.

Zowel de soortenrijkdom als de absolute aantallen bodemdieren - zeepeieren, kokkels, nonnetjes en zo - namen waarschijnlijk toe door het zoutgehalte. Voor een nadere bepaling van de relatie tussen het voorkomen van bodemdieren en het zoutgehalte werden in zes raaien bodemmonsters verzameld. Met determinatie en telling van de voorlopig ingevroren monsters werd begonnen. De gehalte aan voedingsstoffen fosfaat, stikstof en silicium waren in het toegevoerde water vanuit het Haringvliet en de Dintel en Roosendaalse Vliet aanzienlijk hoger dan in de mond van de Oosterschelde. Het spuien van zoet water leidde dan ook tot verhoging van deze nutriëntengehalten op het traject Volkerak - Keeten.

Uit onderzoek bleek dat de waterkwaliteit op het traject nagenoeg geheel werd bepaald door het proces van menging van het zoete water met het zoute water en een netto afvoer naar zee. Andere processen, zoals de opname van voedingsstoffen door algen, hadden blijkbaar een langere verblijftijd dan die van het zoete water op dit traject, die ongeveer 30 dagen bedroeg.

De werkgroep die het experimenteel lozingsprogramma begeleidde, had nu voorgesteld de zoetwatertoevoer op het Volkerak tijdelijk te vergroten tot 100 m<sup>3</sup>/sec. De proeven moesten duren van 1 november 1979 tot 1 april 1980; vijf maanden dus. Het belang van deze proef voor het milieu wordt hierna uiteengezet.

Door analyse van zoutmetingen tijdens het verhoogde lozingsprogramma en vergelijking met gegevens die waren verkregen uit het programma met 50 m<sup>3</sup>/sec kon de betrouwbaarheid van de prognoses van de zoutverdeling op het traject -Keeten -Zijpe in de sluitingsfase van de compartimenteringdammen en in de situatie na 1985 aanzienlijk worden vergroot. De huidige prognoses voor de zoutgehalten op dit traject waren gebaseerd op wiskundige modellen waarin theoretische veronderstellingen werden gedaan over de invloed van dichtheidsstromen. Deze theoretische veronderstellingen konden in de beschikbare hydraulische modellen slechts op gebrekkige wijze worden getoetst. Voor een goede toetsing moest men beschikken over natuurgegevens in hetzelfde estuarium, bij in omvang verschillende dichtheidsstromingen.

Dit doel werd gerealiseerd met behulp van de voorgestelde lozing van 100 m<sup>3</sup>/sec. Tegelijk werd met deze proef een beter inzicht verkregen in het verschijnsel van de zout/zoetstratificatie in relatie tot de mengende werking van de getijbeweging. Kennis van deze materie was van groot belang, omdat een sterke zout/zoetstratificatie, leidde tot lage zoutgehalten aan de oppervlakte, datgene wat met name schadelijk kon zijn voor de levensgemeenschappen aan de oever. Het fysisch gedeelte van het onderzoek moest leiden tot een beter begrip van de in het Oosterscheldegebied en mede een basis vormen voor het ecologisch modelonderzoek. Er bestond dus een directe koppeling tussen het fysische en ecologische onderzoek.

Een andere relatie tussen beide onderzoeksterreinen lag bij de waardering van de uitkomsten van de voorspelling van het zoutgehalte. Voor de veiligheid waren er voor de toekomstige situatie richtlijnen geformuleerd voor het zoutgehalte. Het onderzoek was daarom niet alleen gericht op de verbetering van de zoutprognoses, maar ook op een andere onderbouwing van deze richtlijnen. Dit onderzoek omvatte onder meer observaties op meetgebieden van de daar voorkomende gemeenschappen van bodemdieren. Het aantal soorten werd bepaald en men maakte een schatting van de aantallen per soort per station. Ook de conditie van de organismen werd in het onderzoek betrokken. Door de locatie van de meetstations in het Volkerak en in de Krammer kon de relatie tussen de levensgemeenschap en het plaatselijke zoutgehalte worden bepaald. Door verhoging van de zoetwatertoevoer in de winterperiode veranderden de zoutgehalten op al deze meetstations.

Met name de veranderingen in de levensgemeenschappen tijdens en na de verlaging van het zoutgehalte gaven inzicht in hun flexibiliteit. De keuze voor een lozingsprogramma van 100 m<sup>3</sup>/sec werd bepaald door verschillende redenen. De invloed van het zoutgehalte moest ten opzichte van de huidige situatie duidelijk herkenbaar zijn. De fluctuaties moesten dus groter zijn dan ze zouden kunnen zijn veroorzaakt door andere factoren. De resulterende nieuwe dichtheidsgradiënt moest bij voorkeur gelijk zijn met de verwachte gradiënt in de situatie na 1985. Het nieuwe lozingsdebiet moest voldoende groot zijn om de wiskundige waterkwaliteitsmodellen in een voldoende ruim interval te kunnen toetsen. Het mocht aan de andere kant niet zo groot zijn dat de resulterende verzoeting gevoelige schade toebrengt aan het milieu. Ook mocht er in de andere delen van het land geen schade door ontstaan, bijvoorbeeld onvoldoende watervoorziening. Een lozingsprogramma van 100 m<sup>3</sup>/sec kwam aan deze verschillende eisen tegemoet.

De invloed van de toeneming van het spuidebiet van de Volkeraksluizen bleef vrijwel geheel beperkt tot het traject Krammer - Volkerak, dat na 1985 tot het Zoommeer zou behoren. De verzoetende invloed op andere delen van de Oosterschelde - met name de Kom - viel binnen de normale schommelingen als gevolg van andere, natuurlijke factoren, zoals grote neerslag of verzoeting van het kustwater door hoge Rijnafvoeren. Om zekerheid te hebben dat aan de levensgemeenschappen in het Volkerak tengevolge van de proef geen schade werd toegebracht, waren een aantal veiligheidsmaatregelen ingebouwd. Zo werd onder andere met behulp van mosselen, opgehangen in korven, van tijd tot tijd nagegaan of er onverwachte conditievermindering optrad. Daar-

naast werd de conditie bewaakt van een groot aantal bodemdieren in de verschillende delen van het Volkerak. Mocht conditievermindering optreden dan werd de zoetwatertoevoer verkleind.

Proeven op natuurlijke schaal, zoals de hierboven besprokene, waren voor het onderzoek naar transportprocessen in estuaria en voor het ecologisch modelonderzoek tamelijk uniek. De resultaten er van hadden dan ook een groot wetenschappelijk belang en droegen bij tot een sterk verbeterde modellering van de fysische en ecologische processen, niet alleen in de Oosterschelde, maar ook in andere estuaria in Nederland - met name de Westerschelde en de Eems-Dollard - en in het buitenland.

Een nauwkeurige prognose van de zoutverdeling in de Oosterschelde in de sluitingsfase en in de toekomstige situatie en een beter inzicht in de manier waarop de levensgemeenschappen zich aan die zoutverdeling aanpassen, maakten het mogelijk het toekomstige beheer af te stemmen op de eisen die er door het milieu aan werden gesteld.

### **Eerste resultaten van het experimentele lozingsprogramma voor de Volkeraksluizen**

Voordat het Volkerak in 1969 werd afgesloten, was de aanvoer van zoet water via het Volkerak zeer groot. Er trad jaarlijks een piek op tijdens het natte seizoen. Sinds die afsluiting werd de zoetwatertoevoer op het Volkerak sterk verminderd, en traden zulke pieken niet meer op. De daaruit resulterende verzilting op het traject Krammer - Volkerak en ook de stabilisering van het zoutgehalte hadden, zowel in kwantitatieve als in kwalitatieve zin, een gunstige invloed gehad op de levensgemeenschappen in dit gebied. Dat had onder meer geleid tot een hogere productiviteit. Sedert begin 1977 werd de totale zoetwateraanvoer op het Volkerak, inclusief de afwatering vanuit Noord-Brabant via de riviertjes Mark en Dintel, gestabiliseerd op 50 m<sup>3</sup>/sec. De in dit totaal begrepen aanvoer van zoet water via de Volkeraksluizen werd veroorzaakt door verlies ten gevolge van het schutten en door de noodzaak van het spuien, om verzilting van het water in het Haringvliet te voorkomen.

Zoals werd aangekondigd werd het lozingsprogramma van 1 november 1979 tot 26 maart 1980 verhoogd van 50 m<sup>3</sup>/sec tot 100 m<sup>3</sup>/sec. Ook dit was nog slechts een fractie van de voor de afsluiting van het Volkerak optredende pieken.

Het doel van deze operatie was enerzijds meer inzicht te verkrijgen in de processen die verantwoordelijk waren voor de menging van zoet water en zeewater in de Oosterschelde en zodoende meer betrouwbare prognoses te kunnen opstellen over toekomstige situaties. Anderzijds om de invloed van tijdelijk lagere zoutgehalten op de leefgemeenschappen in de Oosterschelde beter te leren kennen en derhalve genuanceerde criteria te kunnen stellen voor de uitvoeringsfase van de werken en voor het toekomstig beheer. De verwachting was dat de invloed van het verhoogde lozingsdebiet zich in hoofdzaak zou beperken tot het gebied Krammer - Volkerak, dat in de toekomst, na het gereedkomen van de Philipsdam, zijn getijdenkarakter verloor en deel uitmaakte van een zoet meer. Voor andere gedeelten van de Oosterschelde waren prognoses opgesteld over de laagste zoutgehalten die zouden optreden. Ze waren vergelijkbaar met de zoutgehalten die, onder natuurlijke omstandigheden, in 1970 dus na de afsluiting van het Volkerak, waren voorgekomen.

In tabel 1 zijn de verwachte laagste zoutgehalten gemiddeld over het getij vergeleken met die welke werkelijk zijn opgetreden in de periode november 1979 - maart 1980.

Om te voorkomen dat de levensgemeenschappen en de mosselcultures door de proef te zeer beïnvloed zouden worden werd van tevoren een aantal veiligheidsgebieden ingebouwd. De proef zou beëindigd worden wanneer de vooraf in overleg met het Rijksinstituut voor Visserij Onderzoek en de Directie der Visserijen gestelde waarden voor het zoutgehalte werden onderschreden. Of als de mosselcultures op onaanvaardbare wijze werden beïnvloed; en ook als de levensgemeenschappen bij de toekomstige Krammersluizen negatief werden beïnvloed.

Bovendien zijn zowel de verhoging van het zoetwaterdebiet in november 1979 als de terugschakeling naar een debiet van 50 m<sup>3</sup>/sec in maart/april 1980 geleidelijk uitgevoerd. Dit om sterke wisselingen in het zoutgehalte te vermijden.

Ter bewaking van deze criteria werd het experimenteel lozingsprogramma intensief begeleid door wekelijkse bemonstering op het traject Keeten - Mastgat - Zijpe - Krammer - Volkerak en door permanente registratie van het zoutgehalte op een groot aantal punten in de Oosterschelde. Ook werd wekelijks de toestand van de mosselen gecontroleerd op een aantal percelen in de meest gevoelige gebieden.

Gedurende de looptijd van de proef werden de gestelde criteria niet onderschreden, zodat het programma voortgang kon vinden. Wel overschreed in februari 1980 gedurende enkele dagen de afvoer van de Dintel alleen de 100 m<sup>3</sup>/sec, door de overvloedige regenval. De inlaatsluis in de Volkerakdam werd gedurende die dagen gesloten.

Toen de afvoer van de Dintel weer verminderde, werd de inlaatsluis nog een aantal dagen dicht gehouden om aldus het teveel aan hemelwater van de voorgaande dagen te compenseren.

### **Waterloopkundig onderzoek**

Het waterloopkundig gedeelte van het onderzoek, dat betrekking had op de menging van zoet water en zeewater, was allereerst gebaseerd op permanente registratie van het zoutgehalte in een aantal vaste punten. Vervolgens ook op een 13-uurs zoutmeting op de Schelde-Rijnverbinding op 12 maart 1980 en een 13-uurs meting van de stroomsnelheid en het zoutgehalte gelijktijdig in een aantal dwarsraaien op het traject Keeten - Mastgat - Zijpe - Krammer - Volkerak op 18 maart 1980.

Tabel 1. Getijgemiddeld chloridengehalte in g/l.

Locatie	Gemeten bij 50 m <sup>3</sup> /sec lozingsprogramma	Voorspelde ondergrens bij 100 m <sup>3</sup> /sec	Gemeten laagste waarde bij 100 m <sup>3</sup> /sec	Gemeten gemiddelde bij 100 m <sup>3</sup> /sec
Krabbenkreek	15,3	12,6	12,0	13,0
Zeelandbrug - N	16,5	15,1	15,1	15,6
Kom Oosterschelde	15,6	14,2	14,2	14,4

Tabel 2 Afvoer schutsluis, inlaatsluis en Dintel in de periode 5 - 11 februari 1980, in m<sup>3</sup>/sec.

Datum	Schutsluis	Inlaatsluis	Dintel
5 februari	21	32	80
	20	0	88
6 februari	24	0	119
	20	0	108
7 februari	20	0	113
	22	0	104
8 februari	23	0	96
	26	0	71
9 februari	24	0	64
	15	32	0
10 februari	22	0	21
11 februari	20	49	63

Door de afvoeren van de riviertjes Mark en Dintel fluctueerde het lozingsprogramma van de Volkeraksluizen aanzienlijk. Met name in de beginperiode traden daar hoge afvoeren op. Gemiddeld per maand werd een zoetwateraanvoer van 100 m<sup>3</sup>/sec wel zeer dicht benaderd. De Rijnafvoer bereikte begin februari een bijzonder hoge waarde van bijna 9000 m<sup>3</sup>/sec. In deze periode was echter geen sprake van verzoeting van het water in de mond van de Oosterschelde. Dit was het gevolg van de overheersende zuidwestenwind, die het Rijnwater langs de kust naar het noorden afvoerde.

De invloed van het lozingsprogramma op de zoutgehalten in de Oosterschelde was zeer goed waarneembaar. Deze is ook in overeenstemming met de verwachtingen. Dit gold ook voor de tijdsduur waarbinnen het zoutgehalte zich aan de verhoogde zoetwateraanvoer aanpaste. Voor de Kom van de Oosterschelde bleek de aanpassing ruim twee maanden in beslag te nemen. Alleen in de noordelijke tak van de Oosterschelde ging de aanpassing zo snel, dat de fluctuaties van het lozingsprogramma duidelijk in het verloop van de zoutgehalten terug te vinden was. Een gevolg van de fluctuaties was dat het zoutgehalte in het Zijpe, bij de ingang van de Krabbenkreek, soms de verwachte ondergrens enigszins onderschreed.

Wat betrof het zoutgehalte in de Kom van de Oosterschelde, die benaderde in de maanden februari en maart de voorspelde ondergrenswaarde zeer dicht. Deze maanden kenden een beduidend hoger neerslagoverschot dan gebruikelijk voor de tijd van het jaar. Desondanks werd de gestelde ondergrenswaarde van het gemiddelde zoutgehalte per getij niet onderschreden.

Na het terugbrengen van het lozingsprogramma tot 50 m<sup>3</sup>/sec, begin april 1980, was er een duidelijke tendens tot herstel van de oorspronkelijke zoutgehalten waarneembaar. De stijging van de zoutgehalten was echter minder sterk dan de daling destijds bij het instellen van het verdubbeld lozingsprogramma. Dit werd veroorzaakt door een verandering van windrichting en de daaruit voortvloeiende daling van het zoutgehalte in de mond van de Oosterschelde.

De 13-uurszoutmeting in het Schelde-Rijnkanaal werd uitgevoerd door het meetvaartuig Ventjager, op 12 maart 1980. De resultaten waren van groot belang, enerzijds voor de schematisering van het kanaal in wiskundige modellen, anderzijds voor ons inzicht in de menging, die werd veroorzaakt door de scheepvaart. Een eerste analyse van de resultaten toonde de invloed van de scheepvaart duidelijk aan, doordat de normaal te verwachten zout / zoetgelaagdheid vrijwel ontbrak.

Bij de grote 13-uursmeting op 18 maart werden in veertig punten door even zoveel schepen zoutgehalte en snelheid gemiddeld eens in het kwartier op verschillende diepten gemeten. Het doel van zo'n meting was het kwantificeren van de verschillende mengmechanismen. Voor het opstellen van wiskundige modellen van een gebied als de noordelijke tak van de Oosterschelde, was het noodzakelijk te weten welke processen een overheersende rol speelden. Voor het kwantificeren van de mengprocessen was het nodig om heel nauwkeurig de stroomsnelheid en zoutverdeling te kennen. Hiervoor was enerzijds een dicht meetnet met een grote bemonsteringsfrequentie vereist, anderzijds een betrouwbare interpolatiemethode van de meetgegevens. Voor dit laatste werd een wiskundig numeriek programmapakket ontwikkeld, in samenwerking met het Mathematisch Centrum in Amsterdam. In de zomer van 1977 werd ook een 13-uurs zout en stroomsnelheidsmeting uitgevoerd op het traject Keeten - Volkerak, in vrijwel dezelfde meetpunten. Het lozingsprogramma bedroeg toen echter 50 m<sup>3</sup>/sec. De analyse van deze meting is ver gevorderd. Het was vooral de vergelijking van de resultaten van deze analyses voor beide metingen, die aan het licht moesten brengen hoe de mengprocessen door de randvoorwaarden werden beïnvloed.

Hieronder wordt in het kort het verloop van de meting geschetst.

Dinsdag 18 maart om 4 uur 's morgens voeren de eerste schepen vanuit de vluchthaven Zijpe naar hun meetpositie. Om 6 uur waren alle boten op hun bestemming aangekomen en begon de meting. Er stond toen een vrij sterke noordoosten wind, die in de loop van de dag toenam tot windkracht 4. De meetomstandigheden waren vrij ongunstig, maar dankzij de grote inzet van de scheepsbemanningen en meetploegen kon de meting vrijwel geheel worden uitgevoerd. Op woensdag, de volgende dag, was een identieke meting gepland, met het doel eventuele hiaten en missers van de eerste dag aan te vullen. Verder zou deze meting bij de analyse moeten dienen ter controle van de resultaten. De weersomstandigheden op deze dag waren abnormaal; een ijzige noordoostenwind, windkracht 7, temperatuur tegen het vriespunt. In de hoop dat de wind af zou nemen in de loop van de dag werd weer om 4 uur 's morgens met de afvaart begonnen. Vanwege de hoge golfslag konden de kleinere schepen hun positie echter niet bereiken; ze kwamen terug naar de vluchthaven om te wachten op de stroomkentering. Toen bij het kenteren van de stroom van eb naar vloed de harde noordoosten wind aanhield, leek het voor een groot aantal schepen niet mogelijk om bij de verwachte zware golfslag op de meetpositie te blijven liggen. Besloten werd toen de meting te beëindigen. Van deze meetdag waren dus alleen gegevens beschikbaar over de ebfase van het getij. De gegevens werden geponst voor verdere verwerking met de computer. Later werden ze door de afdeling Zierikzee gecontroleerd en aangepast aan de ijkgegevens. In het najaar kon een begin gemaakt worden met kwantitatieve analyse, waarmee naar verwachting nog een groot deel van 1981 was gemoeid.

### Ecologisch onderzoek

Het ecologisch gedeelte van het onderzoek omvatte nog een monstertocht aan het eind van de 100 m<sup>3</sup>/sec-periode. Hierna vonden

nog gedurende ongeveer twee jaar regelmatig bemonsteringen van vooral de bodemfauna van zachte substraten plaats. Door duikers werd ook naar de bodemfauna van harde substraten gekeken. Tenslotte werd een aantal parameters van de waterkwaliteit en de bodemsamenstelling gemeten.

De eerste resultaten van de bemonstering wezen erop, dat het verhoogde lozingsdebiet geen ingrijpende wijzingen in de levensgemeenschap tot gevolg had.

Een belangrijk vraagpunt gedurende de proef betrof het effect dat de verlaagde zoutgehalten zouden hebben op de mosselcultuur in het Volkerak en de Krammer.

Daarom werden, beginnend ongeveer een maand voor de aanvang van het 100 m<sup>3</sup>/sec programma, wekelijks monsters getrokken van een aantal percelen in het Volkerak, en een referentiepunt in de Sophiahaven in de Oosterschelde.

De bemonstering van de percelen werd door de Directie der Visserij verzorgd. Deze monsters werden geanalyseerd op conditie-index. Dat is de verhouding tussen drooggewicht aan vlees en schelpinhoud - en op vochtverlies per tijdseenheid blootstelling aan lucht, datgene wat een indicatie is van de weerstand van de mosselen tegen nadelige invloeden.

Daarnaast werden ook lengte, natgewicht en asvrij drooggewicht bepaald. Soortgelijke bepalingen werden maandelijks gedaan aan proefmosselen die reeds een half jaar voor aanvang van de proef op enkele plaatsen vanaf de Volkeraksluizen tot aan Stavenisse waren opgehangen. De reactie van de mosselen op de verschillende beïnvloedingen bleken op toegepaste manier goed gevolgd te kunnen worden. De Volkerak-percelen, naar verwachting de meest kwetsbare, werden niet aantoonbaar beïnvloed door de verhoogde zoetwatertoevoer via de Volkeraksluizen.

Reeds voor de aanvang van de 100 m<sup>3</sup>/sec proef was de conditie van de mosselen op de Volkerakpercelen zeer laag. Er trad geen wezenlijke verandering op in deze toestand totdat het voortplantingsseizoen begon. Vanaf dat moment daalde de conditie-index vrijwel gelijk met die in het controlepunt, zij het iets minder sterk. Van het 'normale' patroon werd in feite nauwelijks afgeweken, zoals ook blijkt uit meldingen van de vissers bij het opvissen van naar de Oosterschelde over te zaaien mosselen.

Dit overzaaien vormde een tweede probleem. Mede op grond van literatuur werd verwacht, dat de mosselen op het zoutgehalteverschil tussen Volkerak en Oosterschelde zouden reageren met conditievermindering. Echter, in de eerste plaats bleek dit zoutgehalte verschil niet zo heel veel groter dan onder normale omstandigheden. Ook werd er een 'overzaai' proef genomen. Daarbij werden 1500 mosselen van de twee minst goede Volkerakpercelen overgebracht naar een locatie in de monding van de Oosterschelde en daar in een waterkolom opgehangen.

Elke twee dagen werd vervolgens het vochtverlies bepaald van 10 % van de overgezaaide mosselen. Ook werd het aantal dode mosselen elke twee dagen geteld. Aan het eind van de proef werd de conditie-index van de overgebleven 10 % bepaald. Dat gebeurde vier weken na het overzaaien. Uit de onderzoeken bleek dat er tijdens de 100 m<sup>3</sup>/sec proef geen conditievermindering van de mosselen had plaatsgevonden, anders dan in verband met de jaarcyclus van deze dieren te verwachten viel. Daarentegen viel het op dat overzaaien naar de Oosterschelde vanuit het Volkerak een conditieverbetering tot gevolg had.

Het was van groot belang voor de interpreteerbaarheid van alle resultaten, dat de conditie-index nog een aantal maanden langer gevolgd werd, zij het met een lagere bemonsteringsfrequentie.

Daarnaast lag het in de bedoeling de door de kwekers naar de Oosterschelde overgezaaide mosselen te bemonsteren en de conditie ervan te bepalen. Dit om na te gaan of de proefomstandigheden nog aanleiding gaven tot verschillen met bedrijfsmatig behandelde mosselen, terwijl ook hier de nacontrole in de tijd van belang geacht werd. Deze nacontrole bleek echter niet uitvoerbaar, doordat de kwekers op de percelen waar Volkerakmosselen uitgezaaid waren, ook mosselen uit de Grevelingen en de Waddenzee hadden gezaaid. De Volkerakmosselen waren in dit mengsel niet meer met zekerheid te herkennen.

### **Resultaten van het lozingsprogramma**

De gegevens die met het experimenteel lozingsprogramma Volkeraksluizen werden verkregen, vormden een goede basis voor het modelonderzoek waarmee verbeterde prognoses gemaakt kunnen worden voor de te verwachten zoutgehalten in het Oosterscheldegebied. Een voorlopige conclusie uit de bemonsteringen van de bodemlevensgemeenschappen in het onderzoeksgebied is, dat er zich door de verlaagde zoutgehalten geen grote ecologische veranderingen hebben voorgedaan.



# De beplanting van de Volkerakwerken

## Inhoud

- Inleiding.
- Het beplantingsplan.
- De beplanting
- Beheersplan.

## Inleiding

In 1960 werd, langs de Brabantse wal onder Willemstad, een aanvang gemaakt met de aanleg van de Volkeraksluizen. Vanaf het begin was het duidelijk dat werken van dit formaat een zo ingrijpende verandering teweegbrachten in de structuur van het oude landschap dat aandacht moest worden besteed aan de aanpassing van de nieuwe toestand aan de oude. Weliswaar waren de eerste landschappelijke maatregelen puur functioneel, maar niettemin zijn ze van grote invloed geweest op de uiteindelijke vormgeving en inpassing van de Volkerakwerken en op het nieuw gecreëerde landschap.

Bij het ontwerp van de sluizen was op grond van windtunnelproeven door het Laboratorium voor de Ruimtevaart gebleken dat de scheepvaart ernstige hinder zou gaan ondervinden van de sterke westen- en noordwestenwind bij het in- en uitvaren van de voorhavens van de sluizen. Daarom werd besloten windkeringen aan te leggen aan de westzijde zowel als aan de oostzijde van de sluizen. Voornamelijk om esthetisch-landschappelijke motieven werd besloten gebruik te maken van bomen en struiken. De westelijke gelegen singels werden van een gesloten beplanting te voorzien, de oostelijke van een open beplanting. In 1961 werd de eerste gesloten singel aangelegd op de noordwestelijke havendam. In 1967 werd deze singel naar het westen verplaatst of eigenlijk nieuw aangelegd, omdat de derde schutsluis zijn plaats opeiste. In 1968 werd een zelfde gesloten singel aangelegd op de zuidwestelijke havendam. Deze westelijke singels werden samengesteld uit opgaande bomen als populier, esdoorn, es en iep, met een onderbeplanting van struiken zoals meidoorn, sleedoorn, wilde roos, hazelaar, vlier, wilde liguster, wilde kornoelje, grijze wilg en zwarte els. De breedte van de singels bedroeg 45 meter.

In 1971 werden de oostelijke windsingels aangelegd. Deze bestaan geheel uit iepen. In 2000 zijn deze iepen gerooid omdat ze aangetast waren door de iepziekte.

In 1967 werd door het Staatsbosbeheer een landschapstructuurplan ontworpen voor de terreinen ten oosten van de sluizen. Het kreeg de naam 'Inrichtingsplan Maltha', naar de vroegere polder.

Het gebied omvatte de grondbergingsdepots die nodig waren voor de vrijkomende specie uit de bouwputten voor de sluizen. In 1977 werd op basis van dit structuurplan een definitief beplantingsplan opgesteld.

Bij de uitwerking van het plan zijn belangrijke algemene uitgangspunten gehanteerd betreffende de totaal-opzet van de beplantingen op het Volkerakcomplex - Volkeraksluizen en Hellegatsplein - bezien als nieuw landschapselement in de samenkomst van het Hollandsch Diep, het Volkerak en het Haringvliet.

Vanuit het West-Brabantse polderland naderde men over de Rijksweg 19, die inmiddels van beplanting was voorzien, een groot-schalig landschap met indrukwekkende waterbouwkundige werken. De ruimschaligheid werd nog versterkt wanneer men de grote sluizen voorbij was en het Hellegatsplein naderde. Deze met zijn tamelijk ingewikkelde wegen en niveau verschillen, met zijn aftakkende verkeersbanen naar het westen en het noorden en dan ziet men in de verte de Haringvlietbrug die een verbinding vormt met het oude landschap. Bij het inrichten van dit landschap werd er zowel naar gestreefd, de weggebruiker een goede visuele begeleiding te geven als de technische kwaliteiten van de uitgevoerde kunstwerken tot hun recht te laten komen of zelfs te ondersteunen door een variatie in de vorm, de soort en de hoogte van de beplantingen. Verder werd getracht het leefklimaat ter plekke gunstig te beïnvloeden en de recreatieve waarde van het gebied te versterken.

## Het beplantingsplan

Het beplantingsplan voor 'Het Bos van Willemstad' heeft geresulteerd in een loofhoutbos dat doorsneden werd door brede lanen met bomenrijen. De breedte van de lanen varieert van 35 tot 45 meter, met respectievelijk twee of vier rijen bomen. De vrij strakke, rechtlijnige opzet hield er rekening mee dat de technische werken eveneens strak en functioneel van opzet waren, zodat er op deze manier een integratie werd bereikt, in als het ware een organische verbinding tussen natuur en techniek. In het plan werden enkele open ruimte geprojecteerd, die als speel en recreatieruimte konden dienen, terwijl aan het einde der lanen vormen zijn gekozen die een boeiend eind vormden van de voormalige vesting Willemstad.

In het plan kwamen twee waterpartijen met eilandjes voor. Door hun afwijkende vormgeving boden zij een welkom en een prettig contrast met hun omgeving. De geïsoleerde en ontoegankelijke ligging van de eilandjes kon een waarborg zijn voor het ontstaan van reservaatjes voor flora en fauna.

Het terrein is ongeveer 65 ha groot. Het bestond uit een noordelijke en een zuidelijke grondberging. De scheiding tussen deze twee terreinen werd gevormd door een van de waterpartijen en de Malthaweg. De zuidelijke grondberging werd in het zuidoosten door de tweede waterpartij begrensd. De bos en lanen aanleg omvatte ongeveer 45 ha.

Op de terreinen tussen de sluizen en de Hellegatsweg werd een omvangrijke boombeplanting in rijen aangebracht. Deze bomenrijen werden kwadratisch opgezet en vormden een belangrijk landschapselement, dat de aanwezige boombeplanting oostelijk van de Hellegatsweg completeerde en ondersteunde, en het geheel een beslotener karakter verleende. Een bijkomend voordeel van deze opzet was dat de scheepvaart niet door autolichten werd gehinderd.

De bomenrijen tussen de brug in Rijksweg 19 over de sluizen en de uitzichttoren waren zodanig geprojecteerd dat ze geen belemmering vormden voor het uitzicht vanuit het bedieningsgebouw. Daarbij werd erop gelet dat er ruimte werd gelaten voor hulpverlening bij eventuele calamiteiten aan boord van schuttende schepen in de sluizen. Op de noordelijke grondberging werden de lanen uitgevoerd met grauwe abelen en op de zuidelijke met inlandse eiken. De bosaanleg werd samengesteld uit de hoofd-houtsoorten eik, beuk, es en haagbeuk, in verhouding 58-12-10-10, met als onderhoutsoorten, zwarte els, Gelderse roos, hondsroos, liguster, meidoorn, sleedoorn, veldesdoorn en grijze wilg. Totaal 280 000 struiken en 2400 bomen.

De beplanting rond het Volkeraksluizencomplex werden in een vroeg stadium opgezet. Op basis van het in 1967 ontworpen structuurplan werd een definitief beplantingsplan uitgewerkt voor de terreinen gelegen ten oosten van de sluizen. Het gereedgekomen beplantingsplan werd aangelegd op de voormalige gronddepots in de polder Ruigenhil en Maltha.

In 1968 werd reeds een onderzoek ingesteld door de Rijksdienst voor IJsselmeerpolders naar de bodemgesteldheid van de depots. Dit in verband met het uitbrengen van een begreppelingsadvies ten behoeve van de ontwatering, begaanbaarheid en ontziltling van de opgespoten terreinen. Geadviseerd werd om de rijping van de grond op de ene grondberging zoveel mogelijk te bevorderen door het aanbrengen van greppels van 60 centimeter. Op de andere grondberging moest de bestaande begreppeling worden uitdiept tot 60 centimeter beneden het maaiveld en een verzamelsloot worden aangelegd. De afwatering van de depots vond plaats op een poldersloot, die met een duiker via het viaduct onder de Rijksweg door afvoerde naar de voormalige Oude Heiningsehaven.

Met de uitvoering van het beplantingsplan werd begonnen in het najaar van 1978. Ondanks de stagnaties vanwege de lange winterperiode waren de beplantingen op de tweede grondberging toch volledig gereedgekomen.

Alvorens men echter met de beplanting op de eerste grondberging kon beginnen, bleek het noodzakelijk grondwerkzaamheden en bemalingen uit te voeren. Dit grondwerk was nodig vanwege de grillige wijze van opbouw van de grondberging. Grote delen bestonden namelijk uit klei, met een hoog gehalte aan afslibbare gedeelten, andere gedeelten uit zand. Door deze grondsoort te mengen werd een betere structuur van de grond verkregen. In het algemeen werd op vette terreingedeelten een laag zand en op zanderige plaatsen een laag klei aangebracht. Deze pakketten werden dan tot een diepte van 50 centimeter met de onderliggende grond gemengd. Door de slechte waterdoorlatendheid van de eerste grondberging was het noodzakelijk extra ontwateringwerkzaamheden uit te voeren. Deze werkzaamheden bestonden in hoofdzaak uit het uitdiepen van bestaande sloten en greppels, het op diverse plaatsen doorgraven van de met plasticfolie, en rietmatten afgedekte omkading van de grondberging en het aanbrengen van een drainage en geperforeerde plasticbuizen, omwikkeld met een nylonweefsel.

Deze ontwateringwerkzaamheden hadden een zeer gunstige werking. De beplantingswerkzaamheden hadden als gevolg van deze extra maatregelen wel enige vertraging ondervonden. Het geheel complex was in het voorjaar van 1980 gereedgekomen. Over het geheel kan worden gesteld dat de beplantingen goed waren aangeslagen en dat in het algemeen weinig uitval was voorgekomen.

Aan boombeplanting hoefde maar 7 % te worden ingeboet, en aan struikbeplanting 5 %. De uitval was hoofdzakelijk te wijten aan enkele natte plekken op de tweede grondberging. Op deze natte plekken werden alsnog drains aangelegd. Het onderhoud van het boscomplex werd tot eind 1981 door de Deltadienst verzorgd.

### **De beplanting**

Op 26 september 1978 werden de beplanting aan weerszijde van de noordelijke voorhaven aanbesteed. Nog in het najaar werden de terreinen door de aannemer, het Bureau voor Tuin- en Landschapsverzorging te Haaren, plantgereed gemaakt. Daarna volgde een lange strenge winterperiode. Vanwege de plaatselijk slechte ondergrond moesten extra onderwatervoorzieningen worden getroffen. Het was daarom niet gelukt de terreinen nog in het seizoen 1978/1979 te beplanten. Met de aannemer werd een wijzigings-overeenkomst gesloten, om het werk later af te maken.

Inmiddels was een deel van de beplanting in kwekerijverband in de grond gezet. In het seizoen 1979/1980 zou het verder worden uitgeplant. Ter wille van de beplantingen aan weerszijden van de noordelijke voorhaven moest hier en daar drainage worden aangebracht. De bodem bleek er te nat om te kunnen verwachten dat de beplanting zou aanslaan. Nadat de drainages waren aangebracht, kon in het plantseizoen 1979 - 1980 worden afgemaakt wat in het vorige seizoen door de slechte weersomstandigheden onvoltooid was gebleven.

In samenwerking met Staatsbosbeheer werd bovendien de stand van de beplanting opgenomen op de grondberging I en II, mede om te bepalen hoeveel was uitgevallen en moest worden ingeboet. Het verlies aan bomen bedroeg 7 %. Dat aan struiken 5 %. Ook hier was de uitval in hoofdzaak te wijten aan enkele natte plekken op grondberging II. Op deze plaats werd alsnog drainage aangebracht. In de periode januari / april 1980 werd de boomplanting aan de westzijde van het schutsluizencomplex geheel voltooid. Ook op grondberging I was men zover wat de bomen betrof en wat de struiken betrof bijna. Op de gronden die vorig jaar waren uitgeplant, werden bomen en struiken ingeboet.

Ter wille van de landschappelijke inpassing van het gehele boscomplex werd een reeks oudere populieren parallel aan de weg voor langzaam verkeer langs Rijksweg 19 met wortel en tak gerooid. De gerooiden bomen werden ter beschikking gesteld van de Dienstkring Roosendaal, die ze opnieuw plantte bij een afrit van Rijksweg 19 in de polder Maltha.

### **Beheersplan**

Het tot stand gekomen Bos van Willemstad moest worden gezien als het sluitstuk van de landschappelijke herinrichting van het zogeheten Volkerakcomplex. Vanzelfsprekend zou mede door de toekomstige beheersmaatregelen bepaald worden hoe de beplantingen zich zouden ontwikkelen en welke functies zij zouden gaan vervullen. Een deel van de beplantingen zou van zuiver functionele aard zijn en blijven, zoals de windsingels. Het overgrote deel kreeg zijn waarde vooral in landschappelijke en ecologische steun aan het betrokken gebied. Hierbij mocht zeker de recreatieve waarde van een groot aaneengesloten en gevarieerd samengesteld bos en watercomplex niet vergeten worden. Het moest dan ook van groot belang worden geacht, dat het toekomstige beheer van de beplantingen op het Volkerakcomplex door een en dezelfde hand werd geleid. De hiervoor beschreven, zo verscheidene functies en onderlinge belangen van de beplantingen, onder soms slechte klimatologische omstandigheden, vereisen op elkaar afgestemde beheersmaatregelen.

Er werd een werkgroep 'Beheers en onderhoudsplan' ingesteld, die tot taak had een beheersplan op te stellen waarin duidelijke richtlijnen werden verstrekt voor het beheren van bos en natuurterreinen en dat alle informatie bevatte over de toestand en de kwaliteit van de terreinen, inzicht verschafte in de inrichting en doelstelling, en aangaf welke beheersmaatregelen genomen moesten worden om die doelstelling te bereiken.

Een beheersplan moest de uitgangspunten van het uitgevoerde landschaps- en beplantingsplan op lange termijn veilig stellen. Het lag in de bedoeling het beheer en onderhoud van de terreinen over te dragen aan Staatsbosbeheer. Deze dienst was reeds in een vroeg stadium betrokken geweest bij het opstellen van de plannen en was, gezien haar kennis omtrent dit soort beheerszaken, de hiervoor aangewezen instantie.

In de jaren na 1990 trad de Iepziekte op. Dit had ook gevolgen voor de Iepen bij de Volkeraksluizen. In eerste instantie werden alleen zieke bomen gerooid. Doch alle bomen werden ziek en zijn in 2000 gerooid en afgevoerd.

In december 2001 heeft men het terrein gelegen aan de Hellegatsweg gedraineerd. Op dit terrein en op de terreinen gelegen aan de zuidelijke voorhaven heeft men nieuwe bomen geplant. Dit zijn Essen.

# De toekomstige ontwikkelingen van het Krammer - Volkerak

## Inhoud

- Inleiding.
- Krammer - Volkerak in huidige situatie.
- Veranderingen na de afsluiting.
- Ontwikkelingsvisie.

## Inleiding

Tengevolge van de Oosterscheldewerken veranderde de waterhuishouding in het betrokken gebied. Ten westen van de compartimenteringdammen bleef het getij, met een kleine reductie, gehandhaafd. Ten oosten van de dammen viel het getij door de afsluiting echter weg en zou het water verzoeten. Als gevolg daarvan zijn grote delen van het tegenwoordige intergetijdengebied drooggevallen, waardoor deze gebieden ingrijpend van karakter veranderden. Daarop moest met beleidsplannen worden ingespeeld.

Onder verantwoordelijkheid van de Commissie Compartimentering Oosterschelde was een eerste verkenning uitgevoerd naar de inrichtings- en beheersmogelijkheden van het Krammer - Volkerak na de afsluiting. Deze studie was uitgemond in een ontwikkelingsvisie voor het gehele gebied en in daarbij aansluitende inrichtings- en beheersalternatieven voor de droogvallende gronden. In dit artikel wordt volstaan met een weergave van het algemene deel van de ontwikkelingsvisie. Overigens werd de visie gebaseerd op gegevens met een beperkte waarde. Oorzaak daarvan was dat ten tijde van het maken van het plan veel gegevens nog ontbraken, zoals de toekomstige waterhuishoudkundige situatie, en daardoor niet was aan te geven welke ontwikkelingen konden worden verwacht in de aquatische levensgemeenschappen. Ook de relatie tussen het Krammer - Volkerak en de omgeving waren nog onvoldoende onderzocht. Een andere beperking schuilde in het feit dat uitsluitend die functies in beschouwing genomen werden die in bestaande beleidsnota's naar voren kwamen, terwijl nog niet op alle overheidsniveaus en in alle sectoren diepgaand was nagedacht over moeilijkheden en wenselijkheden over het Krammer - Volkerak.

Bij de aanbidding van het hiervoor besproken studierapport aan de provinciale besturen van Zeeland, Noord-Brabant en Zuid-Holland had de commissie Compartimentering Oosterschelde dan ook voorgesteld om een integraal beleidsplan voor inrichting en beheer van het gebied op te stellen, in overleg met alle betrokken overheden. Deze aanpak, waarmee in de Oosterschelde positieve ervaringen waren opgedaan, werd beschouwd als het middel bij uitstek om de toekomstige veranderingen in milieukundig en planologisch opzicht te begeleiden. Deze reeds opgestelde ontwikkelingsvisie kon dan beschouwd worden als een belangrijke bouwsteen voor een dergelijk beleidsplan.

## Krammer - Volkerak in huidige situatie

We geven nu allereerst een korte beschrijving van het Krammer - Volkerak in de toenmalige situatie en van de te verwachten veranderingen die de afsluiting daarin teweegbracht. Het artikel wordt besloten met enkele opmerkingen over het vervolg van deze studie.

Toen vormde het Krammer - Volkerak de noordoostelijke uitloper van het getijdengebied van de Oosterschelde. De oppervlakte bedroeg 6450 ha. Zie tabel 1.

Tabel 1. Oppervlakteverdeling van het Krammer - Volkerak, tegenwoordige en toekomstige situatie.

	Tegenwoordige situatie.	Toekomstige situatie.
Milieutype	Oppervlakte (ha)	Oppervlakte (ha)
Water	3460	4670
Intergetijdgebied	2350	-
Schorren	640	-
Droogvallende gronden	-	1780
Totaal	6450	6450

Het zoute getijdenmilieu van het Krammer - Volkerak bevatte een rijke flora en fauna. Kenmerkend daarvoor waren de grote hoeveelheid vogels die in het gebied werden aangetroffen en de schorren met hun grillige krekenspatroon en karakteristieke vegetatie.

In de ondiepe delen van het water bevonden zich mosselpercelen. Behalve de mosselvisserij vonden in dit gebied ook andere soorten visserij plaats, zoals garnalen- en palingvisserij.

Voor de beroepsvaart was het Krammer - Volkerak een belangrijke vaarweg, als onderdeel van de routes die het Westerscheldebekken en het Antwerpse havengebied verbonden met het Nieuwe-Waterweggebied, via de Schelde-Rijnverbinding en via het Zijpe. Voor de pleziervaart was het Krammer - Volkerak eveneens van belang, als schakel in de doorgaande route tussen het noordelijk en het zuidelijk Deltagebied. Dinteloord heeft een grote jachthaven. In de omgeving van Oude-Tonge en Ooltgensplaat waren voorzieningen voor verblijfsrecreatie aanwezig.

Door de matige ontsluiting van het gebied en de getijbeweging vond in het Krammer - Volkerak slechts in geringe mate oeverrecreatie plaats. Tot slot van deze beknopte beschrijving dient te worden gewezen op het industrieterrein langs het Krammer - Volkerak ten noordwesten van Dintmond.

## Veranderingen na afsluiting

Door de afsluiting met de Philipsdam zou het Krammer - Volkerak van een zout getijdebekken veranderen in een zoet stagnant meer. Door het wegvallen van de getijdebeweging zou bij een peil van N.A.P. 27 % van de totale oppervlakte van het gebied voorgoed droogvallen. De rest bestond uit water, waarin naast diepe geulen uitgestrekte ondieptes voorkwamen. Tussen de droogvallende gronden en het water zou een scherpe grens ontstaan, waardoor door geconcentreerde golfaanval oevererosie kon optreden. De veranderingen zouden verstrekende consequenties hebben voor waterhuishouding en milieu, en in samenhang



daarmee voor de functies van het gebied. Na de afsluiting werd op het Krammer - Volkerak water aangevoerd door het Hollandsch Diep via de Volkeraksluizen, door de Brabantse rivieren en tengevolge van neerslag en polderlozingen. De afvoer van water zou in hoofdzaak plaatsvinden langs het Bathse spuikanaal. Daarnaast zouden de omliggende polders in de zomermaanden naar verwachting water van het Krammer - Volkerak inlaten. Bovendien trad in deze periode een verdampingsoverschot op. Met name in de zomer zou er behoefte bestaan aan het inlaten van water uit het Hollandsch Diep, zowel voor de handhaving van het peil als voor de waterkwaliteit. De inlaat van water bij de Volkeraksluizen en het afvoeren ervan via het Bathse spuikanaal naar de Westerschelde maakt het mogelijk het Krammer - Volkerak en de Schelde-Rijnverbinding van noord naar zuid door te spoelen met zoet water.

Op deze wijze was het mogelijk het tempo van ontzilting van het Krammer - Volkerak te beïnvloeden. De waterkwaliteit van het toekomstige Krammer - Volkerak zou voor een groot deel afhankelijk zijn van de kwaliteit van het water dat door de grote rivieren via de Volkeraksluizen werd ingelaten. Met dit water werden aanzienlijke hoeveelheden voedingsstoffen aangevoerd, waardoor in het Krammer - Volkerak een tamelijk hoog fosfaat- en stikstofgehalte verwacht werd. Dit kon mogelijk leiden tot overmatige algenbloei in het bekken, en een verstoring van het ecosysteem. Door verkorting van de verblijftijd van het water kon buitensporige algenbloei wellicht voorkomen worden. Ook het gehalte aan toxische stoffen in het Krammer - Volkerak zou nadelig worden beïnvloed door toevoer van rivierwater.

De tegenwoordige natuurwaarden van het Krammer - Volkerak als getijdengebied gingen door de afsluiting grotendeels verloren. Door de ontzilting van het water werd de huidige aquatische levensgemeenschap vervangen door een zoetwatergemeenschap. Door het wegvallen van het getij zou het intergetijdgebied de waarde die het nu heeft als foerageergebied voor vogels en vissen, verliezen. Het gedeelte van het intergetijdgebied dat onder water kwam te liggen zou gedeeltelijk worden bedekt met waterplanten. Door de te verwachten algenbloei zouden de waterplanten slechts tot een beperkte diepte groeien. De schorren en de droogvallende gronden zouden van hoog naar laag begroeid raken met bossen, struikgewas, riet en biezen-gordels en verlandingsvegetaties. In de eerste jaren na de afsluiting zouden interessante overgangen voorkomen van zoet- en zoutminnende vegetaties die met behulp van beheersmaatregelen op verschillende plaatsen ook op de langere termijn konden worden gehandhaafd. Op de droogvallende gronden zou de samenstelling van de broedvogel bevolking veranderen met de successiestadia in de begroeiing. Naarmate de bosvorming vorderde nam de soortenrijkdom toe. Daarnaast zouden de rietzones langs de oevers een uitgebreide vogelbevolking gaan herbergen. In de eerste jaren na afsluiting zouden de aantallen doortrekkende en overwinterende vogels op het meer gering zijn. Naarmate de hoeveelheid voedsel in het water toenam zouden ze echter weer stijgen. Naast eenden en ganzen werden op het open water visetende vogelsoorten verwacht, zoals aalscholvers, futen en zaagbekken. Ondiepe en rustige gebieden konden 's winters een functie vervullen als slaapplek voor ganzen, terwijl de drooggevallen platen een functie vervulden als foerageergebied voor ganzen en eenden uit de omgeving. Na het droogvallen van de oevergebieden zouden zich daarbij toenemende vegetatie ontwikkeling verscheidene diergroepen vestigen, zoals zoogdieren, amfibieën, reptielen, insecten en allerlei lagere diersoorten.

De afsluiting zou de toenmalige visserijvormen, mogelijk met uitzondering van de palingvisserij, onmogelijk maken. Door het droogvallen van de oevers en het instellen van een vast peil zou de mogelijkheden voor oeverrecreatie en het Krammer - Volkerak in principe toenemen. Door het wegvallen van de getijbeweging werd een stijgende belangstelling voor de kleine watersport in het gebied verwacht. Met name diende rekening te worden gehouden met een sterke groei van het aantal plankzeilers.

Daarnaast behield het water een belangrijke functie als doorgaande route voor de recreatievaart. Behalve voor de oeverrecreatie zouden de droogvallende gronden in het Krammer - Volkerak met het voortschrijden van de vegetatie ontwikkeling ook aantrekkelijk worden voor allerlei vormen van landgebonden recreatie.

Voor de beroepsscheepvaart bracht de compartimentering het voordeel mee dat het getij wegviel op het Krammer - Volkerak en de Schelde-Rijnverbinding.

### **Ontwikkelingsvisie**

En nu dan de ontwikkelingsvisie die in opdracht van de Commissie Compartimentering Oosterschelde was opgesteld. Deze visie werd enerzijds gebaseerd op de te verwachte potenties van het gebied na de afsluiting, anderzijds op een analyse van beleidsvoornemens van de betrokken overheidsinstanties.

De beleidsstukken die in de analyse een wezenlijke rol hebben gespeeld zijn de structuurschema's Openluchtrecreatie, Natuur- en Landschapsbehoud, de Vaarwegennota en de Nota Landelijke Gebieden, de ontwerp- streekplannen Zuid-Holland-Zuid en West-Brabant en het streekplan Schouwen-Duiveland/Herzienen 1978. In de analyse zijn de volgende functies betrokken:

- Scheepvaart;
- Natuur;
- Recreatie;
- Beroepsvisserij;
- Landbouw;
- Nutsvoorzieningen;
- Zandwinning en speciebergig.

De ontwikkelingsmogelijkheden van het toekomstige Krammer - Volkerak waren deels afhankelijk van de waterhuishoudkundige situatie die na de afsluiting ontstond. De natuur en recreatiefuncties hadden baat bij een goede waterkwaliteit en een vast peil. Over de uiteindelijke waterkwaliteit en het waterkwantiteitsbeheer dat werd gevoerd, bestond nog onzekerheid. Om deze onzekerheid te verminderen werd onderzoek verricht naar de toekomstige waterhuishoudkundige situatie en naar de mogelijkheden om die te beïnvloeden. Op grond van tijdens de studie beschikbare kennis werd in de ontwikkelingsvisie uitgegaan van een vast peil tussen N.A.P. + 0,25 meter en N.A.P. - 0,25 meter, en een waterkwaliteit die de ontwikkeling van de hierna vermelde functies mogelijk maakte.

Bij de ontwikkeling van het Krammer - Volkerak dienden de belangen van de scheepvaart nauwlettend in acht te worden genomen. Dit gezien het feit dat een deel van het gebied een onderdeel is van de Schelde-Rijnverbinding. Voor een snelle en veilige afwikkeling van de nog in intensiteit toenemende scheepvaart werden in de Philipsdam afzonderlijke sluizen gebouwd voor de beroepsscheepvaart en de recreatievaart.

Op het Krammer-Volkerak konden zich conflicten voordoen door de vermenging van beroeps-scheepvaart, doorgaande recreatie-

vaart en plaatsgebonden recreatievaart. Om daaraan het hoofd te kunnen bieden werd onderzocht in hoeverre uitbreiding van de plaatsgebonden recreatievaart verantwoord was, en welke maatregelen gewenst en mogelijk waren om conflicten tussen de recreatie en de scheepvaart te voorkomen. De consequenties hiervan voor de recreatie was dat in het Krammer-Volkerak slechts een beperkte ontwikkeling van de plaatsgebonden recreatievaart en van jachthavens kan worden toegestaan. Voorts dat bij de situering van water- en oeverrecreatievoorzieningen rekening gehouden moest worden met hun ligging ten opzichte van de scheepvaartroute.

De natuurlijke potenties van het Krammer - Volkerak dienden zo goed mogelijk te worden benut. De aquatische levensgemeenschappen waren afhankelijk van de waterkwaliteit. Binnen de gegeven randvoorwaarden werd gestreefd naar een optimale waterkwaliteit. De droogvallende gronden zouden wanneer het gebied aan zijn lot werd overgelaten achtereenvolgens begroeid raken met grassen, struiken en bossen. Daartoe kon gebruik worden gemaakt van beheersmaatregelen als beweiden en maaien. Plaatselijk kon reliëfvorming worden bevorderd door het plaatsen van stuifschermen. Waar een natuurlijke ontwikkeling gewenst werd geacht waren plaatselijke natuurbouwmaatregelen nodig, ook in het belang van de afstemming natuur- en de recreatiefunctie. Om te voorkomen dat door oeverafslag aanzienlijke oppervlakten grond verloren gingen waar dit niet gewenst werd geacht, waren oeververdedigingswerken nodig.

Op plaatsen waar bijzondere potenties tot ontwikkeling werden gebracht of waar rust een noodzakelijke voorwaarde was voor het functioneren van natuurgebieden, diende betreding te worden tegengegaan.

In minder kwetsbare gebieden kon zonder schade beperkte recreatie worden toegestaan. Getracht werd, wanneer voor zo'n indeling werd gekozen, een zonerings tot stand te brengen van rustgebieden tot gebieden waar matig intensieve vormen van recreatie mogelijk was.

Het Krammer - Volkerak zou naar verwachting potenties hebben voor verschillende recreatieve functies: oeverrecreatie, watersport en landgebonden recreatie.

Gelet op de scheepvaartroute, en ook omdat er voldoende andere mogelijkheden in de buurt waren, werd in de visie van de projectgroep voor het Krammer - Volkerak als geheel slechts een beperkte recreatieve ontwikkeling voorgestaan. Op enkele plaatsen werd een meer intensieve ontwikkeling mogelijk geacht, namelijk op de Plaat van de Vliet, in de omgeving van Oude Tonge en op de Hellegatsplaten. Overigens was het plankzeilen op een aantal plaatsen in het gebied sterk toegenomen. Waar mogelijk en nodig was enige kanalisering van deze sportbeoefening wel gewenst.

Bij het realiseren van jachthavenvoorzieningen diende - nog altijd rekening houdend met de beroepsscheepvaart - het accent te worden gelegd op passantenplaatsen voor de vele doortrekkende pleziervaarders. Daarnaast kon een geringe uitbreiding voor vaste ligplaatsen ten behoeve van plaatsgebonden recreatievaart en sportvisserij worden overwogen. Plaatsen die daarvoor in principe geschikt waren, zijn Dintelmond, Benedensas, Oude Tonge en Ooltgensplaat.

Voor de beroepsvisserij had het Krammer - Volkerak na de afsluiting van geringe betekenis. Afhankelijk van de waterkwaliteit werd naar verwachting uitsluitend de palingvisserij uitgeoefend. Het zoete Krammer - Volkerak zou vermoedelijk een functie vervullen voor de watervoorziening van de landbouw in de omliggende gebieden. De effecten van en voor de waterkwaliteit speelden daarbij een rol.

Bij de inrichting en het beheer van de droogvallende gronden langs de oever aan weerszijden van de Roosendaalse en Steenbergse Vliet werd rekening gehouden met de reservering volgens het Tweede Structuurschema Drink- en Industrierwatervoorziening; zodat eventuele aanleg in elk geval niet onmogelijk werd gemaakt.

Zandwinning in het Krammer - Volkerak diende alleen plaats te vinden voor zover dit noodzakelijk was voor het beheer van de scheepvaartroute, waarbij andere belangen niet uit het oog mochten worden verloren.

In de ontwikkelingsvisie van het Krammer - Volkerak werden globaal drie fasen onderscheiden:

- De periode tot de afsluiting;
- De overgangssituatie;
- Stabilisatiefase.

Tijdens de periode waarin het Krammer - Volkerak nog als zout getijdebekken functioneerde, diende te worden voorkomen dat zich ontwikkelingen voordeden die als ongewenst werden beschouwd wanneer eenmaal een keuze voor de toekomst voor het gebied was gedaan.

Na de afsluiting trad in het Krammer - Volkerak een ontziltingsproces op. Afhankelijk van het te kiezen alternatief werd het zoute water in een periode van enkele weken tot 9 maanden geheel vervangen door zoet water. Het ontziltingsproces van de bodem van de droogvallende gronden verliep veel trager. Met uitzondering van bepaalde gronden met slechte afwatering zou de bodem van de droogvallende gronden in een periode van 10 jaar toch wel ontzilt zijn. Afhankelijk van het beheer en de afwatering zou vermoedelijk een vegetatie ontstaan van ruigtekruiden, grassen en struwelen, terwijl de begroeiing op sommige plaatsen al een bosachtig karakter kreeg. In deze fase zou het accent van het beleid moeten liggen op het waterhuishoudkundig beheer en op de begeleiding van de ontwikkelingen op de droog vallende gronden. Gezien de nauwe samenhang tussen de recreatieve potenties en de ontwikkeling van de vegetatie, werden in de huidige visie de meeste recreatieve functies pas in de loop van deze periode tot ontwikkeling gebracht. In deze fase moest voorts veel aandacht worden besteed aan de bescherming van de oevers.

Na de overgangsfase zou het Krammer - Volkerak toe groeien naar een nieuw evenwicht. Het ontziltingsproces van de bodem werd geheel voltooid en de vegetatie bereikte uiteindelijk het gewenste stadium: een variatie van bossen, gras en struwweellandschappen.

Vanaf ongeveer 1995 wordt het Zoommeer geplaagd door algen. In de zomer ligt er een dikke blauw-groene koek op het water. Dit geeft een enorme stankoverlast voor de bewoners kort aan het water en de recreatie in dat gebied. De sluisen bij Dintelsas en de Steenbergse Vliet worden in de avond en nacht dichtgezet om de algenplaag op de rivier te weren.

Er wordt al gesproken om meer stroming in het water te brengen. Ook overweegt men om zout water in beperkte hoeveelheden op het Zoommeer in te laten.

In 2003 zijn verschillende onderzoeken gedaan om de blauwalg te bestrijden. Het onderzoek moet nog verder gaan om een oplossing te vinden wat voor de waterhuishouding, natuur, landbouw, scheepvaart en recreatie aanvaardbaar is.

# *Colofon en literatuuroverzicht*

## *Colofon*

Uitgave	Jan Van Horne t.b.v. Clinic Clowns Slotdreef 10 4797 EJ Willemstad (NBr.) Tel. (0168) 472828
Tekst	Samenvatting van de tekst uit Driemaandelijks uitgave van Deltadienst.
Foto's	Foto reproductie-inrichting Rijkswaterstaat. Foto Onderafdeling Reprografie Hoofddirectie Waterstaat.
Bronafbeeldingen	Rijkswaterstaat twintig jaar werken in het Volkerak .

## *Literatuuroverzicht*

Voor de samenstelling van dit boek is mede gebruik gemaakt van de volgende publicaties:

Rijkswaterstaat:	Driemaandelijks berichten van de Deltadienst.
Rijkswaterstaat	Twintig jaar werken in het Volkerak 1959 - 1977.