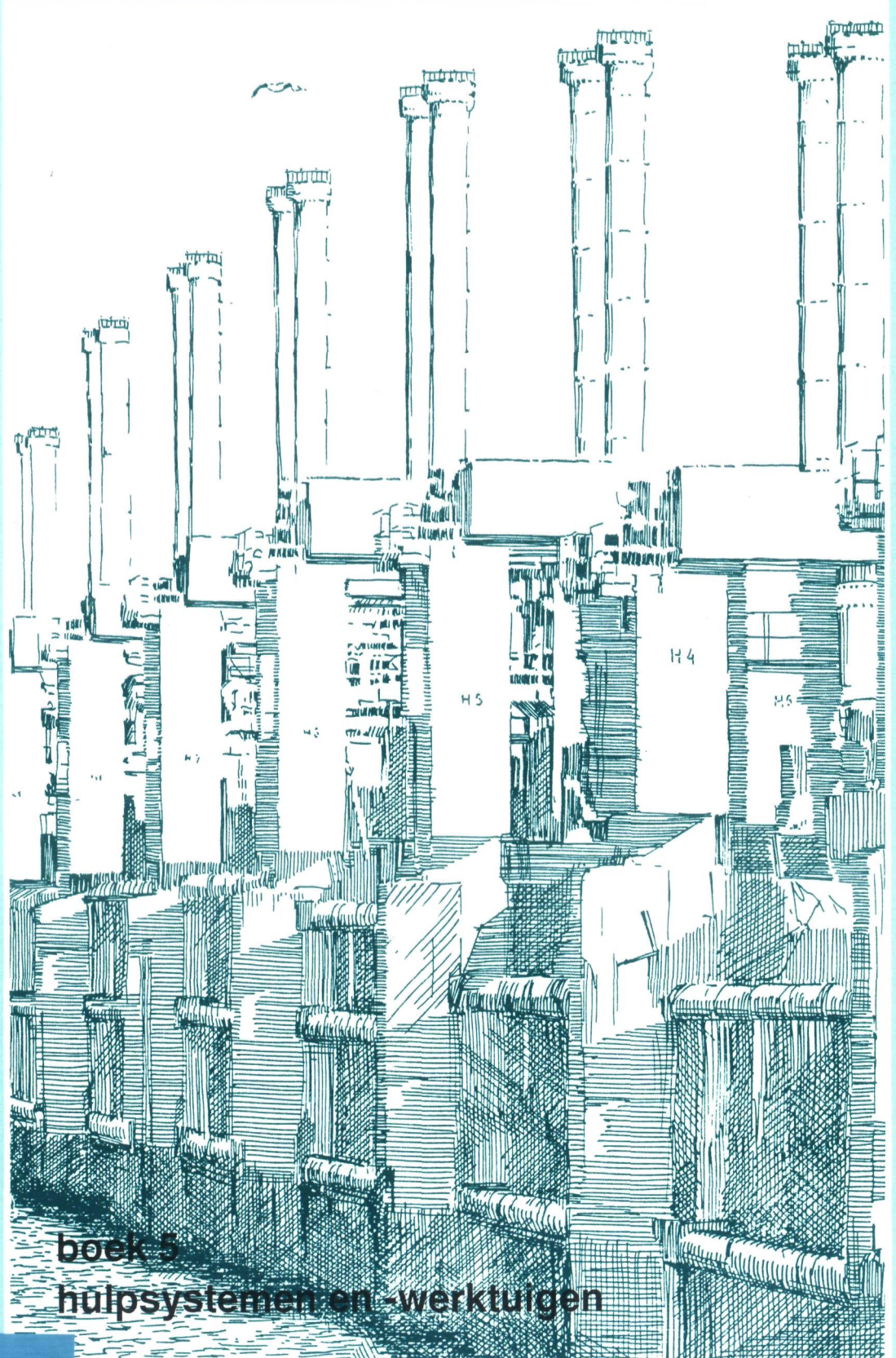
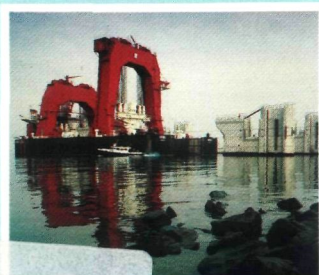
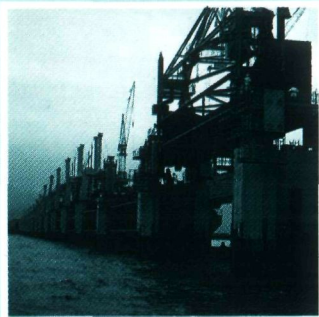
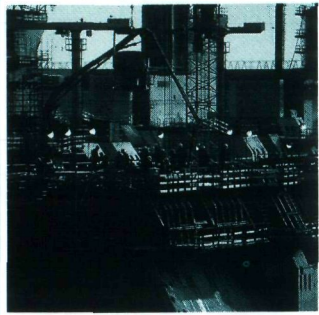
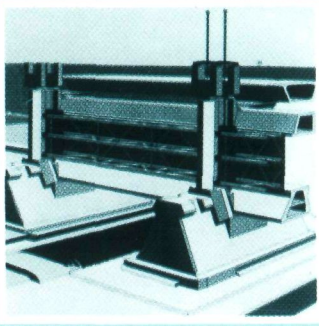




ontwerpnota  
stormvloedkering  
oosterschelde



boek 5  
hulpsystemen en -werktuigen

# Ontwerpnota

## Stormvloedkering Oosterschelde

.....  
Directoraat-Generaal Rijkswaterstaat  
Informatie en Documentatie  
Postbus 20906  
2500 EX Den Haag  
Tel. 070-3518004 / Fax. 070-3518003

---

### Boek 5:

## Hulpsystemen en -werktuigen

## Colofon:

Fotoverantwoording:  
Rijksarchief in Zeeland  
Rijkswaterstaat  
M.J. Schaleven  
J. van Bodegom  
Tijdschrift Electronica 84/15-16

## Boek 5: Hulpsystemen en -werktuigen

- Deelnota 1: Inleiding en algemene probleemstelling
- Deelnota 2: Hydro-Meteosysteem
- Deelnota 3: Plaatsbepalingssystemen
- Deelnota 4: Peilingen en lodingen
- Deelnota 5: Onderwaterdetectie
- Deelnota 6A: Grondmechanisch onderzoek onderwater
- Deelnota 6B: Materieel grondverbetering
- Deelnota 7: Verdichtingsschip Mytilus
- Deelnota 8: Dustpanzuigen
- Deelnota 9: Blokkenmatten en tegelmatten
- Deelnota 10: Jan Heijmans
- Deelnota 11: Funderingsmattenfabriek
- Deelnota 12: Funderingsmattenlegger - Cardium
- Deelnota 13: Grindwiepenmattenlegger - Sepia
- Deelnota 14: Afvier- en opschoonponton Macoma
- Deelnota 15: Hefschip Ostrea
- Deelnota 16: Taklift 4
- Deelnota 17: Toplaagstorter Trias

---

## Deelnota 1: Inleiding en algemene probleemstelling



# Inhoud

1	Algemene inleiding	6
2	Werkomstandigheden in de monding van de Oosterschelde	8
3	Onderdelen die een bijzonder gereedschap vragen	9
4	Plaatsbepaling	10
5	Controle	11
6	Slotbeschouwing	12

# 1. Algemene inleiding

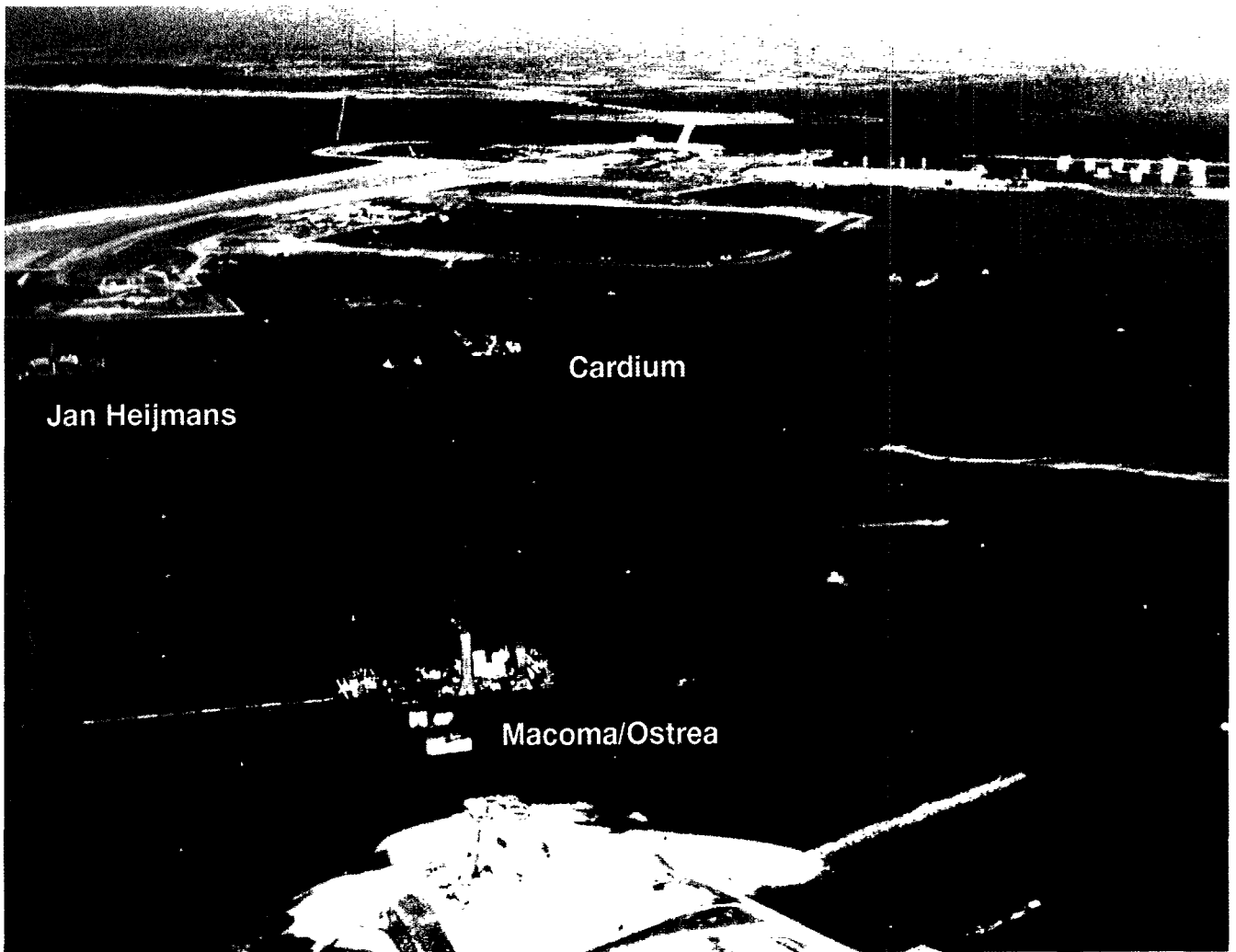
In dit boek wordt een nadere beschrijving gegeven van de, voor de realisatie van de Stormvloedkering ingezette hulpsystemen en -werktuigen, voor zover dit materieel een bijzonder karakter had ten opzichte van de, in de Nederlandse waterbouwkunde, normaal gebruikelijke hulpmiddelen.

Hoewel strikt genomen niet behorend tot het ontwerp van de stormvloedkering en ook nauwelijks van belang zijnde voor de toekomstige beheerder, wordt de motivering hiervoor ontleend aan de stelling, dat men bij het ontwerpen van een constructie ook moet nadenken over de uitvoer-

baarheid daarvan.

Zo wordt de uitvoeringsmethode, zeker wanneer daar bijzondere hulpmiddelen aan te pas komen, een integrerend onderdeel van het ontwerp.

Van de doelgroepen van de ontwerp-nota -de beheerder van de stormvloedkering, de toekomstige ontwerper van andere grootschalige werken, de technisch-wetenschappelijke dan wel de technisch-historische belangstellenden- zullen vooral de twee laatste groepen gebaat kunnen zijn bij de in dit boek gegeven beschrijvingen en de daarachter liggende documentatie.



*Een aantal hulpsystemen/-werktuigen bij elkaar*

Ook vanuit de doelstelling van deze ontwerpnota:

“het geven van een samenhangende en evenwichtige beschrijving van het ontwerp” wordt, gezien de hiervoor reeds aangegeven samenhang tussen ontwerp en uitvoeringsmethode, een beschrijving van de toegepaste bijzondere hulpmiddelen onmisbaar geacht.

In dit boek wordt het accent gelegd op het ontwerp, de functionele specificaties en in grote lijnen op het werken met het bijzondere materieel alsmede de opgedane ervaringen.



---

## 2. Werkomstandigheden in de monding van de Oosterschelde

---

De monding van de Oosterschelde was een weinig gastvrij gebied voor het uitvoeren van een groot waterbouwkundig werk zoals de stormvloedkering.

Het tracé van de stormvloedkering met een lengte van 9 km, liep via stroomgeulen (met diepten tot ca. 35 m) en ondiepe gebieden die hier en daar bij laagwater droogvielen, alsmede zandplaten die alleen bij springtij onder water verdwenen. Het geheel stond onder invloed van wind, golven en sterke getijstromen. Het zicht was ten gevolge van mist en/of slecht weer, soms zeer beperkt. Het gebied lag naar het westen en noord-westen vrij toegankelijk voor wind en golven die vanwege de lange onbeperkte strijklengte tot grote hoogten konden worden opgezweept.

De enige bescherming hiertegen werd gevormd door het zeewaarts gelegen zandbankengebied dat onder normale omstandigheden de zwaarste zeegang tegenhield. Tijdens windkracht 7 Beaufort (= 15m/sec) uit het noordwesten konden bij hoogwater nog golven optreden met een hoogte van circa 1,60 m (buitengaats was dat dan 2,5 m). Deze zogenaamde windgolven hadden een betrekkelijk korte golflengte, waardoor vooral de kleinere werkschepen in hun gedrag werden beïnvloed.

De grote werkschepen werden door deze golven in het algemeen minder snel in beweging gebracht.

Behalve de in het gebied zelf opgewekte windgolven konden ook deininggolven (gedefinieerd door een periodetijd van meer dan 10 seconden) uit de Noordzee in het werkgebied doordringen. Doordat deze lange golven vaak op grote afstand op de Noordzee of nog verder ontstaan, konden ze ook bij rustig weer optreden. Hoewel de hoogte van deze deininggolven meestal beperkt bleef tot enkele tientallen centimeters, konden zij door hun grote lengte ook de grote werkschepen in beweging brengen. Deze beweeglijkheid van de grote werkschepen was een belangrijke factor waarmee rekening moest worden gehouden, zowel bij het peilen met hoge nauwkeurigheid, het vlakbaggeren van het funderingsbed als bij het plaatsen van de pijlers.

De optredende getijstroom was eveneens belangrijk voor het werken op en in het water. Duikwerkzaamheden konden alleen plaatsvinden bij lage stroomsnelheden tijdens de kenteringen. De stroomdruk was vaak maatgevend voor de ankerkrachten op de verankerde werkschepen en voor de krachten op de onder water aan te brengen (prefab-)materialen/onderdelen zoals bodembeschermings- en funderingsmatten, pijlers, dorpelbalken en dergelijke. Ook was de stroomdruk van wezenlijke invloed op het grondmechanisch onderzoek onder water en reparaties van schades aan funderingsmatten waarvoor een duikerklok respectievelijk een onderwaterwerkkamer werd gebruikt.

De getijstromen varieerden bij een gemiddeld getij van 1,3 m à 1,5m per seconde voor een open Oosterschelde tot

ca. 5m per seconde bij de volledige voltooide profielvernaauwing, afhankelijk van de vordering van het werk. De stroomsnelheden werden overigens beïnvloed door de hoogte van het astronomische getij en toevallige verhogingen en verlagingen door meteorologische oorzaken.

Bepaalde werkzaamheden moesten bij zo laag mogelijke stroomsnelheden worden uitgevoerd, dus een bepaalde tijd voor en na de kentering. Deze tijdperiode werd, naarmate de werkzaamheden vorderden, met als gevolg dat het doorstroomprofiel vernauwde, steeds korter. In het ontwerp van de werkschepen die moesten worden ingezet werd dan ook rekening gehouden met de beperkte beschikbare werktijd. In het algemeen moesten de schepen zodanig worden ontworpen en uitgerust dat zij met een zo gering mogelijke tolerantie ten aanzien van de omgevingscondities hun taak nog konden uitvoeren (de zogenaamde werkcondities). Bovendien moesten de schepen, voor de eigen veiligheid en voor die van de bemanning, wanneer niet werd gewerkt, belangrijk slechtere omgevingscondities zonder schade kunnen doorstaan (de zogenaamde overlevingscondities). Ook was het van belang, eveneens voor de veiligheid van mens en materieel en ter beperking van nodeloze kosten, om te kunnen beschikken over een redelijk betrouwbare prognose betreffende de te verwachten omgevingscondities. Dit gold vooral voor werkzaamheden met een lange aanloop- of voorbereidingstijd, die moeilijk halverwege konden worden afgebroken (bijvoorbeeld het plaatsen van een pijler).

---

### 3. Onderdelen die een bijzonder gereedschap vragen

---

In boek 2 van de ontwerpnota, waarin de "waterbouwkundige werken" zijn beschreven, is een groot aantal constructie-onderdelen behandeld die qua uitvoering om werktuigen en installaties vroegen, die er niet waren.

Uitgaande van een reeds ontwikkelde methode voor het verdichten van de bodem moest er een werktuig worden ontworpen dat in staat was om op grote diepte onderwater de bodem te verdichten tot een laagdikte van 10 à 15 m.

Er moest een baggermethode worden ontwikkeld die het mogelijk maakte dat, met kleine toleranties voor wat betreft hoogte en vlakheid, de funderingsgrondslag voor de pijlers kon worden gerealiseerd.

Ook moesten methoden worden ontwikkeld voor het verwijderen van zand, zonder de reeds aangebrachte onderliggende constructies te beschadigen of aan te tasten.

Voor het op grote schaal beschermen van de zandbodan was het noodzakelijk om een werkmethode en drijvend materieel te ontwikkelen voor het leggen van de betonblokken- en steenasfaltmatten. Deze ontwikkeling was al in gang gezet ter voorbereiding van de aanleg van een dichte Oosterschelddedam.

Het ontwerp en de legmethode van de voor het funderingsbed gebruikte filtermatten was min of meer een verdere extrapolatie hiervan. Door de geheel andere constructie van deze matten en de andere dimensies moest er echter een geheel nieuwe fabriek en drijvend materieel worden ontworpen.

Met het leggen van de asfaltmastieklagen voor de stortebedden kon weliswaar worden teruggegrepen op bestaande ervaring en apparatuur, doch nieuwe aanpassingen waren noodzakelijk. Er moest een methode worden ontwikkeld om de ruimte tussen twee funderingsmatten (de zogenaamde negatieve overlap) van een hoogwaardig granulaire filter te voorzien, waarbij de afzonderlijke lagen niet mochten worden aangetast door de steeds toenemende stroomsnelheden.

Voor het transport en het plaatsen van de geprefabriceerde betonnen pijlers moest een speciaal vaartuig worden ontwikkeld in de vorm van een hefschip. Tevens werd een apart hefwerktuig ontworpen voor het plaatsen van de overige betonnen en stalen geprefabriceerde elementen. In principe kon dit laatste plaatsvinden door een drijvende bok doch de voorhanden zijnde bokken hadden hiervoor onvoldoende hefcapaciteit.

De extreem zware breuksteen (tot 15 ton stuk gewicht) voor de toplaag van de drempel en de aanstortingen van de dorpelbalken aan de Oosterscheldezijde van de stormvloedkering moest nauwkeurig onder water worden geplaatst zonder pijlers en dorpelbalken te beschadigen.

De in de stroomgeulen te gebruiken werkvaartuigen moesten worden verankerd om aan de optredende stromingen

voldoende weerstand te kunnen bieden en om voldoende nauwkeurig te kunnen manoeuvreren. Het gebruik van conventionele grondankers was, door de aanwezigheid van de uitgebreide bodembescherming en het reeds gemaakte werk aan de kering zelf, meestal niet mogelijk. Daartoe moest een alternatief ankersysteem worden ontworpen, dat grote krachten kon opnemen en waaraan de werkvaartuigen gemakkelijk konden worden vastgemaakt.

Deze opsomming is niet uitputtend. Aangegeven wordt dat aan het ontwerp van een onderdeel onverbrekkelijk de mogelijkheden tot uitvoering en het daarvoor beschikbare materieel zijn verbonden. Bij de behandeling van het bijzonder materieel en apparatuur in dit boek blijkt dat er een duidelijke wisselwerking is geweest tussen het ontwerp van een onderdeel van de constructie en de gekozen uitvoeringsmethode met het bijbehorende gereedschap.

Bij het ontwerp van de noodzakelijke bijzondere werktuigen en installaties is op ruime schaal gebruik gemaakt van de ontwerpcapaciteit van de bij het werk betrokken aannemers en externe gespecialiseerde ingenieursbureaus.

---

## 4. Plaatsbepaling

---

Voor een bouwwerk van enige omvang is een goede plaatsbepaling in de ruimte essentieel voor de realisering van de juiste vormgeving van het bouwwerk. Dit geldt nog sterker voor een bouwwerk dat wordt opgebouwd uit geprefabriceerde onderdelen.

Op een droog bouwterrein kan veel daarvan met een eenvoudige visuele herkenning, dan wel met eenvoudige (optische) hulpmiddelen worden gerealiseerd. Het is niet ongebruikelijk dat een droog bouwterrein wordt overdekt met een netwerk van nauwkeurig ingemeten referentiepunten van waaruit allerlei noodzakelijke detailmetingen kunnen worden uitgevoerd.

Het realiseren van de stormvloedkering in het algemeen en het plaatsen van samengestelde onderdelen in het bijzonder bracht voor het meet- en plaatsbepalingssysteem extra complicaties met zich mee die als volgt kunnen worden samengevat:

- een visuele locatieherkenning of markering was onmogelijk, specifieke locaties moesten dus via een indirecte methode worden vastgelegd en/of opgezocht;
- het uitzetten van een netwerk van referentiepunten was zo niet onmogelijk dan toch wel uiterst kostbaar en het resultaat zou kwetsbaar zijn. De nauwkeurige horizontale plaatsbepaling van details moest daardoor in veel gevallen over een grote afstand ten opzichte van vaste punten op de vaste wal gebeuren;
- gehanteerd als sturingsmiddel voor de op het water opererende werktuigen, moesten de te hanteren plaatsbepalingssystemen zowel horizontaal als vaak ook vertikaal een snelle en eenvoudige afleesbare presentatie van gegevens bieden;
- de ligging van vlakken onder water wordt in eerste instantie ten opzichte van het wateroppervlak gemeten. Door het verticale getij en de golfbeweging was dit echter geen vast gegeven en moest hiervoor een compensatiesysteem worden ingevoerd;
- vooral bij opnamen van het gemaakte werk en de registratie van veranderingen in de bodemligging door andere oorzaken moesten in korte tijd grote hoeveelheden gegevens kunnen worden gepresenteerd en verwerkt;
- de op het water gebruikelijke radiografische systemen voor de plaatsbepaling in het horizontale vlak boden in een aantal gevallen niet de vereiste nauwkeurigheid. Dit gold ook voor de gebruikelijke akoestische methoden voor de bepaling van de diepteligging van vlakken onder water.

Uit de hiervoor in het kort geschetste problematiek vloeiden een aantal specifieke plaatsbepalings- en meetproblemen voort.

Uitgaande van de beschikbare technische hulpmiddelen moesten hiervoor nieuwe systemen worden ontwikkeld.

## 5. Controle

Voor het bereiken van de beoogde kwaliteit (bezien vanuit het ontwerp) is controle tijdens en na uitvoering van het te maken werk een noodzakelijke schakel in het geheel. Voor het bovenwater gemaakte werk en de geprefabriceerde onderdelen leverde deze kwaliteitscontrole in het algemeen geen bijzondere problemen op.

Anders was dit met het onder water gemaakte werk waar zelfs een eenvoudige visuele controle, door de geringe helderheid van het Oosterscheldewater en de grote waterdiepte, al problemen opleverde.

In de eerste plaats ging het om een controle van de maatvoering onder water. Die was terug te brengen tot de plaatsbepalingsproblematiek, zoals die reeds in het vorige hoofdstuk in grote lijnen is behandeld.

Een tweede punt was de controle van de gerealiseerde verdichting van de ondergrond. Een probleem dat overeenkwam met het initiële onderzoek naar de draagkracht van de bodem onder water, alleen was hier de vraag naar gegevens groter.

Voor iedere pijlerlokatie moesten de resultaten van de verdichting bekend zijn. Mede in verband met de daarvoor beschikbare tijd was er behoefte aan een uitvoeringsmethode die met het oog op de condities aan het wateroppervlak (golfbeweging) een grote werkbaarheidsverwachting zou geven en ook in diep water goed bruikbaar zou zijn.

Voor het overige was er vooral de behoefte aan alternatieven voor het uitvoeren van routinematige visuele inspecties.

In principe konden veel van de inspecties, uitgezonderd die in de holle ruimte onder de pijlervoet, worden uitgevoerd door duikers. Hieraan kleefde echter een aantal bezwaren:

- het duikwerk is tamelijk arbeidsintensief en alleen uitvoerbaar bij lage stroomsnelheden;
- juist het routinematige inspectiewerk eiste vrij hoge producties in een tamelijk strak tijdprogramma;
- in verband met het risico voor de duikers was een inspectie niet in te passen in de werkcyclus van een groot werktuig (bijvoorbeeld het opschonen en leggen van de filtermatten);
- de resultaten van duikerinspecties zouden altijd afhankelijk blijven van het persoonlijke oordeel, de interpretatie, van de duiker. Daarbij waren er dan geen mogelijkheden tot een objectieve registratie.

Meer in het bijzonder ging de behoefte uit naar een methode om met name ongewenste zandafzetting op de filtermatten van het funderingsbed en in de negatieve overlap te kunnen detecteren.

Verder was een inspectie van de filtermatten op beschadigingen, de aanwezigheid van vreemde voorwerpen en

aangroei van mariene organismen (mosselen en kokerwormen) noodzakelijk.

Het was niet uitgesloten dat ook in de holle ruimte onder de voet van de geplaatste pijlers, die in een later stadium met een injectiespecie zou worden gevuld (het zogenaamde ondergrouten), afzettingen van zand en slib en eventueel mariene organismen zouden voorkomen. Alvorens over te gaan tot het ondergrouten moest ook deze ruimte worden gecontroleerd op de aanwezigheid van genoemde ongewenste afzettingen. Een extra probleem daarbij was dat deze ruimte slechts toegankelijk was voor apparatuur van beperkte omvang.

Voor de ontwikkeling van de gewenste detectie- en meet-systemen kon in principe worden uitgegaan van bestaande technieken met onderwatercamera's en akoestische meet-apparatuur. Met de toepassing van deze technieken was een objectieve registratie van gegevens in principe mogelijk.

De te gebruiken instrumenten moesten echter worden gemonteerd aan dragers, die zich min of meer onafhankelijk zouden moeten kunnen verplaatsen en die zouden moeten zijn voorzien van een voldoende nauwkeurig werkend plaatsbepalingssysteem.

De te ontwikkelen systemen zouden voor gebruik in open water onder omstandigheden als golven, stromingen en troebeling in het water een zo groot mogelijke inzetbaarheid moeten hebben.

---

## 6. Slotbeschouwing

---

In de voorgaande hoofdstukken is een globale opsomming gegeven van de uitvoeringsproblemen waarvoor hulpsystemen moesten worden ontwikkeld, respectievelijk ontwerponderdelen waarvoor hulpwerktuigen en soms ook het fabricageproces moesten worden ontworpen. De eisen waaraan de hulpsystemen en de hulpwerktuigen moesten voldoen werden globaal aangegeven.

In de navolgende deelnota's wordt een beschrijving gegeven van ontworpen systemen, respectievelijk werktuigen, om de problemen die zich voordeden het hoofd te kunnen bieden. Tevens wordt, zij het summier, de werkwijze c.q. het werken met het betreffende materieel behandeld.

---

## Deelnota 2: Hydro-Meteosysteem



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>Doelstellingen HISTOS-Project</b>	<b>17</b>
<b>3</b>	<b>Hydro-meteo gegevens</b>	<b>19</b>
<b>4</b>	<b>Beschrijving van het systeem</b>	<b>21</b>
4.1	Inleiding	
4.2	Opbouw van het meetnet	
4.3	Vaste meetposten	
	4.3.1 Golsensor	
	4.3.2 Waterstandssensor	
	4.3.3 Windsensor	
	4.3.4 Stroomsnelheid en -richtingsensor	
4.4	Telemetrie	
4.5	Mobiele meetposten	
4.6	Gegevensinwinning en processing	
4.7	Registratie en presentatie	
4.8	Het snelpeilsysteem	
4.9	Nieuwe ontwikkelingen en optimalisaties	
4.10	Kwaliteitscontrole en onderhoud	
<b>5</b>	<b>Conclusies</b>	<b>28</b>
<b>6</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>29</b>



---

# 1. Inleiding

---

De beslissing in 1975 tot de bouw van een afsluitbare pijlerdam in de monding van de Oosterschelde, in combinatie met de compartimenteringsdammen in het oostelijk gedeelte van het bekken, vereiste veel hydrologische en meteorologische informatie. De omvang en vooral ook de duur van deze gecompliceerde werken maakten het noodzakelijk hoge eisen te stellen aan de beschikbaarheid en betrouwbaarheid van de informatiestroom.

Het project HISTOS (Hydro-meteo Informatie Systeem Oosterschelde) startte in de zomer van 1976 met een inventarisatie van de verschillende behoeftes, hetgeen heeft geleid tot het formuleren van een aantal specifieke doelstellingen (zie hoofdstuk 2). Bij deze eerste verkenning werden zowel een basisontwerp als de voorlopige specificaties voor deelsystemen opgesteld. Belangrijke facetten hierbij waren vooral de evaluatie en ontwikkeling van sensoren, telemetrie-apparatuur en de opzet van een centraal informatieverwerkingsstelsel.

In de loop van 1977 heeft de projectgroep HISTOS een verdere uitwerking gegeven aan het basisontwerp. In deze projectgroep waren verschillende deskundigheden ingebracht van de zijde van Rijkswaterstaat, het KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut), de T.P.D. (Technisch Fysische Dienst TNO/TH) en de aannemerscombinatie.

Tevens werd een aantal voorlopige voorzieningen getroffen om in te spelen op de reeds toenemende informatiebehoefte.

Met de aangedragen bouwstenen werd vanaf begin 1978 begonnen met het realiseren van het locatieplan HISTOS (op welke meetlocaties wat te meten). Dit was vooral gericht op de inwinning, verwerking en presentatie van hydro-meteo grootheden, zoals die gemeten werden in en rond het Oosterscheldebekken en in het noordelijk gedeelte van de Noordzee. Naast deze ontwerp- en bouwactiviteiten werden studies geïntensiveerd met betrekking tot de operationele bruikbaarheid van modellen en methodieken om te komen tot een optimale prognose van de hydro-meteo grootheden.

Medio 1980 werd een belangrijke mijlpaal bereikt door de in bedrijfstelling van de eerste meetopstanden, alsmede van het Verwerkings Centrum Zierikzee (V.C.Z.).

Ook de noodzakelijke personele bezetting voor de bediening van de apparatuur, de interpretatie en de controle van de gegevensstroom alsmede het onderhoud van het gehele instrumentarium werden grotendeels gerealiseerd. Het Hydro-Meteo Centrum (HMC) -samenwerkingsverband tussen de meteorologen van het KNMI en waterloopkundi-

gen van Rijkswaterstaat, beiden gevestigd te Zierikzee kon in het najaar van 1980 van start gaan.

In deze deelnota wordt, gekoppeld aan de doelstellingen, een overzicht gegeven van de hydro-meteo gegevens die werden ingewonnen (doc. 1).

## 2. Doelstellingen Histos-project

Het HISTOS-project was opgezet om een aantal doelstellingen te realiseren, te weten:

- a. de werkbaarheidsverwachting en -bewaking ten behoeve van de bouw van de stormvloedkering;
- b. de werkbaarheidsverwachting en -bewaking ten behoeve van de bouw van de compartimenteringsdammen;
- c. studie en het beheer van de waterbeweging in de mond en het bekken van de Oosterschelde;
- d. opzet en bouw van voorzieningen voor gegevensinwinning voor milieuverkenning en -bewaking;
- e. opzet en bouw van voorzieningen en systemen voor de conditiebewaking van de kering;
- f. opzet van een hydro-meteo-systeem ten behoeve van het operationeel beheer na voltooiing van de bouw van de kering.

Voor de twee "werkbaarheids-doelstellingen" werd onderscheid gemaakt tussen het leveren van prognoses en van actuele meetwaarden ten aanzien van het weer en de waterbeweging.

Voor de bouw van de pijlerdam in de door golven, wind en getij beheerste Oosterscheldemond, moesten diverse uitvoeringsoperaties goed worden begeleid door weerkundigen en waterloopkundigen. Deze begeleiding bestond uit het geven van verwachtingsadviezen voor soms meerdere etmalen vooruit, zowel ten aanzien van de te verwachten golven, wind en getijbeweging, als ook ten aanzien van de algemene weersgesteldheid. Voor het plaatsen van een pijler in de stroomgeul met behulp van het werkschip *Ostrea gold* bijvoorbeeld een cyclustijd van circa 60 uur. Bij de aanvang van een dergelijke operatie diende reeds een prognose te worden gegeven van 2 tot 3 etmalen vooruit. Gedurende de uitvoering waren er steeds momenten aanwezig waarop de operatie eventueel kon worden onderbroken, indien de bijgestelde prognoses een pessimistisch beeld gaven.

De gewenste nauwkeurigheid van deze plaatsingsoperaties kon alleen worden behaald bij minimale stroomsnelheden. Noodzakelijk hierbij was een van tevoren opgemaakte prognose van het "tijdvenster", waarin de kentering plaatsvond. Het zal echter duidelijk zijn dat ook de actuele waterstand- en stroommeetwaarden bekend moesten zijn tijdens het plaatsen van de pijler. Bij het vorderen van de werkzaamheden in de stroomgeul wijzigden bovendien de hydraulische condities als gevolg van de nieuwe situatie. Van groot belang was dan ook het opstellen van de prognoses voor de volgende bouwfasen, zodat de "nieuwe relaties" bekend werden.

Naast het hefschip *Ostrea* werd ook voor andere activiteiten, zoals het leggen van de funderingsmatten, de opbouw van de drempel, plaatsen van dorpel- en bovenbalken, ver-

keerskokers en schuiven "werkbaarheidsgevoelig" materieel ingezet.

Ook voor de bouw van de compartimenteringsdammen (Philipsdam en Oesterdam) was informatie nodig over het getij voor en achter de dammen, de zoutindringing, de golf- en windcondities, het stroom- "tijdvenster" en de algemene weersgesteldheid.

Het opstellen van prognoses en het inwinnen van actuele meetgegevens waren elkaars complement in meerdere opzichten. Prognoses konden alleen worden bijgesteld aan de hand van actuele meetgegevens en voor toekomstige prognoses tijdens het voortgaande bouwproces was het nodig om de veranderende "bekende" relaties opnieuw in beeld te brengen. De bouwwerkzaamheden in de drie stroomgeulen, te zamen met de c-dammen, vereisten naast een hoge kwaliteit van, ook een grote kwantiteit aan meetgegevens.

De bouw van de kering bracht ook veranderingen in het Oosterscheldebekken zelf teweeg. Vooral de waterbeweging (waterstand, getijstromingen en debieten) en de bodemgesteldheid (bodemplugging, sedimenttransport) dienden nauwlettend te worden gevolgd.

Behalve de waterbeweging zou ook de waterkwaliteit aan veranderingen onderhevig kunnen zijn. Om dit te kunnen vaststellen waren lange reeksen waarnemingen noodzakelijk. Een belangrijke graadmeter, in samenhang met de waterbeweging, was hierbij de meting van het zoutgehalte en de watertemperatuur. Niet alleen de invloed van de getijbeweging en het jaargetijde waren hierbij van belang, maar vooral de veranderingen die optraden tijdens de vorderingen van de bouwwerkzaamheden in de Oosterschelde en die tengevolge van wijzigingen in de zoetwatertoevoer op het bekken via kunstwerken en rivierafvoeren.

De verschillende gemeten grootheden voor de eerste drie genoemde doelstellingen werden gebruikt voor zowel actuele operaties en vragen, als voor langere termijn zaken. De natuurgegevens speelden een belangrijke rol als randvoorwaarde en ter verificatie voor zowel fysische als wiskundige modellen. Veel van deze modellen waren gebruikt voor ontwerprandvoorwaarden, bepalen van sluitingsstrategieën en voorspellingen voor toekomstige situaties. Het meetnet werd daarom ook wel het "prototypemodel" genoemd. Duidelijk zal zijn dat dit "model" bij de dagelijkse werkelijkheid een onmisbare toetssteen was voor alle partijen.

Naast "veranderings"-metingen in het bekken was het vanuit milieu-oogpunt vooral van belang een vergelijking te maken tussen het inkomende en uitgaande water van het Oosterscheldebekken (doelstelling d).

Hier toe werden een aantal, gedeeltelijk verplaatsbare, meetvoorzieningen nabij de Oosterscheldekering opgesteld.

Onder conditiebewaking (doelstelling e) werd verstaan het toetsen van het voorspelde gedrag van de kering als gevolg van externe belastingen. De toetsing beoogde zowel de evaluatie van de ontwerpcriteria en veiligheidscoëfficiënten, als het definitief kunnen vaststellen van de gebruiksmogelijkheden van de kering.

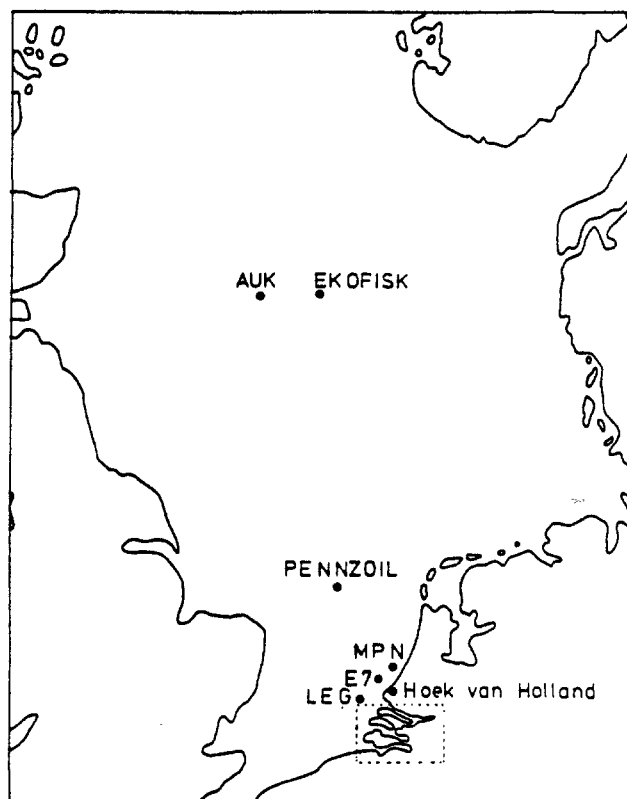
Naast het uitvoeren van metingen ten behoeve van natuurrandvoorwaarden genoemd onder a, b en c werden ook metingen en berekeningen van krachten in de constructies en grondmechanische grootheden uitgevoerd.

De realisatie van de doelstellingen d, e en f werden -gebruikmakend van de eerder getroffen voorzieningen bij a, b en c- in overleg met de toekomstige beheerder tot stand gebracht.

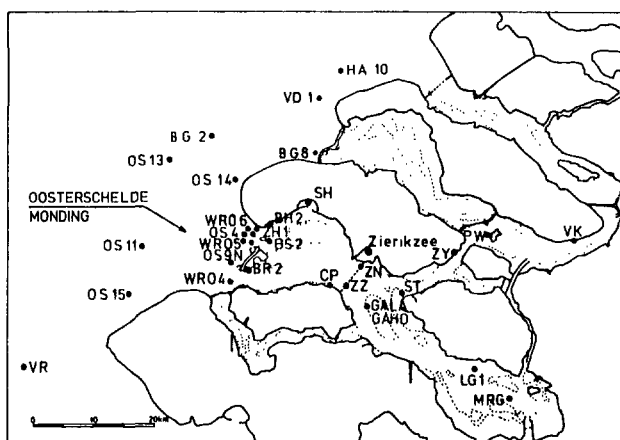
### 3. Hydro-meteo gegevens

Voor de verschillende doelstellingen moesten hydro-meteo-grootheden worden gemeten op, geografisch gezien, onderling tamelijk grote afstanden. In een vroeg stadium was gekozen voor één centraal punt waar alle in te winnen informatie zou binnenkomen. Dit was het kantoor van de meet- en studie-afdeling van de Waterloopkundige hoofd-afdeling van de Deltadienst te Zierikzee. Naast de inwinning, controle en verwerking, verstreekte men van hier uit ook informatie aan de uitvoering van de werken. Tevens coördineerde genoemde afdeling de installatie en het beheer en onderhoud van het systeem.

Reeds in de periode 1976/1977 was een eerste locatieplan opgesteld dat in de loop van de daarop volgende jaren verder werd geëvalueerd, zie figuur 1 en 2 van medio 1983.



Figuur 1 Meetstations in de Noordzee



Figuur 2 Meetposten in de Oosterschelde

Geografisch gezien waren de meetpunten over een viertal gebieden verdeeld:

1. Het zeegedeelte voor de mond van de Oosterschelde (en de kust van Schouwen-Duiveland en Walcheren). Het omvatte acht meetlocaties, voornamelijk voor de begeleiding en uitvoering van de werken (doelstelling a) en het vaststellen van de randvoorwaarden voor het bekken (doelstelling c).
2. Het tracé van de stormvloedkering. Hier bevonden zich ca. tien vaste meetlocaties, meetpunten op het werkmaterieel, een variabel aantal golfmeetboeien en meetvloten (met name voor doelstelling a).
3. Oosterscheldebekken, reikend vanaf de Oosterscheldedekering tot aan Bergen op Zoom en de Volkeraksluizen. Totaal ca. vijftien meetopstanden voor verkenning en bewaking van de waterbeweging in het bekken (doelstelling c), alsmede ter begeleiding van de uitvoering compartimenteringsdammen (doelstelling b).
4. De Noordzee, ter hoogte van de Eurogeul en in het noordelijk gedeelte van de Noordzee. Een zestal locaties ten behoeve van het waarschuwingssysteem (doelstelling a).

De drie gebieden in en rond de Oosterschelde waren via een lokaal datatransmissie-netwerk verbonden met de waterloopkundige afdeling in Zierikzee en hadden vooral betekenis voor de momentane bewaking, registratie en bijstelling van de prognoses. De gegevens uit de Noordzee werden verkregen via een vaste verbinding met het Controle en Informatie Centrum (C.I.C.) te Hoek van Holland, die deze inwon en verwerkte.

Deze gegevens hadden vooral waarde in voorspellende

zin en werden als zodanig gebruikt bij het opstellen van verwachtingen ten behoeve van werkzaamheden aan de Oosterscheldekering (afwijkingen waterstanden en deining).

De volgende meetgrootheden werden in de bovengenoemde gebieden ingewonnen:

- waterstand (getijbeweging);
- golven;
- barometrische druk via meteodienst KNMI (voornamelijk op noordelijke punten in de Noordzee);
- geleidendheid (elektrolytisch) en temperatuur van het water (ten behoeve van zoutgehaltemeting);
- windsnelheid en -richting;
- stroomsnelheid en -richting;
- luchttemperatuur via meteodienst KNMI.

Naast deze meetgrootheden beschikte het HMC via diverse kanalen nog over aanvullende informatie. Vooral de meteodienst van het KNMI had voor haar taak een uitgebreide binnenkomende informatiestroom ten aanzien van optredende en verwachte meteorologische omstandigheden via telex, facsimile en weersatelliet. Hieronder vielen onder andere neerslag, zicht, gegevens over bewolking, temperatuurgradiënten en luchtdrukverdeling.

In het Oosterscheldegebied werden op een aantal locaties nog meer waterstandsmetingen verricht, onder andere ter hoogte van Yerseke, Stavenisse, Vlietepolder, etc. Deze gegevens werden in hoofdzaak voor andere doeleinden (veelal vooral lokale betekenis voor havenmeester of sluiswachter) ingewonnen en geregistreerd, doch waren wel periodiek (achteraf) beschikbaar voor aanvulling op en extra verificatie van de via het VCZ automatisch ingewonnen data.

Voor haar operationele taak had het HMC tevens nog de beschikking over meetgegevens die werden ingewonnen met behulp van meetvletten. Dit waren vooral stroomsnelheidsmetingen die een gedetailleerd inzicht verschaffen over een bepaald gebied. Een aantal meetvletten was reeds aan het VCZ gekoppeld voor directe presentatie van stroomsnelheids- en stroomrichtingsmetingen.

## 4. Beschrijving van het systeem

### 4.1 Inleiding

Afhankelijk van de operationele taak had elk werkschip behoefte aan specifieke hydrologische- en meteorologische informatie.

De Ostrea bijvoorbeeld was na het oppakken van een pijler zeer gevoelig voor wind en deining. Het positioneren van de pijlers gebeurde op kentering bij minimale stroomsnelheden. Het tijdstip en de duur van de kentering werd zeer sterk bepaald door de meteorologische omstandigheden.

Voor het plaatsen van de pijlers gold een cyclustijd van ca. 60 uur. Er moesten voorzieningen worden getroffen om deze plaatsingsprocedure af te breken wanneer de omgevingscondities daartoe aanleiding gaven.

Dit betekende dat er een betrouwbare voorspelling van hydrologische en meteorologische omstandigheden voor een periode van 12 uur samen met een verwachting voor 48 uur beschikbaar moest zijn. Voorspellingen die te pessimistisch waren, leidden tot ongewenst productieverlies, terwijl te optimistische voorspellingen konden leiden tot gevaarlijke situaties voor bemanning en schip.

Naast deze voorspellingen was er ook behoefte aan actuele informatie gedurende de operaties op de werklocatie zelf, voor de operationele begeleiding en voor het nemen van de beslissing over het al of niet doorgaan van de operaties. Aan de hand hiervan kon men eveneens de voorspellingen bijstellen.

De basis voor de voorspellingen en de actuele informatie was, zoals eerder is geschetst, een uitgebreid netwerk, bestaande uit vaste meetstations en de mobiele meetpunten op de schepen.

Het netwerk was gekoppeld aan een computersysteem met verschillende presentatie mogelijkheden. De werkbaarheidsvoorspellingen werden met een vaste regelmaat samengesteld en verspreid door een speciaal team van hydrologen en meteorologen. Zij maakten gebruik van de verwerkte data van het informatiesysteem. Ook hadden zij de beschikking over eigen computersystemen voor het gebruik van mathematische modellen bij het opstellen van de voorspellingen (doc. 2).

### 4.2 Opbouw van het meetnet

Het meetnet omvatte een groot aantal vaste en mobiele meetlocaties.

Het grootste gedeelte van de vaste meetposten was opgebouwd uit ronde metalen palen, die met behulp van waterkracht de zeebodem werden ingedreven en verder kleine verankerde pontons. Op deze constructies was de meet-

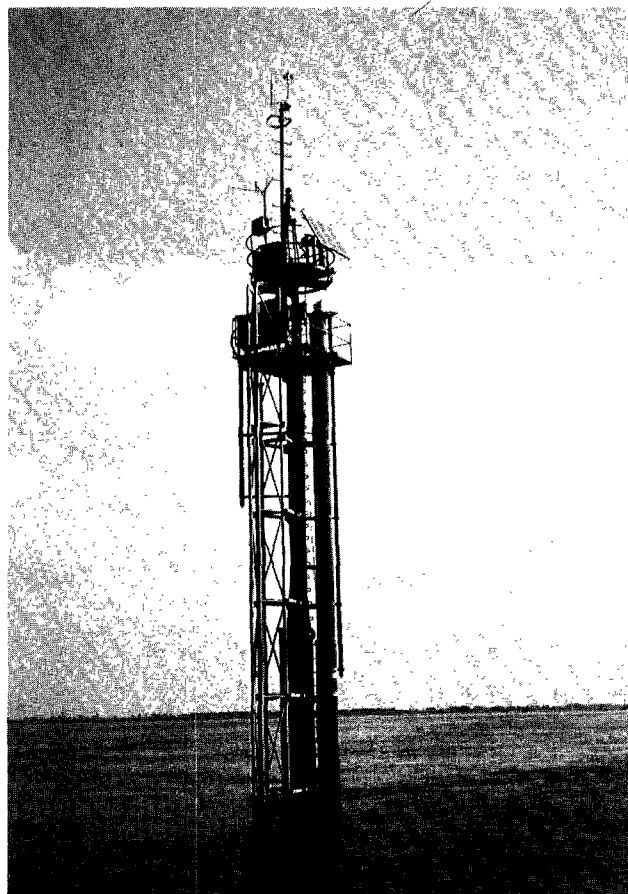
apparatuur geplaatst. De apparatuur voor de mobiele meetposten was geplaatst op het grote werkmaterieel en de kleinere begeleidingsvaartuigen.

Afhankelijk van de gewenste informatie waren de vaste meetposten uitgerust met een of meerdere sensoren voor het meten van:

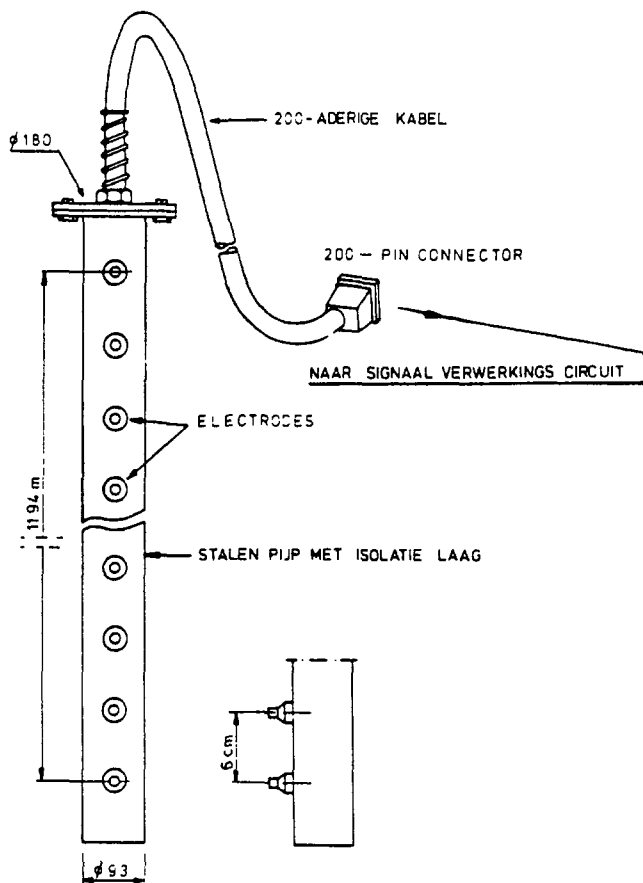
- waterstand (verticaal getij);
- stroomsnelheid en -richting;
- golfhoogte;
- geleidendheid en temperatuur van het zeewater; (dit ter bepaling van het zoutgehalte);
- windsnelheid en -richting.

De mobiele meetposten waren overwegend uitgerust met sensoren voor het meten van stroomsnelheid en -richting.

### 4.3 Vaste meetposten



Figuur 3 Vaste meetpost



Figuur 4 Golfsensor

Er waren ongeveer 45 vaste meetposten opgesteld. De lengte en diameter van de overwegend ronde stalen palen hing af van de plaatselijke bodemdiepte, de te verwachten hydrologische en meteorologische condities en de geografische positie. In het algemeen varieerde de lengte tussen 25 en 40 meter en de diameter tussen 40 en 150 centimeter. Elke paal was uitgerust met een of twee platforms (zie figuur 3), waarop de meetapparatuur met toebehoren was geplaatst. De hoogte van de platforms varieerde tussen NAP + 8,0 en + 14,0 m.

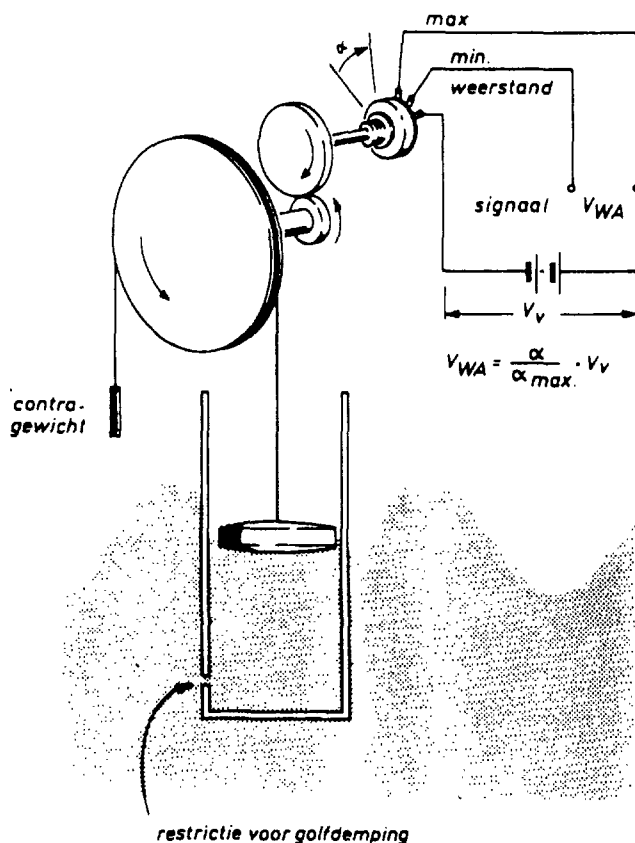
#### 4.3.1 Golfsensor

Aan de meetpaal was verticaal een zogenaamde golfsensor (ronde stalen pijp met een lengte van 12 meter) bevestigd, (zie figuur 4). Er waren 200 elektroden, verdeeld over de totale lengte van deze sensor gemonteerd met een onderlinge afstand van 6 cm. Het zoute (geleidende) water sloot, afhankelijk van de momentane golfhoogte, een aantal van deze elektroden kort. Deze elektroden werden door de zogenaamde golfbaak electronica met een frequentie van 2 Hz afgescand. Als output kwam, afhankelijk van de toegepaste techniek, analoge of digitale informatie ter beschikking, die de momentane golfhoogte representeerde.

Door het toepassen van een scherp laag-doorlaatfilter konden de golfbewegingen die in het signaal voorkwamen worden gereduceerd. Op deze manier kon de waterstand worden bepaald.

#### 4.3.2 Waterstandssensor

De waterstandssensor bestond uit een holle stalen pijp, die eveneens verticaal aan de meetpaal was bevestigd. In de pijp, waarvan het midden zich op ongeveer NAP bevond, was een vlotter opgehangen. Deze vlotter dreef op een hoogte van het in de pijp aanwezige water (zie figuur 5).



Figuur 5 Waterstandssensor

Om demping van de golfslag te realiseren was onderin een kleine waterdoorlaat-opening aanwezig. De verticale positie van de vlotter was een maat voor de momentane waterstand.

Via een aan de vlotter verbonden draad werd de informatie naar een loper van een potentiometer overgebracht. De vlotter werd in evenwicht gehouden door een contra-gewicht. De potentiometer leverde een analoge spanning die proportioneel was met de waterstand.

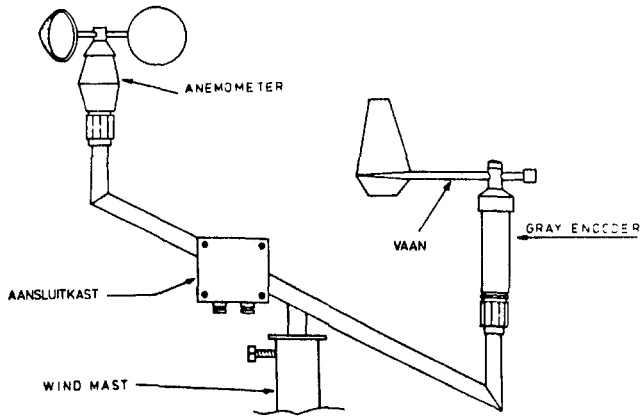
Op een aantal lokaties was zowel een golf- als een waterstandssensor aangebracht. Dit gaf de mogelijkheid de door beide sensoren geleverde waterstandsinformatie met elkaar te vergelijken (controle mogelijkheid).

#### 4.3.3 Windsensor

De sensor voor het bepalen van de windsnelheid en -richting is afgebeeld in figuur 6.

De windsnelheidssensor bestond uit een anemometer die elektrische pulsen genereert, proportioneel met het aantal omwentelingen van dit instrument.

De windrichting werd gemeten met een zogenaamde wind-

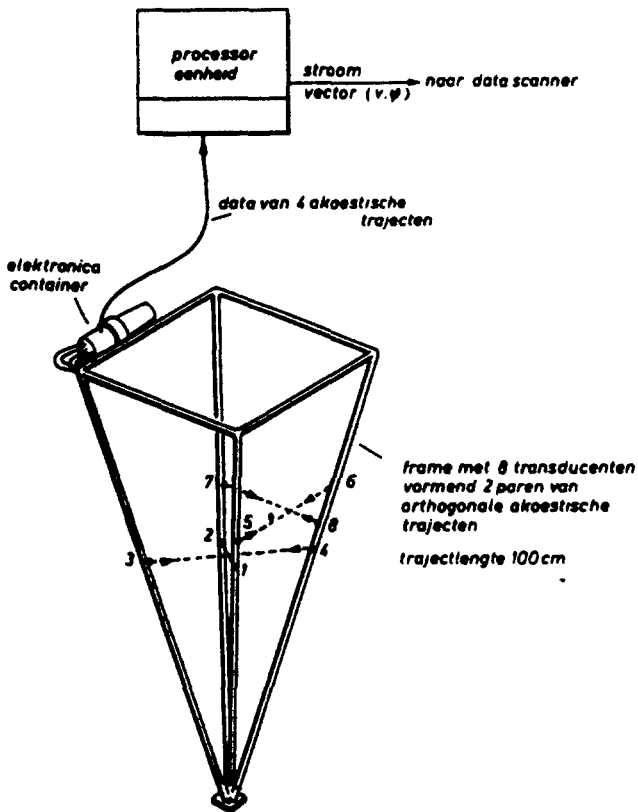


Figuur 6 Windsensor

vaan, die was gekoppeld aan een 8 bits gray-encoder. Na conversie was deze informatie beschikbaar in serieel digitaal formaat.

#### 4.3.4 Stroomsnelheid en -richtingsensor

Het meetprincipe voor stroomsnelheid en -richting was gebaseerd op akoestische technieken. De sensor bestond uit een piramidevormige constructie waarin, in tegenovergestelde posities, akoestische transducers waren gemonteerd. Deze vormden twee diagonale axiale kruisen (zie figuur 7). Hierdoor werden vier akoestische meetlijnen, ieder onderling onder een hoek van 45 graden, gerealiseerd.



Figuur 7 Akoestische opnemer voor stroomsnelheid en richting

Akoestische energie werd uitgezonden en ontvangen door de tegenover elkaar opgestelde transducers. Omdat de beide transducers op een gedefinieerde afstand van elkaar waren opgesteld en de waterbeweging invloed uitoefende op de effectieve snelheid van het signaal in het meetvolume, was de korte tijdsduur ( $\Delta T$ ), die het signaal nodig had om de afstand van zender naar ontvanger te overbruggen, niet steeds hetzelfde. Deze variaties in tijdsverschillen waren een maat voor de stroomsnelheid in het meetvolume.

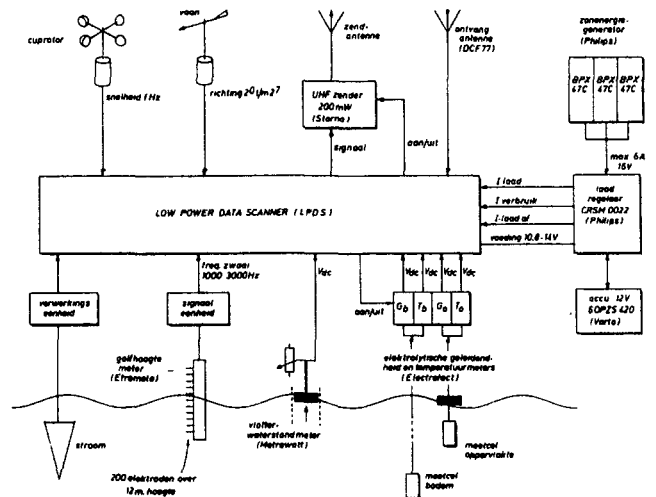
Na signaalbehandeling en locale processing was een vector beschikbaar die een stroomsnelheid en stroomrichting in digitale vorm representeerde.

Verder moet worden opgemerkt dat deze vector op een zestal manieren werd berekend, waardoor een zekere mate van redundantie werd verkregen. De lokale processor negeerde automatisch niet plausibele meetlijninformatie.

Om de absolute stroomrichting te kunnen bepalen was het noodzakelijk de exacte richtingspositie van het meetframe ten opzichte van het noorden te kennen. Dit werd tijdens het installeren van het frame exact bepaald.

#### 4.4 Telemetrie

De verschillende besproken sensorsignalen die op de meetpost werden ingewonnen werden via sensorgerichte interfaces ingelezen in een zogenaamde LOW POWER DATA SCANNER (LPDS). Deze signalen werden gedigitaliseerd in een 11bits datawoord (waarbij in de LPDS nog een tweetal bits werden toegevoegd), en daarna ingelezen in de hoofdschanner al dan niet via een subscanner (zie figuur 8).

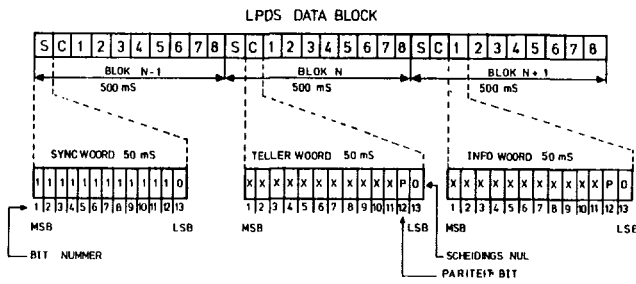


Figuur 8 Instrumentele configuratie voor vaste meetlokities

De hoofdschanner genereerde een datablok, opgebouwd uit 2 systeem- en 8 datawoorden (zie figuur 9). De datawoorden bevatten naast sensorinformatie nog huishoudelijke en status informatie. Het geheel werd serieel verzonden met een herhalingsfrequentie van 2 Hz en een snelheid van 260 bits per seconde.

De inhoud van datawoord 1 bevatte informatie van zogenaamde langzame sensoren die werden ingelezen via de





Figuur 9 Datastructuur LPDS

subscanner. Op elke minuutovergang werd een nieuw subscannerkanaal, in een vaste volgorde, geselecteerd (16 kanalen).

Na modulatie (Phase Shift Keying) werd de seriële informatie aangeboden aan een UHF zender.

Met betrekking tot de overdracht (telemetrie) van de informatie aan de walontvanger moet onderscheid gemaakt worden in:

- Punt-Punt verbindingen (PP). Dit waren meetposten waarvan de zender continu informatie uitzond ten behoeve van de zogenaamde snelle sensoren (golf, wind).
- TijdSleuf verbindingen (TS). Bij dit type meetposten was de zender slechts 5 seconden in een minuutcyclus ingeschakeld. Deze meetposten verzorgden de inwinning van langzame sensoren zoals waterstand en zout.

Elke meetpost (in de tijdsleuf) had een eigen zender, die zijn gegevens naar een op de wal opgestelde ontvanger verstuurd. De zenders in een speciale tijdsleuf werkten dus alle op één frequentie.

Door toepassing van deze techniek konden maximaal 10-meetposten gebruik maken van 1 frequentie en 1 ontvanger (zie figuur 10).

Onderlinge synchronisatie van de TS meetposten was gerealiseerd door het inwinnen op elke meetpost, van het DCF tijdreferentiesignaal. Dit werd uitgezonden door een zender in West-Duitsland (Mainflingen nabij Frankfurt).

De benodigde energievoorziening werd verkregen door toepassing van natte alkaline batterijen of accu's, die werden gevoed door een aantal zonnepanelen. Deze laatste werden meestal gebruikt op moeilijk toegankelijke meetposten.

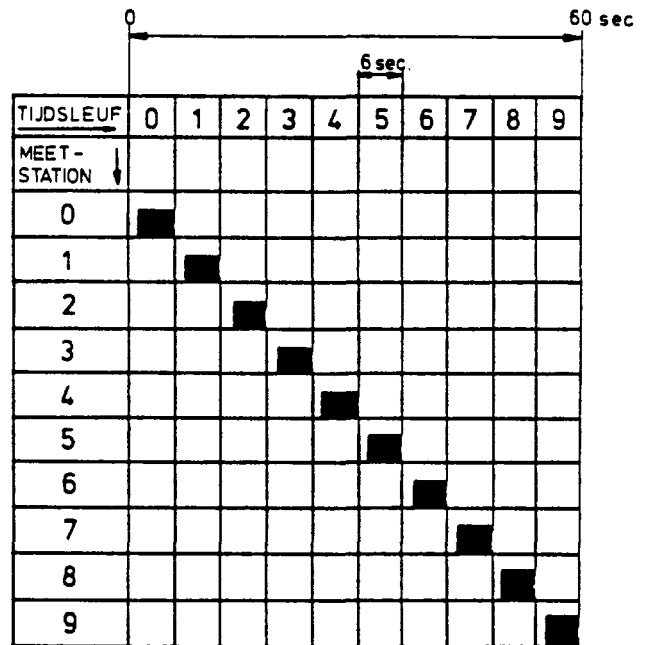
Het totale energieverbruik van een vaste meetpost lag tussen 1 en 3 Watt, afhankelijk van sensorbezetting en telemetriesignaal (PP of TS).

#### 4.5 Mobiele meetposten (Stromos mobiel)

Op de grote werk- en begeleidingsvaartuigen was het van groot belang om te kunnen beschikken over informatie betreffende actuele lokale getijdebewegingen.

Om de stroomsnelheden die deze bewegingen bepaalden te kunnen meten werden sensoren van het propellertype gebruikt.

Op vooraf bepaalde posities en tijdstippen werden stroomsnelheidsmetingen uitgevoerd op twee hoogtes in een verticaal. De sensoren waren gemonteerd binnen een beschermende kooi aan een richting zoekend meetlichaam (zie figuur 11).



Figuur 10 Tijdsleuf systeem diagram

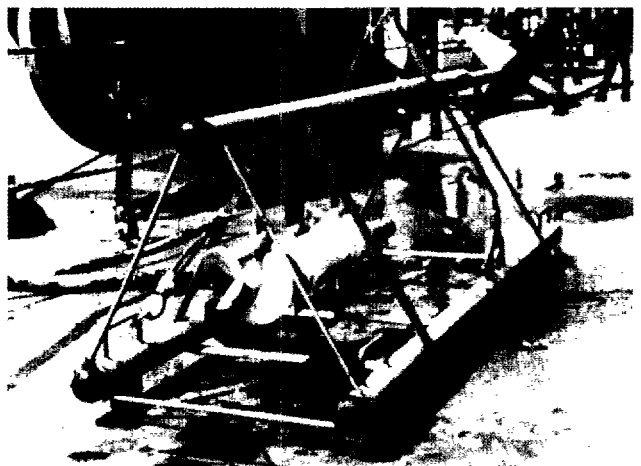
Richtingsinformatie werd ingewonnen door gebruik te maken van een magnetisch kompas waaraan een gray-encoder was gekoppeld. Een druksensor leverde de meetdiepte-informatie. Het meetlichaam was door een signaalkabel met de uitleeseenheid boven water verbonden (read-out unit).

De analoge sensorgegevens werden op digitale displays van de uitleeseenheid gepresenteerd.

Tevens werden de gegevens door een locale processor ingewonnen met behulp van een multiprogrammer (zie figuur 12). De sensorsignalen werden door dit systeem sequentieel afgetast en gedigitaliseerd.

De processor berekende iedere minuut het vectoriële gemiddelde van stroomsnelheid en -richting, alsmede de gemiddelde diepte. Elke minuut werden deze gegevens volgens de eerder genoemde TS-methode naar een walontvanger gezonden.

Andere semi-mobiele meetlokalities bestonden uit golfmeetboeien (waveriders) die in de nabijheid van het werkmate-

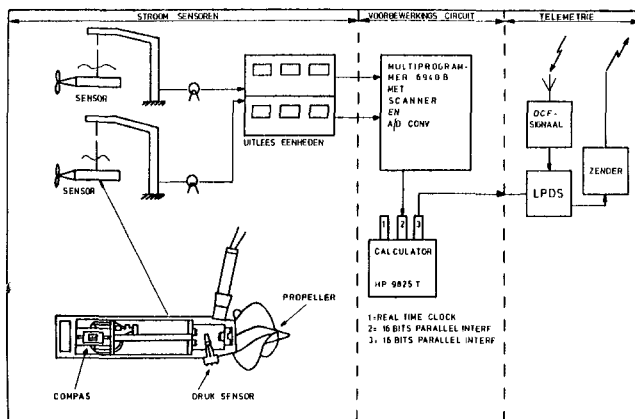


Figuur 11 Propeller type stroomsensor in kooiconstructie

riël waren uitgelegd. Deze boeien zonden continu golfhoogte-informatie uit.

#### 4.6 Gegevensinwinning en processing

Al de hiervoor genoemde vaste en mobiele meetposten zonden hun informatie naar nabijgelegen walontvangststations. Het laagfrequent modulaat werd via een groot aantal huurtelefoonlijnen getransporteerd naar het VGZ in Zierikzee. Daar vond demodulatie plaats, zodat de sensor-signalen weer in digitale vorm beschikbaar kwamen. Deze



Figuur 12 Blokdigram van een mobiel stroommeetstation

informatie werd verzameld door een micro-computersysteem met de naam "Telemetrie Inwin Station" (TIS).

Deze TIS las, evenals de PP- en TS-meetposten, het DCF tijdreferentiesignaal in. Hierdoor was synchronisatie met de meetposten, wat voor de TS-meetlocaties van groot belang was, gerealiseerd.

In de TIS werden de ingewonnen data geconverteerd naar fysieke waarden en werd een aantal checks op de kwaliteit van de gegevensoverdracht uitgevoerd.

Informatie van de golfmeetboeien werd in tegenstelling tot de andere meetposten via een "Waverider Inwin Station" (WIS) ingewonnen.

Deze WIS bemonsterde met een frequentie van 2 Hz de golfhoogte-informatie van elke boei (maximaal 10 boeien per WIS). Het analoge ingangssignaal werd omgezet in een digitale code, waarna het proces van de WIS zorgde voor een omzetting naar fysieke waarden.

Het WIS was via een data-communicatie verbinding (PTT huurlijn met modems) verbonden met het centrale computersysteem in Zierikzee.

Dit centrale computersysteem was opgebouwd uit een tweetal DEC-systemen. Elk systeem bestond uit:

- PDP 11/44 processor met floating point processor;
- 512 K-woord intern geheugen;
- Watch dog timer;
- Parallele interfaces;
- Twee 16 kanaal asynchrone multiplexers;
- Twee RL02 10 Megabyte disk drives;
- Twee TE16 magneetband units.

Beide systemen dienden als elkaars back-up, waardoor redundantie was bereikt. Het ene systeem draaide als "main", het andere als "hot-standby" (zie figuur 13).

De in deze processors toegepaste applicatiesoftware, geschreven in RTL/2, draaide onder RSX-11M, Realtime

Multi-user Multitasking operating systeem van DEC.

Alle in dit systeem draaiende processen waren gericht op een bepaald sensortype en hadden tot doel uit de verzamelde "ruwe" gegevens representatieve meetwaarden (parameters) te berekenen. De meetwaarden werden berekend op 1, 10 of 30 minuten basis.

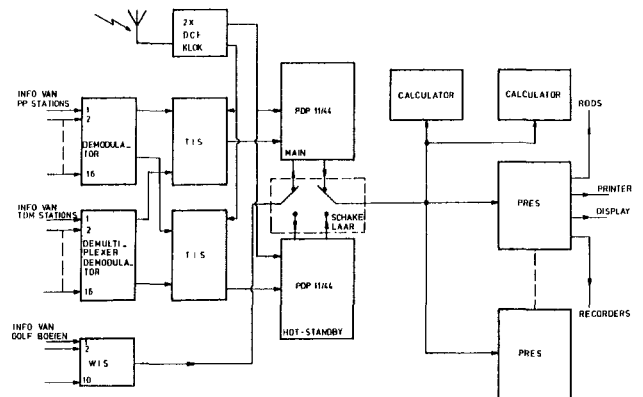
Synchronisatie met de inwinstations geschiedde ook hier met behulp van het DCF tijdreferentiesignaal.

Het proces in de centrale computersystemen verzorgde tevens de zogenaamde grenswaarde- en delta-checks.

Een grenswaarde-check omvatte een controle op meetwaarden die buiten het meetgebied lagen.

Een delta-check omvatte een controle op ongeloofwaardige sprongen in opeenvolgende meetwaarden.

Het centrale computersysteem had tevens een datacommunicatieverbinding met het Controle en Informatie



Figuur 13 Blokdigram van computersysteem in relatie met inwin- en presentatie stations

Centrum (CIC) te Hoek van Holland. Via deze verbinding vroeg het systeem in Zierikzee -op 10 minuten basis- parameters op van door het CIC ingewonnen gegevens van Noordzee-locaties.

#### 4.7 Registratie en presentatie

De door het systeem verwerkte gegevens werden opgeslagen in een cyclisch gegevensbestand. Dit bestand had een capaciteit van 24 uur. Bovendien werden ruwe en verwerkte gegevens opgeslagen op magneetband, waardoor een groot gegevensbestand beschikbaar bleef.

Presentatie van de verwerkte gegevens geschiedde in de vorm van rapporten die periodiek werden verzonden naar diverse op het systeem aangesloten presentatie stations (PRES). Presentatie vond plaats vanuit deze PRES subsystemen op de volgende media:

- printers (kolomlog);
- analoge recorders;
- digitale displays,

en via het Snelpeilsysteem. Dit systeem verzorgde het transport naar en de presentatie van zeer actuele parameters aan boord van het groot werkmaterieel en de begeleidingsvaartuigen (zie 4.8).

## 4.8 Het snelpeilsysteem

Zoals er eerder is gesteld, was de beschikbaarheid van actuele informatie aan boord van het werkmaterieel en de begeleidingsvaartuigen van cruciaal belang. Ten behoeve van deze taak was het Snelpeilsysteem ontwikkeld (zie figuur 14).

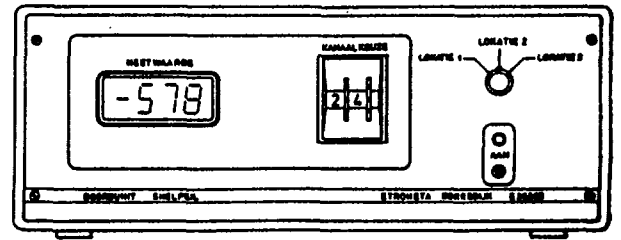
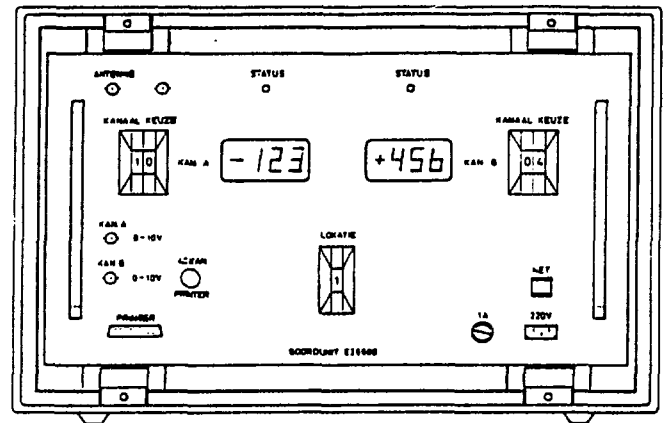
Een PRES-systeem in Zierikzee verzond iedere minuut een datatelegram waarin een 39-tal meetwaarden en de actuele tijd waren opgeslagen (zie figuur 15). Dit digitale telegram werd door een telefoonlijn aanpassingseenheid met modulator geschikt gemaakt voor transport over een PTT huurlijn naar een vooruitgeschoven zendpost.

De zender werkte in de VHF band (30 MHz) en had een bereik van ca. 20 kilometer (afhankelijk van de hoogte van de zendmast).

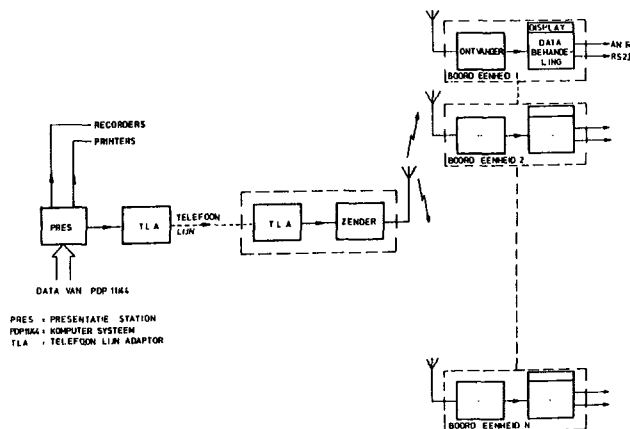
Het genoemde telegram kon met behulp van een snelpeil boordunit worden ontvangen. Deze boordunit bestond uit een VHF-ontvanger, een demodulator en een single-board computer. Het in deze boordunit draaiende proces zorgde voor buffering en presentatie van het telegram.

De boordunit kende twee uitvoeringen: 1-kanaals en 2-kanaals. (Zie figuur 16). Deze figuur illustreert het aantal kanalen dat tegelijkertijd kon worden gepresenteerd op de LCD displays.

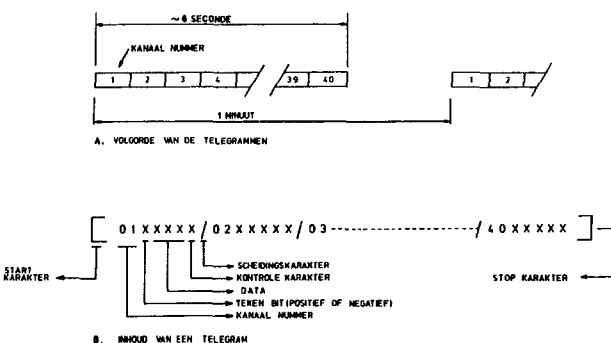
Selectie van kanaalnummers vond plaats met behulp van duimwielchakelaars op het front van de boordunit. De boordunit was verder uitgerust met een seriële uitgang waarop een printer kon worden aangesloten. Op deze uitgang kwam de volledige inhoud van het datatelegram beschikbaar.



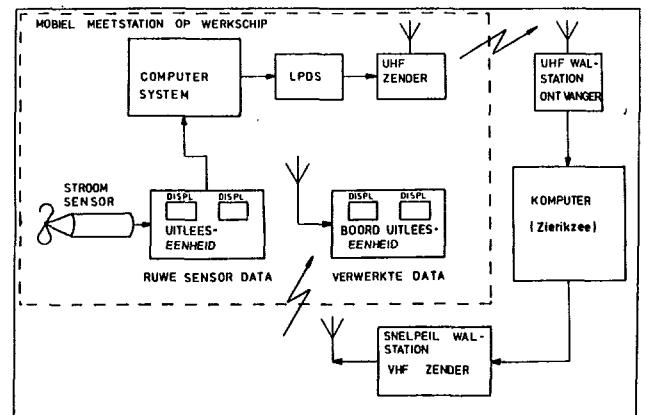
Figuur 16 Eén- en tweekanaals snelpeil boardeenheid



Figuur 14 Blokdiagram snelpeil systeem



Figuur 15 Datastructuur van een snelpeil telegram



Figuur 17 Overzicht van het signaalpad mobiele stroommeetpost

Na het ontvangen van een nieuw telegram werden de meetwaarden op de display(s) en de seriële uitgang automatisch ververst.

De 2-kanaals boordunit was verder nog uitgerust met een extra poort voor het aansluiten van een analoge schrijver. Figuur 17 geeft een overzicht van het signaaltraject van een mobiele stroommeetpost tot de presentatie aan boord via het Snelpeilsysteem.

## 4.9 Nieuwe ontwikkelingen en optimalisaties

Om aan de steeds toenemende vraag naar hydro-meteo informatie ten behoeve van de werken en de andere gebruikers in de regio te kunnen voldoen was het van groot belang voortdurend te kunnen inspelen op actuele situaties.

Met name in de onderzoeks-, milieu- en beheerssfeer van de Zeeuwse wateren was een grote behoefte aan dit soort gegevens. Tevens werden HISTOS gegevens gebruikt

voor de geautomatiseerde beheerssystemen van de stormvloedkering en de begeleiding van de scheepvaart in de Westerschelde (Uitgebreid WalRadarKeten, UWRK), waardoor het meetnet een duidelijk regionaal karakter kreeg.

Nieuwe ontwikkelingen en optimalisaties die speciale aandacht verdienen waren:

- De optimalisatie en modernisering van het LPDS ontwerp.  
Hiervoor was een microprocessor georiënteerd data acquisitiesysteem in een vergevorderd stadium van ontwikkeling. Dit systeem, ontwikkeld door Rijkswaterstaat, bood naast de mogelijkheid de bestaande LPDS volledig te kunnen vervangen ook de mogelijkheid tot inwinning van nieuwe en nog te ontwikkelen sensoren. Tevens was met dit systeem de berekening van parameters op de lokatie te realiseren. Het systeem had de naam: Low power Operating Data Acquisition system (LODA).
- De toevoeging van verwerkingsprogrammatuur in het VCZ (namelijk een inwinproces ten behoeve van akoestische en andere stroommeetsensoren).
- Uitbreiding van de verwerkingscapaciteit voor golven.
- Inpassing van andere typen sensoren zoals het Digitaal Niveau Meetsysteem (DNM).
- Proefneming met de on-line inwinning van troebelheids-sensoren;
- Koppeling van het VCZ via dataverbindingen met andere meet- of verwerkingssystemen.
- Intelligentere koppeling aan het CIC.
- Aanzienlijke reductie van het gebruik van PTT huurlijnen door toepassing van de nieuwste ontwikkelingen op het gebied van datacommunicatieapparatuur (celstructuur).
- Verwerking van meetgegevens van zogenaamde golf-richtingsboeien (WAVEC).
- On-line verwerking van zandproductie meters ten behoeve van zandsluitingen.
- Uitbreiding van het Snelpeil datatelegram.
- On-line toelevering van meetgegevens aan de beheerssystemen voor de Oosterscheldekering.

In het kader van deze voortdurende uitbreidingen zijn in de loop van 1983 de PDP 11/34 centrale verwerkingssystemen bijgewerkt tot PDP 11/44 processoren. Hierdoor werd een snellere verwerking mogelijk. Tevens werd de interne en externe geheugencapaciteit vergroot.

#### 4.10 Kwaliteitscontrole en onderhoud

Het succes van het HISTOS project was niet in de laatste plaats te danken aan een continue en stringente kwaliteitszorg. Zeer veel tijd en geld werd besteed aan het in optimale conditie houden van de verschillende systeemcomponenten zoals sensoren, energiesystemen, telemetrie-apparatuur, inwin- en verwerkingsystemen.

Tijdens de planning- en productiefase van het meetnet werd veel aandacht besteed aan het gedetailleerd testen van systeemonderdelen. Mede dankzij deze intensieve zorg is de opbouw van het meetnet zeer voorspoedig verlopen. Door de gekozen flexibele modulaire opbouw van het meetnet waren uitbreidingen en modificaties zeer snel te realiseren.

Om dit zeer uitgebreide hydro- meteomeetnet, gecombineerd met een aanzienlijk data distributie netwerk, onder extreme omstandigheden met succes te kunnen exploite-

ren was een organisatie noodzakelijk, die op elk moment was berekend op deze taak. Daarom werd in de ontwerp-fase de volgende onderhouds- en beheersfilosofie ontwikkeld:

- Opbouw van het meetnet met standaard uitwisselbare systeemcomponenten. Dit maakte het mogelijk om in geval van storing een snelle reparatie te bewerkstelligen door de defecte componenten te vervangen.
- De meetpost verstuurde naast de data ook een aantal status en huishoudelijke gegevens. Dit maakte een snelle diagnose door systeemoperators en technici mogelijk.
- In het meetnet was een zeer grote mate van redundantie toegepast. Hierdoor was in geval van storing snel een alternatieve telemetrie-route te verwezenlijken. Verlies van gegevens werd hierdoor tot een minimum beperkt. Dit was eveneens de reden waarom de centrale verwerkingscomputer dubbel werd uitgevoerd.
- Voor het uitvoeren van preventief periodiek onderhoud en oplossingen van storingen of specifieke problemen was, naast bijstand van diverse Rijkswaterstaats-organisaties en instituten, een team van ervaren technici continu beschikbaar.
- Voor het uitvoeren van eerstelijns-onderhoud werd speciale testapparatuur ontwikkeld dan wel aangeschaft.

---

## 5. Conclusies

---

Met de ontwikkeling en de opbouw van het HISTOS meet-net was een uniek hydro, meteo, meet- en distributie netwerk gerealiseerd dat een essentiële taak vervulde in het kader van de realisatie van de werken.

De complexiteit en diversiteit van de diverse systeemcomponenten resulteerde in de ontwikkeling van een groot aantal nieuwe technieken. Dit pionierswerk leidde tot onder meer: standaard sensorbehuizingen, een telemetrie tijds-multiplexsysteem, het met succes exploiteren van zonne-energiesystemen, het Snelpeil data distributie systeem en het ontwikkelen van diverse prototypen, zoals akoestische meetsysteem voor het meten van stroomsnelheid en stroomrichting en zandconcentraties (de laatste is in dit kader niet aan de orde gesteld).

Dankzij de samenwerking tussen het bedrijfsleven en de diverse Rijkswaterstaatsorganisaties is het mogelijk gebleken innoverende ontwikkelingen te realiseren, die van groot wederzijds belang zijn geweest.

---

## 6. Documentatielijst

---

Doc 1 = Meetsystemen ten behoeve van de Oosterschel-  
dewerken deel I - hydro/meteorologische informa-  
tie

Doc 2 = Cursus "Cad/cam voor de civiel ingenieur".



---

## Deelnota 3: Plaatsbepalingssystemen





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>34</b>
<b>2</b>	<b>De opzet van meetsystemen in het algemeen</b>	<b>35</b>
2.1	Algemene karakteristiek van de meetsystemen	
2.2	De ontwikkeling en bouw van een meetsysteem	
2.3	Coördinatenstelsels	
<b>3</b>	<b>Meetmethoden</b>	<b>37</b>
3.1	Algemeen overzicht	
3.2	Plaatsbepaling met behulp van licht	
3.2.1	Tachymeter en Minilir/AGA combinatie	
3.3	Radiografische plaatsbepaling	
3.3.1	Het Artemis bakensysteem	
3.3.2	Het Trident III systeem	
3.3.3	De Tellurometer	
3.4	Akoestische plaatsbepalingssystemen	
3.4.1	Honeywell U.S.B.	
3.4.2	Simrad 209 H.P.R. (Hydro akoestic Position Reference system)	
3.5	Contactmeting algemeen	
3.5.1	Lengtemeting	
3.5.2	Draadmeetsystemen	
3.5.3	Lengtemeting met behulp van hydraulische stuurcilinders	
3.6	Contactmeting van hoeken en hellingen, probleemdefiniëring	
3.6.1	Zuivere hoekmeting	
3.6.1.1	De potentiometer	
3.6.1.2	De pulsschijf	
3.6.1.3	De codeerschijf	
3.6.1.4	De synchro	
3.6.1.5	De resolver	
3.6.2	Relatieve hoekmeting	
3.6.2.1	Scheefstandmeting met behulp van de zwaartekracht	
3.6.2.1.1	Het Pendulum	
3.6.2.1.2	De versnellingsmeter	
3.6.2.2	Dynamische hoekverdraaiingsmeter	
3.6.2.2.1	De Rate-gyro	
3.6.2.2.2	De combinatie van versnellingsmeter en Rate-gyro	
3.6.2.3	Horizontale hoekmeting ten opzichte van het noorden	
3.6.2.3.1	Inleiding	
3.6.2.3.2	Het gyro-kompas in het algemeen	
3.6.2.3.3	Het Robertson gyro-kompas SKR-80	
<b>4</b>	<b>Integratie van deelsystemen</b>	<b>50</b>
4.1	Ontwikkeling van de systemen	
4.2	Toegepaste geïntegreerde systemen	
4.2.1	Mytilus	
4.2.1.1	Overige systemen	
4.2.2	Cardium	
4.2.3	Wijker Rib/Portunus	
4.2.3.1	Plaatsbepaling	
4.2.3.1.1	Uitrusting Wijker Rib	
4.2.3.1.2	Uitrusting Portunus	
4.2.3.2	Werking systemen	
4.2.3.3	Visuele plaatsbepaling	
4.2.4	Trias	
<b>5</b>	<b>Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>Conclusie</b>	<b>60</b>
<b>7</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>61</b>

---

# 1. Inleiding

---

De bouw van de stormvloedkering in de monding van de Oosterschelde vond plaats onder offshore-achtige omgevingscondities. De korte kentelingen en de kleine passingstoleranties maakten niet alleen nieuw waterbouwkundige werkwijzen noodzakelijk, maar ook een geheel andere aanpak van de meetproblematiek.

Reeds lang bekende elektronische meetinstrumenten vormden, samen met nieuw ontwikkelde apparatuur en vergaande computertechnologie, geïntegreerde meetsystemen.

Het doel van deze meetsystemen was, om onder ongunstige omgevingscondities, grote aantallen meetgegevens tot zeer nauwkeurige procesinformatie en stuurgegevens te verwerken en deze, met een zo kort mogelijke interval, eenduidig aan de procesoperators ter beschikking te stellen.

Indien over meten wordt gesproken, kan worden gedacht aan:

- het al dan niet plaatsgebonden bepalen van (grond-) mechanische en hydraulische parameters en
- het meten van afstanden en hoeken ter bepaling van plaats en/of vorm.

Op het laatste aspect wordt hier nader ingegaan, omdat hierbij specifieke, aan het Oosterscheldeproject gebonden, problemen en oplossingen aan de orde komen. Dit is bij het eerste aspect in veel mindere mate het geval.

In deze deelnota worden de problematiek en de gekozen oplossingen verder uitgewerkt.

---

## 2. Opzet van de meetsystemen in het algemeen

---

### 2.1 Algemene karakteristiek van de meetsystemen

Evenals het ontwerp kon de uitvoering van het werk aan de stormvloedkering worden onderverdeeld in een groot aantal deelprojecten. Vooral voor het werk in de stroomgeulen werden daarvoor speciaal ontwikkelde werktuigen ingezet.

Ieder deelproject had zijn specifieke aspecten ten aanzien van de meetproblematiek. Mede gezien de chronologische volgorde van de deelprojecten en de daaruit voortvloeiende verschillende ontwikkelingsstadia van de uitvoeringsopzet, was het niet praktisch om te zoeken naar een vaste basisopzet voor de verschillende systemen.

Er werd gekozen voor een praktische aanpak, waarbij per deelproject werd uitgegaan van de volgende vragen:

- Wat zijn de specifieke eisen van het deelproject?
- Wat is er op het werk of op de markt reeds aan methodieken en instrumentatie beschikbaar?
- Wat zijn de ervaringen met reeds eerder op het werk uitgevoerde systemen?

De eisen, per deelproject aan het meetstelsel te stellen, kunnen worden onderverdeeld in:

- De aard van de te verrichten metingen: afstanden, hoekverdraaiingen, verplaatsingen, richtingen; onder water, boven water, aan een object.
- De vereiste nauwkeurigheid van de meetresultaten, tevens vergeleken met de mogelijkheden van bepaalde methoden.
- De wijze en snelheid van presentatie en registratie van gegevens.
- De noodzaak van de aanwezigheid van een reserve-(back-up)stelsel voor controle en eventuele vervanging van het hoofdstelsel.

Vooral bij de uitvoering van getij-afhankelijke operaties, zoals bijvoorbeeld het plaatsen van elementen, waarbij de tijd een belangrijke factor was, kon men zich een onderbreking van -of fouten in- de gegevensstroom niet veroorloven.

De inzet van een back-up-stelsel, dat onafhankelijk van en bij voorkeur volgens een ander principe dan het hoofdstelsel werkte, was dus een vereiste.

In hetzelfde geval moesten de gegevens van een groot aantal sensoren worden gecombineerd tot een eenvoudig afleesbare uitkomst, hetgeen een vergaande automatisering noodzakelijk maakte. Dit leidde dan weer tot de eis dat de te gebruiken methode met de bijbehorende instrumentatie automatisch afleesbare gegevens moest kunnen produceren.

Ook in andere gevallen, waarin de tijd niet zo'n belangrijke factor was, was het aantal gegevens zo groot, dat een ge-

automatiseerde verwerking lonend was.

In het algemeen zijn de bij de stormvloedkering gebruikte meetsystemen gekarakteriseerd door:

- Een integratie in één stelsel van meerdere meetmethoden, werkend volgens vaak zeer uiteenlopende principes.
- Een vergaande automatisering bij de verwerking, registratie en presentatie van gegevens.

Het stelsel zelf kan worden uitgesplitst in:

- De bij de gebruikte methode behorende instrumenten.
- De "hardware" voor de gegevensbewerking, presentatie en registratie (computers, bedieningstableaus, beeldschermen en registratie-apparatuur).
- De "software" (programmatuur voor de computers).

Bij de instrumentatie kan nog een onderscheid worden gemaakt tussen:

- Externe instrumentatie. Bijvoorbeeld de op de wal of elders geplaatste passieve of actieve bakens, los van het werktuig geplaatste meetinstrumenten, waarvan de gegevens naar de op het werktuig aanwezige bewerkings-apparatuur moesten worden overgebracht.
- Aan het werktuig zelf verbonden instrumentatie.

De hardware werd meestal aan boord van een werktuig ondergebracht. Bij in tandem werkende werktuigen moesten vaak ook de hardwaresystemen aan elkaar worden gekoppeld, zoals dat het geval was bij de Macoma-Ostrea en Macoma-Taklift IV-combinaties.

### 2.2 De ontwikkeling en bouw van een meetstelsel

In de hoek van de werkvoorbereiding werden, aan de hand van de ontwerp-eisen, de diverse aspecten van de uitvoering van een deelproject geïnventariseerd en geanalyseerd.

Een van die aspecten was de meetproblematiek, die in gecompliceerde gevallen werd aangepast door een multi-disciplinaire werkgroep. De activiteiten van deze werkgroep resulteerde in het zogenaamde "meetverhaal" voor het betreffende deelproject. In zo'n meetverhaal werd de oplossing van de specifieke meetproblematiek vrij ver uitgewerkt; een kostenraming gemaakt van de te bouwen systemen en een schatting van de personeelsbehoefte voor de bediening.

Voor de opstelling van dit meetverhaal werd zonnig onderzoek verricht naar de specifieke bruikbaarheid van (eventueel elders) bekende methoden en instrumenten en er werden nieuwe methoden en instrumenten ontwikkeld en beproefd.

Na een goedkeuringsprocedure in de projectorganisatie werd het meetverhaal gebruikt als basisdocument voor de verdere activiteiten die nodig waren om tot een voor het

deelproject daadwerkelijk functionerend meetsysteem te komen zoals:

- Het uitschrijven van specificaties voor verder te ontwerpen en te bouwen hardware en software configuraties.
- De verwerving van instrumenten en sensoren.
- Het treffen van constructieve voorzieningen aan bestaande of nieuw te bouwen werktuigen (obstakelvrije zones, ruimten voor apparatuur en kabeldoorvoer, enz.).

Het eigenlijke ontwerp en de bouw werden meestal bij derden uitbesteed.

Tenslotte volgden dan de afnamebeproevingen, het uittesten van de praktische bruikbaarheid van het systeem en het inwerken van de gebruikers.

### 2.3 Coördinatenstelsels

Bijna onverbreekelijk verbonden aan de opzet van meetsystemen is het gebruiken en definiëren van assenstelsels of coördinatenstelsels waarin gegevens van afstand en oriëntatie kunnen worden vastgelegd.

Het meten van afstanden en oriëntaties is in wezen een zaak van relativiteit. Vrijwel altijd wordt iets ten opzichte van iets anders gemeten.

Door de meetgegevens ten opzichte van een gedefinieerd assenstelsel vast te leggen krijgen deze een meer absoluut karakter. Onder bepaalde voorwaarden zijn ze dan ook overdraagbaar naar andere assenstelsels. Van deze overdraagbaarheid is in de opzet van meetsystemen op grote schaal gebruik gemaakt.

Voor het werk aan de stormvloedkering werd dan ook een groot aantal assenstelsels (grids) gedefinieerd.

Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen

- vaste stelsels (plaatsgebonden) en
- beweeglijke stelsels (objectgebonden, scheepsgebonden).

De vaste stelsels waren allen gedefinieerd in het coördinatenstelsel van de Rijksdriehoeksmeting, waarin het tracé van de stormvloedkering geografisch was vastgelegd.

Dit was daarmee het basisstelsel voor de vastlegging van alle plaatsgegevens.

Uit praktische overwegingen werden daarnaast allerlei lokale stelsels gedefinieerd. Deze overwegingen waren:

- Betere herkenbaarheid in het terrein, zowel bij opname als bij uitzetten (opzoeken).
- Eenvoudiger registratie.
- Kleinere getallen in berekeningen.

Als belangrijkste lokale stelsels kunnen worden genoemd:

- de drie verschillende stroomgeulstelsels
- het bouwputstelsel.

Voor de z-maat werd bijna vanzelfsprekend het NAP-vlak als referentievlak aangehouden.

Deze lokale stelsels zijn met nog een aantal andere stelsels gedefinieerd in doc. 1.

De beweeglijke stelsels kunnen, hoewel principieel niet verschillend, naar hun gebruik worden onderscheiden in:

- scheeps-, dan wel werktuiggebonden stelsels en
- object element gebonden stelsels.

Deze stelsels zijn aan het schip of het object gedefinieerd, hetgeen dus een relatieve definitie is. De absolute definiëring van deze stelsels is afhankelijk van de positie en oriëntatie in een vast stelsel en is in het algemeen variabel.

De meeste meetinstrumenten waren scheeps-(werktuig-)gebonden.

De gegevens daarvan werden dan ook in eerste instantie meestal in het scheepsstelsel uitgedrukt. Met behulp van de actuele, absolute definitie van het scheepsstelsel, konden deze gegevens dan worden omgerekend naar een vast stelsel (zie ook 3.1).

Bij de objectgebonden stelsels ging het er vooral om de vormgegevens van een prefab-element (pijler, dorpelbalk, enz.) eenduidig en rekenkundig gemakkelijk overdraagbaar vast te leggen.

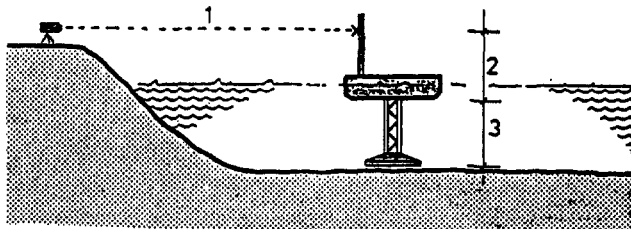
Deze vormgegevens werden op de bouwplaats van het element vastgesteld en later op de definitieve plaats in het grote geheel opgenomen.

### 3. Meetmethoden

#### 3.1 Algemeen overzicht

In dit hoofdstuk wordt een globaal, niet uitputtend overzicht gegeven van de bij de Oosterscheldekering gebruikte meetmethoden. In het bijzonder gaat het om methoden die werden gebruikt bij afstandmetingen.

Het probleem van de afstandmeting wordt generaliserend samengevat in figuur 1. Hierin zijn drie stappen te onderscheiden (doc. 2):



Figuur 1 Meetstappen

- Stap 1: De meting van de positie van meestal een hooggelegen punt van het werkvaartuig ten opzichte van referentiepunten op de wal.
- Stap 2: De meting van de onderlinge positie van punten op het werkvaartuig, alsmede de oriëntatie van het werkvaartuig in de ruimte (koers, trim en slagzij). In een aantal gevallen is ook de hoogteligging van het werkvaartuig ten opzichte van het NAP-vlak belangrijk.

Stap 3: De meting van het gewenste meetdoel (meestal een punt of object onder water) ten opzichte van een aan het werkvaartuig verbonden punt.

Door de metingen in de drie stappen met elkaar te combineren ontstaat de mogelijkheid om de positie van het meetdoel in een vast referentiekader vast te leggen. Hierbij moet de tweede stap als een tussenstap worden beschouwd om de eerste en de derde stap aan elkaar te koppelen. De mate van aandacht die aan deze tussenstap moet worden besteed is afhankelijk van de uiteindelijk vereiste meetnauwkeurigheid, die van geval tot geval verschillend is.

Naar het principe volgens welke de gebruikte apparatuur werkt kan een onderscheid worden gemaakt in:

- visuele metingen
- metingen door middel van energieoverdracht en
- contactmetingen.

Bij visuele metingen geschiedt de registratie van gegevens door tussenkomst van een visuele aflezing.

Daardoor lenen deze methoden zich niet voor de inbouw in automatisch werkende systemen, hoewel ze wel zijn toegepast voor individuele metingen en in systemen waarbij een volledige automatisering niet noodzakelijk was.

De twee andere groepen van methoden konden elektronisch afleesbare gegevens leveren en waren dus wel geschikt voor geautomatiseerde systemen.

De toepassingsmogelijkheden van de methoden uit de tweede groep worden mede bepaald door het medium (water of lucht) waarin de meting moet plaatsvinden.

	contact	energie	medium
Stap 1	----- draadmeetsystemen	licht en el.magn. golven -----	lucht ----- indifferent
Stap 2	----- hoek- en hellingmeters	lichtgolven -----	lucht -----
Stap 3	draadmeetsystemen hoekmeters, tasters -----	----- geluidsgolven, drukdozen	indifferent ----- water

Tabel 1: Matrix toegepaste meetmethoden

Aldus kan voor een totaaloverzicht van de in geautomatiseerde systemen gebruikte meetmethoden de in tabel 1 gegeven matrix worden gehanteerd.

Voor de afstandmetingen in stap 1 kan nog een onderscheid worden gemaakt tussen metingen over

- zeer grote afstanden tot enkele tientallen kilometers
- middel grote afstanden, tot één kilometer
- korte afstanden, tot maximaal enkele honderden meters.

Eenvoudigheidshalve is dit onderscheid niet meer in de bovengenoemde matrix opgenomen.

De methoden voor stap 3 gelden altijd voor korte afstanden.

### 3.2 Plaatsbepaling met behulp van licht

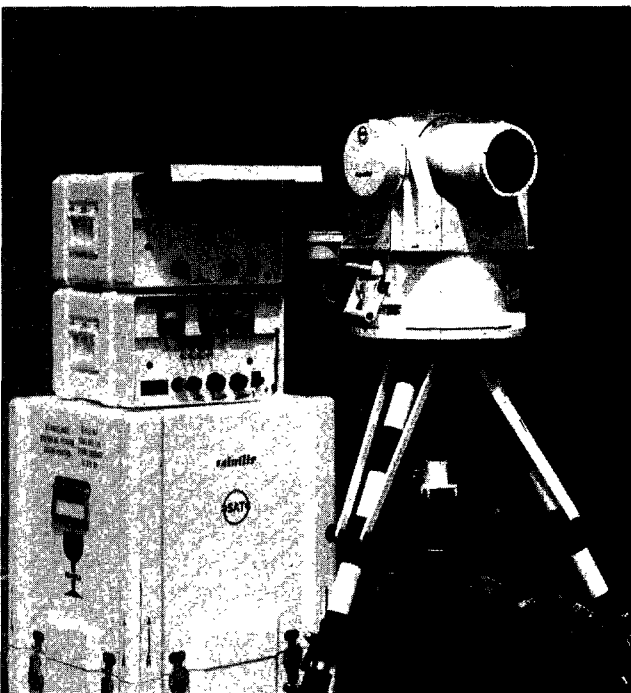
#### 3.2.1 Tachymeter en Minilir/Aga combinatie

Tijdens de uitvoering van werkzaamheden met werkschepen was in diverse gevallen een hoge positioneringsnauwkeurigheid vereist (0,1 m of hoger).

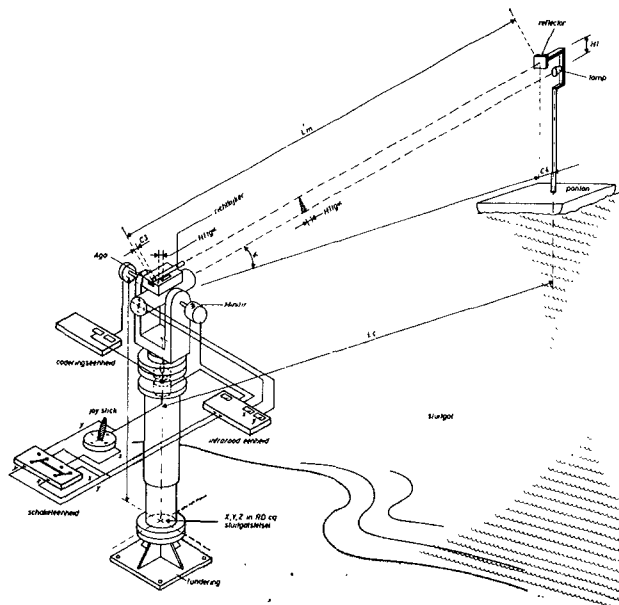
Voor de oplossing van dit probleem werd de positie van het werkschip vanaf vaste (nauwkeurig bekende) punten op de wal voortdurend ingemeten met behulp van zelfregistrerende tachymeters, waarvan de gegevens telemetrisch werden overgebracht naar het geautomatiseerde boordstelsel van het werkschip voor verdere bewerking tot drie-dimensionale plaatsgegevens.

De tachymeter leverde twee gegevensstromen. Één voor de afstand en één voor de hoekmetingen. Deze gegevensstromen werden via een aantal tussenbewerkingen met een UHF-zender overgeseind en op het werkschip ontvangen.

De afstandmeting geschiedde volgens het principe van de geodimeter, met behulp van een door het werkschip te



Figuur 2 De Minilir/AGA-combinatie



Figuur 3 De Minilir/Aga-combinatie voor plaatsbepaling en afstandmeting met licht

reflecteren infrarood-laser-straal. Als reflector werden prisma's van het fabrikaat Wild gebruikt.

De optische centrering voor de hoekmetingen gebeurde op een op het werkschip opgestelde lichtbron (afhankelijk van de afstand met een gerichte spotlamp of een rondschildende halogeen lamp).

Beide elementen (lamp en reflectoren) werden in zogenaamde reflectorunits op het werkschip gemonteerd. In veel gevallen waren, in verband met de grote verschillen in meethoek ten opzichte van de koers van het schip, meerdere reflectoren en vaak ook meerdere spotlampen noodzakelijk.

In eerste instantie waren als meetinstrument alleen zelfregistrerende tachymeters uit de landmeetkunde beschikbaar: de HP 3820A en later de Wild TC 1.

Deze instrumenten hadden het bezwaar dat ze met de hand op het in te meten object moesten worden gericht (doc. 3).

Dit zou voor een bewegend object een te grote inspanning van de bedienaar vergen en daardoor een kans op fouten geven. Om deze reden is gezocht naar een automatisch volgend instrument, dat werd gevonden in de vorm van de, voor de ruimtevaart ontwikkelde, automatisch volgende theodoliet van het fabrikaat Minilir. Voor de afstandmeting werd dit instrument gecombineerd met een op de kijkerbuis gemonteerde geodimeter van het type AGA 112 (figuur 2).

De systematische afwijkingen van zowel de Minilir/Aga-combinatie als de reflectorunit werden in de berekeningen als correcties verwerkt (figuur 3).

In totaal waren vijf Minilir/Aga-combinaties in gebruik voor de nauwkeurige positionering van diverse werkschepen. De handgestuurde tachymeters, waarvan er ook een vijftal in gebruik was, werden alleen ingezet voor kortstondige (controle-)metingen en als reserve-(back-up) voor de Minilir/Aga-combinatie.

De bij de tachymeters als regel aanwezige cassette-recorder voor gegevensopslag werd daartoe vervangen door een speciale interface, die aansluiting op het telemetrie-systeem mogelijk maakte.

### 3.3 Radiografische plaatsbepaling

Bij het werk aan de stormvloedkering werden drie radiografische plaatsbepalingssystemen toegepast, namelijk:

- het Artemis bakensysteem
- het Trident III systeem
- het Tellurometer MRA 3 systeem.

In de overgangsfase van het werk aan een gesloten kering naar de bouw van de stormvloedkering waren nog andere radiografische plaatsbepalingssystemen in gebruik, namelijk:

- het Decca-systeem
- het Miniranger-systeem.

Deze systemen werden, behalve voor de algemene navigatie, vooral gebruikt als plaatsbepalingssysteem bij het uitvoeren van lodingen. Deze systemen voldeden niet aan de gestelde eisen voor wat betreft de nauwkeurigheid en/of de bruikbaarheid door meerdere gebruikers.

Voor het echte grote werk aan de kering zijn zij vervangen door het Trident III-systeem; reden waarom deze systemen hier verder niet zullen worden behandeld.

#### 3.3.1 Het Artemis bakensysteem

Het Artemis bakensysteem is een polair plaatsbepalingssysteem, door het Christiaan Huygens Laboratorium te Noordwijk ontwikkeld uit een antenne-volgsysteem.

Het Artemis-systeem werkt in de frequentieband van 9,2 - 9,3 GHz.

Het bij de stormvloedkering gebruikte systeem werd ten opzichte van het standaardstelsel uitgebreid op de volgende punten:

- De mogelijkheid van 10 gebruikers per systeem.
- Twee systemen kunnen tegelijk operationeel zijn.
- Een verhoogde afstandnauwkeurigheid.

Het aangepaste systeem bestaat uit een rondom stralende, vast opgestelde antenne of baken en een sleufstralerantenne aan boord van de vaartuigen, de mobiel. De mobiel blijft ongeacht de scheepsbewegingen automatisch gericht op het baken. Met behulp van een op de as gemonteerde hoekopnemer (een synchro of resolver) kan de hoek worden vastgesteld van de mobiel ten opzichte van de scheepskoers (artemishoek).

De scheepskoers wordt bepaald met behulp van een

Robertson-gyro-kompas. Een combinatie van de artemishoek met de kompashoek geeft de oriëntatiehoek van het systeem.

De afstand tussen schip (mobiel) en baken wordt bepaald door de looptijd van een impuls te meten. Een en ander is schematisch voorgesteld in figuur 4.

De mobielantenne heeft een elektrisch gescheiden linker- en rechterheft die elk de fase van het 0,03 m - microgolf-sigitaal meten dat door het baken wordt uitgezonden. Wanneer er bij een vergelijking van deze metingen geen faseverschil is, staat de antenne loodrecht op de verbindinglijn mobiel-baken gericht. Een optredend verschil wordt omgezet in een stuurspanning voor een servo, die een nulstand nastreeft. Omdat de hoekmeting alleen afhankelijk is van het bakensigitaal, kan dit continu plaatsvinden.

Bij de afstandmeting wordt door de mobiel op een van het bakensigitaal enigszins afwijkende frequentie een puls uitgezonden, die door het baken, na ontvangst, op de eigen frequentie wordt teruggestuurd en weer door de mobiel wordt ontvangen.

Uit het tijdsverloop tussen uitzenden en ontvangst kan de te meten afstand worden afgeleid. De afstand wordt vastgesteld uit het gemiddelde van 2000 metingen, hetgeen mogelijk is door de snelle opeenvolging van de pulsen en de korte looptijd.

Bij gebruik van één baken door meerdere mobielen is het noodzakelijk dat iedere mobiel voor de afstandmeting wordt geïdentificeerd. Dit gebeurt door het baken te programmeren met maximaal 10 en minimaal 2 adresseer-codes, die in een cyclische volgorde op de bakenfrequentie worden uitgezonden met een tijdpoort voor de afstandmeting van 0,1 sec. voor iedere code. Bij ontvangst van zijn eigen adresseercode reageert de betreffende mobiel met het uitzenden van zijn eigen meetpulsen.

Op deze wijze kunnen maximaal 10 mobielen van één baken gebruik maken, waarbij iedere seconde de afstandmeting wordt ververs.

Het bereik van het systeem is circa 1250 m, met een met de afstand toenemende onnauwkeurigheid, die hoofdzakelijk wordt bepaald door de onnauwkeurigheid van het gyro-kompas.

In verband met gestelde nauwkeurigheidseisen werd het effectieve werkgebied beperkt tot 200 m uit het baken, waarbij de totale nauwkeurigheid van de plaatsbepaling beter was dan 1 m.

Het Artemis-systeem werd hoofdzakelijk gebruikt voor de positionering van de stortschepen voor het drempelmateriaal.

#### 3.3.2 Het Trident III-systeem

Het Trident III-systeem is een circulair plaatsbepalingssysteem, dat is ontwikkeld door Thomson-CSF in Frankrijk.

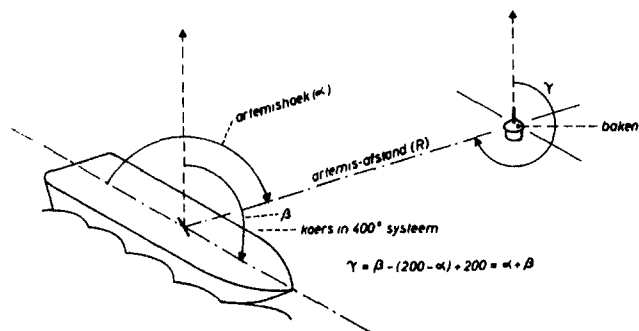
Het in Nederland gebruikte systeem werkt in de 1219 MHz-band, terwijl in andere landen ook op 450 MHz wordt gewerkt.

Met dit systeem kan de positie van een vaartuig worden vastgesteld als het snijpunt van twee of meer cirkels, die een baken als middelpunt hebben.

Aan boord van het vaartuig is een zogenaamde interrogator geplaatst, die impulstreinen met een adresseercode uitzendt.

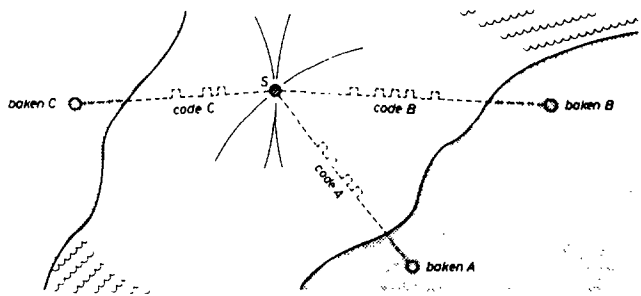
Het aangesproken baken zendt de bakencode terug.

De afstandmeting vindt plaats door de looptijd van de im-



Figuur 4 Principe van het Artemis-bakensysteem





Figuur 5 Principe van het Trident-III radioplaatsbepalings-systeem van Thomson-CSF

pulstrein tussen uitzenden en ontvangst te meten (zie figuur 5).

Het systeem heeft de mogelijkheid om een keuze te maken uit maximaal 32 bakens met ieder een eigen herkenningscode. In principe is het aanspreken van twee bakens voldoende voor de plaatsbepaling. Het tegelijkertijd aanspreken van vier bakens, dat als regel gebeurt, geeft een overvloedigheid van meetgegevens waardoor het mogelijk wordt om:

- Foutieve afstandsmetingen te detecteren.
- De meting te vereffenen.
- Een sluitfout aan te geven.

Dit verhoogt de betrouwbaarheid en de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling. Op deze manier kon een nauwkeurigheid van 2 meter in x en y-richting (2 sigmawaarde) worden gehaald.

Mits de ruimte tussen het schip en de te gebruiken bakens voldoende obstakelvrij is, kan het systeem over grote afstanden, tot enkele tientallen kilometers, worden gebruikt. Voor het werk aan de stormvloedkering is uiteindelijk gekozen voor een systeem met 8 bakens waarvan de opstelling in figuur 6 is gegeven. Hierin waren 10 interrogators geïnstalleerd op de verschillende werkschepen, al dan niet in combinatie met andere (meer nauwkeurigere) plaatsbepa-

lingssystemen. De goede werking van de bakens werd bewaakt door een monitor-interrogator, waarmee regelmatig alle bakens werden afgevraagd.

Wat meer gedetailleerd is de werking van het systeem als volgt:

De gecodeerde pulstreinen worden als een amplitude modulatie op de draaggolfrequentie van 1219 MHz uitgezonden met een instelbare herhalingsfrequentie van 16, 32, 64 of 128 Hz (bij de stormvloedkering alleen 32 Hz). Achtereenvolgens zendt de interrogator vier verschillende gecodeerde signalen uit (voor elk aan te spreken bakens één), die moeten worden herkend door de aangesproken bakens. Na decodering en herkenning zendt elk bakens een speciale bakencode uit, waarmee, na ontvangst, de interrogator de afstand kan berekenen.

Het systeem is onder andere gevoelig voor interferentie verschijnselen en reflecties, die altijd later binnenkomen.

Om de ontvangst van gereflecteerde signalen te voorkomen wordt in de interrogator-ontvanger op het geschatte tijdstip van binnenkomst van het te meten signaal een tijdpoort geopend, de zogenaamde tracking gate. Het tijdstip van opening is gebaseerd op het resultaat van voorgaande metingen en glijdt dus mee met de beweging van het schip ten opzichte van de respectievelijke bakens.

Om interferentie te voorkomen wordt de herhalingsfrequentie van iedere interrogator met 10% willekeurig gevarieerd. Samen met het hiervoor genoemde tracking-systeem wordt er hierdoor voor gezorgd, dat de interrogator alleen dat bakensantwoord herkent, dat door hemzelf is opgeroepen.

Het tracking-systeem kan ook nog een signaalonderbeking van twee seconden overbruggen.

### 3.3.3 De Tellurometer

Dit systeem kan eveneens tot de circulaire plaatsbepalingssystemen worden gerekend.

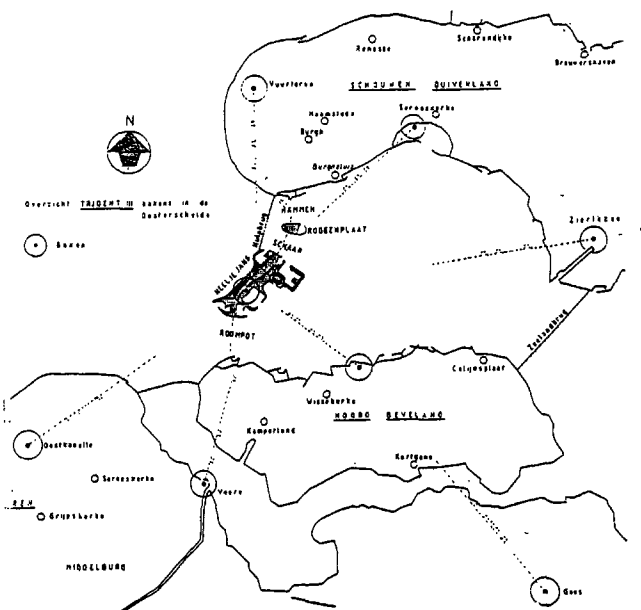
De Tellurometer MRA 3 - MK II is een afstandmeter, bedoeld voor landmeetkundige toepassingen en vervaardigd door Tellurometer (UK) Ltd, deel uitmakend van de Plessey groep. Het type instrument was niet meer in productie, maar het gebruik ervan was gebaseerd op de beschikbaarheid van vier instrumentensets.

Het bereik van het systeem is circa 50 km en werkt in de frequentieband van 10,6 GHz.

Voor het meten van een afstand met de Tellurometer is een set van twee apparaten nodig. Het hoofdinstrument zendt een op een draaggolf gemoduleerd signaal uit dat door het neveninstrument op een enigszins afwijkende draaggolfrequentie wordt teruggezonden. Het neveninstrument werkt dus als een actieve reflector.

De eigenlijke meting gebeurt met behulp van het golfvormige signaal met een frequentie van circa 7,5 MHz, overeenkomend met een golflengte van 40 m. Het faseverschil tussen het uitgezonden en het binnenkomende signaal wordt gemeten. Een faseverandering van 0 tot 360 graden correspondeert met een door het signaal afgelegde weg van 40 m, hetgeen neerkomt op een verandering in afstand tussen hoofd- en neveninstrument van 20 m.

Op deze wijze wordt alleen een onderdeel van 20 m eenduidig gemeten. De veelvouden van 20 m in een te meten afstand moeten op een andere wijze worden bepaald. Voor landmeetkundige doeleinden kan men, om de volledige waarde van de afstand te krijgen, metingen doen in nog 4 modulatiefrequenties, die zo zijn gekozen, dat de uitkom-



Figuur 6 De opstelling van de Trident III-bakens

sten van de fasemetingen respectievelijk de ontbrekende 100, 1000, 10.000 en 100.000-tallen geven.

Voor de afstandmeting met een bewegend object is deze methode minder geschikt.

Het systeem is hoofdzakelijk als reservesysteem gebruikt voor de plaatsbepaling van de Cardium en de Jan Heymans. Voor dit laatste vaartuig ook nog als hoofdsysteem bij het mastiekleggen. Omdat deze vaartuigen altijd op ankers werkten was het mogelijk om bij grote verplaatsingen het aantal doorgangen door de eenheden van 20 m te tellen vanaf een bekend, stilliggend ingemeten, startpunt.

Voor de walpunten werden uiteindelijk neveninstrumenten opgesteld op de vuurtoren Haamstede en in een kantelpaal bij de locatie Heerenkeet tussen Burghsluis en Zierikzee.

De betrekkelijk grote afstand tot de werkplek had het voordeel dat met de bundelhoek (9 graden) van de walapparaten nog een vrij groot werkgebied (ongeveer één stroomgeul) kon worden bestreken, zonder de antennes bij te stellen.

Op de werkschepen werd de antenne, op afstand bediend, gericht, waarbij gebruik werd gemaakt van een signaalsterktemeter.

De nauwkeurigheid van het systeem was 0,5 m (2 sigma-waarde).

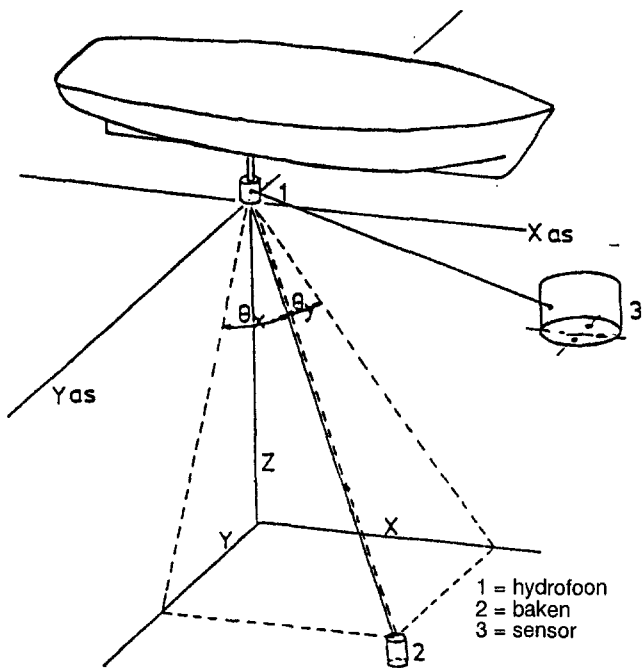
### 3.4 Akoestische plaatsbepalingssystemen

Deze systemen zijn speciaal ontwikkeld om bewust onder water gebrachte voorwerpen snel te kunnen lokaliseren. Bij het werk aan de stormvloedkering waren hiervan twee systemen in gebruik, namelijk:

- Honeywell USB (Ultra Short Base Line).
- Simrad HPR SS BL (Super Short Base Line).

Het waren in wezen beide polaire meetsystemen die gebruik maakten van actieve bakens.

Beide systemen zullen hieronder kort worden beschreven.



Figuur 7 Principe USB-plaatsbepaling

### 3.4.1 Honeywell USB

In principe werkt dit systeem als volgt (zie ook figuur 7).

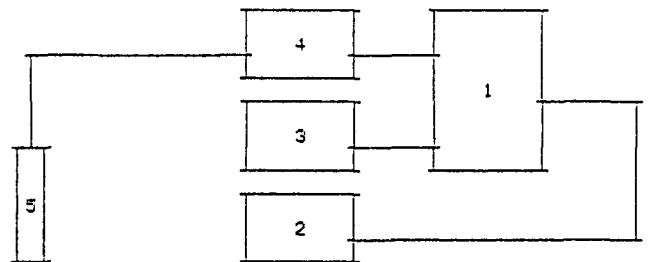
De aan het schip bevestigde transducent (hydrofoon), zendt een geluidspuls uit, die wordt ontvangen door een bakens. Dit bakens antwoordt door een geluidspuls met een andere frequentie uit te zenden. In de transducent zijn drie sensoren gemonteerd. Het akoestische signaal van het bakens bereikt deze sensoren niet gelijktijdig, waardoor een faseverschil wordt geregistreerd.

Uit dit faseverschil en een aantal vaste gegevens berekent het systeem twee hoeken, waaruit de richting van het bakens ten opzichte van het schip kan worden berekend.

Afhankelijk van het gebruikte soort bakens of van een extra operatorinvoer kan ook de afstand berekend worden, zodat de positie van het bakens ten opzichte van de transducent bepaald is.

In dit systeem is de oriëntatie en positie van de transducent belangrijk voor een absolute plaatsbepaling.

De verticale oriëntatie wordt bepaald door een bij het systeem horende vertikaal referentie-eenheid (VRU), zie ook figuur 8.



1. processor: verwerking van gegevens
2. display console: invoer gegevens
3. Vertical Reference Unit: hellingen schip
4. power amplifier
5. hydrofoon

Figuur 8 Schema boordsysteem

De horizontale oriëntatie is gekoppeld aan het schip.

Onder optimale omstandigheden is de nauwkeurigheid van het systeem ongeveer 0,20 m in de x- en y-richting met een bereik van circa 50 m.

Het systeem werd aan boord van de Cardium gebruikt voor de plaatsbepaling van de kopbalk van de funderingsmatten en van de verdichtingsbalk.

Aan boord van de Macoma/Dos I-combinatie werd het gebruikt voor de plaatsbepaling van de kop- en staartbalken van de tegelmat.

### 3.4.2 Simrad 209 HPR (Hydro acoustic Position Reference system)

Dit systeem werkt ongeveer volgens hetzelfde principe als het USB systeem. Er is echter een aantal belangrijke verschillen. Het HPR-systeem kan met een draaibare transducentkop worden uitgevoerd, die in de richting van het te ontvangen signaal kan worden gedraaid. Dit verhoogt de nauwkeurigheid, vooral wanneer onder een kleine hoek met de horizontaal wordt gemeten.

Verder kan het ondervragingssignaal met een grote, middel of kleine bundelbreedte worden uitgezonden.

Deze drie bundelbreedten worden gebruikt om enerzijds de transponder zo snel mogelijk op te sporen (grote bun-

delbreedte) en anderzijds de meetnauwkeurigheid te verhogen (kleine bundelbreedte).

Ook hier wordt in principe de relatieve positie tussen transducent en transponder (baken) bepaald.

In dit systeem kan echter van maximaal negen transponders in één omgevingsgebied de relatieve positie worden bepaald.

Wanneer nu één of meer van die transponders een vaste positie heeft, die van te voren zo nauwkeurig mogelijk in absolute maten is ingemeten, dan kunnen deze gegevens verder gebruikt worden als basis voor de verdere metingen.

Hierdoor is de absolute positie van de transducent voor de vervolgmetingen minder belangrijk geworden.

Het systeem werd gebruikt aan boord van de Wijkter Rib om de positie van het inspectievoertuig Portunus te kunnen bepalen. Hierbij werd als regel gebruik gemaakt van één of twee vaste transponders en een responder op de Portunus. Daarbij was de plaatsbepalingsnauwkeurigheid van de Portunus beter dan 1,10 m (2 sigmawaarde).

### 3.5 Contactmetingen, algemeen

De contactmetingen vinden hoofdzakelijk plaats in het kader van stap 2 van het generaliseerde schema van de afstandmeting (zie 3.1).

Het gaat hierbij om de registratie van de toestand van de drager (meestal een werkschip, soms ook andere elementen), danwel de verandering daarin met betrekking tot:

- De vorm (bijvoorbeeld het laten zakken van de zuiglander als instrumentendrager).
- De oriëntatie (koers, slagzij, trim).

Wanneer het om vaste gegevens gaat kunnen deze, na eenmaal te zijn vastgesteld, zodanig met de hand in de berekeningen worden ingevoerd.

Gaat het om veranderlijke gegevens (vooral bij snelle veranderingen) dan worden aan deze metingen als eisen gesteld:

- Een hoge meetfrequentie, zodat een synchronisatie met de metingen uit stap 1 en/of 3 in principe mogelijk is.
- Een elektronische, bij voorkeur digitale, gegevenspresentatie voor een automatische verwerking.

In enkele gevallen gaat het om de meting van grotere relatieve verplaatsingen als een beperkte reserve (back-up) op plaatsbepalingssystemen uit stap 1 of 3; of om het meten van de relatieve positie van een element, waarmee wordt gemanipuleerd ten opzichte van andere elementen (bijvoorbeeld het plaatsen van dorpelbalken, het manoeuvreren met de verdichtingsbalk voor de verdichting van het funderingsbed).

Naar de aard kunnen de contactmetingen worden verdeeld in:

- Lengtemetingen en
- hoekmetingen.

#### 3.5.1 Lengtemeting

In de praktijk van het werk aan de stormvloedkering werd op drie manieren directe lengtemeting toegepast:

- Met behulp van een speciale meetlier en meetdraad;
- lengtemeting aan draden die voor andere doelen ingebruik waren zoals: hijsdraden, stuurdraden, ankerdraden;

- lengtemeting aan hydraulische stuurcilinders.

#### 3.5.2 Draadmeetsystemen

Draadmeetsystemen volgens het “strakke draad principe” (taut wire system) worden gebruikt om de positie van een voorwerp te bepalen uit:

- De meting van lengte en richting van de draad.
- De meting van alléén de richting, wanneer de lengte voldoende bekend is.
- De meting van alléén de lengte, waarbij meer gegevens nodig zijn.

De draad wordt onder een bepaalde spanning gehouden om uitbuiging ten gevolge van stroom en/of eigen gewicht zoveel mogelijk te voorkomen. Dit is vooral belangrijk bij de richtingmeting. Bij de lengtemeting is de constante spanning van belang om lengteveranderingen ten gevolge van rek zoveel mogelijk uit te sluiten.

Draadmetingen kunnen alleen daar worden gebruikt waar een mechanische verbinding met het te positioneren voorwerp mogelijk is. Zij worden bijvoorbeeld onder water toegepast wanneer akoestische methoden te onnauwkeurig zijn of niet toepasbaar door te veel omgevingslawaaï.

Als afstandmeetinstrument is voor diverse toepassingen bij de stormvloedkering een speciale meetlier met draad ontwikkeld. Een 4 mm dikke geslagen (19x1) roestvrijstalen draad werd als meetdraad gebruikt, die door de meetlier onder een constante kracht van circa 225 kgf werd gehouden.

In de meetlier zat een zogenaamde stilstandmotor die via een vertragingskast, een met de bovengenoemde kracht overeenkomend constant koppel op de liertrommel uitoefende.

De inhaal- en uitvierlengte van de draad werd bepaald aan de hand van de draaiing van de trommel. Het totale aantal omwentelingen werd via een reductie met een potmeter bepaald, terwijl delen van omwentelingen direct met een synchro (zie 3.6.1.4) werden gemeten.

Na een onderzoek met een prototype zijn er vier van deze meetlieren gebouwd:

- 2 op de Ostrea voor de meting van de afstand van de hijsjukken tot de portalen (vertikale meting in lucht).
- 2 op de Cardium voor de meting van de stand van de zuiglander (onderwater, onder een variërende hoek met de vertikaal).

Later werden de meetlieren van de Cardium met enige veranderingen opnieuw ingezet op de Taklift 4 bij het dorpelbalkplaatsen voor de meting van de positie van de dorpelbalk ten opzichte van de Taklift 4.

Hierbij is onder andere de spankracht op de draad verhoogd naar circa 450 kgf.

In de Taklift 4 configuratie was de meetdraad via een omloopschijf op het dorpelbalk-hijsframe een keer ingeschooren. Aan het vaste part werd tevens de draadrichting gemeten.

Het draadhoekmeetsysteem bestond uit de volgende onderdelen:

- een fundering, bestaande uit een A-frame en een voetplaat. Hiermee werd de kracht in de meetdraad overgebracht.
- een pendelgedeelte, bestaande uit een hellingmeetplaats (haaks op de meetdraad), een dubbelcardanische ophanging, en een pendelconstructie die span-

ningsvrij bevestigd was aan de meetdraad. Op de hellingmeetplaat waren twee sundstrand hellingmeters gemonteerd (phi-x en phi-y). Door de dubbelcardanische ophanging was het pendelge-deelte volledig vrij in het volgen van de meetdraad.

Bij het blokkenmattenleggen is een draadmeetsysteem gebruikt voor het inmeten van de positie van de kopbalk. Hierbij ging het uitsluitend om een hoekmeting. Het inmeten van de kopbalk van de blokkenmat is een relatieve meting. De kopbalk behoort loodrecht op de legrichting te liggen. Vanaf de BB en de SB kant van de kopbalk werd een staaldraad met de ponton verbonden. Nadat de kopbalk gelegd was, werd de ponton verhaald, totdat de kopbalk zich ongeveer loodrecht onder de aflooppunten van de meetdraden bevond, zodat deze vrijwel verticaal stonden. De ponton werd op de juiste koers (de legrichting) gelegd. Nu werd de richting van beide draden geme-ten. Uit de bekende diepte (dus draadlengtes) en de beide richtingen werd de scheefstand van de kopbalk bepaald. Het was een eenvoudig en goedkoop systeem, dat goed voldeed.

In diverse toepassingen is voor de plaatsbepaling zowel onder water, als boven water gebruikt gemaakt van lengte-meting als nevenfunctie aan bestaande, voor andere doel-einden bestemde, draden. Hiertoe werd dan voor de me-ting van de draadbeweging op een geschikte plaats in het draadtracé aan boord van het werkschip een meetschijf (pulsteller/codeerschijf met fotocel) geïnstalleerd. Dit sys-teem werd toegepast bij de positionering van de trilbalk onder de ponton Manus, respectievelijk onder de Cardium.

Door de lengte en lengteverandering van de hijs- en stuurdraden te meten kon de positie van de trilbalk worden berekend ten opzichte van het werkvaartuig.

Met behulp van deiningcompensatoren (deico's) werd de draadspanning zoveel mogelijk op hetzelfde niveau gehouden.

Een andere toepassing was het gebruik maken van de lengteverandering van de ankerdraden bij het manoeuvre-ren van verankerde vaartuigen voor de berekening van een relatieve positie ten opzichte van de uitgangspositie.

Een probleem daarbij was, dat een sterke variatie in de ankerkrachten in combinatie met de totale stijfheid van een verankering (eigen stijfheid van de draad, eigengewicht, doorhang) tot vrij grote onnauwkeurigheden aanleiding kon geven.

Deze aspecten waren overigens ook van belang voor de nauwkeurigheid van het manoeuvreren zelf.

Door onder andere de ankerkrachten automatisch op een zo constant mogelijke waarde te houden (constant tension) en het plaatsbepalingensysteem pas in werking te laten komen wanneer de ankerkrachten optimaal verdeeld wa-ren, is het gelukt om, samen met nog een aantal maatregelen in de uitvoeringsprocedure, een voldoende nauw-keurig werkend systeem te krijgen, dat als reserve (back-up) op andere plaatsbepalingssystemen kon werken ( $\sigma_x < 1,00 \text{ m}$ ,  $\sigma_y < 0,4 \text{ m}$ ).

Dit systeem is toegepast op de Cardium-Jan Heijmans-combinatie bij de aanleg van het funderingsbed.

### 3.5.3 Lengtemeting met behulp van hydraulische (stuur) cilinders

In het bijzonder bij het plaatsen, onder water, van de dor-pelbalken is op vrij grote schaal gebruik gemaakt van hy-

draulische stuurcilinders om de Taklift 4 en de dorpelbalk zelf in de juiste positie te brengen.

Voor de Taklift 4 waren deze aangebracht in uithouders aan het achterschip ter vervanging van de achterste zij-an-kerdraden, die in de plaatsingspositie niet meer konden worden gebruikt.

Voor de dorpelbalk waren de stuurcilinders ondergebracht in het dorpelbalkhijsframe.

Als afzet- en referentievlakken werden vlakken van de naastliggende pijlers gebruikt:

- Voor de Taklift 4 de zijvlakken van de pijlers.
- Voor de dorpelbalk de vlakken van de schuifspinnin-gen.

Door de uitdruk lengte van de stuurcilinders te meten, aan-gevuld met andere gegevens, kon de actuele positie van de bok en de dorpelbalk worden berekend.

De uitdruk lengte van de stuurcilinders werd met een spin-del vertaald in een hoekverdraaiing, die met een potmeter werd gemeten.

## 3.6 Contactmeting van hoeken en hellingen

### Probleemdefiniëring

Bij de contact-lengtemetingen is het afleesprobleem ver-taald in de aflezing van een hoekmeting, die gemakkelijker geautomatiseerd in analoge of digitale vorm kan gebeuren. Feitelijk gaat het hier om de meting van de hoek tussen twee lijnen, die door constructie-onderdelen buiten het meetinstrument zijn gedefinieerd. Men zou dit meetpro-bleem aan kunnen duiden met "zuivere hoekmeting". Dit meetprobleem komt ook op andere plaatsen voor.

In veel gevallen komt het echter bij de problematiek van de hoekmeting voor, dat slechts één van de referentielijnen door constructiedelen buiten het instrument is gedefi-nieerd.

De andere referentielijnen zijn dan min of meer abstract gedefinieerd, zoals bijvoorbeeld:

- De richting van de zwaartekracht, bij hoekverdraaiingen in een vertikaalvlak.
- De oorspronkelijke richting van een constructief bepaal-de referentielijn, bij richtingveranderingen en een wille-keurig vlak.
- De richting van het noorden, bij horizontale hoekmetin-gen.

Dit meetprobleem zou men kunnen aanduiden met "relatie-ve hoekmeting".

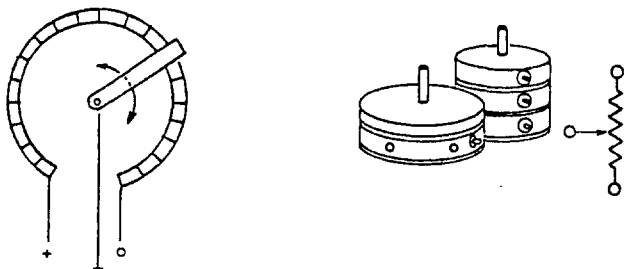
Bij de oplossing van dit meetprobleem wordt door het in-strument zelf de gedefinieerde referentielijn op de een of andere manier gereproduceerd, danwel worden de krach-ten, die in het instrument ten gevolge van een hoekver-draaiing optreden, gemeten en rekenkundig tot de hoek-verdraaiing herleid.

De hierna te behandelen instrument-principes worden vol-gens de aangegeven probleemdefiniëring ingedeeld.

### 3.6.1 Zuivere hoekmeting

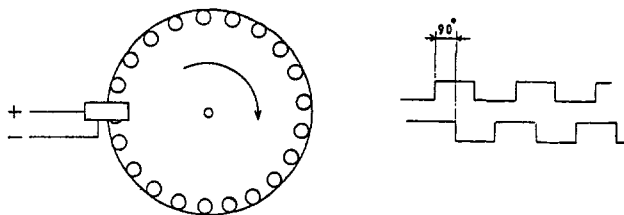
#### 3.6.1.1 De potentiometer (figuur 9)

Dit is een, bijvoorbeeld draadgewonden, ringvormige regelweerstand. De stand van de looper bepaalt de grootte van de weerstand in een elektrische keten, die daarmee representatief is voor de door de looper aangegeven hoek. Hiermee kunnen alleen hoeken kleiner dan  $360^\circ$  worden gemeten. Het meetsignaal is analoog en moet voor een automatische verwerking in computers eerst in een digitaal signaal worden omgezet.



Figuur 9 Potentiometer

### 3.6.1.2 De pulsschijf (figuur 10)

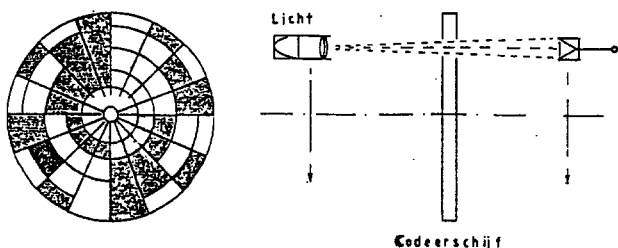


Figuur 10 Pulsschijf

Dit is een schijf op een as die is voorzien van punten die optisch of elektrisch met een contact, danwel met een inductieve naderingsschakelaar kunnen worden afgetast. Elke verdraaiing resulteert in een evenredig aantal pulsen, hetgeen tevens inhoudt dat stilstaand geen aflezing kan worden gedaan.

Door twee van deze opnemers,  $90^\circ$  in fase verschoven naast elkaar op te stellen, is tevens de draairichting te detecteren. Wanneer ook het aantal punten per tijdseenheid wordt geteld is eveneens de hoeksnelheid te bepalen. Het signaal is geschikt voor een directe digitale verwerking.

### 3.6.1.3 De codeerschijf (figuur 11)

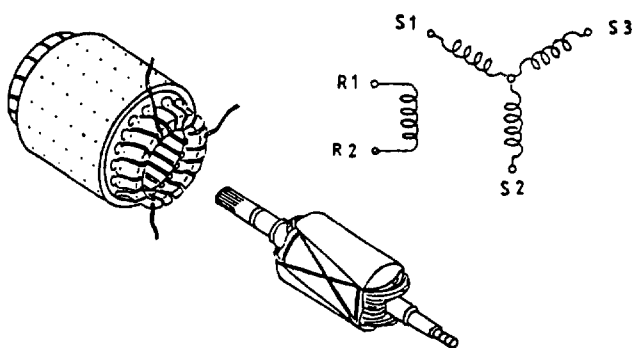


Figuur 11 Codeerschijf

Een schijf bevat voor een aantal standen een, langs de straal geschreven, digitale code. De code wordt optisch of elektrisch met een aantal contacten gelezen.

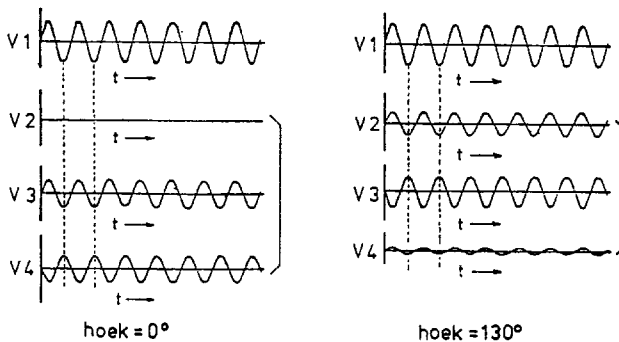
De stand geeft een eenduidig digitaal uitgangssignaal. De nauwkeurigheid wordt bepaald door het aantal segmenten waarin de schijf is verdeeld.

### 3.6.1.4 De synchro (figuur 12)



Figuur 12 Synchro

In wezen is dit een 3-fase transformator met een draaibare primaire winding (rotor) en drie afzonderlijk vaste secundaire windingen (stator), die ten opzichte van elkaar onder een hoek van  $120^\circ$  staan. De rotor-winding wordt aangestuurd met een wisselstroom van 60 Hz of 400 Hz. De in iedere stator-winding geïnduceerde stroom is evenredig met de cosinus van de hoek tussen rotor-winding en stator-winding. Het spanningsverschil tussen een paar stator-windingen is de resultante van de hierin geïnduceerde spanningen en het eventuele faseverschil en is indicatief voor de rotorstand (figuur 13).



Figuur 13 Voorbeelden van uitgangssignalen bij 2 verschillende standen van de rotor

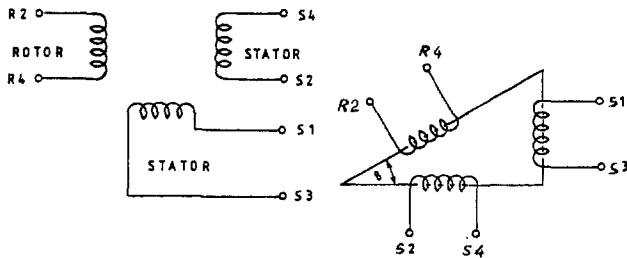
Deze, in principe analoge, uitgangssignalen kunnen afhankelijk van de toepassing op drie manieren verder worden verwerkt:

- Bij servosystemen kan, al dan niet na versterking, een koppeling naar stuurmotoren worden gemaakt om een directe overbrenging te krijgen. Dit systeem werd onder andere gebruikt voor het realiseren van een actief gyro gestabiliseerd platform voor precisieladingen (zie deelnota 4, onder 3.3).
- Bij computerverwerking moet er een synchro/digitaal conversie plaatsvinden, hetgeen inhoudt dat het meervoudige signaal moet worden omgevormd tot een enkelvoudig signaal, dat moet worden gedemoduleerd tot een gelijkstroomsignaal. Dit signaal moet dan nog worden omgezet in een digitaal signaal.
- Bij standaanwijzing moet er een synchro/analoog conversie plaatsvinden, waarbij het meervoudige signaal wordt omgezet in een enkelvoudig signaal.

### 3.6.1.5 De resolver

Evenals de synchro werkt de resolver volgens het transformatorprincipe. In zijn eenvoudigste vorm is de rotor voorzien van een enkelvoudige wikkeling, die wordt gevoed met de initiële wisselstroom. De stator heeft nu twee onderling loodrechte wikkelingen, waarin in één secundaire wisselstroom wordt geïnduceerd, die evenredig is met de sinus, respectievelijk de cosinus van de verdraaiingshoek van de rotor.

In figuur 14 is dit elektrisch schematisch weergegeven.



Figuur 14 Resolver

Uiterlijk verschilt dit type resolver niet veel van de synchro. De omgekeerde constructie met één statorwikkeling en twee onderling loodrechte rotorwikkelingen komt ook voor. In dat geval wordt de statorwikkeling gebruikt voor de initiële stroom. Het meest universeel in zijn toepassingsmogelijkheden is de constructie met zowel twee onderling loodrechte stator- als rotorwikkelingen. Hierbij kan naar keuze één stator- of één rotorwikkeling worden gebruikt voor de initiële stroom, waarbij dan de andere wordt kortgesloten.

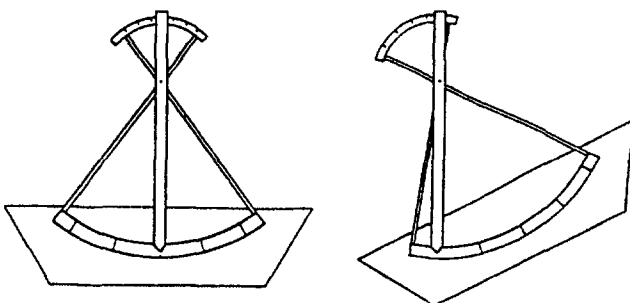
Behalve voor hoekmetingen en synchroniseren kan de resolver ook worden gebruikt als een automatische analoge omzetter van plaatsgegevens uit een polairstelsel naar een cartesischstelsel of van het ene cartesische stelsel naar een ander (verdraaid) stelsel, mits de oorsprong van de stelsels gelijk is.

Evenals bij de synchro moet het uitgangssignaal, bij een verdere computerverwerking, worden gedemoduleerd en digitaal worden gemaakt.

### 3.6.2 Relatieve hoekmeting

#### 3.6.2.1 Scheefstandmeting met behulp van de zwaartekracht

##### 3.6.2.1.1 Het Pendulum (figuur 15)



Figuur 15 Pendulum

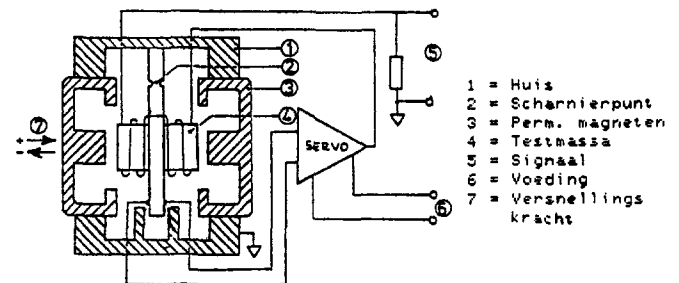
Het pendulum is in wezen niets anders dan een scharnierend opgehangen slinger, die zich automatisch in de richting van de zwaartekracht instelt. De stand kan met één van de reeds beschreven hoekmeetmethoden worden gemeten.

Bij dit instrument kunnen wrijvingsverliezen, bijvoorbeeld uit de ophanging en/of hoekmeetmethode (potmeter), meetfouten met een hysteresis karakter geven.

Verder veroorzaakt een transversale versnelling een miswijzing en kan het instrument met een betrekkelijk lage frequentie in een resonantieslingering geraken. Hierdoor is het instrument minder geschikt voor metingen onder dynamische omstandigheden.

Bij het werk aan de stormvloedkering werden, in diverse toepassingen, pendulums van Observator en van Penny & Giles, Q-flex gebruikt.

#### 3.6.2.1.2 De versnellingsmeter (figuur 16)



Figuur 16 Versnellingsmeter

Wat ingewikkelder is de elektromagnetisch werkende versnellingsmeter, die ook als hellingmeter kan worden gebruikt.

Een van een gelijkstroomwikkeling voorziene testmassa is scharnierend opgehangen tussen twee permanente magneten. Een dwarskracht op de testmassa, veroorzaakt door een scheefstand van het instrument of een transversale versnelling, kan de testmassa uit de middenstand bewegen. Anderzijds wekt een elektrische gelijkstroom in de wikkeling een magnetische kracht op, die de testmassa terug kan brengen naar de middenstand.

Afwijkingen uit de middenstand worden elektrisch gesignaleerd naar een servosysteem dat de stroomsterkte door de wikkeling regelt. Op deze wijze kunnen dwarskracht en magnetische kracht met elkaar in evenwicht worden gebracht. Hierdoor is de, als een spanningssignaal te meten, stroomsterkte eveneens representatief voor de dwarskracht.

Bij een scheefstand van het instrument (figuur 17) wordt de zwaartekracht-component (X) in de gevoelige richting van het instrument gemeten.

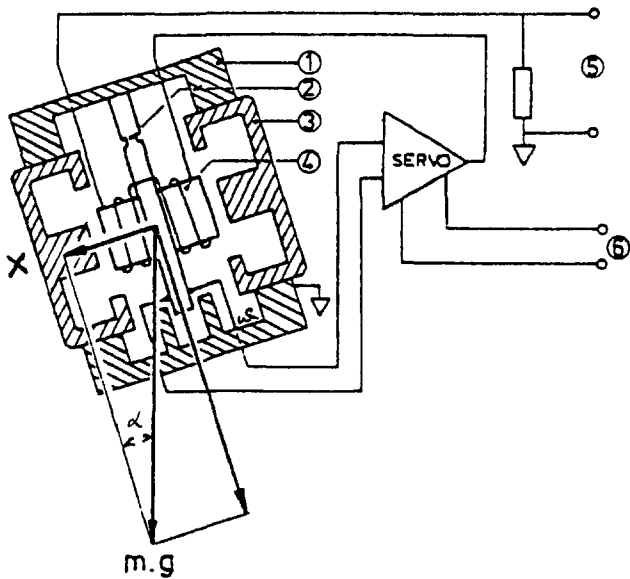
Via het verband  $\sin \theta = \frac{x}{m \cdot g}$  is dan ook de scheefstandhoek

$\theta$  te berekenen.

Bij kleine hoeken (tot circa 10°) is dit verband nog lineair. De versnellingsmeter is een gevoelig instrument, waarmee hellingen zeer nauwkeurig kunnen worden gemeten.

Door de hoge resonantiefrequentie zijn ook metingen onder laagfrequentie dynamische omstandigheden mogelijk. De gevoeligheid voor transversale versnellingen blijft in bepaalde opstellingen echter een probleem.

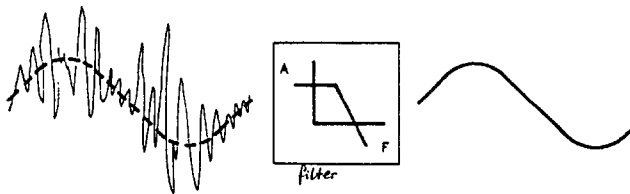
Door de hoge gevoeligheid van het instrument zullen alle



Figuur 17 Scheefstandmeting

trillingen en schokken in de drager (bijvoorbeeld het werkschip) door het instrument worden geregistreerd als een ruis op het eigenlijk te meten signaal.

Deze ruis kan elektrisch met een laagfrequentdoorlaatfilter grotendeels worden weggenomen, waardoor een meer eenduidig te meten signaal ontstaat (figuur 18).



Figuur 18 Signaalfiltering

De afsnijfrequentie van het filter wordt bepaald aan de hand van de eigen (stoor)frequenties van de drager.

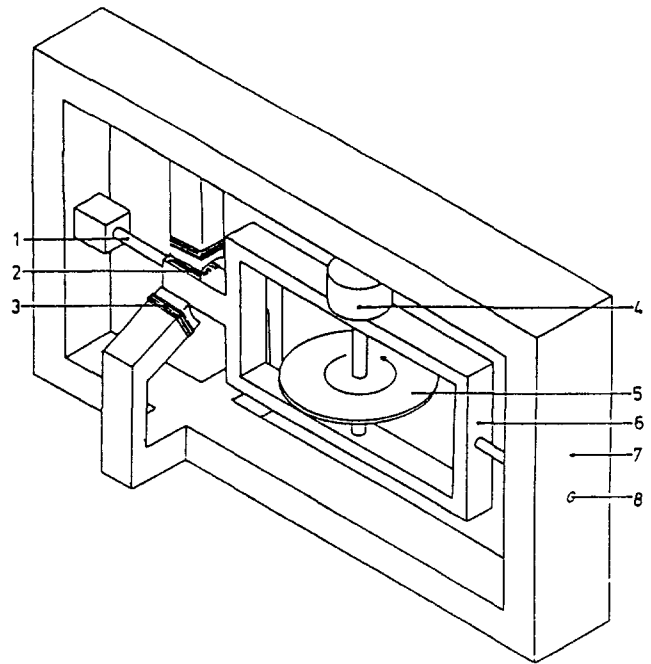
Voor dit type versnellingsmeter werden instrumenten van Sundstrand en Schaevitz gebruikt.

### 3.6.2.2 Dynamische hoekverdraaiingsmeting

#### 3.6.2.2.1 Rate Gyro

De werking van de Rate-Gyro berust op de eigenschap van een gyro-tol om een eenmaal ingenomen oriëntatie in de ruimte te handhaven. Voor een oriëntatie-verandering van een sneldraaiende tol zijn meetbare krachten nodig.

De Rate-Gyro (figuur 19) bestaat uit een gyro-tol, loodrecht op de draaiingsas, gemonteerd in een rotor. De rotor is om één as draaibaar gemonteerd in een huis (stator). De rotor wordt echter in zijn draaiingsmogelijkheid in de stator gelimiteerd door de veer karakteristiek van een, in de draaiingsas gemonteerd, torsie-staafje. Wanneer de stator om de gevoelige as een draaiende beweging ondergaat, zal de rotor door de gyroscopische werking van de tol die verandering niet willen volgen, maar uiteindelijk door het opgewekte moment in het torsiestaafje toch worden meegelept. De uit het samenspel van torsiemoment en herstel-



- |                |              |
|----------------|--------------|
| 1 = Torsieas   | 5 = Gyrotol  |
| 2 = Rotorspoel | 6 = Rotor    |
| 3 = Veldspool  | 7 = Stator   |
| 4 = Motor      | 8 = Lagering |

Figuur 19 Rate-gyro

moment van de gyro-tol resulterende relatieve hoekverdraaiing van de rotor wordt met een, in rotor en stator opgenomen, synchro gemeten. Deze hoekverdraaiing is een

maat voor de rotatiesnelheid  $\frac{d\Theta}{dt}$  van de stator.

De totale hoekverdraaiing ( $\Theta$ ) van de stator op een bepaald tijdstip wordt verkregen door het synchrosignaal, na vereenvoudiging en demodulatie over de tijd, te integreren. Zoals al uit de beschrijving van het instrument valt af te leiden is de Rate-Gyro ongevoelig voor transversale versnellingen.

#### 3.6.2.2.2 De combinatie van versnellingsopnemer en Rate-Gyro

Deze combinatie is ontwikkeld voor een specifiek meetprobleem, dat zich als volgt laat omschrijven:

De beweging van een object wordt onder andere gekenmerkt door een roterende slingerbeweging, opgebouwd uit verschillende lage frequenties, al dan niet gecombineerd met eveneens laagfrequente translatieslingeren.

Hoogfrequente trillingen kunnen als storing optreden.

Het is gewenst om van dit object zowel de gemiddelde scheefstand te kennen (als maat voor de scheefstand in stationaire toestand) als de actuele scheefstand op een bepaald moment (ter bepaling van de maximale uitslag en de eventuele reactie op een ingreep).

Dit meetprobleem deed zich bijvoorbeeld voor bij het plaatsen van de pijlers in een sluitgat. De in de Ostrea hangende pijler stond onder invloed van de eigen slingerfrequentie, de slingerfrequentie van de Ostrea-pijler-combinatie en de inkomende deininggolven. In verband met het plaatsen was de kennis van de gemiddelde scheefstand van de pijler noodzakelijk, terwijl in verband met beschikbare tole-

rantierruimte de kennis van de maximale uitslag nodig was. Om slagvaardig te kunnen manoeuvreren was een zo snel mogelijke waarneming van ingrepen op de scheefstand nodig. Met de ontwikkelde combinatie was het mogelijk om dit meetprobleem bevredigend op te lossen.

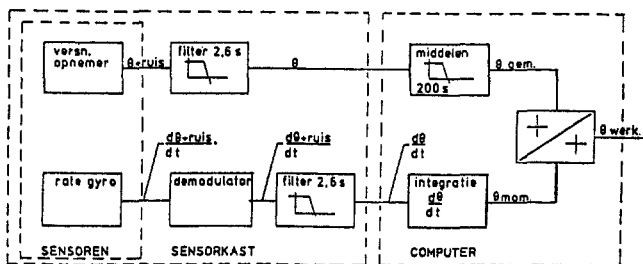
In deze combinatie werd het signaal van de versnellingsopnemer na een uitfiltering van hoogfrequente ruis en digitalisering in een computer over een groot aantal waarnemingen doorlopend gemiddeld. Hierdoor werden ook de laagfrequente signaalwisselingen uitgefilterd en was het resultaat representatief voor de gemiddelde scheefstand van de pijler.

Door de middeling werd de invloed van transversale slingeren op de hoekmeting weggewerkt.

Eventuele aangebrachte veranderingen in de scheefstand zouden echter pas met grote vertraging (circa 200 seconden) volledig zichtbaar worden.

Het signaal van de rate-gyro werd na demodulatie tot een enkelvoudig gelijkstroomsignaal eveneens gefilterd voor hoogfrequente ruis en gedigitaliseerd om in dezelfde computer te worden geïntegreerd tot een hoekverdraaiing. De eveneens in de computer plaatsvindende somming van de twee hoekgegevens leverde de actuele scheefstand van de pijler.

De configuratie van dit systeem is in figuur 20 schematisch



Figuur 20 Combinatie versnellingsmeter en rate-gyro

weergegeven.

### 3.6.2.3 Horizontale hoekmeting ten opzichte van het noorden

#### 3.6.2.3.1 Inleiding

Deze meting werd gebruikt om de koersrichting van een vaartuig (meer algemeen: een instrumentdrager) vast te stellen.

Dit gegeven werd gebruikt voor:

- De algemene navigatie.
- Als aanvullend gegeven in bepaalde plaatsbepalingssystemen.
- De oriëntatie van het aan de drager gebonden assensstelsel, waarin weer andere gegevens werden uitgedrukt.

Het voor deze hoekmeting gebruikelijke instrument is het kompas, waarbij naar het werkingsprincipe een keuze kan worden gemaakt uit twee soorten instrumenten: de magnetische kompassen en de gyro-kompassen. De magnetische kompassen geven het magnetische noorden aan, dat afwijkt van het geografische noorden.

Bovendien kunnen lokale magnetische velden nog een afwijking veroorzaken, die vrij moeilijk is te bepalen.

Door hun andere werkingsprincipe hebben gyro-kompassen van dit soort storingen geen last.

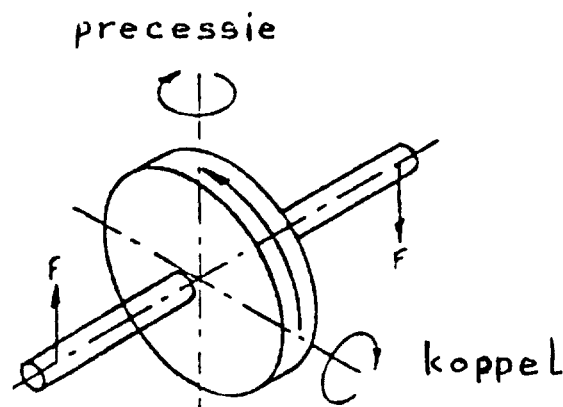
Zeker in de buurt van grote massa's staal en grote hoeveelheden elektrische machines en apparaten werken de gyro-kompassen het nauwkeurigst.

In de meetsystemen voor de bouw van de stormvloedkering werd het meest gebruik gemaakt van het Robertson-gyro-kompas, dat het nauwkeurigst bleek te werken en goed was op te nemen in geïntegreerde systemen.

#### 3.6.2.3.2 Het gyro-kompas in het algemeen

Bij ieder gyro-kompas wordt gebruik gemaakt van twee karakteristieke eigenschappen van een sneldraaiende tol.

- Door het moment van beweging wil zo'n tol een eenmaal ingenomen oriëntatie in de ruimte handhaven. Er zijn relatief grote krachten nodig om deze oriëntatie te veranderen.
- Een koppel dat de draaiingsas van richting wil laten veranderen veroorzaakt een verdraaiing van de asrichting in een vlak, loodrecht op het vlak waarin het koppel wordt uitgeoefend en wel zodanig dat de draairichting van de tol gaat samenvallen met de draairichting van het koppel (zie figuur 21).

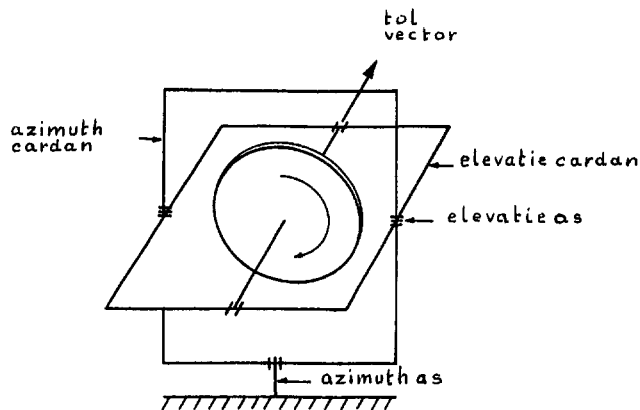


Figuur 21 Het precessie effect

Dit verschijnsel wordt precessie genoemd.

Is de draaisnelheid van de tol groot genoeg dan is de oriëntatieverandering in het vlak van het koppel verwaarloosbaar klein.

Wanneer een gyro-tol is opgesteld in een cardanisch ringenstelsel (figuur 22) dat wrijvingsloos kan scharnieren,



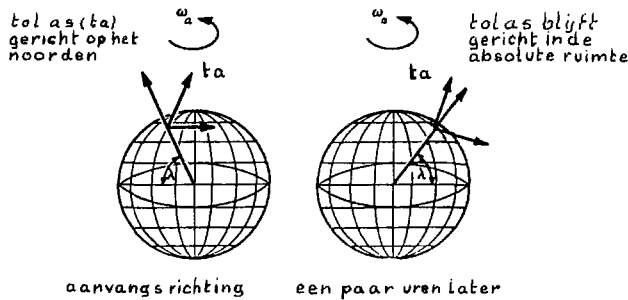
Figuur 22 Cardanische opstelling met twee vrijheden



heeft de tol twee bewegingsvrijheden loodrecht op zijn draaiingsas en kan daarmee iedere stand in de ruimte innemen. Als gevolg van de eerste eigenschap zal de tol een eenmaal ingenomen stand kunnen handhaven, ongeacht de bewegingen van de fundatie. Wanneer echter door een toevallige kracht op een van de cardanringen een koppel wordt uitgeoefend, zal de tol in de andere cardanring door de precessie van richting gaan veranderen. Hiervan wordt gebruik gemaakt om een gyro-tol Noord-zoekend te maken.

Een in een cardanisch ringenstelsel gemonteerde gyro-tol zal ergens op aarde opgesteld, ondanks aardrotatie zijn absolute oriëntatie in de ruimte kunnen handhaven.

Door de aardrotatie verandert echter zijn relatieve oriëntatie ten opzichte van het aardoppervlak (zie figuur 23).



Figuur 23 Ruimtelijk stabiele gyro

Deze relatieve beweging van de tol-as wordt gekarakteriseerd door het beschrijven van een kegel met als top het zwaartepunt van de tol en als grondcirkel de baan van een ster aan de hemel waarop de tol-as toevallig gericht is.

Wanneer op een tijdstip  $T_0$  de tol-as in een horizontaal vlak ten opzichte van het aardoppervlak is gesteld, in een willekeurige richting, zal de door de tol-as beschreven kegel dit horizontale vlak snijden. Is de tol-as op het tijdstip  $T_0$  op het noorden gericht (voor het zuidelijk halfrond op het zuiden), dan is de openingshoek van de kegel minimaal en raakt de mantel aan het horizontale vlak.

Behalve wanneer de tol-as op het noorden is gericht zal deze dus altijd een dompbeweging willen maken uit het horizontale vlak.

Gecombineerd met het eerder beschreven precessiever-schijnel, wordt hiervan gebruik gemaakt om de tol-as noordzoekend te maken (op het zuidelijk halfrond, zuid-zoekend).

Wanneer op de tol-as een koppel wordt uitgeoefend dat hem in het horizontale vlak houdt, dan zal de tol in het horizontale vlak gaan precesseren. Indien de draairichting van de tol goed is gekozen, zal deze precessie altijd naar het noorden (zuiden) gericht zijn. Dit koppel kan met behulp van de zwaartekracht worden geregeld.

Voor een wrijvingsloos zuiver mechanisch systeem kan worden aangetoond dat de evenwichtstoestand een slingerbeweging van de tol-as om het noorden is. Deze slingerbeweging zal kunstmatig moeten worden gedempt. Hierop wordt niet verder ingegaan.

Wanneer de tol-as eenmaal op het noorden (zuiden) is gericht zal de initiële beweging als gevolg van de aardrotatie alleen horizontaal gericht zijn.

De grootte van deze zogenaamde drift wordt bepaald door de omwentelingssnelheid van de aarde en de openingshoek van de minimale kegel. Deze is dus ook evenredig aan de geografische breedte ( $\phi$ ) van het standpunt van de

gyro-tol. Staat de gyro-tol op de evenaar opgesteld, dan zal duidelijk zijn dat een horizontaal noord-zuid-gerichte tol-as, evenwijdig is aan de draaiingsas van de aarde en dus van de aardrotatie geen invloed ondervindt. Op de polen is deze invloed voor een horizontaal gestelde tol-as maximaal.

De drift moet, op een andere wijze dan door de zwaartekracht, door een kunstmatig -afhankelijk koppel worden gecompenseerd om de tol-as blijvend op het noorden gericht te houden.

Tot dusver is uitgegaan van een vast opgestelde gyro-tol. Wanneer het standpunt van de gyro-tol met een zekere snelheid over het aardoppervlak beweegt, zal de oost-west-component van deze snelheid voor de gyro-tol de hoeksnelheid door de aardrotatie veranderen en daarmee de drift.

Voor deze snelheidscomponent moet dus eveneens een driftcompensatie worden ingevoerd om de tol-as gericht te houden.

Volgens deze algemene principes kan een gyro-kompas worden geconstrueerd. Bij hoofdzakelijk mechanische gyro-kompassen worden de aangegeven zaken op een vernuftige wijze mechanisch geregeld. De tolschijf moet voldoende zwaar zijn om door zijn grote moment van beweging een zodanig grote richtkracht te hebben dat het stelsel van cardanringen daardoor kan worden bewogen om de tol-as gericht te houden.

Altijd aanwezige wrijvingskrachten moeten een zo gering mogelijke storende invloed hebben.

### 3.6.2.3.3 Het Robertson gyro-kompas SKR-80

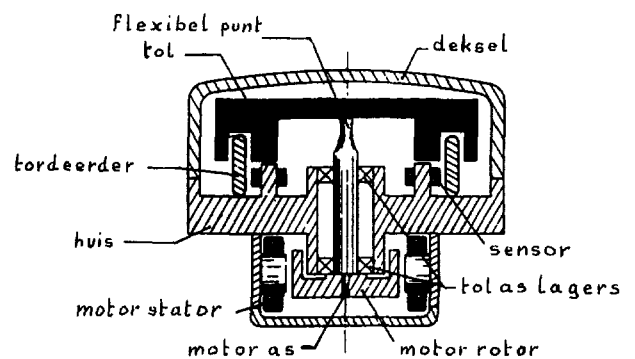
Bij het Robertson kompas zijn de hiervoor uiteengezette principes vertaald in elektronische regelsystemen.

De bewegingen van de cardanringen worden door elektromagnetische koppels gestuurd, waardoor wrijvingskrachten geen invloed meer hebben op de werking van het systeem.

De gyro-tol wordt alleen nog gebruikt als sensor om standveranderingen van het cardan-stelsel te initiëren.

Hierdoor kan de tol veel lichter zijn (slechts 40 gram), maar moet met een zeer hoge snelheid (14400 omwentelingen per minuut) draaien om voldoende stabiliteit te hebben.

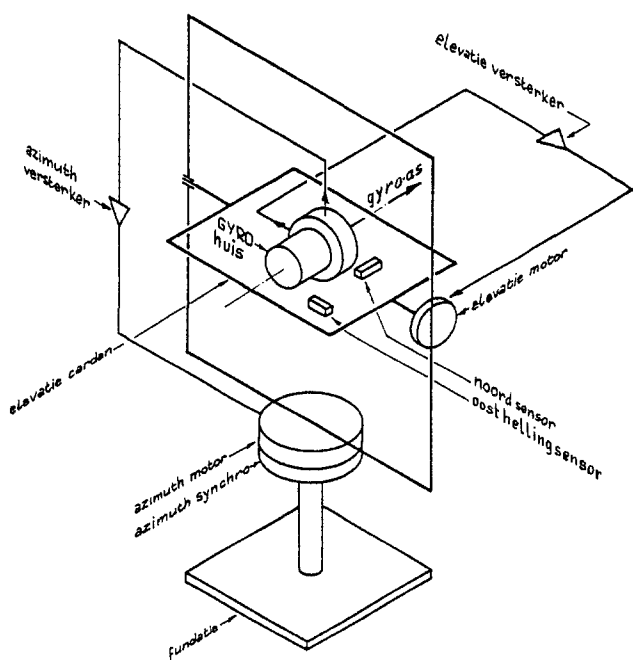
Deze zogenaamde Marex-gyro (figuur 24) bestaat uit een



Figuur 24 Marex gyro schematisch mechanisch

tolschijf, die flexibel is bevestigd aan een aandrijfas waaraan de motor zit. Het geheel is ingebouwd in een huis. Door het flexibele punt in de as kan de tolschijf in beperkte mate in twee richtingen loodrecht op de draaiingsas vrij bewegen ten opzichte van het huis.

Door opnemers kunnen eventuele afwijkingen in de stand ten opzichte van het huis, zowel in horizontale- (oost-west) als verticale zin worden geregistreerd. Deze elektrische registraties worden als stuursignaal voor de beweging van de cardanringen gebruikt (zie ook figuur 25), waardoor het huis de beweging van de tol kan volgen. Eveneens in het huis ingebouwde elektromagnetische tor-



Figuur 25 Gyro opstelling, schematisch

deerders kunnen, zowel horizontaal als vertikaal, een koppel op de tolschijf uitoefenen, om de schijf, via de daaruit voortvloeiende precessiebewegingen, in de gewenste richting te sturen.

Het huis is gemonteerd in de elevatiecardan van de opstelling en wel zo dat de draaiingsas van de tol loodrecht op de draaiingsas van de elevatiecardan staat (figuur 25).

Op de elevatiecardan zijn eveneens twee elektrolytische belniveaus gemonteerd, die de helling van het elevatiecardan zowel in noord-zuid-richting als in oost-west-richting bewaken en signaleren. De noord-elevatiesensor zorgt voor een signaal dat de tol-as via de gyro-tordeerders horizontaal stelt en hem noordzoekend maakt.

De oosthellingsensor signaleert een scheefstand van de hele opstelling in oost-west-richting. Het signaal stuurt een correctie op de in principe met de hand in het systeem ingevoerde drift compensaties (geografische breedte en oost-west-snelheidscomponent), die in de dan scheefstaande azimuthrichting worden aangebracht.

Het voert te ver om alle stuurcircuits in detail te behandelen.

Een synchro op de azimuth-as registreert de verdraaiing van de azimuthring ten opzichte van de basis voor de sturing van afleesapparatuur-op-afstand.

## 4. Integratie van deelsystemen

De signalen van de individuele deelsystemen waren niet bruikbaar voor de procesvoering.

Om de diverse processen goed te sturen c.q. te controleren was het nodig om over het gecombineerde resultaat van verschillende deelsystemen en over afgeleide gegevens van deze resultaten te beschikken (doc. 4).

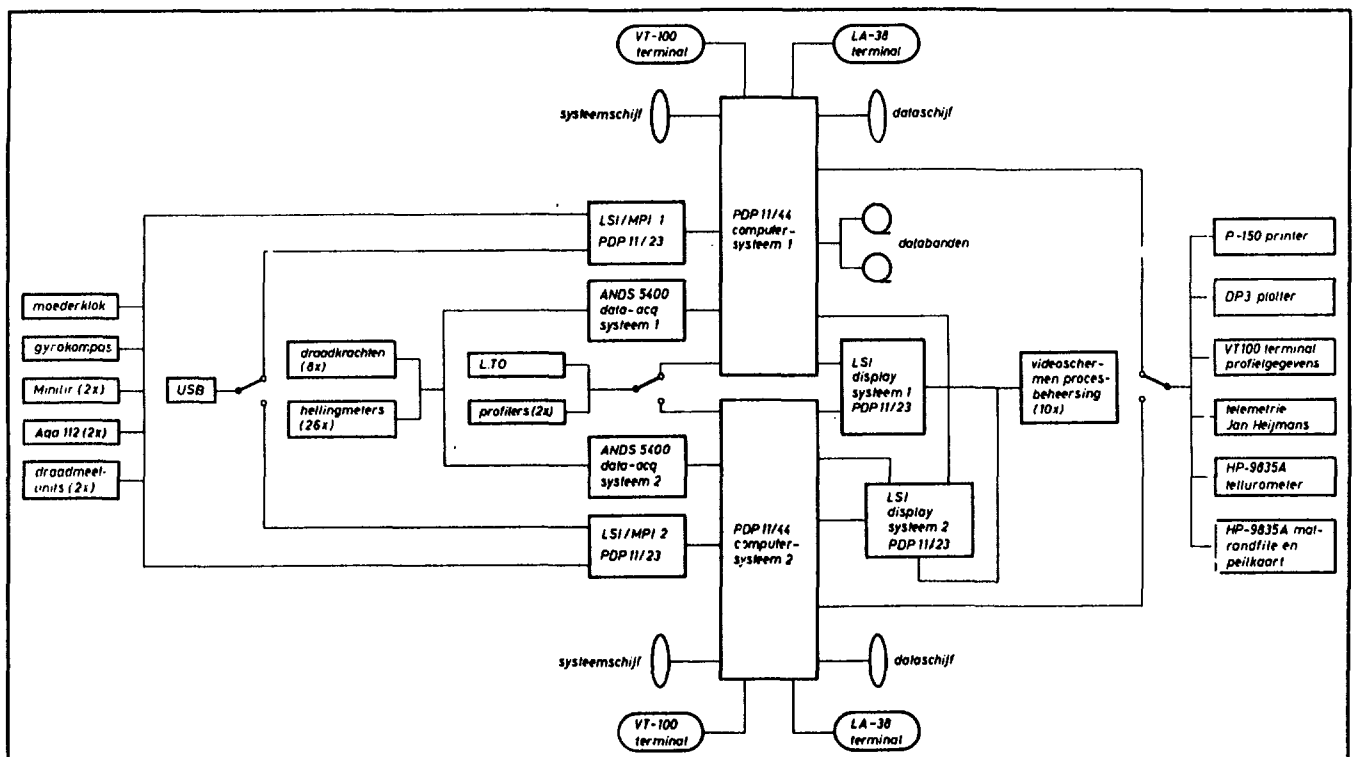
Een voorbeeld:

De procesoperator, die tot taak had de kopbalk van een mat op de juiste plaats te leggen, was niet geïnteresseerd in de horizontale hoek van de Minilir, de vormbepaling van de ponton of de relatieve positie van de transponder op de kopbalk ten opzichte van de hydrofoon, zoals de USB (Ultra Short Base Line) deze afgaf.

Hem interesseerde de afwijking van de kopbalk ten opzichte van de plaats op de bodem waar de balk moest liggen.

Dit betekende, dat de vele meetinstrumenten moesten worden afgelezen, dat berekeningen moesten worden gemaakt en dat gegevens moesten worden gecombineerd en vergeleken met vooraf ingevoerde gegevens. Het eindresultaat moest, met zo kort mogelijke tussenpozen, op overzichtelijke wijze aan de procesoperatoren worden gepresenteerd.

Voor dit samenstellen van de metingen was de computer ingeschakeld. Bijvoorbeeld bij het Macoma/DOS I systeem werden ca. 90 survey gegevens samen met ca. 90 gegevens van het ankersysteem en ca. 50 sensoren van het baggersysteem ingelezen via diverse preprocessors. Vervolgens werden alle ingelezen waarden geconverteerd naar standaardeenheden en getest op juistheid. Daarna werd een grote hoeveelheid berekeningen uitgevoerd waarvan de einduitkomsten nogmaals werden getest en vervolgens vergeleken met vooraf ingevoerde waarden. Selecties van de zo verkregen (324) getallen werden daar-



Figuur 26 Principeschema van de verwerking van meetgegevens aan boord van de Cardium

na toegevoerd aan de verschillende uitvoermedia, zoals:

- video-processors, die de informatie in numerieke en/of grafische vorm presenteren op beeldschermen op de lessenaars van de proces-operatoren;
- video-terminals, hiermee werden door de survey operators de systemen gecontroleerd en bediend;
- plotters, printers, tape- en schrijfunits, voornamelijk voor procesanalyse doeleinden.

Dit gehele proces werd elke drie seconden doorlopen, zodat de operators ook iedere drie seconden over de nieuwste informatie beschikten.

De asynchrone meetgegevens, de veelheid van uit te voeren taken en de complexiteit van het systeem veroorzaakten echter wel, dat de informatie op het moment van presentatie viereneenhalf tot zes seconden oud was.

Hoewel dit aspect door de gebruikers vooraf als ontoelaatbaar werd bestempeld, bleek in de praktijk dat, uitzonderingen daargelaten, deze vertraging in de presentatie geen problemen gaf, zolang de verversingsnelheid gehandhaafd bleef.

Veel belangrijker bij deze dynamische situaties was de timing van de meetsignalen onderling. De gegevens, die in een berekening met elkaar gecombineerd werden, moesten ook inderdaad op hetzelfde tijdstip gemeten zijn of door GOEDE interpolatietechniek daarvoor worden berekend.

Naast de hoofdcomputer liep synchroon een back-up computer mee, die bij storing in de hoofdcomputer diens taak onmiddellijk overnam. Daarnaast werden enkele individuele taken uitgevoerd door aparte computers.

Voor deze doeleinden waren een aantal meetinstrumenten met meerdere computers tegelijk verbonden (zie figuur 26).

#### 4.1 Ontwikkeling van de systemen

Problemen bij het ontwikkelen van dergelijke grote meet-systemen lagen minder bij de keuze van meetinstrumenten en software-ontwikkeling dan bij de vaak tegenstrijdige wensen van de toekomstige gebruikers, die eigenlijk niet exact wisten wat ze over anderhalf jaar, de gemiddelde bouwtijd, precies nodig hadden.

Nadat met eerdere, kleinere, systemen al ervaring was opgedaan, werd de volgende werkwijze gevolgd.

Met de gebruikers werd een programma van eisen opgesteld. Aan de hand hiervan werd de apparatuurkeuze gemaakt en een gedetailleerd meetverhaal (gebruikers specificatie) opgesteld.

Dit meetverhaal omvatte, naast de apparatuur-omvang, tevens een eerste aanzet voor gewenste uitvoer, een nauwkeurighedsbeschouwing, een kostenschatting en een planning.

Na goedkeuring van dit meetverhaal door zowel de uitvoerings- als survey-organisatie werd, met het meetverhaal als basis, het computersysteem, hard- en software, aanbesteed en werden de typische survey instrumenten aangekocht.

De bouwer van het computersysteem begon met het maken van de "functionele specificatie" van het systeem, op basis van het meetverhaal. De functionele specificatie omvatte een volledige beschrijving van wat de computer inging, wat deze er mee deed, en wat er uit kwam. Dit alles in, ook voor leken, begrijpelijk Nederlands.

De bouw omvatte de fasen systeemontwikkeling, resulterend in de systeem specificatie, de programmering van modules, de implementatie en daarna het aan elkaar koppelen van deze modules, de integratie.

Parallel aan deze werkzaamheden had de bouwer, in overleg met de opdrachtgever, de testspecificaties omschreven voor de vier testfasen, te weten:

- gesimuleerde invoer-tests bij de bouwer;
- gesimuleerde functionele tests bij de bouwer;
- invoertests na het installeren van het systeem aan boord van het schip;
- functionele tests van het systeem op het in werking zijnde schip. Dit is de opleveringstest.

Na het akkoord bevinden van de testspecificaties door de opdrachtgever en het voltooiën van de implementatie en integratie werden de inhouse testen uitgevoerd.

Daarna werd het gehele systeem aan boord geïnstalleerd en de invoertests met de echte sensoren uitgevoerd. Tenslotte werd de functionele werking tijdens de proefvaart uitgetest. Omdat er inmiddels anderhalf jaar na het meetverhaal, veranderingen van inzichten kwamen en bovendien een aantal zaken in de praktijk toch anders ervaren werd dan men voorheen op papier dacht, bleken wijzigingen noodzakelijk. Deze werden uitgevoerd en het systeem kon toen pas volledig operationeel worden genoemd.

Voor de kleinere systemen werd overigens een meer praktische methode gevolgd, die men met wat fantasie tot de zogenaamde prototype-methoden zou kunnen rekenen.

Hierbij werden met de toekomstige gebruiker de UITVOER-eisen vastgesteld, als zijnde het aspect waarmee die gebruiker later werd geconfronteerd. Vervolgens werd een eenvoudige simulatie gebouwd, waarmee de gewenste uitvoer werd aangestuurd. Deze uitvoer werd door de gebruiker beoordeeld op zijn bruikbaarheid, eventueel aangepast en vervolgens "bevoren". Daarna werd het complete meet- en computersysteem gebouwd met de vastgelegde uitvoer als eindresultaat. Het voordeel van deze werkwijze was, dat eventuele misverstanden en interpretatie verschillen ten aanzien van de gewenste uitvoer in een vroeg stadium onderkend werden en niet tot ingrijpende wijzigingen hoefden te leiden.

#### 4.2 Toegepaste geïntegreerde systemen

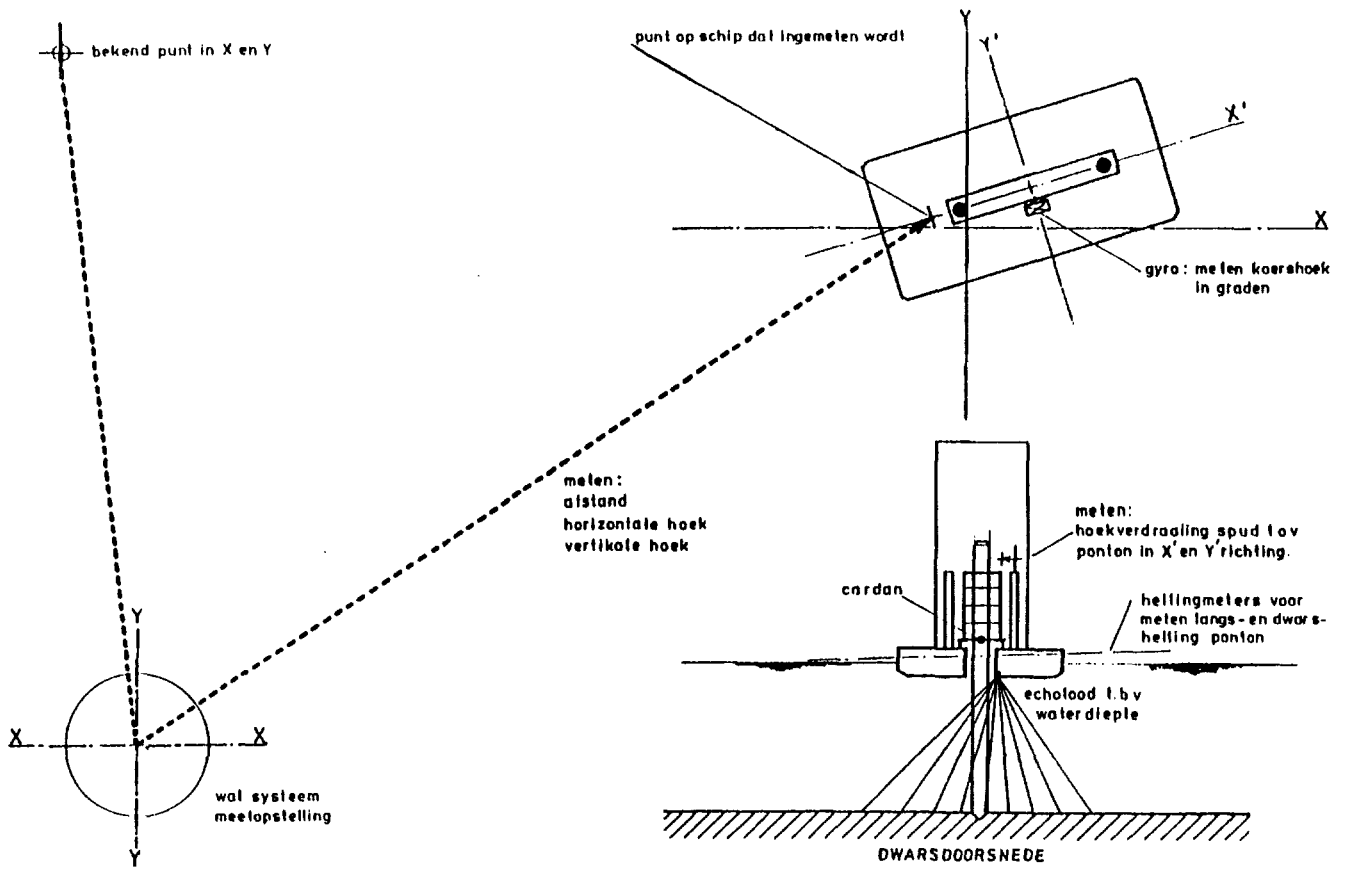
Het zou te ver voeren om de geïntegreerde systemen van al het werkmaterieel waarop deze waren geïnstalleerd, uittend te beschrijven. Het principe, c.q. het systeem, was hoofdzakelijk identiek.

Drie vaartuigen zullen expliciet worden behandeld: het verdichtingsvaartuig Mytilus, de fundatiemattenlegger Cardium en het onderwaterinspectiesysteem Wijker Rib/Portunus.

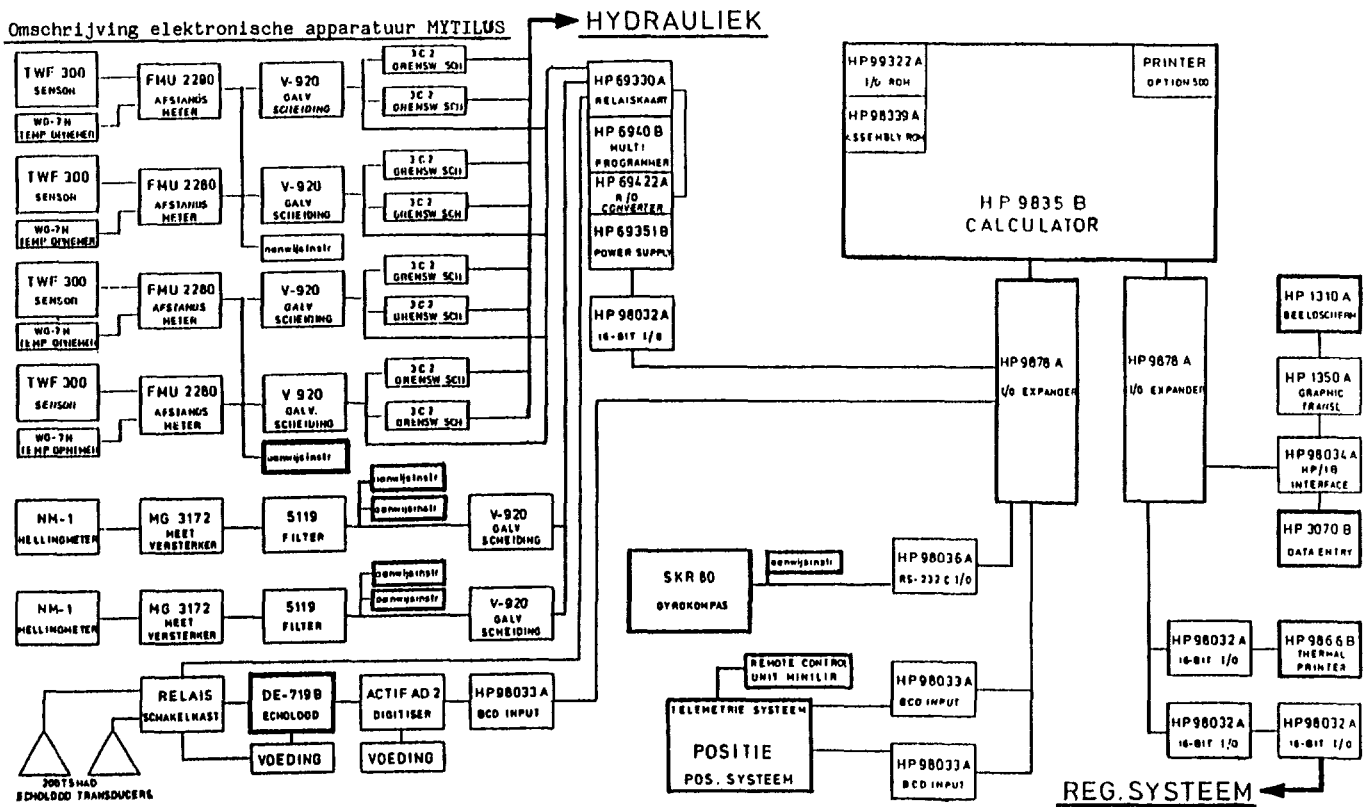
De Mytilus, omdat op dit vaartuig het geïntegreerde systeem het eerst werd toegepast, de Cardium omdat dat een van de meest geavanceerde werkschepen was die werden ingezet voor de realisatie van de Oosterscheldekering en de Wijker Rib/Portunus vanwege de extra dimensie die de bottom crawler als vrij bewegend voertuig had ten opzichte van het moederschip.

##### 4.2.1 Mytilus

De procesbeschrijving van de Mytilus is beschreven in deelnota 7.



Figuur 27 Plaatsbepaling en navigatie systeem Mytilus



Figuur 28 Idem

Het verdichtingsschip diende tijdens het werken veelvuldig over korte afstanden en in verschillende richtingen verhaald te worden.

De nauwkeurigheid waarmee de trilnaalden werden gepositioneerd moest bij de grens van werkbaarheid (golven met  $H_s=0,75$  m) minder dan 1 m bedragen.

Om de tijd nodig voor het verhalen, zo kort mogelijk en de positioneringsnauwkeurigheid zo groot mogelijk te houden was het verdichtingsschip voorzien van een min of meer automatisch werkend plaatsbepalingsstelsel.

De opzet van dit systeem was zodanig dat op een beeldscherm in het bedieningshuis steeds de actuele positie van de twee spudpaal-punten te zien was, samen met de gewenste positie van deze punten.

Doordat de trilnaalden via de geleidebalk aan de spuds waren gekoppeld, was ook de positie van de naalden bekend.

Wanneer het schip verhaald werd, verschoven de spudpunten over het scherm. Door het manipuleren met de ankerlieren kon de schipper zo de spudpunten naar de gewenste positie brengen.

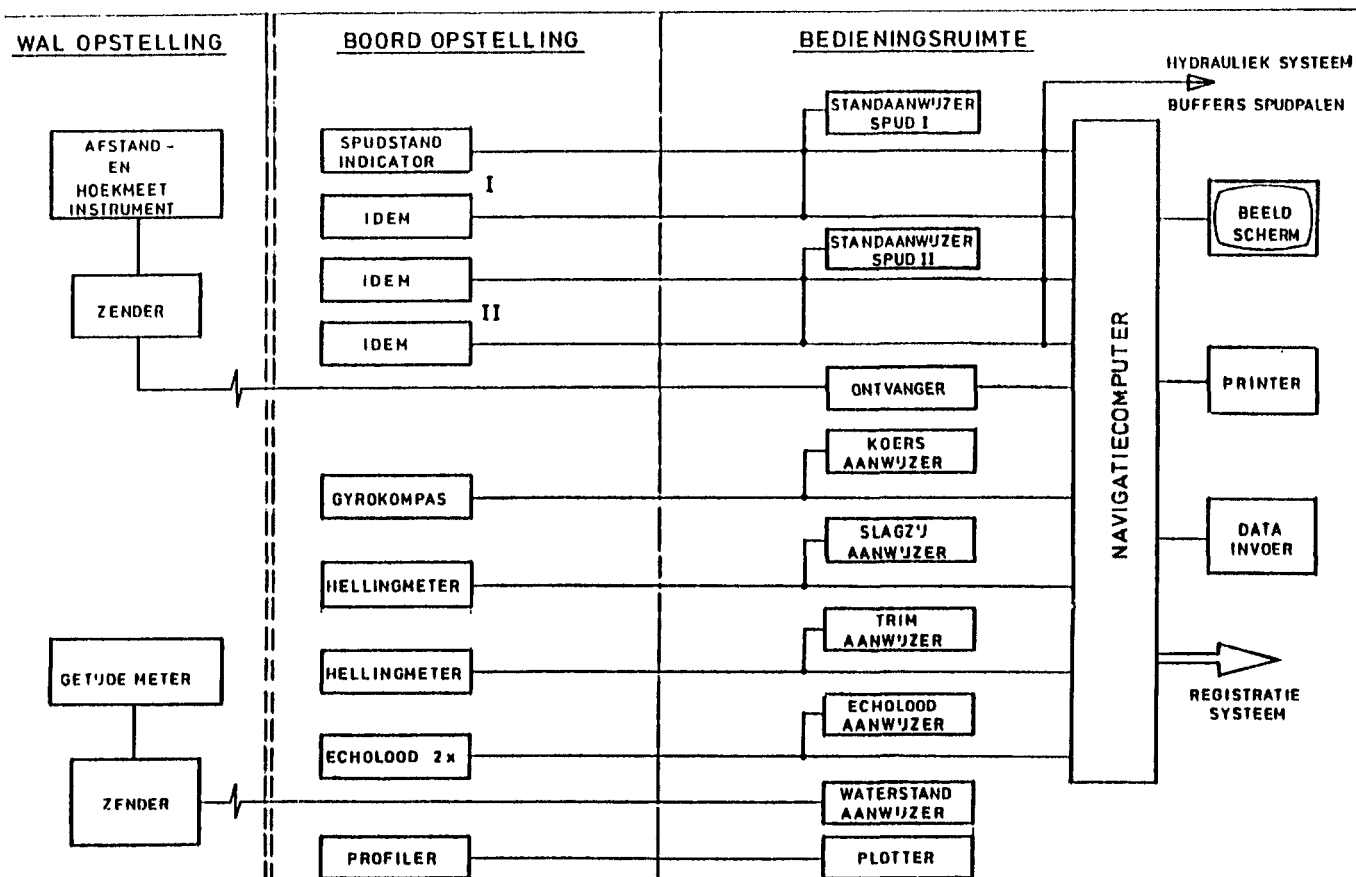
Schematisch zag het systeem er uit zoals in figuur 27 en 28 is aangegeven.

De posities die op het beeldscherm werden aangegeven waren de doorsnijdingspunten van de spuds met de bodem. Tijdens het positioneren waren dit de punten waar de spuds volgens de berekening terecht zouden komen. Na het vallen van de spuds volgden de werkelijk gerealiseerde punten.

Voor deze positieberekeningen moest het volgende worden gemeten:

- Een punt van het schip ten opzichte van het bekende (vaste) x-y assenstelsel van het betreffende sluitgat. Dit werd ingemeten door een walmeetsysteem bestaande uit een combinatie van een Minilir-theodoliet en een AGA 120 geodimeter, die werd gericht op een op de Mytilus gemonteerde reflector-unit. Als reserve was een handbediende tachymeter (HP 3820) beschikbaar. De gegevens werden telemetrisch naar de Mytilus overgeseind, van waaruit omgekeerd met een remote-control eenheid de combinatie bedienbaar was.
- De koers van het schip ten opzichte van het x-y assenstelsel. Dit werd gemeten met een gyro-kompas op het schip.
- De hoekverdraaiing van de beide spuds ten opzichte van de ponton die gemeten werd met, per spud, twee akoestische afstandsmeters, gemonteerd op de buffercilinder op enige afstand boven de cardanring.
- De helling van de ponton zelf in langs- en dwarsrichting (trim en slagzij), werd gemeten met twee pendulum hellingmeters. De stamp- en slingerbewegingen van de ponton werden met een elektronisch filter tot een gemiddelde waarde uitgefilterd.
- De waterdiepte bij de spuds, gemeten met twee echoloden respectievelijk in het voor- en achterschip.

Door tussenkomst van de benodigde additionele apparatuur werden de meetgegevens direct aan een kleine computer (HP 9835 B) aangeboden, die de benodigde berekeningen uitvoerde en het resultaat op het aangesloten beeldscherm als een "plaatje" presenteerde. De gewenste posities konden via een aangesloten data en



Figuur 29 Schematische configuratie navigatiesystemen

try-unit worden ingevoerd en eveneens op het plaatje worden afgebeeld.

Uit controlemetingen en een foutenanalyse bleek de nauwkeurigheid van de op deze wijze tot stand gekomen plaatsbepaling beter te zijn dan 40 cm.

Tijdens het in de grond staan van de spuds kon ook de scheefstand van de spuds ten opzichte van de ponton worden gecontroleerd door eveneens het hart van de cardanringen in het beeldplaatje te projecteren, samen met de beschikbare tolerantieruimte.

De berekende gegevens konden ook op een aangesloten printer schriftelijk worden gepresenteerd en worden doorgegeven aan een registratiesysteem.

De schematische configuratie van de bij dit navigatiesysteem behorende elektronische apparatuur is in figuur 29 aangegeven.

#### 4.2.1.1 Overige systemen

Naast het navigatiesysteem werd aan boord van de Mytilus voor andere doeleinden, zoals bijvoorbeeld de procescontrole, een groot aantal metingen verricht. De resultaten daarvan werden centraal gepresenteerd.

Het ging dan om gegevens zoals bijvoorbeeld:

- het bodemverloop tussen de spudpalen, gemeten met een profiler;
- de standaardwijzing van de geleidebalk (hoogte);
- de standaardwijzing en de vermogensopname van de trilnaalden;
- de meting van de krachten in de ankerdraden;
- de van de wal af telemetrisch overgebrachte waterslandsgegevens.

Voor zover deze gegevens nodig waren voor controles achteraf werden ze via een registratiesysteem, samen met de navigatiegegevens, in een databestand opgeslagen.

#### 4.2.2 Cardium

De procesbeschrijving van de Cardium is te vinden in deelnota 12.

De normen waaraan de eindresultaten van de processen van de Cardium moesten voldoen staan in tabel 2 vermeld samen met de meetnauwkeurigheden.

In de oorspronkelijke opzet van het meetsysteem voor de Cardium was het de bedoeling om te komen tot een volledige integratie van de verwerking, presentatie en registratie van zowel de plaatsbepalings- als de procesgegevens. Met name in de verwerking zou een volledige back-up beschikbaar moeten zijn.

Mede door het toenmalige gebrek aan ervaring in de opzet van dergelijke projecten en de daarbij onvermijdelijk gemaakte procedurefouten is deze ambitieuze opzet vastgelopen.

Door tijdnood gedwongen zijn, in afwachting van de ontwikkeling en bouw van een nieuw systeem, voor diverse functies een aantal losse noodsystemen gebouwd. Hiervan is een aantal wat verder uitgebouwd en als een los subsysteem op het nieuwe systeem aangesloten.

Het nieuw ontworpen systeem beperkte zich hoofdzakelijk tot de geïntegreerde verwerking en presentatie op diverse beeldschermen van die meetgegevens, die te maken hadden met de plaatsbepaling in ruime zin (zie figuur 30).

Aan de uitvoerzijde waren diverse, al dan niet reeds bestaande en verder uitgebouwde, subsystemen opgehangen voor een verdergaande presentatie, verwerking en registratie van gegevens. De belangrijkste hiervan (zie ook figuur 26) waren:

- het Telluometersysteem, dat extern de plaatsbepaling met de AGA-Minilircombinatie controleerde;
- het telemetrie-systeem naar de Jan Heijmans voor het overseinen van de positie van de kopbalk (die door de Jan Heijmans werd gelegd) bij het matleggen;

Resultaat		proces	meten
1	Vlakheid bovenmat dwarsrichting langsrichting	8 mm/m	2 mm/m
		4 mm/m	1 mm/m
2	Hoogte ligging mat	15 cm	6 cm
3	Grove positie zuigmonden	x	100 cm
		y	100 cm
		z	15 cm
4	Fijne positie zuigmonden bij	x	50 cm
		y	50 cm
		z	<15 cm
5	Positie kopbalk	x	100 cm
		y	50 cm
		z	20 cm/40 m
6	Positie zijkant mat	y	50 cm
7	Positie verdichtingsbalk	x	50 cm
		y	50 cm

Tabel 2: Nauwkeurigheidseisen Cardiumtaken

- het subsysteem voor de vervaardiging van nauwkeurige (eventueel driedimensionale) lodingskaarten van de gelegde matten;
- het proces registratie-systeem, dat behalve plaatsbepalingsgegevens ook nog een groot aantal andere procesgegevens verzamelde en registreerde.

Het hoofdsysteem was zodanig uitgelegd, dat elke component kon uitvallen zonder dat hiervoor een kritisch proces moest worden afgebroken. Dit gold voor de sensoren, voor de computer en zijn randapparatuur en voor de uitvoer van de bewerkte gegevens (zie figuur 26). Het meetsysteem maakte voor de bewerking van alle gegevens gebruik van een PDP 11/44 computer, waarop was aangesloten:

- een LSI-MPI-systeem op basis van de PDP 11/23, dat als preprocessor fungeerde en
- een data acquisitie-systeem ANDS 5400, dat analoge en digitale signalen geschikt maakte voor de PDP 11/44.

Onder normale omstandigheden was systeem 1 in bedrijf en stond systeem 2 "warm" stand-by. Hierdoor kon systeem 2, ingeval van een storing in systeem 1, onmiddellijk de taak van systeem 1 overnemen.

Dit werd als volgt gerealiseerd:

- Bij het opstarten van de beide systemen werd in elke computer van een magnetische schijf, de database geladen. Deze database was voor beide computers identiek en werd gevormd door alle in het Survey systeem aanwezige gegevens.
- In bedrijf lazen beide systemen alle relevante sensoren uit, zodat beide databases steeds gelijk bleven.
- In bedrijf werden alle opdrachten, die de operator aan systeem 1 gaf, door systeem 1 aan systeem 2 doorgegeven. Ook hierdoor bleven de beide databases identiek.
- In bedrijf kopieerden beide systemen hun database met regelmatige tussenpozen op een magnetische schijf zodat, na een kortstondige onderbreking in de energievoorziening van de computers als gevolg van een storing, deze met een geldige database hun werk konden vervolgen.

Om de gevolgen van een storing in de energievoorziening zoveel mogelijk te beperken waren de volgende maatregelen getroffen:

- de beide computersystemen waren aangesloten op een gestabiliseerde voedingsbron, die, na het uitvallen van de scheepsenergievoorziening, het computersysteem gedurende een kwartier in bedrijf kon houden;
- het gyro-kompas werd gevoed door een gelijkstroom accu, die continu vanuit het scheepsnet werd geladen;
- alle sensoren waren verdeeld in primaire en secundaire sensoren, die identiek waren. Voor zover mogelijk werden zij door verschillende groepen vanuit het scheepsnet gevoed.

De door het systeem bestuurde sensoren, zoals profilers en de LTO, konden met een schakelaar op systeem 2 worden overgezet. De overige sensoren werden in beide systemen ingelezen.

De informatie op de videoschermen van de proceslessenaar, te weten de verhaal-, de bagger-, de matleg- en verlichtingslessenaar, werd elke drie seconden vernieuwd.

#### 4.2.3 Wijker Rib/Portunus

De procesbeschrijving van het onderwaterinspectiesysteem Wijker Rib/Portunus is beschreven in deelnota 5.

#### 4.2.3.1 Plaatsbepaling

##### 4.2.3.1.1 Uitrusting Wijker Rib

De Wijker Rib was uitgerust met:

- het Trident III radiografisch oppervlakte plaatsbepalingssysteem;
- het oppervlakte plaatsbepalingssysteem Minilir/AGA;
- een gyrokompas;
- het Simrad HPR akoestisch onderwater-plaatsbepalingssysteem (ten behoeve van de Portunus);
- transducer ten behoeve van dit systeem (kon tot ca. 4,0 m onder de kiel van het schip worden gebracht).

##### 4.2.3.1.2 Uitrusting Portunus

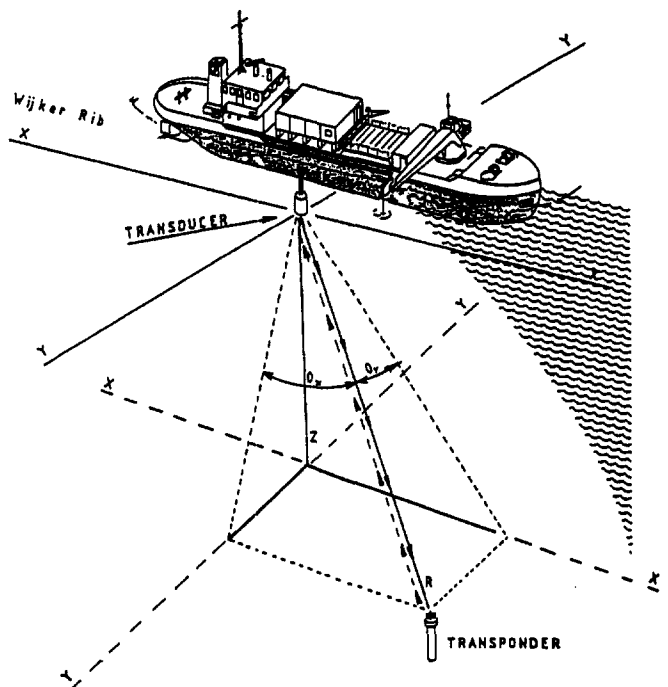
De Portunus was uitgerust met

- een akoestische responder voor het Simrad HPR systeem;
- een gyrokompas;
- ODO-meters (ter bepaling van de afgelegde weg);
- een Obstacle Avoidance Sonar (O.A.S.) waarvan een transducer aan de voor en achterzijde van het voertuig was gemonteerd (ten behoeve van detectie van obstakels);
- een Deadreckoning-systeem (tachometers en koersgyro).

De met bovenvermelde systemen gemeten waarden werden ingelezen in een mini-computer, die de posities van de Wijker Rib en van de Portunus berekende en op beeldschermen presenteerde.

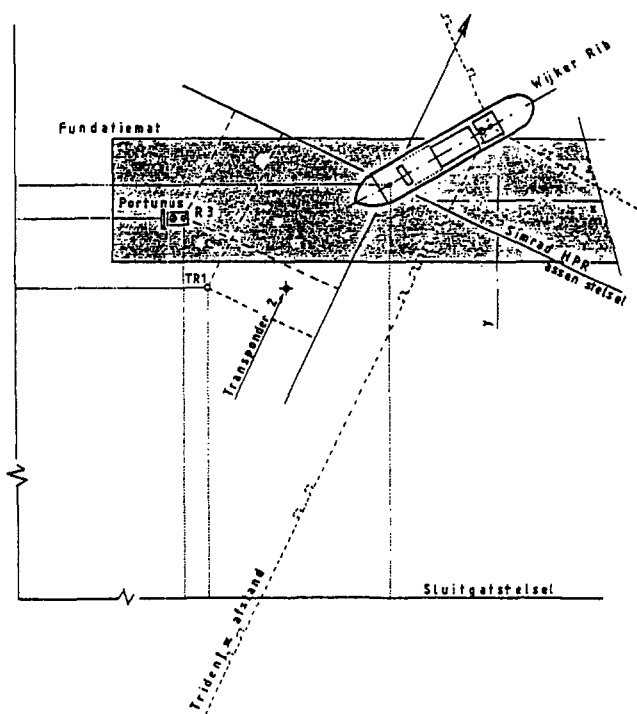
##### 4.2.3.2 Werking systemen

Het Simrad HPR systeem gaf, door middel van meting van hoeken en afstanden, de posities van de Portunus (responder) en van een of twee op de bodem geplaatste transponders ten opzichte van een (scheeps-georiënteerd) assenstelsel waarvan het nulpunt in de transducer of een ander referentiepunt was gelegen (zie figuur 30).



Figuur 30 Navigatie en positioneringssysteem Wijker Rib/Portunus





Figuur 31 Plaatsbepaling Portunus

Ten behoeve van de noordoriëntatie was een met het Simrad HPR systeem gekoppeld gyrokompas op de Wijker Rib geplaatst (zie figuur 31).

Een zogenaamde Vertikaal Reference Unit (VRU) corregeerde voor de trim- en slagzijbewegingen van de Wijker Rib.

De combinatie Trident III/Minilir Aga (zie hoofdstuk 3.3.2 respectievelijk 3.2.1) vormden een oppervlakteplaatsbepalingssysteem met een zeer hoge nauwkeurigheid.

De op het object geplaatste gyro en de zogenaamde vormbepaling completeerden de meting van de Minilir/AGA combinatie.

Het gebruik ten behoeve van de Wijker Rib was tweeledig, namelijk voor inmeting van de op de bodem geplaatste transponders en voor plaatsbepaling van de Portunus.

Het inmeten van de transponders kon op de volgende twee manieren plaatsvinden:

- op de kentering met behulp van een laadboom de transponder op de zeebodem plaatsen, terwijl de positie van de Wijker Rib werd bepaald door de AGA/Minilir-combinatie. Via het scheepsgrid werd doorgerekend naar de laadboom. De nauwkeurigheid van de geplaatste transponders bedroeg 1,5 m (twee sigma waarde);
- de op de bodem geplaatste transponders qua positie inmeten (ten opzichte van de Wijker Rib) met het Simrad HPR systeem en de positie van de transducer met behulp van de AGA/Minilir bepalen. Om de systematische fouten van het Simrad HPR systeem (geluidssnelheid en hoekmeting) te elimineren werd de Wijker Rib aan de vier geografische zijden met dezelfde koers op een minimale afstand van 1,5 x de waterdiepte van de transponder gelegd.

De nauwkeurigheid van de transponderpositie was dan ca. 0,5 m (twee sigma waarde).

De plaatsbepaling van de Portunus ging als volgt:

- indien de AGA/Minilir combinatie voor langere tijd ach-

ter elkaar beschikbaar was, kon hiervan gebruik worden gemaakt in plaats van het Trident III systeem. Vanuit de transducer werd dan via het Simrad HPR systeem de plaats van de Portunus bepaald.

Het Dead Reckoning systeem bestond uit twee verplaatsingsopnemers en een gyrokompas op de Portunus.

De gegevens van de sensoren werden gebruikt om via koers en verplaatsing de positie van de Portunus, ten opzichte van de beginpositie, te bepalen.

Het systeem werd gebruikt:

- zodra bij de plaatsbepaling het Simrad HPR systeem en Trident III uitvielen. De positie van de Portunus werd dan geschat met behulp van de ontbonden Dead Reckoning-gegevens;
- in de zogenaamde automatic mode; een "mode" waarbij volledig automatisch, na eenmalige invoer van afstanden en hoeken, een bepaald patroon kon worden afgelegd;
- om de relatieve nauwkeurigheden van de afzonderlijke positiemetingen te vergroten via de zogenaamde "Kalmanfiltering" techniek, waarbij de fouten door het meten op verschillende tijdstippen geminimaliseerd werden (tussen twee metingen verplaatsten zowel de Portunus als de Wijker Rib zich).

#### 4.2.3.3 Visuele plaatsbepaling

Wanneer op een schone fundatie- of tegelmat werd gereden was het mogelijk de positie van de Portunus met behulp van de videobeelden te bepalen.

Hiertoe waren op de matten gecodeerde vakken aangebracht. Iedere tegel van de tegelmat had bovendien een apart nummer.

Deze vorm van plaatsbepaling was alleen mogelijk met neergeklapte inspectiewagen en dan nog alleen als de matten niet waren aangezand.

De plaatsbepalingsmiddelen waren zo gekozen, dat onder nagenoeg alle omstandigheden informatie over de positie beschikbaar was.

#### 4.2.4 Trias

De procesbeschrijving van de toplaagstorter Trias is te vinden in deelnota 17.

Bij de opzet van het Survey-systeem voor de toplaagstorter Trias was gekozen voor een relatief eenvoudig systeem. Voor de plaatsbepaling werd een tachymeter gebruikt. In eerste instantie werd hiermee de ponton op positie gebracht. Nadat de ponton was gepositioneerd werd de actuele kraanpositie (hart draaikrans) bepaald. Deze kraanpositie diende als basis voor de berekening van de stortposities. Periodiek (in eerste instantie elke tien minuten) werd de pontonpositie gecontroleerd. De trias beschikte met dit systeem dus niet over een permanente plaatsbepaling. Alleen tijdens het peilproces (peilen met de peilplaat zie deelnota 4) werd elke positie ingemeten met behulp van de reflectorunit bovenop de kelly, in verband met de eisen aan de z-nauwkeurigheid van de peilplaatmeting. Als back-up voor de tachymeter werd van sextant en raaien gebruik gemaakt. Bij het storten waren bewegingen van de ponton niet zichtbaar; voor de ponton werd een vaste positie aangenomen.

Tijdens de fase toplaag drempel in de Roompot en, in een later stadium, de aanstorting, was het noodzakelijk dich-

terbij de pijler (c.q. dorpelbalk) te storten dan met het oorspronkelijke systeem mogelijk was om goede aansluitingen te realiseren.

Besloten werd daarom het Survey-systeem zodanig te wijzigen dat een permanente plaatsbepaling aanwezig was en de positie van het hulpstuk exact kon worden bepaald.

De plaatsbepaling vond daarna plaats met de Aga-Minilir-combinatie waarbij de reflectorunit op de Kelly werd ingemeten.

Als back-up werd de tachymeter gebruikt. Bijkomende voordelen van dit systeem waren het sneller kunnen positioneren van de ponton en een betere procesregistratie.

## 5. Nauwkeurigheid en betrouwbaarheid

Geen van de aspecten van de meetsystemen was zo moeilijk gebleken als het handhaven van nauwkeurigheden in operationele omstandigheden met continudiensten, ploegendiensten, slecht weer, etc.

Aan de punten nauwkeurigheid en betrouwbaarheid werd dan ook steeds veel aandacht besteed.

Een van de eerste zaken die men zich hierbij moest realiseren was het wanbegrip dat altijd bestaat bij het interpreteren van meetresultaten.

De meeste mensen die met een duimstok een lengte meten, houden gevoelsmatig rekening met de nauwkeurighedsbeperkingen van dat meetinstrument. Zodra men echter een resultaat van een meetsysteem onder ogen krijgt en zeker als dat dan ook nog door een computer gepresenteerd wordt, kent men aan dat getal een absolute nauwkeurigheid toe.

Eenzijds is deze gedachte principieel fout, omdat men zich steeds moet realiseren dat een meetresultaat altijd een fout heeft, die men moet kennen om de meetuitkomst op de juiste wijze te kunnen interpreteren. Anderzijds is het zo dat het bij complexe meetsystemen moeilijk, zo niet onmogelijk is om gevoelsmatig een indruk te krijgen van de totale meetfout. Het opstellen van een gedegen nauwkeurighedsanalyse is dan ook noodzakelijk.

Voordat een dergelijke nauwkeurighedsbeschouwing kan worden opgesteld, dient men eerst een goed inzicht te hebben in de nauwkeurigheden van de diverse gebruikte sensoren en de opsplitsing van de (on)nauwkeurigheden in systematisch en random. Omdat de invloed van de nauwkeurigheid van een sensor op de nauwkeurigheid van de totale meting sterk afhangt van zijn functie in het meetstelsel, kan men niet volstaan met het optellen van de nauwkeurigheden. In het algemeen zal men dan tot een veel slechtere waarde komen dan de werkelijkheid is.

Daarom is het nodig om het wiskundig model van de totale meetconfiguratie op te stellen en dit met behulp van de voortplantingswet van de standaardafwijkingen en met de individuele standaardafwijkingen van de meetsensoren door te rekenen.

Meestal zal men op deze wijze komen tot een veel kleinere meetnauwkeurigheid dan men op grond van de individuele sensornauwkeurigheden zou verwachten. Dit aspect, veroorzaakt door het feit dat niet alle onnauwkeurigheden tegelijk maximaal in dezelfde richting zullen optreden, heet de "worteltruc" en schertsenderwijs is wel gesteld dat zonder deze worteltruc het bouwen van de stormvloedkering niet mogelijk zou zijn geweest.

Van de systematische fout mag worden aangenomen dat deze door calibratie grotendeels wordt geëlimineerd. Eventuele ingeschatte (residu) systematische fouten wer-

den na calibratie gesommeerd en meegenomen bij de interpretatie van de meetresultaten. Een in de landmeetkunde bekend begrip en ook in het Oosterheldeproject veelvuldig toegepaste werkwijze was het verbeteren van de meetnauwkeurigheid door het toepassen van overtallige metingen. Hierbij worden bepaalde kritische grootheden met meerdere metingen bepaald, waarna de resultaten met een kleinste kwadraten vereffening tot een eindresultaat worden verwerkt. Door deze werkwijze wordt de meting minder gevoelig voor de random fouten in de meetinstrumenten, terwijl een uitstekende interne controle op diverse operationele fouten wordt ingebouwd. Hierbij komt overigens ook het duidelijkst het voordeel van het gebruik van de computer bij metingen naar voren. Zonder de computer zouden de benodigde complexe berekeningen namelijk nooit zo snel uitgevoerd kunnen worden dat ze voor een on-line meetsysteem bruikbaar zijn.

Een duidelijk voorbeeld van het gebruik van overtallige metingen was het plaatsen van de pijlers. Hierbij moesten 6 grootheden bekend worden om de positie van de pijler te weten, namelijk de 3 translaties en 3 rotaties. Indien deze eenmaal bekend waren, konden van alle punten van de pijler de posities worden berekend.

Tijdens het plaatsen werden echter 11 grootheden gemeten, terwijl 6 voldoende geweest zouden zijn. De 11 metingen waren:

- \* 3 Minilir/AGA's maten tesamen:
    - 3 horizontale hoeken naar de pijler,
    - 3 verticale hoeken,
    - 3 afstanden.
  - \* Met hellingmeters op de pijler werden de langs- en dwarshelling gemeten.
- Op deze wijze was een vijfvoudige overbepaaldheid in de meting ingevoerd, die de volgende voordelen opleverde:
- \* De meetnauwkeurigheid van de pijlerposities was aanmerkelijk beter dan uit een enkele meting.
  - \* Continue interne controle op het functioneren van het volledige meetsysteem, omdat de sluitfouten van de berekening on-line konden worden gecontroleerd.
  - \* Bij uitval van een meetgegeven kon de positie van de pijler nog steeds berekend worden, zij het met een iets lagere nauwkeurigheid en betrouwbaarheid.

Met de behandeling van de overtallige metingen komt het punt betrouwbaarheid.

Dit aspect is zo mogelijk nog belangrijker dan de nauwkeurigheid, die tenslotte slechts een theoretisch getal voorstelt. Zeker zo belangrijk is namelijk de mate van zekerheid dat het meetsysteem op een bepaald moment ook inderdaad met de opgegeven nauwkeurigheid werkt. Deze

mate van zekerheid, de betrouwbaarheid kan, behalve door een goede meetopzet, alleen worden beïnvloed door operationele maatregelen waarvan er een aantal hierna volgen:

- met simulaties testen van berekeningen, om fouten hierin op te sporen;
- goed onderhouden en controleren van alle meetapparatuur, om de opgegeven standaard afwijkingen te handhaven;
- regelmatig en nauwkeurig calibreren van de meetapparatuur, ten einde de systematische fouten zo klein mogelijk te houden.  
Hieraan werd zeer veel aandacht besteed. Vaak leidde dit tot grote en/of dure constructies aan de schepen, als het bijvoorbeeld om calibreren van onderwater apparatuur ging.  
Het feit dat de schepen vaak stil moesten liggen voor calibraties, vooral tijdens rustig weer, gaf wel eens problemen met de produktie, maar om kwaliteit te kunnen blijven garanderen was het toch noodzakelijk dit produktieverlies te accepteren;
- op cruciale punten werden interne controles ingebouwd, waardoor het meetsysteem verschillende metingen onderling kon controleren en de operator van het resultaat op de hoogte kon worden gehouden door presentatie van de sluitfouten;
- werken via uitgebreide draaiboeken en met checklists, waardoor voorkomen werd dat belangrijke handelingen c.q. controles werden vergeten;
- goed opgeleid, deskundig en gedisciplineerd personeel.

Waartoe een goed functionerend meetsysteem zoals op de Cardium in staat was, bleek duidelijk uit de semi-3D-presentatie van de peiling van een matlocatie (zie deelnota 4, figuur 4).

---

## 6. Conclusie

---

Als gevolg van het prefabriceren van de stormvloedkering, de korte kenteringstijden en dus de behoefte aan snelle en zeer nauwkeurige metingen, is een twintigtal survey systemen ontwikkeld met veel, deels speciaal voor dit werk aangepaste apparatuur, grote computersystemen en de daarbij benodigde controle- en back-up mogelijkheden.

Van positionering is geleerd, dat met de huidige techniek het mogelijk is aan bijna elke meeteis boven water te voldoen of dit nu een translatie of rotatie is, in statische of dynamische toestand.

In 50% van de gevallen is het een zaak van geld, proeven en tijd. De onder water-positionering kan echter nog sterk worden verbeterd.

Van nieuwe ontwikkelingen is geleerd dat deze zowel als veranderingen aan bestaande produkten een onevenredige hoeveelheid tijd en geld kosten ten opzichte van bestaande produkten.

Specificaties, ook die vanuit de fabriek, zijn meestal haalbaar en soms zelfs te verbeteren, mits uiterste zorg wordt besteed aan omgeving, opstelling, voorschriften, ijkingen en gebruik.

Door het gebruik van snelle computers is het mogelijk om interne controles uit overtallige metingen maximaal te gebruiken voor verhoging van de betrouwbaarheid.

Terwijl de bereikte hoge nauwkeurigheden vooral het resultaat zijn van kostbare precisie instrumenten en daarmee minder van belang voor andere projecten, is de bereikte hoge betrouwbaarheid het resultaat van een filosofie die door alle betrokkenen consentieus is gevolgd en relatief weinig heeft gekost.

Het zijn dan ook vooral de maatregelen waarmee deze betrouwbaarheid werd bereikt, die voor andere projecten nuttig zijn.

De kosten van de automatiseringsprojecten die opliepen tot 7 miljoen gulden en variëerden van 5-30 manjaar, werden mede veroorzaakt door het gebrek aan vakkenis en mankracht die daarbij nodig was.

In deze "real-time" systemen met soms meer dan honderden sensoren, snelle up-date, grafische presentaties en vele registraties, heeft men de aanwezigheid nodig van:

- een bedrijf met ervaring in zowel automatisering als het betreffende vakgebied, in dit geval survey of procesbesturing, dat buiten de bouw ook assisteert met de implementatie van zulke projecten;
- een goede beschrijving van de doelen en eisen van het systeem, in relatie met de functie ervan en goedgekeurd door alle partijen;

- en verder een goed systeemontwerp, kwaliteitsplan en acceptatietest.

Veel aandacht werd besteed aan het projectmanagement, daar er zeer waardevolle regels bij automatisering gelden. De black-box gedachte met turn on and off knop is futuristisch en gevaarlijk. Automatisering kost allereerst vakkenis, tijd, geld en begrip.

Het risico van "down-time" was laag maar sterk afhankelijk van de snelheid van foutdetectie en de geïmplementeerde controle- en back-up mogelijkheden. Het opzetten van een filosofie hiervoor bleek lastig, onder meer door het ontbreken van gegevens over de gemiddelde tijd die verstreek totdat een fout optrad.

De toepassing van complete dubbele installaties bleek, alhoewel dit duur was, toch vaak een goede oplossing.

Het personeel moest in de hiervoor genoemde technieken goed getraind zijn en in staat om het meeste systeemonderhoud zelf te doen. Een survey-project zoals de Oostera had, in samenwerking met dat van de Macoma, een survey-team van 35 man, werkend in drie ploegen.

Personeel voor dergelijke projecten moest de volgende bekwaaamheden bezitten:

- surveyors: inzicht in totale systeemopbouw, kennis van sensoren, formules, statistiek-metingen en calibraties, contacten met gebruikers en bouwers;
- automatiseringsdeskundigen: systeemontwikkeling,
- ontwerp en overzicht;
- electronici: interfacing, trouble shooting, reparatie en marktkennis.

Wat de planningsaspecten betreft was gebleken dat er tijd nodig was voor voorbereiding, beschrijving, besluitvorming, marktonderzoek, specificatie, bouw, testen en installatie. Bijzonder onterecht en vaak ergerlijk was de gedachte dat voor metingen geen voorbereiding, installatie en testtijd nodig zouden zijn. Planningen gaven aan dat de in de Oosterschelde toegepaste survey-projecten soms een totale bouwtijd kenden van 2,5 jaar.

Vaak werd de meetdienst van het Oosterschelde project verweten dat het teveel geld kostte. Maar daarbij dient onmiddellijk aangetekend te worden, dat deze kosten een direct gevolg waren van de bouwwijze-keuze, die geen ruimte liet voor enig risico op het gebied van metingen. Een herbeschouwing achteraf van de keuzes "bouwen in situ" en "volledig prefab" zou zeker voor het kostenaspect met betrekking tot meten interessant zijn.

---

## 7. Documentatielijst

---

Doc 1 SURVEY-M-83060, d.d. 7 juni 1983.  
Coördinatenstelsels SVKO

Doc 2 Passen en meten, uitgave Survey  
Stormvloedkering Oosterschelde

Doc 3 Electronica 1984 no. 15-16 dd. 17 augustus 1984

Doc 4 Cursus "Cad/cam voor de civiel ingenieur", november 1985

### Overige documentatie:

- 24 KWAP-R-84200 Evaluatienota plaatsen pijler bedrijf
- 34 FUND-N-85002 Evaluatienota funderingsbed
- Journal A, vol 27, no. 4, 1986
- Stormvloedkering Oosterschelde, Survey 20 april 1983
- 27 VERD-R-79103 Draaiboek verdichtingsschip "Mytilus"
- Survey-R-81013 Evaluatie meetsysteem "Mytilus"
- Survey-R-80004 Meetverhaal "Cardium"
- Meetsystemen ten behoeve van Oosterschelde
- 31 DREM-N-85149  
DremKWO-N-85107 Evaluatienota uitvoering top laag drempel met Trias
- 311 KWO-N-85457



---

## Deelnota 4: Peilingen en lodingen





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>67</b>
<b>2</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>68</b>
<b>3</b>	<b>Akoestische meetmethoden</b>	<b>69</b>
3.1	Algemeen	
3.2	Echoloden	
3.2.1	Profilers	
3.2.1.1	Honeywell-Yamatake	
3.2.1.2	Mesotech 952	
3.2.1.3	Ulvertech 142	
3.2.1.4	Mesotech 965	
3.2.2	Sonar	
3.2.2.1	Specificaties Side Looking Sonar	
3.2.3	Zanddiktemeting	
3.3	Bijzondere opstellingen van transducers	
3.3.1	Normale situatie	
3.3.2	Gestabiliseerd platform	
3.3.3	Lage Transducer Opstelling (L.T.O.)	
3.3.4	Peilplaat	
<b>4</b>	<b>Materieel</b>	<b>74</b>
4.1	Peilvaartuigen	
4.1.1	Eisen en randvoorwaarden drempelpeilboot	
4.1.1.1	Eisen	
4.1.1.2	Randvoorwaarden	
4.1.2	Afmetingen en specificaties	
4.1.2.1	Scholekster	
4.1.2.1.1	Aanpassingen operationele periode	
4.1.2.2	Schollevaar	
4.2	Wijker Rib	
4.2.1	Algemeen	
4.2.2	Constructie ten behoeve van profiler en sonar	
4.2.2.1	Stand transducer	
4.2.2.2	Invloed scheefstand transducer	
4.3	Voorzieningen op de werkschepen	
4.3.1	Cardium, Jan Heymans en Macoma	
4.3.2	Trias	
<b>5</b>	<b>Peil (on-)nauwkeurigheden</b>	<b>78</b>
5.1	Dieptemeetapparatuur	
5.1.1	Frequentie en openingshoek transducer	
5.1.2	Geluidssnelheid	
5.2	Waterspiegelreductie	
5.2.1	Getij	
5.2.2	Golven/deining	
5.2.3	Diepgang (squat)	
5.3	Plaatsbepalingsapparatuur	
5.3.1	Systemen	
5.3.2	Slingeren en stampen vaartuig	
5.3.3	Overige oorzaken	
5.4	Bewegingen peilvaartuigen	
5.4.1	Vaste transduceropstelling	
5.5	Gestabiliseerd platform met transduceropstelling	
5.6	Vergelijk opnameprincipe drempelpeilboot en profiler	
5.6.1	Drempelpeilboot Scholekster	
5.6.2	Profilers	
5.6.2.1	Transducertype Mesotech 952	
5.6.2.2	Transducertype Mesotech 965	

<b>6</b>	<b>Automatisering peilingen</b>	<b>83</b>
6.1	Het boord- of opnamesysteem	
6.2	Het wal- of verwerkingsysteem	
<b>7</b>	<b>Inspectiemiddelen/conclusies</b>	<b>86</b>
7.1	Inleiding	
7.2	Sonar	
	7.2.1 Werkmethode	
	7.2.2 Sonarinspecties in het Carjanbedrijf	
	7.2.3 Sonarinspecties in het drempelbedrijf	
	7.2.4 Conclusies	
7.3	Peilen	
	7.3.1 Werkmethode Scholekster	
	7.3.1.1 Peilinspecties drempelbedrijf	
	7.3.1.2 Conclusies	
	7.3.2 Handlodingen	
7.4	Profilen	
	7.4.1 Profilerinspecties drempelbedrijf	
	7.4.2 Conclusies	
7.5	Duiken	
	7.5.1 Inleiding	
	7.5.2 Te inspecteren onderdelen	
	7.5.3 Conclusies	
7.6	Overzicht uitgevoerde inspecties	
<b>8</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>92</b>

---

# 1. Inleiding

---

Tijdens de bouw van de stormvloedkering moest een grote hoeveelheid peilwerk worden verricht voor de bewaking van morfologische ontwikkelingen in de Oosterschelde-monding en voor de begeleiding -lees controle- van de onder water verrichte werkzaamheden.

Per half jaar (gedurende de hoogtepunten van de werkzaamheden) moesten meer dan 10.000 raakilometers worden gepeild en uitgewerkt.

De productiecapaciteit en de presentatiesnelheid van het bestaande systeem, dat was gebaseerd op het standaard Interplot-systeem van Intersites, was onvoldoende om aan die vraag te kunnen voldoen.

Besloten werd een nieuw systeem te bouwen dat volgens de afname specificaties de mogelijkheid had om 250 km raailengte binnen acht uur te verwerken en te presenteren in 475 profielen.

Het totaal ontworpen systeem bestond uit twee delen:

- een aantal inwinningssystemen met beperkte verwerkingsmogelijkheden aan boord van de peilvaartuigen (hoofdzakelijk gebaseerd op het Interplotsysteem;
- één centraal verwerkingsstelsel aan de wal.

---

## 2. Probleemstelling

---

Het vaartuig dat als drager zou moeten fungeren voor het peilen van hoogwaardige constructie-onderdelen op diepten tot 25 à 30 meter beneden de waterspiegel (specifiek de uit granulaair materiaal opgebouwde drempelconstructie), moest voldoen aan een aantal eisen die niet of nauwelijks waren te combineren.

Een groot traagheidsmoment om de lengtes is bijvoorbeeld in strijd met de noodzakelijke wendbaarheid om op een vooraf vastgesteld patroon van dicht op elkaar liggende raaien een bruikbare productie aan meetgegevens te kunnen halen. Dit is nodig voor een actueel en redelijk gedetailleerd beeld van de situatie onder water.

Ook de eis van geringe diepgang om dicht bij de pijlers te kunnen opereren is in strijd met de gewenste stabiliteit van een vaartuig voor de maximale nauwkeurigheid.

Om onder off-shore omstandigheden in de monding van de Oosterschelde peilwerkzaamheden te verrichten moesten ook de volgende problemen worden opgelost:

- het niet vertikaal staan van de mast waarop zich de reflector bevond voor het plaatsbepalingssysteem (zie figuur 9b en 10b);
- het niet vertikaal “kijken” van de transducer (zie figuur 9b en 10b).

Verder zijn nog te noemen het, ten gevolge van golven en deining, op en neer gaan van het vaartuig en het verhang van de waterspiegel ten gevolge van stromingspatronen in het getijdegebied, waardoor de waterspiegel onder een bepaalde helling kwam te staan.

De kans op fouten was door bovengenoemde problemen zo groot dat het inwinnen van betrouwbare gegevens haast onmogelijk was.

### 3. Akoestische meetmethoden

#### 3.1 Algemeen

De akoestische methoden zijn ontwikkeld voor het gebruik onder water en hebben voor militair- en civiel-maritieme doeleinden reeds een brede ontwikkeling doorgemaakt.

Voor de werken aan de stormvloedkering is van deze bestaande ontwikkeling dankbaar gebruik gemaakt.

De voor de stormvloedkering specifieke ontwikkelingen behelzen hoofdzakelijk bijzondere instrumentopstellingen ter verhoging van de meetnauwkeurigheid en/of ter verhoging van het aantal gelijktijdig op te nemen gegevens, alsmede de opname in geautomatiseerde systemen voor de gegevensverwerking, presentatie en registratie.

Slechts in een enkel geval is er sprake van de ontwikkeling van een nieuw instrument.

#### 3.2 Echoloden

De oudste vorm van akoestische afstandmeting is het echolood in zijn diverse uitvoeringsvarianties.

De werking berust op het principe van een door een zogenaamde transducer uitgezonden geluidspuls die door de bodem weer wordt teruggekaatst en door de transducer kan worden waargenomen. De tijd die verstrijkt tussen uitzenden en ontvangen van de geluidspuls is maatgevend voor de afstand tussen transducer en bodem (reflectie-opervlak).

De afstand wordt berekend met behulp van de voortplantingssnelheid van geluid in water, die via de dichtheid wordt beïnvloed door onder andere de temperatuur en het zoutgehalte van het water.

Voor nauwkeurige metingen in grote waterdiepten moet daarom rekening worden gehouden met deze parameters. De storende invloed van in de waterkolom aanwezige deeltjes en de detecteerbaarheid van relief op de bodem zijn afhankelijk van de gebruikte signaalfrequentie.

De meting geeft altijd een soort gemiddelde over de breedte van de signaalbundel, hetgeen betekent dat bij eenzelfde signaalfrequentie met een smalle bundel meer details kunnen worden waargenomen dan bij een brede.

Voor het echolood vormt de transducer (= omzetter van elektrische naar akoestische signalen en omgekeerd), met de bijbehorende zend- en ontvangelectronica, het hart van het opnamesysteem. Uitgaande van de meetomstandigheden, zoals de bodemruwheid (vlakke zandbodem of bestorting met grove breuksteen), de scheepsbewegingen (slingeren, stampen) en de gewenste meetnauwkeurigheden, moet de transducer worden gekozen.

De transducer wordt gekarakteriseerd door zijn frequentie, bandbreedte (in verband met de signaallengte) en bundel. In tabel 1 zijn voor een aantal gangbare transducers de eigenschappen weergegeven, waarbij voor de definitie van een aantal parameters wordt verwezen naar figuur 1.

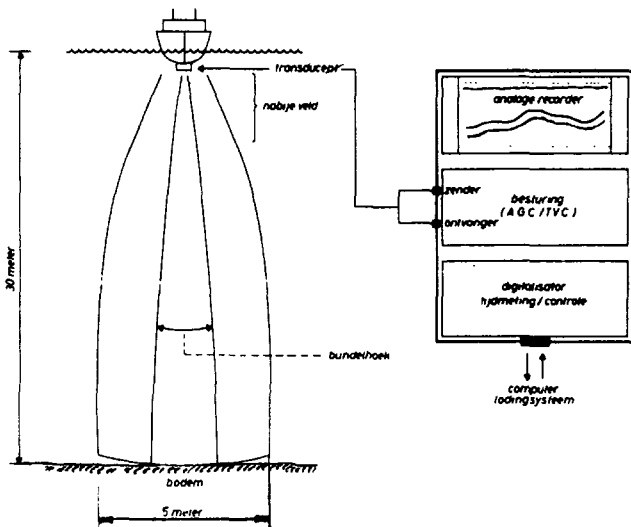
De bundelkarakteristiek wordt onder meer bepaald door de

frequentie KHZ	bundel- breedte (gr)	diameter element (cm)	lengte nabije veld (m)	diameter* aangestraald oppervlak (m)			lengte geluidsignaal 10 x golf lengte (cm)	zichtbaar ** relief (cm) op diepte		
				10 m	20 m	30 m		10 m	20 m	30 m
030	7	22	0,2-1	1,2	2,5	3,7	50	2	4	6
	15	10	0,1-0,2	2,6	5,3	7,9	50	9	17	26
	30	5	<0,1	5,4	10,7	16,1	50	35	68	103
200	1	45	7-27	0,5	0,5	0,5	8	<1	<1	<1
	2	23	2-7	0,4	0,7	1,1	8	<1	<1	<1
500	7	7	0,2-0,6	1,2	2,5	3,7	8	2	4	6
	7	3	0,1-0,3	1,2	2,5	3,7	3	2	4	6
700	1	13	2-8,5	0,2	0,4	0,5	2	<1	<1	<1
	2	7	0,5-2,5	0,4	0,7	1,1	2	<1	<1	<1
	7	2	0,1-0,2	1,2	2,5	3,7	2	2	4	6
1000	1	9	1-5,4	0,2	0,4	0,5	1,5	<1	<1	<1
	4	2	0,1-0,3	0,7	1,4	2,1	1,5	<1	1	2

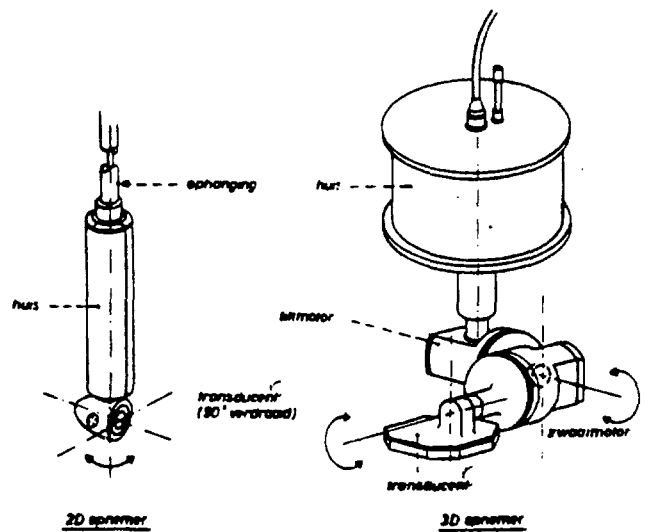
\* als begrenzing is uitgegaan van de diameter van de transducer

\*\* weergegeven is hier het looptijdverschil (uitgedrukt in cm-diepte) tussen het midden en de rand van de bundel

Tabel 1: Enige karakteristieke gegevens van transducers



Figuur 1 Principe van een echoloodstelsysteem



Figuur 2 Een 2D en een 3D profiler

frequentie en de transducerafmetingen (een hoge frequentie en/of een grote diameter geven een nauwe bundel). De bundel bepaalt de grootte van het aangestraalde oppervlak op een bepaalde diepte en daarmee de mate, waarin een ruwe bodem nauwkeurig aangemeten kan worden. Bij een afnemende waterdiepte neemt het aangestraalde oppervlak evenredig af, totdat het een diameter heeft, die ongeveer gelijk is aan de transducerdiameter (overgang verre veld - nabije veld). Bij een verder afnemende waterdiepte zal de bundel op het -6 dB niveau nog wat verder versmalen tot circa 0,6 maal de transducerdiameter. Op nog lagere niveaus zal de bundel ongeveer gelijk blijven aan de transducerdiameter.

### 3.2.1 Profilers

Een profiler is een aangepast echolood om niet alleen vertikaal een afstand te meten, maar ook in diverse richtingen. Dit wordt gerealiseerd door de, volgens het echoloodprincipe werkende, transducer bij iedere meting een andere stand ten opzichte van de vertikaal te geven.

Door de meting van de hoekverdraaiing van de transducer, ten opzichte van de vertikaal, te combineren met de afstandmeting ontstaat een polair plaatsbepalingssysteem met de transducer als oorsprong.

Afhankelijk van de bewegingsvrijheden van de transducer kan op deze wijze een twee- of drie-dimensionaal beeld worden gevormd van het reflecterende oppervlak.

In dit verband kan dan ook een onderscheid worden gemaakt tussen twee soorten profilers:

- De 2D-profiler, waarbij de transducer om één (horizontale) as beweegt, zodat slechts in een vertikaal vlak door het instrument kan worden gemeten.
- De 3D-profiler, waarbij de transducer om twee assen kan bewegen, zodat ook in gekantelde vlakken kan worden gemeten.

In figuur 2 zijn een 2D en een 3D profiler afgebeeld (doc 1).

Om een nauwkeurige positiebepaling te realiseren zijn bijzondere voorzieningen ten opzichte van een echolood nodig:

- Een exacte hoekmeting op de draaiingsassen.
- Een zeer nauwe bundel.
- Extra voorzieningen bij de signaalverwerking, met name

een hoekafhankelijke versterking van het signaal, naast de afstandafhankelijke versterking (time varying gain).

Dit is nodig, omdat de sterkte van het naar de transducer gereflecteerde signaal, afhankelijk van de ruwheid van het te meten oppervlak, afneemt als het reflectievlak niet loodrecht op de meetrichting staat.

- Indien een absolute positiebepaling van voorwerpen nodig is, moet ook de werkelijke stand van de profiler ten opzichte van de vertikaal worden bepaald (hoekverdraaiing door bijvoorbeeld scheepsbewegingen).

Bij het werk aan de stormvloedkering zijn diverse typen profilers in gebruik geweest voor verschillende doeleinden. Hierna worden deze beknopt weergegeven.

#### 3.2.1.1 Honeywell-Yamatake

Een 2D-profiler met analyserecorder, gebruikt bij het leggen van bodembeschermingsmatten en het aanbrengen van zand en steenbestoringslagen. Hoewel ze bij dit werk goed voldeden was de nauwkeurigheid voor andere werkzaamheden onvoldoende.

#### 3.2.1.2 Mesotech 952

Deze 2D-profiler werd voor de volgende doeleinden gebruikt:

- Controle van de bodem op obstakels bij het verdichtingsproces van de Mytilus.
- Meting van de bodemligging voor het neerzetten van de duikerklok vanaf de Johan V voor grondonderzoek.
- Laagdiktemeting en controle op gelijkmatigheid bij het aanbrengen van lagen stortsteen.
- Controle op grove aanzanding (> 0,5 m) op gestorte lagen.

Het apparaat had een klein, handzaam onderdeel, dat met eenvoudige voorzieningen aan het schip vanaf het dek kon worden geïnstalleerd, waardoor een flexibele inzet op verschillende schepen mogelijk was. In totaal zijn er vijf profilers van dit type in gebruik geweest.

Het signaal werd digitaal verwerkt en op een plotter gepresenteerd.

#### 3.2.1.3 Ulvertech 142

Dit was standaard een tweekoppige 2D-profiler, speciaal ontwikkeld voor het gebruik op onderwatervoertuigen.

Deze was gemonteerd op de manipulator van het onder-

waterinspectievoertuig Portunus, waarbij slechts één van de beide transducers was aangebracht; de andere werd hoofdzakelijk als reserve gebruikt.

Deze profiler werd enerzijds gebruikt voor echte metingen en anderzijds voor globale kwalitatieve gegevens als vervanging (back-up) van de onderwatercamera bij slecht zicht.

De gegevens werden op een videoscherm gepresenteerd.

#### 3.2.1.4 Mesotech 965

Deze 3D-profiler werd op specificaties van Rijkswaterstaat speciaal ontwikkeld. De transducer kan in twee richtingen bewegen, namelijk de scan (sweep) richting en de tilrichting (zie figuur 2).

Het onderwaterdeel was vrij omvangrijk en zwaar ( $\pm 80$  kg) en vergde degelijke installatievoorzieningen.

In totaal werden er tien exemplaren aangeschaft, die voor diverse controlefuncties in de matten-leg-processen van de Cardium (7) en de Macoma/Dos I-combinatie (2) werden ingezet. Afhankelijk van de functie werden ze op verschillende externe computerconfiguraties aangesloten. Zij werden onder andere toegepast als alternatief (back-up) voor de plaatsbepaling van de kopbalk. Hoewel de nauwkeurigheid voldoende was, konden ze hierbij niet als sturingsmiddel worden gebruikt, omdat de frequentie van de metingen te laag was (de scans duurden inclusief de verwerking 30 à 40 seconden).

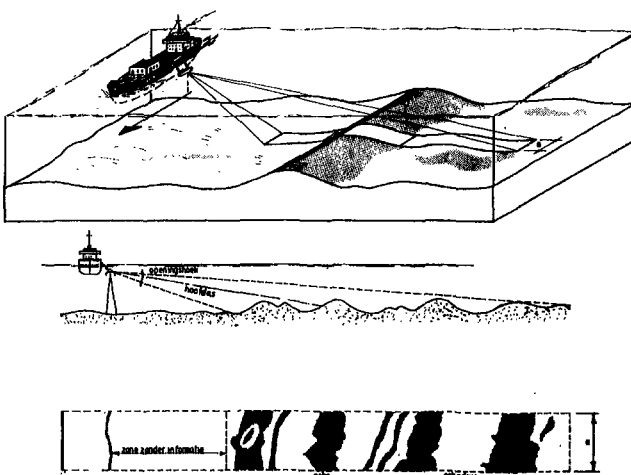
#### 3.2.2 Sonar

Een sonaropname is een op akoestisch wijze gemaakte "geluidsfoto" van de bodem.

De gebruikerswaarde (niet de nauwkeurigheid) wordt bepaald door de mate waarin het akoestische beeld bepaalde bodemmaterialen (het reliëf) herkenbaar weergeeft. Het systeem Side Looking Sonar (S.L.S.) bestaat uit een, aan een kabel (of vaste opstelling) bevestigde vis met twee transducers en een papierrecorder.

Beeldvorming vindt plaats door het uitluisteren van bodemreflecties van dwarsscheeps uitgezonden akoestische signalen (zie figuur 3) met frequenties van 100 kHz en 500 kHz, waarbij golflengten behoren van 1,5 respectievelijk 0,3 cm.

De standaard S.L.S. met een frequentie van 100 kHz heeft een bereik van 200 - 500 meter maar geeft weinig detailinformatie. De S.L.S. met een frequentie van 500 kHz geeft



Figuur 3 Principewerking side-looking Sonar

veel detailinformatie doch heeft maar een klein afstands-bereik, namelijk van 50 à 70 meter.

Het bereik van een S.L.S. is afhankelijk van onder andere bodemcondities, temperatuurverschillen in het water, lucht-bellen en bronnen van interferentie van buitenaf.

#### 3.2.2.1 Specificaties Side Looking Sonar

* Frequentie	: 100 kHz
Horizontale bundelhoek	: 1,0° (hoekresolutie)
Gewicht in water	: 16,3 kg
Gewicht in lucht	: 21,7 kg
Lengte	: 121,9 cm
Puls-lengte	
in milliseconden	: 0,1 (afstands resolutie)
Verticale bundelhoek	: 40° beginnend 10° onder de horizontaal

* Frequentie	: 500 kHz
Horizontale bundelhoek	: 0,2° (hoek resolutie)
Gewicht in water	: 16,3 kg
Gewicht in lucht	: 21,7 kg
Lengte	: 121,9 cm
Puls-lengte in milli-	
seconden	: 0,02 (afstands resolutie)
Verticale bundelhoek	: 40° beginnend 10° onder de horizontaal

#### 3.2.3 Zanddiktemeting

Een naar de bodem uitgezonden akoestisch signaal zal bij de water-zandovergang gedeeltelijk worden gereflecteerd en gedeeltelijk worden doorgelaten. Het doorgelaten deel zal opnieuw door een dieperliggende discontinuïteit in de bodemstructuur gedeeltelijk worden teruggekaatst.

Onderweg gaat ook nog een gedeelte van de geluidsenergie verloren door verstrooiing en absorptie.

Onder gunstige omstandigheden kunnen ook de van dieperliggende discontinuïteiten komende reflecties worden gedetecteerd, waardoor als het ware een eindje in de bodem gekeken kan worden.

Op dit principe berust het penetrerend echolood of de sub-bottom-profiler. De penetratiediepte neemt toe en de verstrooiing neemt af naarmate de frequentie lager is, echter ten koste van het oplossend vermogen.

De ontwikkelde zanddiktemeter (ZDM) kan het beste worden gekarakteriseerd als een penetrerende lage transducentopstelling met sensoren, waarin aangepaste transducers, werkend bij een frequentie van 0,5 en 1 MHz, in paren waren ondergebracht.

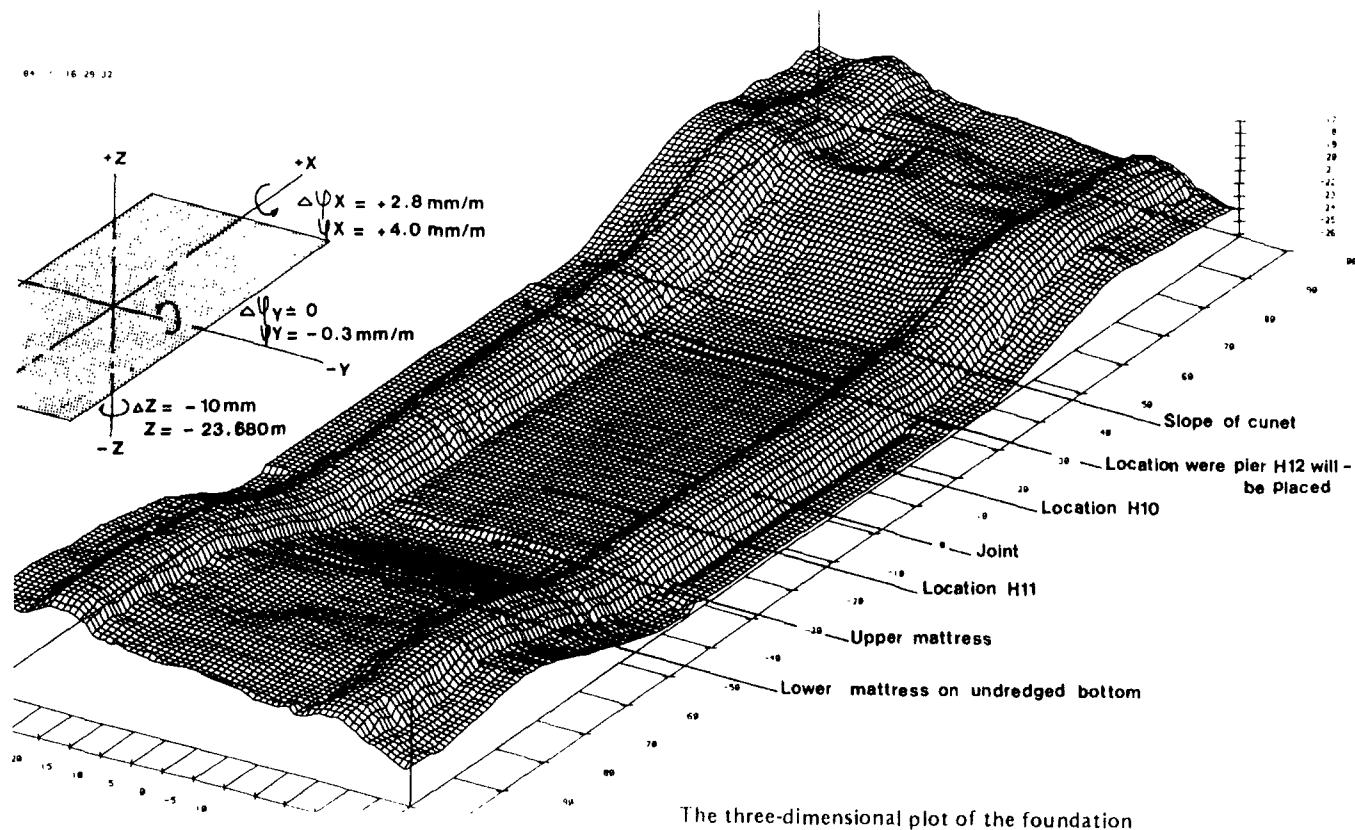
Bij de overgang van zand naar grind moest, om een optimale verhouding tussen de strooisignalen en de grindecho te krijgen, het aangestraalde oppervlak ongeveer even groot zijn als één kiezelreflector. Hiertoe werd de transducer zo dicht boven de bodem geplaatst (circa 20 cm), dat de bundel zich nog nauwelijks had uitgebreid (nabije zone, zie figuur 1).

Omdat de kiezels slechtgerichte reflectoren waren, kon voor het uitvoeren van een meting niet met een enkel signaal worden volstaan.

Voor een meting werd uitgegaan van de (automatische) middeling van een groot aantal signalen, telkens uitgezonden vanuit een iets verschoven positie van de sensor.

Daarbij werden, eveneens automatisch via een patroonherkenning, de signalen op hun kwaliteit geselecteerd. Dit om valse meetuitkomsten ten gevolge van storingen te voorkomen.





The three-dimensional plot of the foundation

Figuur 4 Drie-dimensionale plot van een L.T.O.-meting

Uit het gemiddelde signaal werd automatisch de status (wel/geen zand, kwaliteitsmeting, enz.) en zo mogelijk de dikte van de zandlaag bepaald. Onder operationele omstandigheden werden de metingen uitgevoerd met de 0,5 MHz/7 graden transducer. Bij deze frequentie kon echter losliggend doek van de mat aanleiding geven tot een foutieve zandmelding. Onder andere ter controle van dit verschijnsel werden tussendoor automatisch metingen uitgevoerd met de 1 MHz/4 graden transducer, waarmee door het hoger oplossend vermogen en de sterkere energie-absorptie in zand bij deze frequentie, het losse doek herkend kon worden (doc 2).

De ZDM werd aan boord van de Cardium (20 sensoren) en de Macoma (12 sensoren) gebruikt als procescontrole op het fijn opschoonproces. De sensoren werden hiertoe direct achter de rollen van de fijn opschoonkoppen geplaatst.

Vlak voor het eerste neerlegpunt van een bovenmat en vlak voor het plaatsen van een pijler diende nog een laatste zanddiktemeting plaats te vinden. Hiertoe waren de inspectieslede Asterias en het inspectievoertuig Portunus met respectievelijk 4 en 2 ZDM-sensoren uitgerust.

Voor de inspectie van de ruimte onder de pijlervoet, die later met mortel gevuld moest worden, werd het inspectievaartuig Trigla gebruikt, eveneens voorzien van een ZDM-sensor in miniatuurvorm. (zie ook deelnota 5 onder 2.4).

### 3.3 Bijzondere opstellingen van transducers

#### 3.3.1 Normale situatie

Behalve door de eigen nauwkeurigheid van het echolood

wordt de nauwkeurigheid van de meting beïnvloed door de bewegingen van het schip, waaraan de transducer is bevestigd.

Deze invloed is tweeledig:

- Verandering in de hoogteligging van de transducer ten opzichte van het nulvlak door golven en het verloop van het verticale getij.
- Afwijking van de as van de door de transducer uitgezonden geluidsbundel ten opzichte van de vertikaal, door de slinger en stampbewegingen van het schip.

Voor een redelijk vlakke bodem is de tweede invloed klein ten opzichte van de eerste.

De eerste invloed kan rekenkundig worden gecompenseerd door de scheepsbewegingen bijvoorbeeld met versnellingsopnemers, te meten en in de afstandsrekening in te voeren. Zo ook met de gemiddelde waterstand, die uit gegevens van peilschalen in vaste opstellingen voor de lokatie van het schip kan worden berekend.

Deze laatste correctie kan achteraf aan de wal gebeuren bij de verdere verwerking van de meetgegevens, wanneer het tijdstip van meting bekend is, dan wel direct aan boord tijdens de meting wanneer de benodigde peilschaalgegevens regelmatig worden overgeseind.

Deze compensatiemethode werd algemeen gebruikt voor het normale lodingwerk ter bewaking van morfologische ontwikkelingen en het vlakke stortwerk. Voor dit werk werd gebruik gemaakt van 200 KHz/7 graden en 30 KHz/15 graden transducers en voor de plaatsbepaling van het Trident III-systeem (zie deelnota 3 onder 3.3.2).

### 3.3.2 Gestabiliseerd platform

De transduceropstelling op het gestabiliseerd platform is beschreven in 5.5.

### 3.3.3 Lage Transducer opstellingen (LTO)

De "Lage Transducer Opstelling" (LTO) is een meerkanals echoloodstelsel, waarvan de transducers op een geringe hoogte (3 tot 5 m) boven de bodem worden gepositioneerd.

Door deze lage opstellingshoogte wordt, per transducer, slechts een klein oppervlak op de bodem aangestraald; er is dan vrijwel zeker sprake van een puntmeting.

De fout, geïntroduceerd door geluidssnelheidseffecten, wordt door de geringe afstand tot een minimum beperkt.

De transducers worden, in principe, op een balk gemonteerd, waarvan de positie in het scheepscoördinatenstelsel kan worden ingemeten. Met behulp van het scheepsplaatsbepalingssysteem (Minilir/Aga) kunnen de posities van de transducers ten opzichte van wal-referentiepunten worden berekend.

Het grote voordeel van de LTO is, dat nauwkeurige contactloze vlakheidsmetingen mogelijk worden.

Het LTO-systeem was opgebouwd uit "Multi Channel Sounder MCS-1" eenheden van de firma Navitronic. Iedere eenheid bevatte zes transducers, bestuurd vanuit een microprocessor. Deze eenheden konden door een "Multi Channel Coupler MCC-1" gekoppeld worden tot een systeem met maximaal 96 transducers. De MCC-1 verzorgde tevens de communicatie naar de boordcomputer/datalogger.

Per transducer werd de gemeten diepte overgezonden, met een statusinformatie, waaruit iets van de betrouwbaarheid van de meting kon worden afgeleid.

Het LTO-systeem werd aan boord van de Cardium, de Macoma en de Jan Heijmans geïnstalleerd.

Aan boord van de Cardium had de LTO 24 transducers die onderaan de wipbalk en de zijsecties van de zuiginstallatie waren bevestigd. Bij een peilslag werd de Cardium overmatlokatie verhaald, waarbij de transducers over een hoogte van circa drie meter over de in te meten bodem werden voortbewogen.

Figuur 4 geeft als drie-dimensionale plot het resultaat van zo'n meting. De bij de Cardium gebruikte transducers werkten bij 700 kHz met een bundel van 3,5 graden.

Aan boord van de Macoma had de LTO tot taak om de hoogteligging van de gelegde tegelmatstroken in te meten (TCM = tegelmat controlemeting).

De transducers werden in twee groepen van drie (links en rechts) aangebracht aan het draaiend deel van het cardan van de zuigkoppen.

De transducers waren van het type 700 kHz/6 graden bundelhoek, om problemen met de spleten tussen de tegels te vermijden. Later zijn deze toch vervangen door transducers met een hoek van 2,5 graden, die beter voldeden.

Op de Jan Heymans werd het LTO-systeem gebruikt voor het uitpeilen van de negatieve overlap. Hiervoor werden totaal 18 transducers van het type 700 kHz/2,5 graden gemonteerd aan de hoofdbalk van de ontzandingsinstallatie.

### 3.3.4 Peilplaat

De eisen van de toplaag van de drempel tussen de pijlers met betrekking tot het z-niveau hadden met name betrekking op de toelaatbare spleetgrootte onder de dorpelbalk.

Ook voor het gebied aan de Noordzeezijde waren eisen gesteld uit het oogpunt van materiaalbeheersing. Dit waren geen "harde" ontwerpeisen.

Aan de Oosterscheldezijde echter was de z-eis gesteld in verband met het invaren van de dorpelbalk. Daar het peilen met de drempelpeilboot, in verband met de hoge nauwkeurigheid, werd uitgevoerd met een transducer met een openingshoek van 1 graad en een frequentie van 700 kHz werd op een diepte van 15,0 m slechts een oppervlak van  $\pm 0,26$  m aangepeild. Bij grote steensorteringen, zoals dit bij de toplaag van de drempel het geval was, was de kans dat tussen de stenen werd "gekeken" of een punt van de steen werd aangepeild bijzonder groot waardoor er geen juist beeld van de hoogteligging van de toplaag werd verkregen (zie 5.3.3).

Het peilen met een peilplaat, die aan de onderzijde van de Kelly op de Trias was bevestigd, gaf een betrouwbare uitkomst (zie ook deelnota 17).

## 4. Materieel

Onder materieel voor het verrichten van peilingen, lodingen en sonaropnamen wordt in dit verband verstaan de dragers van deze systemen, te weten:

- de specifieke peilvaartuigen;
- het multifunctioneel inspectievaartuig "Wijker Rib";
- de op de werkschepen aangebrachte voorzieningen (L.T.O.-balk op de *Cardium*, Jan Heijmans en *Macoma* en een aan de kelly van de *Trias* bevestigde peilplaat).

### 4.1 Peilvaartuigen

Voor het verrichten van peilingen, lodingen en sonaropnamen ten behoeve van de stormvloedkering waren onder andere de volgende vaartuigen beschikbaar namelijk de "Schollevaar", "Steenvliet", "Houtvliet" en de "Scholekster". De Schollevaar, Steenvliet en Houtvliet waren voorzien van het Trident-plaatsbepalingssysteem en echolood (vaste transducer). Op de Scholekster was tevens het plaatsbepalingssysteem AGA/Minilir en een gestabiliseerd platform met een transducer geïnstalleerd waardoor het mogelijk was (ondanks stampen en slingeren van het vaartuig) dat de transducer altijd loodrecht naar beneden gericht bleef.

De Scholekster werd hoofdzakelijk ingezet voor het drempelbedrijf en werd ook wel "drempelpeilboot" genoemd.

#### 4.1.1 Eisen en randvoorwaarden drempelpeilboot

##### 4.1.1.1 Eisen

Tijdens de opbouw van de drempel moest de drempelpeilboot de tussen- en de toplagen inspecteren waarbij de peilnauwkeurigheid voor de verschillende gradaties aan de volgende eisen moest voldoen (doc3):

Gewicht kg	gem. diam. (cm)	nom. laagdikte (m)	peilnauw- keurigheid (m)
60-300	38	0,75/1	0,15/0,25
300-1000	60	1,2	0,3
1000-3000	85	1,7	0,4

De voorkomende taluds waren van 1:7 tot 1:3. De top laag moest voldoen aan de strengste inspectie-eis omdat uitstekende stenen het plaatsen van de dorpelbalk onmogelijk zou maken.

Gaten in de kern en de toplagen waren maximaal toelaatbaar tot afmetingen van 2 x 2 m bij 0,75 cm diep. Dergelijke gaten moesten betrouwbaar gedetecteerd kunnen worden.

Uit herhaalde peilingen moesten ontstane aanzandingslagen vanaf ca. 0,5m (drempel) en 1 m (overgangsconstructie) gedetecteerd kunnen worden (cumulatieve maxima).

#### 4.1.1.2 Randvoorwaarden

Uitgangspunt voor het vaststellen van de randvoorwaarden was dat de drempelpeilboot onder de volgende omstandigheden moest kunnen blijven werken.

Wind: max. 7 Bft (14-17 m/sec)  
Golven: H 1/3 = 1,0 m met 4-6 sec. periode  
= 0,35 m met 8-10 sec. periode

Stroming: max. 2 m/sec.

Diepte: 5 à 10 m tot 30 m.

Omdat de werkbaarheid werd bepaald door de bewegingen, die apparatuur en mensen gedurende langere tijd kunnen verdragen bleek de Scholekster met een gestabiliseerd platform (zie 5.5) de geëigende drempelpeilboot.

De randvoorwaarden van de Scholekster (doc. 4) waren van dien aard dat niet onder alle omstandigheden kon worden gewerkt. Deze voorwaarden waren:

#### Werkomstandigheden

Wind : max. 4 à 5 Bft (8-10 m/s)  
Golven : H1/3 = 0,75 m met 4 sec periode (windgolven)  
0,35 m met 6 sec periode (deining)

Stroming : max. ca. 2 m/sec

Diepte : 5 à 10 m tot 30 m

#### Vaarsnelheid

tijdens meten : 0,5-4 m/sec, nom 1 à 2 m/sec

Pitch/roll : ± 10°

Positioneringsfout : 1,5 m (Trident), 0,5m (Artemis)

Afmetingen : 1 x b x d 16 x 5 x 1,6m

#### Opnames

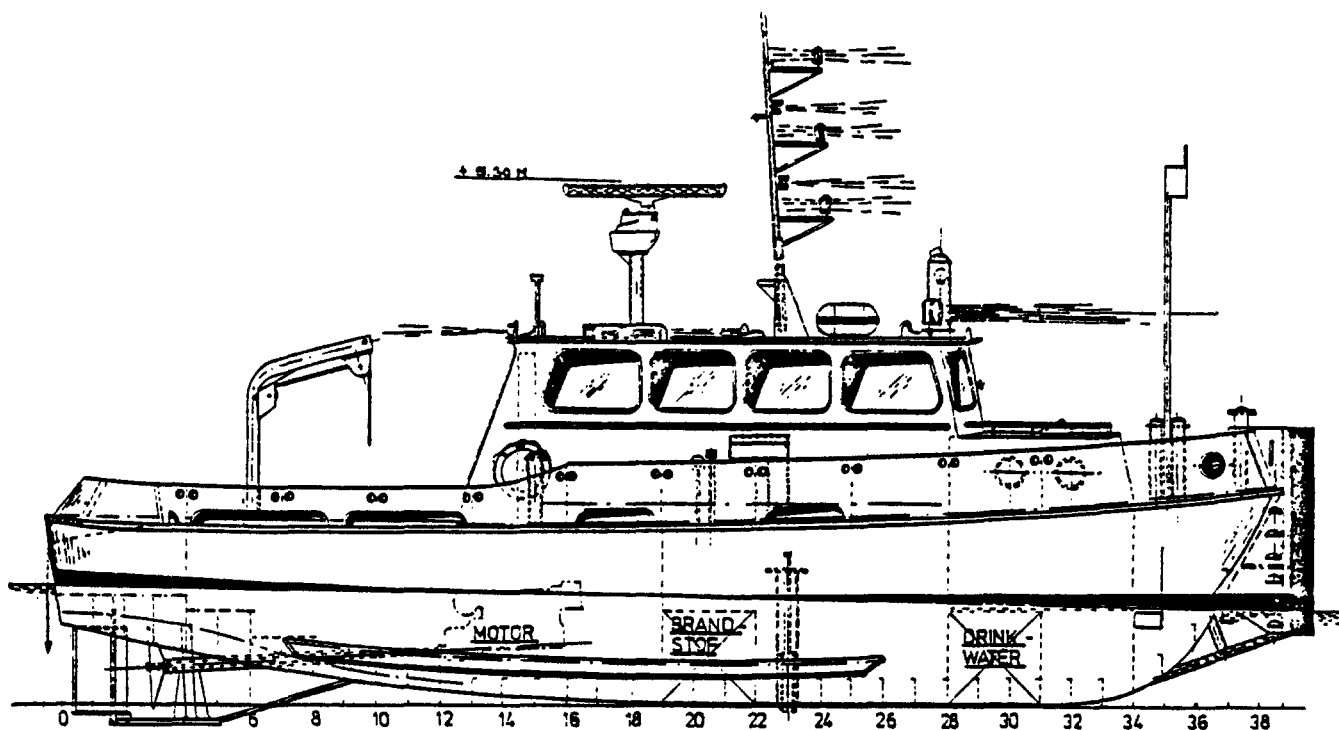
##### Inspectiegebied tussen

pijlers : 200 x 30 m

raaiafstand : 5 à 10 m, evt. 2,5 m (afh. van opnametechniek)

##### nauwkeurigheid

raai varen : ± 1,25 m (schatting).



Figuur 5 Scholekster

#### 4.1.2 Afmetingen en specificaties

##### 4.1.2.1 Scholekster (zie figuur 5)

Roepnaam	Scholekster PF 6983
Soort	Peilboot dubbelschroefs
Bouwjaar	1978
Werk	Damen
Lengte	16,17 mtr.
Breedte	4,88 mtr.
Holte	2,30 mtr.
Diepgang	1,70 mtr.
Eigen gewicht	40 ton
Laadvermogen	geen
Brandmerk	15176 Z Rott, 1978
Int. meetbrief	18477
Bin. meetbrief	R-N 40864
Klasse	geen

Brandstof	4300 liter
Drinkwater	2000 liter
Ballast	geen

Vermogens:	
Motor	GM 6 - 71N 2 x 180 pk
Hulpmotor	Samofa 23 pk

Bijzonderheden: 2 Davits met lieren ten behoeve van peilen.

##### 4.1.2.1.1 Aanpassingen operationele periode

In de operationele periode bleken de volgende aanpassingen aan de Scholekster noodzakelijk:

- om het peilen tussen de pijlers te garanderen, nadat de verkeerskokers waren geplaatst, werd de mast strijkbbaar gemaakt. Het plaatsbepalingssysteem werd daarop aangepast;

- vaargedrag werd verbeterd door een andere koerspijloot;
- om storingen ten gevolge van turbulentie rond de transducer te voorkomen werd het rechthoekig platform vervangen door een gestroomlijnd model;
- de aanwezige spanningsstabilisatie werd, om ononderbroken netspanning te garanderen, vervangen door een no-break-set.

##### 4.1.2.2 Schollebaar (zie figuur 6)

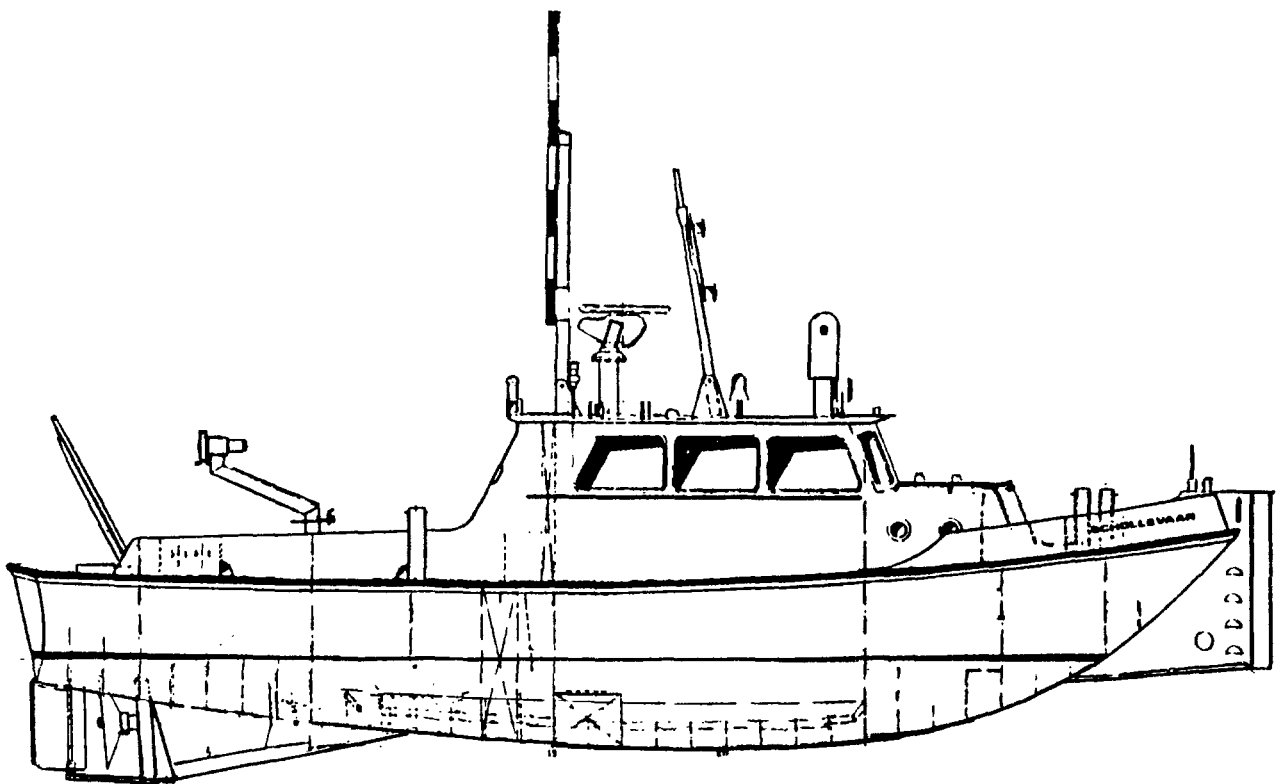
Roepnaam	Schollebaar PF 9791
Soort	Peilboot enkelschroefs
Bouwjaar	1974
Werk	Damen
Lengte	14,40 mtr.
Breedte	4,35 mtr.
Holte	1,85 mtr.
Diepgang	1,80 mtr.
Eigen gewicht	30 ton
Laadvermogen	geen
Brandmerk	14151 B Rott. 1974
Int. meetbrief	17375
Bin. meetbrief	R-N 37542

Klasse: geen

Brandstof	5400 liter
Drinkwater	1000 liter
Ballast	geen

##### Vermogens:

Motor	GM 8V-71N	240 pk
Hulpmotor	Samofa	6 kVA



Figuur 6 Schollevaar

Bijzonderheden: 1 Davits met lieren ten behoeve van peilen.

De peilvaartuigen Steenvliet en Houtvliet zullen niet worden gespecificeerd, aangezien de verschillen met de Schollevaar niet essentieel waren.

## 4.2 Wijker Rib

### 4.2.1 Algemeen

Het inspectievaartuig Wijker Rib had een multifunctioneel karakter. Naast de taak als moederschip voor het inspectievoertuig "Portunus" (zie deelnota 5) was dit vaartuig qua scheepsgedrag en handelbaarheid ook geschikt als drager voor een profiler en een sonar.

Uitgerust met deze inspectiemiddelen werd de Wijker Rib ingezet tijdens de opbouw van de drempel- en overgangsconstructie.

Aangezien het inspectiemiddel van de Trias, (de peilplaat, niet tot vlak naast de pijler kon peilen bleef een strook van circa 1,5 meter breedte over. Deze strook werd in eerste instantie door duikers (met een drukdoos) geïnspecteerd. Daar deze methode niet betrouwbaar was werd, ter controle van de hoogteligging van de stenen naast de dorpelbakspanning, ook daar de Wijker Rib ingezet.

In eerste instantie werden de profileropnamen verricht met de Mesotech 952 die slechts in één vlak peilingen kon uitvoeren. Daar de Mesotech 965 in alle gewenste richtingen kon peilen (dit type kwam tevens vrij van de Cardium) werd besloten deze op de Wijker Rib te installeren.

### 4.2.2 Constructie ten behoeve van profiler en sonar

Aan bakboordzijde tegen de huid was een railconstructie aangebracht, waarover de profiler in een verrijdbare draagconstructie kon worden verplaatst. Met behulp van een vergrendeling kon de profiler worden vastgezet op plaat-

sen, waar een profiel nodig was. Ten behoeve van de sonar was een vaste uithouder gemonteerd.

In het ontwerp was een verstelmogelijkheid aangebracht voor een correctie van de stand in de trim- en slagzijrichting. De grootte van de correcties was max. 1° in één van de twee richtingen, en 0,7° als in beide richtingen tegelijk gecorrigeerd moest worden.

#### 4.2.2.1 Stand transducer

De stand van het scanvlak moest vertikaal zijn en daarin eveneens de as (nul-as) van waaruit de hoeken werden gemeten.

Dit werd bereikt door vooraf de Wijker Rib op de juiste trim- en slagzij te brengen door het overpompen van de brandstoftanks en ballasttanks. Afgemeerd tegen de pijler met een boegbak ertussen kon, indien nodig, daarop nog een correctie worden uitgevoerd. De benodigde standindicatie werd hier verkregen door middel van een inclinometer-meting op calibratievakken van de draagconstructie. De laatste rest trim- en slagzij-correctie werd weggewerkt door de verstelmogelijkheden op de constructie zelf en kon indien nodig, voor elke opname worden uitgevoerd.

#### 4.2.2.2 Invloed scheefstand transducer

Hierbij waren twee scheefstanden te onderscheiden:

- Een scheefstand loodrecht op het scanvlak. Op de Wijker Rib was dit de trimrichting;
- Een scheefstand van de nulas in het scanvlak, dit was de slagzijrichting.

ad a: scheefstand in de trimrichting

Dit had tot gevolg, dat het opgenomen profiel evenwijdig verschoven lag ten opzichte van het gewenste profiel. De invloed van de fout was het grootst op het dieptepunt en het kleinst op het minst diepe punt. Door verschuiving van de transducer in de trimrichting ter grootte van de halve fout, werd de helft van de fout weggenomen.

ad b: scheefstand van de nul-as in het scanvlak.

Dit had tot gevolg dat het gehele profiel, ter grootte van de hoekfout verdraaid werd. Ook de hellingen van het opgenomen profiel ondergingen bij benadering dezelfde hoekverdraaiing. Hier bleek het belang van het goed vertikaal houden van deze as.

### 4.3 Voorzieningen op de werkschepen

#### 4.3.1 Cardium, Jan Heijmans en Macoma

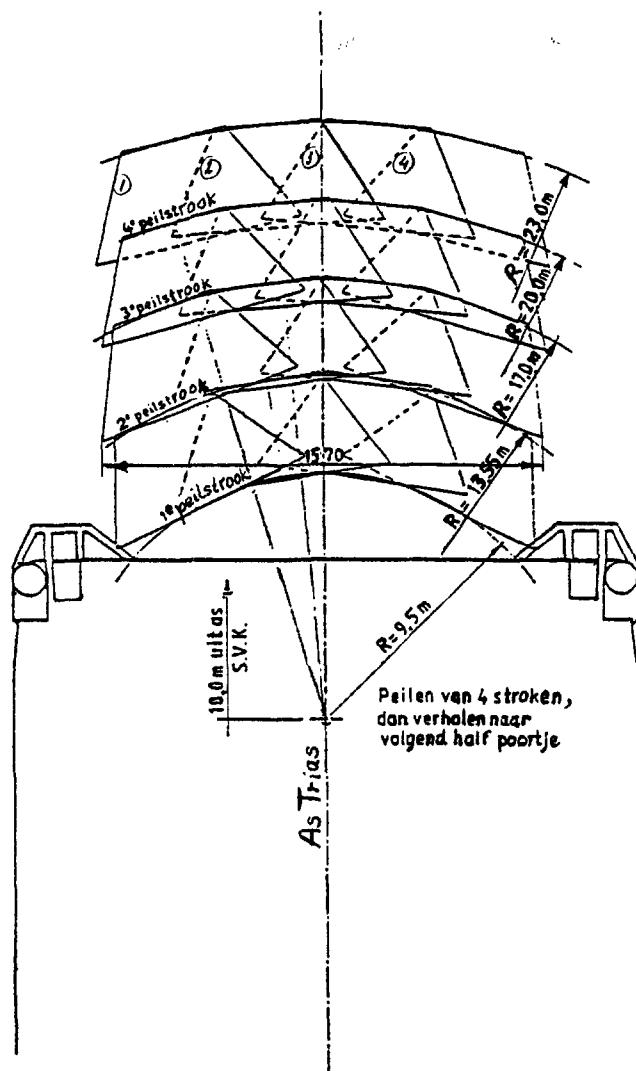
Op zowel de Cardium, Macoma als de Jan Heijmans was op de zuigmond respectievelijk de rolstrooier een Lage Transducer Opstelling, de zogenaamde L.T.O.-balk, gemonteerd. Tijdens het proces kon alsnog worden geconstateerd of er wel of geen aanzanding had plaatsgevonden (zie onder 3.3.3 en de deelnota's 12, 14 en 10).

#### 4.3.2 Trias

Door de Trias werd, door middel van een peilplaat, het zelf gemaakte werk gecontroleerd. De peilplaat was een stalen plaat van ongeveer 26ton die onder de helling werd gehangen (zie deelnota 17). De afmetingen van deze trapeziumvormige plaat waren 4.0 \* 4.0 \* 8.0 m.

De plaat was opgehangen aan kettingen met daarin een elektronische signalering of de plaat aan de ketting hing of dat deze op een steen rustte.

Bij elke peilplaatpositie werd de kelly naar beneden gelaten totdat één of meerdere lampjes (maximaal drie) uitgingen. De kelly werd daaraan opgehaald totdat alle lampjes juist weer gingen branden. In die positie werd de kelly ingemeten en werd de Z-positie van de peilplaat bepaald. Daar per ponton (Trias-)positie een bepaalde strook werd bestreken (zie figuur 7), waarin de kelly telkens onder een andere hoek stond, was de kelly voorzien van een hellingmeter. Ook aan de peilplaat zelf werden twee hellingmeters bevestigd, voor de langs- en dwarshelling, om te bepalen of de peilplaat precies horizontaal hing.



Figuur 7 Patroon peilplaat Trias

## 5. Peil (on)nauwkeurigheid

De nauwkeurigheid van peilingen, uitgevoerd door de peilvaartuigen, kan worden beïnvloed door een aantal factoren namelijk:

- dieptemeetapparatuur (echolood)
- waterspiegelreductie
- plaatsbepalingsapparatuur
- bewegingen peilvaartuig
- overige oorzaken.

### 5.1 Dieptemeetapparatuur

#### 5.1.1 Frequentie en openingshoek transducer

De meest gebruikte frequenties bij echoloodapparatuur van 750 kHz, 210kHz en 30kHz hebben in water een golflengte van 0,2m, 0,75en respectievelijk 5 cm, hetgeen betekent dat de onzekerheid in echodetectie bij een goed detectiesysteem in de orde van 0,2 cm tot 5 cm zal liggen (doc 5).

Ten gevolge van de openingshoek van de transducer is een beperkt deel van de bodem zichtbaar. Uitgaande van een vlakke bodem en een slinger/stamphoek van het vaartuig van  $< 1/2 \cdot$  de openingshoek, zal de onnauwkeurigheid als volgt kunnen worden berekend:

$d$  = diepte

$\alpha$  = openingshoek in radialen

$d' = 1/8d \cdot \alpha^2$

Voorbeeld:

Diepte	210 KHz-7°	210 KHz-2°	30 KHz-30°
10 m	1,9 cm	0,2 cm	34,3 cm
20 m	3,7 cm	0,3 cm	68,5 cm
30 m	5,6 cm	0,5 cm	102,8 cm
40 m	7,5 cm	0,6 cm	137,1 cm

#### 5.1.2 Geluidssnelheid

De geluidssnelheid in water is afhankelijk van de temperatuur en de saliniteit volgens onderstaande globale formule:

$$V = 1410 + 4,21 T - 0,037T^2 + 1,14 S.$$

Ijking van het echolood kan geschieden door zowel de temperatuur als de saliniteit van het water te bepalen en dan uit deze gegevens, volgens een door de fabrikant bijgeleverde grafiek de geluidssnelheid te bepalen.

### 5.2 Waterspiegelreductie

#### 5.2.1 Getij

De fout op de dieptemeting ten gevolge van een veranderinge waterstand wordt bepaald door de nauwkeurigheid waarmee deze waterstand gemeten kan worden.

Zij bestaat uit de volgende twee onderdelen:

- nauwkeurigheid van de waterstandsmeters
- geldigheid van die waterstand voor een bepaald werkgebied (meter staat op zekere afstand).

Deze fout kan worden beperkt tot 5 cm.

#### 5.2.2 Golven/deining

Golven en deining veroorzaken een verticale beweging van het peilvaartuig, zodat deze afwisselend op een bepaalde wisselende afstand boven of onder de waterspiegel zit. Afhankelijk van de golf- of deiningshoogte kan deze fout variëren van 1 - 7 dm.

Het is mogelijk dat voor dit probleem een golfcompensator wordt gebruikt die de opgetreden beweging compenseert. Toch moet er dan nog worden gerekend met een fout van 10 cm, aangezien de bekende zogenaamde "Heave" meters geen grotere nauwkeurigheid hebben.

#### 5.2.3 Diepgang schip (squat)

De fout in compensatie voor de diepgang van het schip (afstand transducer tot wateroppervlak) wordt veroorzaakt door onder andere meer/minder mensen, volle/lege tanks, meer of minder inzinking bij verschillende vaarsnelheden of bij varen over ondieptes.

Deze fout bedraagt naar schatting 10 cm.

### 5.3 Plaatsbepalingsapparatuur

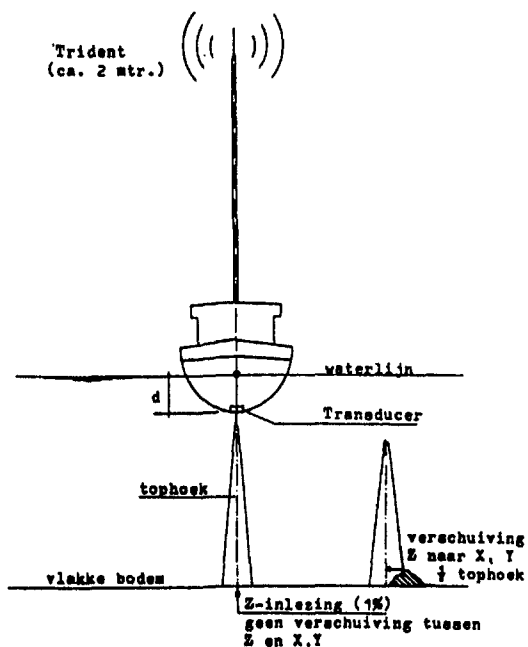
#### 5.3.1 Systemen

Bij gebruik van het Trident plaatsbepalingssysteem, waarbij met vier afstanden via een vereffeningsmethode, de meest juiste positie wordt berekend, bedraagt de absolute fout 2 m.

Bij gebruik van het Aga/Minilir plaatsbepalingssysteem bedraagt deze fout circa 0,1 m.

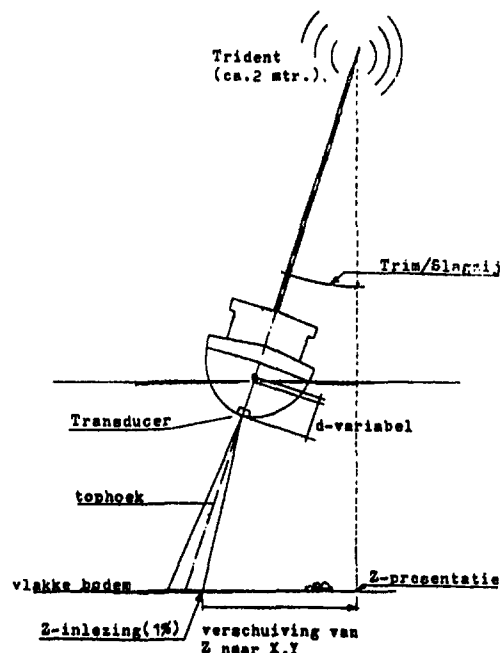
#### 5.3.2 Slingeren en stampen vaartuig

Daar onder weersomstandigheden tot windkracht 4 à 5 Beaufort werd gepeild, was het onvermijdelijk dat ten gevolge van de bewegingen van het vaartuig (met vaste mast



**Goede weersomstandigheden**

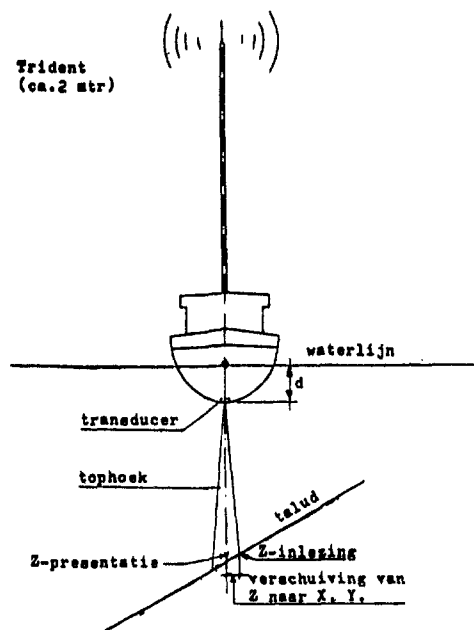
- nauwkeurigheid Trident plaatsbepaling ca. 2 meter (X, Y)
- diepte registratiefout; 1% van de waterdiepte
- afstand transducer-waterlijn geeft geen fouten (d)



**Slechte weersomstandigheden**

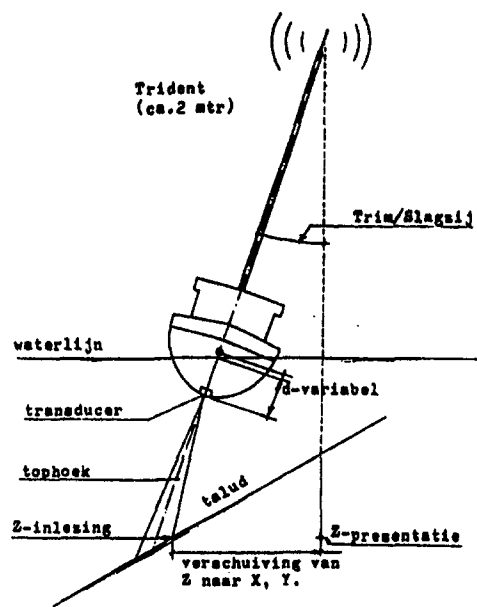
- nauwkeurigheid Trident plaatsbepaling ca. 2 meter (X, Y) + trim/slagzij + 1/2 tophoek
- diepte registratiefout; 1% van de waterdiepte + 1/2 tophoek + trim/slagzij
- tevens is de afstand transducer/waterlijn kleiner dan gebruikt wordt (d-var)

*Figuur 8 A Signaleert diep gedeelte  
B "ziet" bodem vlak*



**Goede weersomstandigheden**

- nauwkeurigheid Trident plaatsbepaling ca. 2 meter (X, Y) + 1/2 tophoek
- diepte registratiefout; 1% van de waterdiepte + taludhelling
- afstand transducer-waterlijn geeft geen fouten (d)



**Slechte weersomstandigheden**

- nauwkeurigheid Trident plaatsbepaling ca. 2 meter (X, Y) + 1/2 tophoek + trim/slagzij
- diepte registratiefout; 1% van de waterdiepte + trim/slagzij + taludhelling + afstand transd.-waterlijn is korter dan gebruikt wordt (d-var)

*Figuur 9 SURDRE - M-85042 peilen zandbodembepaling met de Scholekster  
SURDRE - M-84124 Peilen verwerken Interplot lodingen*

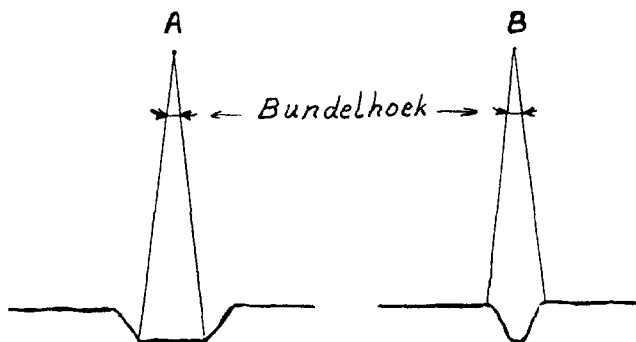


waarop de antenne voor de plaatsbepaling was geïnstalleerd) fouten voorkwamen in de plaatsbepaling (zie figuur 8 en 9).

### 5.3.3 Overige oorzaken

Bij bovenstaande opsomming is steeds uitgegaan van een redelijk vlak verlopende zandbodem.

Wanneer we met een echolood een bestort gebied moeten peilen doet zich nog het probleem voor dat onregelmatigheden, welke binnen het door de transducers bestreken vlak voorkomen, niet opgemerkt kunnen worden (zie figuur 10).



Figuur 10 Bij een helling of talud

## 5.4 Bewegingen peilvaartuigen

### 5.4.1 Vaste transduceropstelling

Peilvaartuigen waarvan de transduceropstelling vast was geïnstalleerd aan het vaartuig (alle peilvaartuigen in de Oosterscheldemonding met uitzondering van de Scholekster zie 5.5) hadden, indien ten gevolge van golven of deining het vaartuig slingerde of stampte, te maken met de volgende (z) onnauwkeurigheden.

- \* Bij een vlakke bodem
- \* Bij een helling of talud

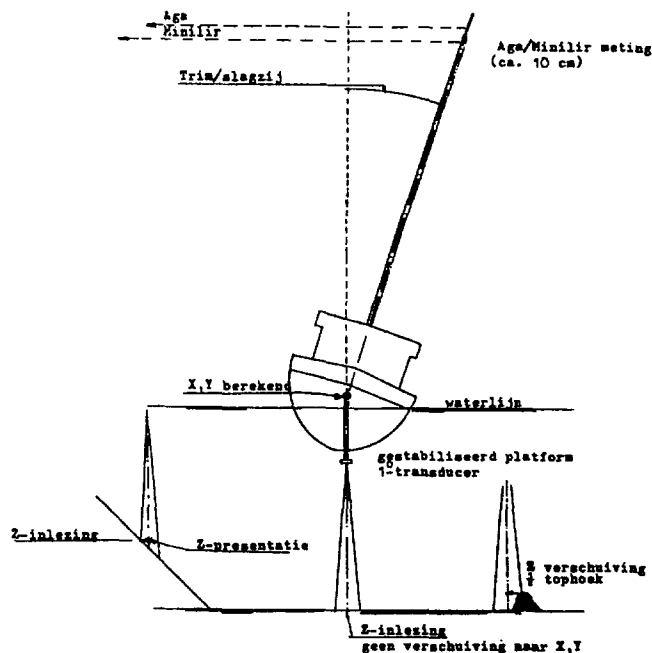
## 5.5 Gestabiliseerd platform met transduceropstelling

Om te voldoen aan de gestelde inspectie-eisen met betrekking tot de drempelopbouw (zie 4.1.1.1), waardoor werd voorkomen dat er onnodig veel meer materiaal moest worden verwerkt in verband met filter- en stabiliteitseisen van de drempel, was het noodzakelijk om òn de nauwkeurigheid van de plaatsbepaling op te voeren òn de peilingen zo zuiver mogelijk vertikaal uit te voeren met een kleine spreidingshoek. Voor de oplossing van het tweede probleem werd bij het Engelse bedrijf Ulvertech een gyro gestuurde, mechanisch gestabiliseerde opstelling voor een transducer ontwikkeld (zie figuur 11).

De gekozen transducer werkte bij 700 kHz met een openingshoek van 1 graad, waardoor op een diepte voor 30 m een cirkeloppervlak met een straal van 0,26 m kon worden "bekeken".

Het systeem was ondergebracht in een waterdichte container met in de bodem een bolscharnier, met onderaan de transducer.

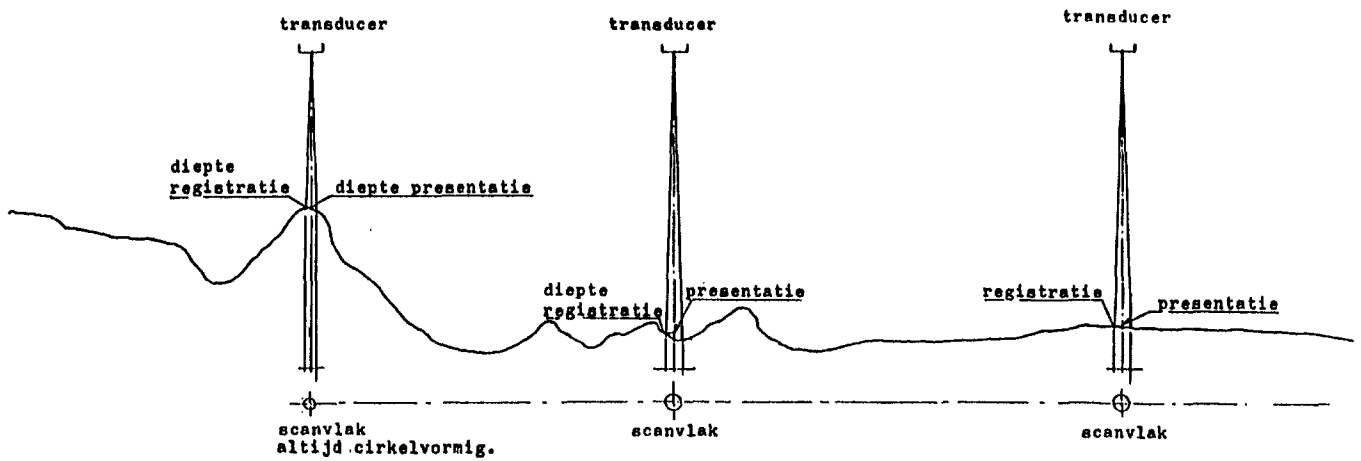
Boven op de bol was de stabilisatiegyro gemonteerd en daar waren eveneens de door de gyro gestuurde actuatoren bevestigd.



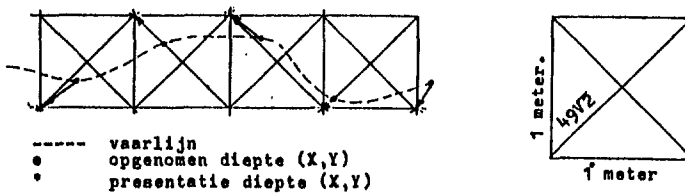
Figuur 11 Principe gestabiliseerd platform

Met het totale systeem was de stabilisatie van de transducer binnen circa 0,5 graad mogelijk bij een maximale slinger- en stampbeweging van circa 15 graden.

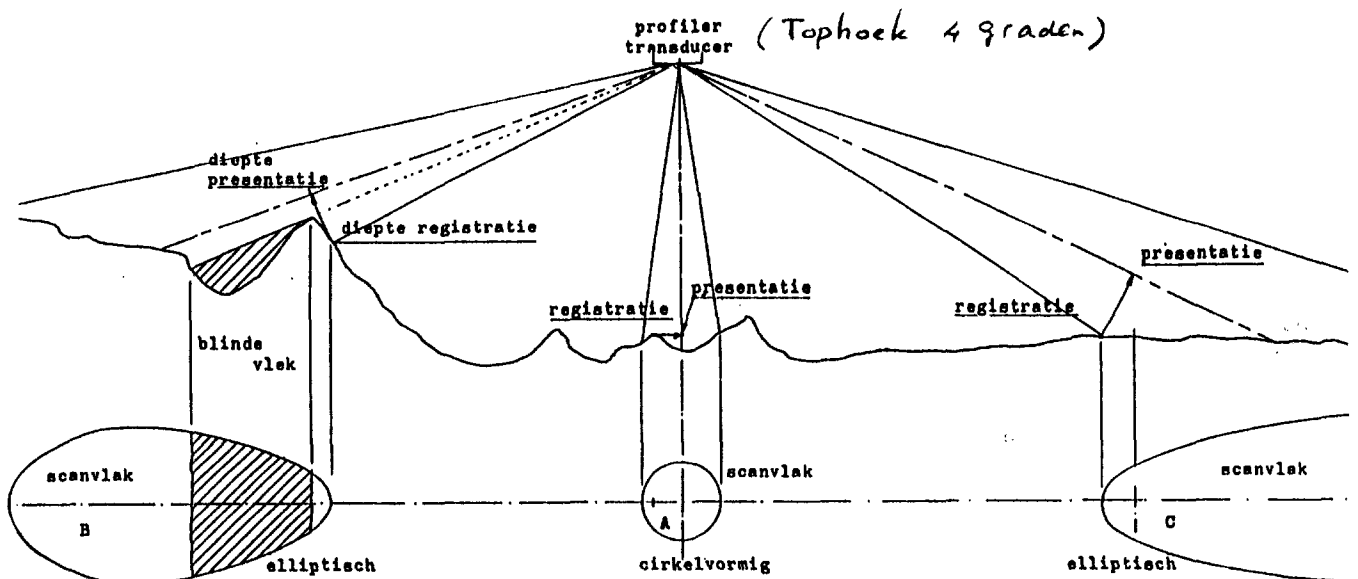
Het geheel werd ingebouwd in de drempelpeilboot (Scholekster) die voor de plaatsbepaling gebruik maakte van het Aga/Minilir-systeem samen met een koersgyro en een stamp- en slingergyro (Vertical Reference Unit) voor de aanvullende plaatscorrecties (zie deelnota 3 onder 3.1, stap 2).



Zowel kuilen als toppen worden geregistreerd met een kleine afwijking. In de voorbeelden vindt een kleine verschuiving van de Z naar X, Y plaats. (op een vlakke bodem en 30 mtr. diepte is de maximale Z-verschuiving 26 cm, op een talud is dit minder). In de ruwe kaartpresentatie kan een dieptecijfer maximaal 49√2 cm verschuiven, doordat de coördinaten (X en Y) afgerond worden op hele meters.



Figuur 12 Opname (principe) drempelpeilboot Scholekster vanuit drie verschillende posities

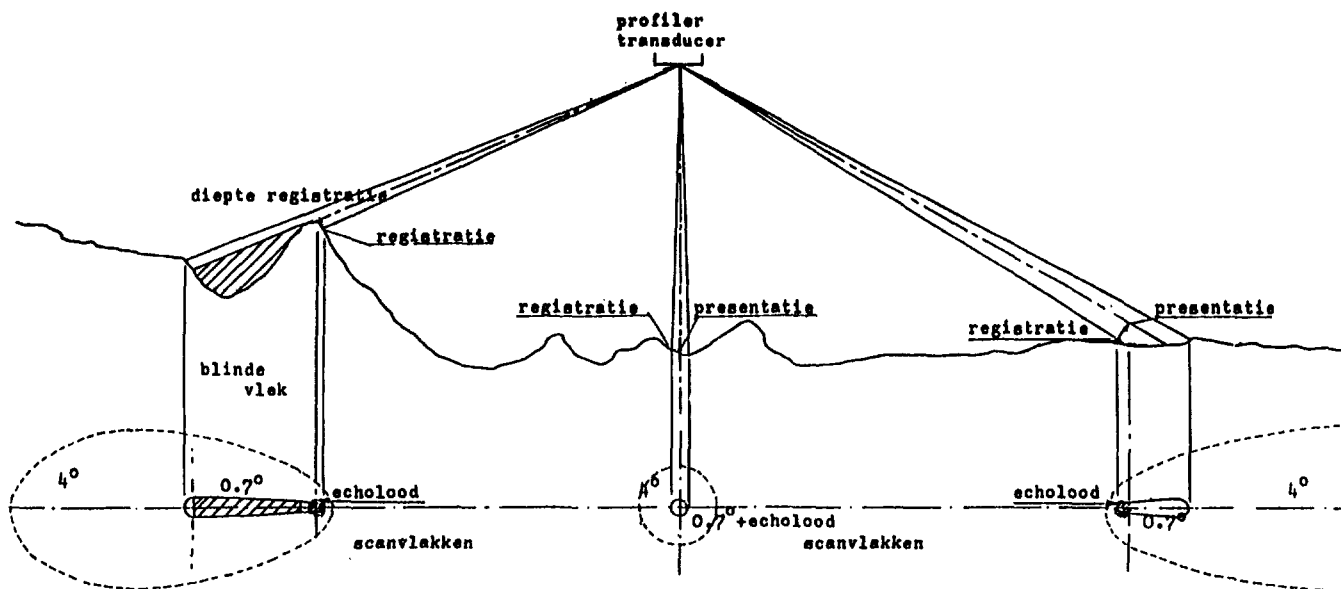


Situatie A. Hier wordt vrijwel haaks op de bodem gescanned, echter de bundel registreert de rand van de kuil en presenteert deze op de aslijn. Er vindt dus een aanzienlijke verschuiving plaats van de Z naar een andere X, Y. Deze verschuiving kan maximaal de halve tophoek zijn. Het gat wordt dus niet als zodanig gepresenteerd. (het wordt "dicht gestreken").

Situatie B. In deze situatie wordt een bodemprofiel vrij vlak afgescanned. Het scanvlak is groot en doordat er een top in het profiel zit registreert de profiler een "blinde vlek". Het bodemvak direct achter de top zal door de transducer nooit waargenomen worden. Het gat zal blanco gepresenteerd worden. De diepteregistratie vindt op een ander punt plaats dan de presentatie ervan. Er vindt dus een X, Y en Z-verschuiving plaats.

Situatie C. De bundel scanned vrij vlak, maar er zijn geen "blinde vlekken". Het scanvlak is erg groot. Doordat de eerst ontvangen echo geregistreerd wordt en gepresenteerd op de aslijn, vindt wederom een verschuiving van X, Y en Z plaats.

Figuur 13 Opname (principe) profiler vanuit een positie met een tophoek van vier graden



- Deze echets geeft de situatie aan bij gebruik van een profiler, type 965.  
 In het bovenaanzicht zijn de verschillen in scanvlak grootte tussen 0,7-graads profiler en echolood en 4-graads profiler weergegeven.
- Er kan gesteld worden dat de profiler, scannende, praktisch altijd ondieper presenteert dan registreert. Tevens verschuift de Z bijna altijd in de X- en Y-richting.
  - Loodrecht op vlakke bodem heeft het scanvlak de vorm van een cirkel. Als de hoek transducer-bodem groter wordt zal het scanvlak steeds meer de vorm van een groter wordende ellips aannemen.

Figuur 14 Opname (principe) profiler vanuit een positie met tophoek van 0,7 graad met ook geprojecteerd een tophoek van vier graden

## 5.6 Vergelijk opnameprincipe drempelpeilboot en profiler

### 5.6.1 Drempelpeilboot Scholekster

Tophoek transducer 1 graad; scanvlak in 15 meter water is  $\varnothing$  26cm haaks op de bodem (zie figuur 12).  
 Frequentie 710 kHz (doc. 6).

### 5.6.2 Profilers

#### 5.6.2.1 Transducertype Mesotech 952

Tophoek 4 graden; scanvlak in 15 meter water is circa  $\varnothing$  104 cm haaks op de bodem (zie figuur 13).

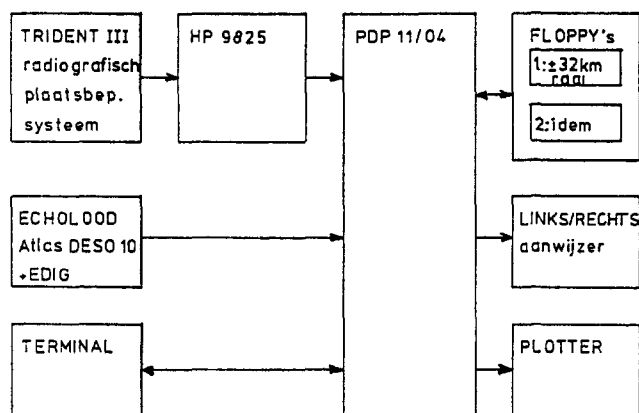
#### 5.6.2.2 Transducertype Mesotech 965 (Wijker Rib/Trias)

Tophoek 0,7 graad, Het scanvlak op 15 meter diepte heeft een diameter van 25 cm haaks op een vlakke bodem (zie figuur 14).

## 6. Automatisering peilingen

### 6.1 Het boord- of opname systeem

Het Interplot boord- of opnamesysteem verzorgde de data collectie van de benodigde diepte en plaatsgegevens. Tevens kreeg de schipper hieruit, via een links/rechts aanwijzer, informatie betreffende de praktische afwijkingen van de theoretisch te varen raai, waarvan de gegevens vooraf in het systeem waren ingevoerd.



Figuur 15 Configuratie Boordsysteem

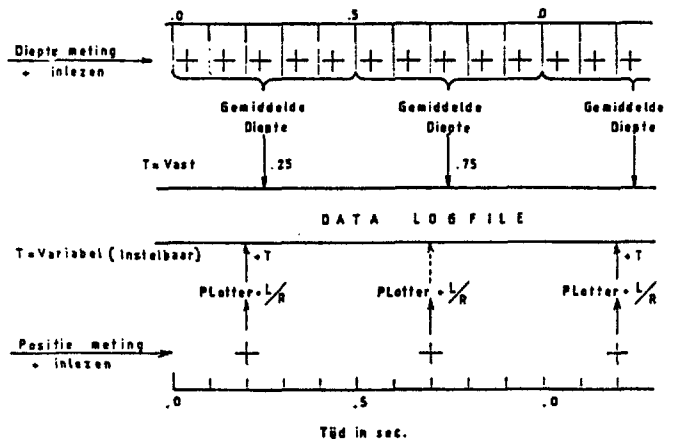
Het systeem was opgebouwd rond een Digital PDP 11/04 minicomputer (zie figuur 15). Hierop waren aangesloten:

- het Trident III radiografisch plaatsbepalingssysteem (via een Hewlett Packard (HP) 9825 microcomputer);
- het Atlas Deso 10 Echolood (via een digitaal omzetter);
- een terminal voor de benodigde werkinstructies;
- 2 floppy disks;
- een links/rechts aanwijzer;
- een plotter voor grafische uitvoer.

De floppy's bevatten enerzijds de aan het walsysteem ontleende vaste gegevens voor de te varen raaien en dienden anderzijds voor de opslag van (voor verdere bewerking aan de wal) geschikt gemaakte gegevens. Het inwinningsprincipe van de plaatsgegevens beruiste op het eenmaal per seconde inlezen van een positie op een vastgestelde tijd.

In een fractie van een seconde werden dan de vier afstanden gemeten waaruit door de HP 9825, met een vereffening volgens de kleinste kwadratenmethode, de positie werd berekend. De inschakeling van de HP9825 was historisch gegroeid; in principe kon deze berekening door de PDP 11/04 worden verricht. Tussen twee werkelijke metin-

gen voor de data-opslag vond nog een meting plaats die alleen voor de navigatie werd gebruikt. De gevarenroute werd eveneens op de trackplotter afgebeeld (doc. 7). Het echolood mat 10 keer per seconde een diepte die door het boordsysteem werd ingelezen. De opeenvolgende meetwaarden werden getoetst aan een, door de operator in te stellen, toelaatbaar verschil. De als goed aangemerkte waarden die binnen een halve seconde waren ingelezen werden als gemiddelde genomen en dit gemiddelde werd in de data-file opgeslagen.



Figuur 16 Schema data-inwinning

Per seconde ontstonden zo twee gemiddelde diepten die behoorden bij tijden .25 en .75 seconde.

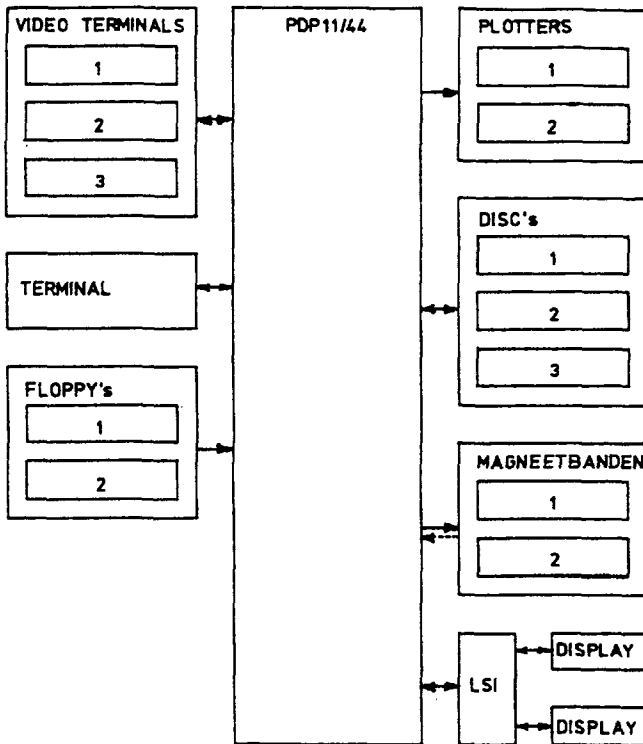
De gegevensinwinning van plaats en gemeten diepte vond tot en met de primaire bewerkingen onafhankelijk van elkaar plaats, maar waren door de tijdschaal aan elkaar gekoppeld (zie figuur 16).

In de data-opslag van het boordsysteem kwamen deze gegevensstromen wel bij elkaar, maar een wezenlijke koppeling van plaats en diepte had dan nog niet plaatsgevonden. Dit gebeurde pas in de walverwerking van de gegevens. Voor de controle achteraf werden zowel de echoloodrol als de trackplot van de gevaren route om de 10seconden van een merkteken voor de tijdschaal voorzien.

In principe konden op de floppy's opgeslagen gegevens met behulp van het boordsysteem verder worden verwerkt tot bijvoorbeeld profielen. De mogelijkheden daartoe waren echter beperkt. Hierop zal niet verder worden ingegaan. Het hierna te behandelen walsysteem bood voor de verdere verwerking veel meer mogelijkheden.

## 6.2 Het wal- of verwerkingssysteem

Het verwerkingssysteem was opgebouwd rond een Digital PDP 11/44 computer, waarvan de configuratie schematisch is weergegeven in figuur 17.



Figuur 17 Configuratie walsysteem

Het systeem bood de mogelijkheid om maximaal vier operators tegelijkertijd de diverse handelingen te laten verrichten. In de praktijk werd alleen gewerkt op de drie video-terminals en was de vierde terminal alleen in gebruik als systeemcontrole voor het opstarten en stoppen van het systeem en de weergave van systeembodschappen, waaronder foutmeldingen.

Van de drie disk-drives was er één voor een groot deel bezet met vaste invoergegevens zoals:

- het werkprogramma van de computer: RSX-11M, een realtime multi-user/multi-asking programma;
- de applicatieprogramma's;
- de Mapdescriptor file, een permanente data-opslag waarin alle gegevens over de contouren van het werkgebied alsmede de kaartgegevens eenmalig met de hand waren ingevoerd.

Uit de Mapdescriptor file konden alle benodigde vaste gegevens voor de presentatie van een bepaalde kaart worden ingelezen.

De rest van de diskruimte was opgevuld met een werkbestand en omvatte een aantal zogenaamde surveyfiles waarin de vaste raaigegevens en de variabele dieptegegevens met bijbehorende posities waren opgeslagen.

Uit dit werkbestand werden de floppy's van het boordsysteem met invoergegevens geladen. Andersom werden de opnamen van het boordsysteem vanuit de floppy's na een aantal bewerkingen in dit werkbestand opgenomen waarbij iedere opname die werd ingelezen, de voorgaande opna-

me (van eenzelfde raai) overschreef, tenzij anders werd ingevoerd. In principe zat dus de meest recente opname van het gehele werkgebied in het werkbestand.

De magneetbandeenheid werd gebruikt voor de opslag van gegevens op langere termijn.

Met het inlezen van de opnamegegevens werden de gemeten waterdiepten tegelijkertijd gecorrigeerd voor de waterstand volgens een vast op te geven verhouding tussen de waterstandgegevens van twee getij-meetstations. Deze gegevens werden on-line ontleend aan het centraal inwinstation VCZ van Histos (zie ook deelnota 2). Naar keuze konden de gewenste meetvoorwaarden (maximaal 40) van een aantal stations automatisch worden ingelezen.

Bij het inlezen van de peildata kon eveneens een correctie voor de geluidssnelheid aan de hand van met de hand ingevoerde ijkgegevens, worden uitgevoerd.

In de survey-file kwam pas de eigenlijke koppeling tussen de diepte en plaats tot stand door de opname van een diepte met de bijbehorende x en y waarde. De in het boordsysteem opgenomen plaatsgegevens werden omgerekend naar het juiste tijdstip van peiling (zie figuur 16).

Met behulp van drie gemeten posities werd een tweede graadskromme berekend waarop door middel van de tijdschaal de juiste plaats van de peiling werd geïnterpoleerd. Ter beperking van benodigde opslagcapaciteit werd voor de plaatsgegevens intern in het systeem gewerkt met gereduceerde coördinaten tot op meters nauwkeurig. Om dezelfde reden werden de dieptes na correctie opgeslagen in decimeters.

De eerste bewerking van de gegevens in de surveyfile was een controle op de juistheid daarvan.

Via een programma konden op een grafische display de gegevens als een bodemprofiel en een gevaren route op dezelfde lengteschaal worden weergegeven. In deze lijnen moest een zekere logica zitten ten opzichte van de fysieke werkelijkheid.

Via een commando konden als foutief aangemerkte gegevens worden verwerkt.

Indien er duidelijk sprake was van een storing in de plaatsbepaling, konden tussen twee als goed aangenomen posities de tussenliggende posities door rechthoekige interpolatie worden gewijzigd.

Op deze wijze werden alle opgenomen gegevens gecontroleerd en zo nodig gecorrigeerd en bleven als zogenaamde ruwe data in de surveyfile bewaard.

Door een validatieproces konden van deze ruwe data gevalideerde data worden gemaakt. In dit validatieproces werden op de theoretische raai op regelmatige afstand de zogenaamde evaluatiepunten uitgezet.

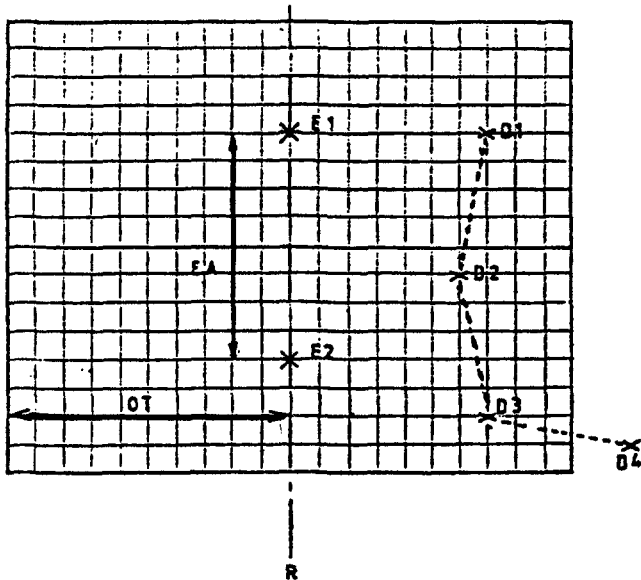
Om zo'n evaluatiepunt werd een vakje gedacht met als halve breedte de zogenaamde off-track-tolerance en als halve hoogte de helft van de afstand tussen twee opeenvolgende evaluatiepunten (zie figuur 18).

De gemeten diepten van alle werkelijke meetpunten binnen zo'n vakje werden gesommeerd. De gemiddelde waarde gold als gevalideerde diepte op het validatiepunt. Op deze wijze ontstond uit een ruwe datakaart een gevalideerde datakaart (zie figuur 19).

Uit het ruwe of gevalideerde databestand kon worden geput voor diverse presentaties en berekeningen die mogelijk waren, zoals:

- trackplotterkaarten;
- dieptecijferkaarten met ruwe data;
- dieptecijferkaarten met geëvalueerde data;

- dieptecijferkaarten met ruwe- of gevalideerde data tussen een op te geven maximum en minimum diepte;
- verschilkaarten uit de gevalideerde data van twee verschillende opnamen;
- verschilkaarten tussen de opgenomen data en een theoretisch profiel.



- R = Theoretische raai
- P = Gevaren raai
- ER = Evaluatie punt afstand
- OI = Afstand tot de theoretische raai waarbinnen diepte nog meegerekend wordt voor En, z.g. Offtrack-tolerance
- E1 = D1
- E2 = (D2 + D3) / 2

Figuur 18 Data evaluatie

In al deze presentaties konden naar keuze de contouren en/of de theoretische lijnen van het te maken werk worden getekend.

Uit de gevalideerde data konden profielen worden gepresenteerd op een te kiezen horizontale en verticale schaal met maximaal tien opgenomen profielen.

Tevens konden hoeveelheden worden berekend als verschil tussen twee opnamen, rekening houdend met het te maken theoretische profiel en de daarop toegestane toleranties. Zowel hoeveelheden in profiel van ophoging als ontgraving konden worden berekend.

Uit het op magneetband vastgelegde ruwe-data bestand konden elders dieptelijnenkaarten worden geproduceerd, bijvoorbeeld voor de bewaking van morfologische ontwikkelingen in het betreffende gebied.

De in het opname- en verwerkingsproces ingebouwde controles maakten de resultaten voldoende betrouwbaar.

Data gevalideerd en getekend volgens de gevaren track

oc	oc
629.100	629.200

0.1				
2.0	2.1	0.0		
1.9	2.0	2.1		
2.2	2.1	2.4		
2.2	2.1	2.2	1.1	
2.7	2.5	2.3	2.2	+0.0
5.9	2.6			
7.6	6.5	2.9	2.4	1.8
8.1	8.2	5.0	3.0	2.5
	8.9	8.2	4.8	2.5
8.5	9.2	9.6	7.4	3.5
8.4	9.2	9.3		3.3
			7.4	4.6
7.8	8.6	9.5	7.8	5.2
		8.9	8.1	6.4
7.9	8.5	8.1	9.4	7.6
7.7		7.7		
	7.7		9.2	9.9
7.9	7.8	8.5	8.3	10.8
			9.4	10.9
7.6	8.0	8.8	10.0	
	7.9			11.6
8.0	8.1	8.7		
7.7	7.9	8.3	9.6	
7.5	7.8	7.9	8.9	11.0
	7.6	7.7	8.8	
7.4	7.5		8.5	9.3

Data gevalideerd en getekend volgens de theoretische track

oc	oc
629.100	629.200

0.1				
2.0	2.1	0.0		
1.9	2.0	2.1		
2.2	2.1	2.4		
2.2	2.1	2.2	1.1	
2.7	2.5	2.3	2.2	+0.0
5.9	2.6			
7.6	6.5	2.9	2.4	1.8
8.1	8.2	5.0	3.0	2.5
	8.9	8.2	4.8	2.5
8.5	9.2	9.6	7.4	3.5
8.4	9.2	8.3		3.3
			7.4	4.6
7.8	8.6	9.5	7.8	5.2
		8.9	8.1	6.4
7.9	8.5	8.1	9.4	7.6
7.7		7.7		
	7.7		9.2	9.9
7.9	7.8	8.5	8.3	10.8
			9.4	10.9
7.6	8.0	8.8	10.0	
	7.9			11.6
8.0	8.1	8.7		
7.7	7.9	8.3	9.6	
7.5	7.8	7.9	8.9	11.0
	7.6	7.7	8.8	
7.4	7.5		8.5	9.3

Figuur 19 Dieptecijferkaarten

---

## 7. Inspectiemiddelen/conclusies

---

### 7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt, zei het niet uitputtend, nader ingegaan op de inspectiemiddelen die onder andere werden gebruikt tijdens de opbouw van de drempel- en overgangsconstructie.

De inzet van sonar ten behoeve van inspecties in het Carjanbedrijf wordt eveneens behandeld.

Omschreven wordt hoe het inspectiemiddel werkte en wat de conclusies waren.

### 7.2 Sonar

Met Side Looking Sonar (S.L.S.) zijn, ten behoeve van de Stormvloedkering, onderzoeken verricht op toepassingsmogelijkheden.

Uit proeven (doc. 8) bleek onder meer dat:

- de ligging van grind op zand kon worden gedetecteerd waardoor de grootte van een grindstort en aansluitingen op eenvoudige wijze kon worden vastgesteld;
- asfaltranden goed waarneembaar waren;
- aanzanding op asfalt waarneembaar was in de vorm van ribbels (met de 100 kHz transducer);
- het verwijderen van zand op asfalt door de Jan Heymans goed was te volgen;
- blokken van de betonblokkenmat duidelijk waren te onderscheiden (met de 500 kHz transducer).

Diverse sonaropnamen werden geverifieerd door duikerinspecties. In het algemeen werd daarbij een goede overeenstemming tussen deze waarnemingen vastgesteld.

Deze informatie gaf vertrouwen in het systeem, waarna werd besloten de sonar in te zetten als inspectiemiddel.

Voor de interpretatie van sonarbeelden was de gedetailleerde kennis van de geometrie onontbeerlijk. Vooral in relatieve zin kon van de sonarbeelden ook worden gemeten.

De beste interpretatie ontstond uit samenspraak tussen het personeel, dat de opnamen maakte en de gebruikers.

Bij goede planning konden sonaropnamen, zonder onderbreking van het werk, ook vanaf de werkschepen worden gemaakt.

Van belang was slechts, dat de opnamen werden gemaakt op momenten dat de werkschepen niet boven het te nemen gebied lagen. Deze momenten kwamen binnen de normale werkcyclus voldoende frequent voor.

Figuur 20 geeft een voorbeeld van een sonaropname (S01).

Duidelijk is te zien, dat de bovenmat zich anders aftekent dan de ondermat.

Verder zijn de donkere reflecties van stiknaden en noordelijk talud van de negatieve overlap goed te zien. Het zuidelijke talud van de negatieve overlap is zichtbaar als een

lichte vlek (dit is géén aanzanding maar een zogenaamd schaduwgebied, zie ook figuur 3).

#### 7.2.1 Werkmethode

Bij het maken van een opname werd de sonarvis voortgesleept door het water door een vliet (meestal was dit de "Steenvliet, soms de "Houtvliet" of de "Schollevaar").

De gevaren raaien waren doorgaans in oost/west richting, bij uitzondering voor speciale opnamen in noord/zuid richting.

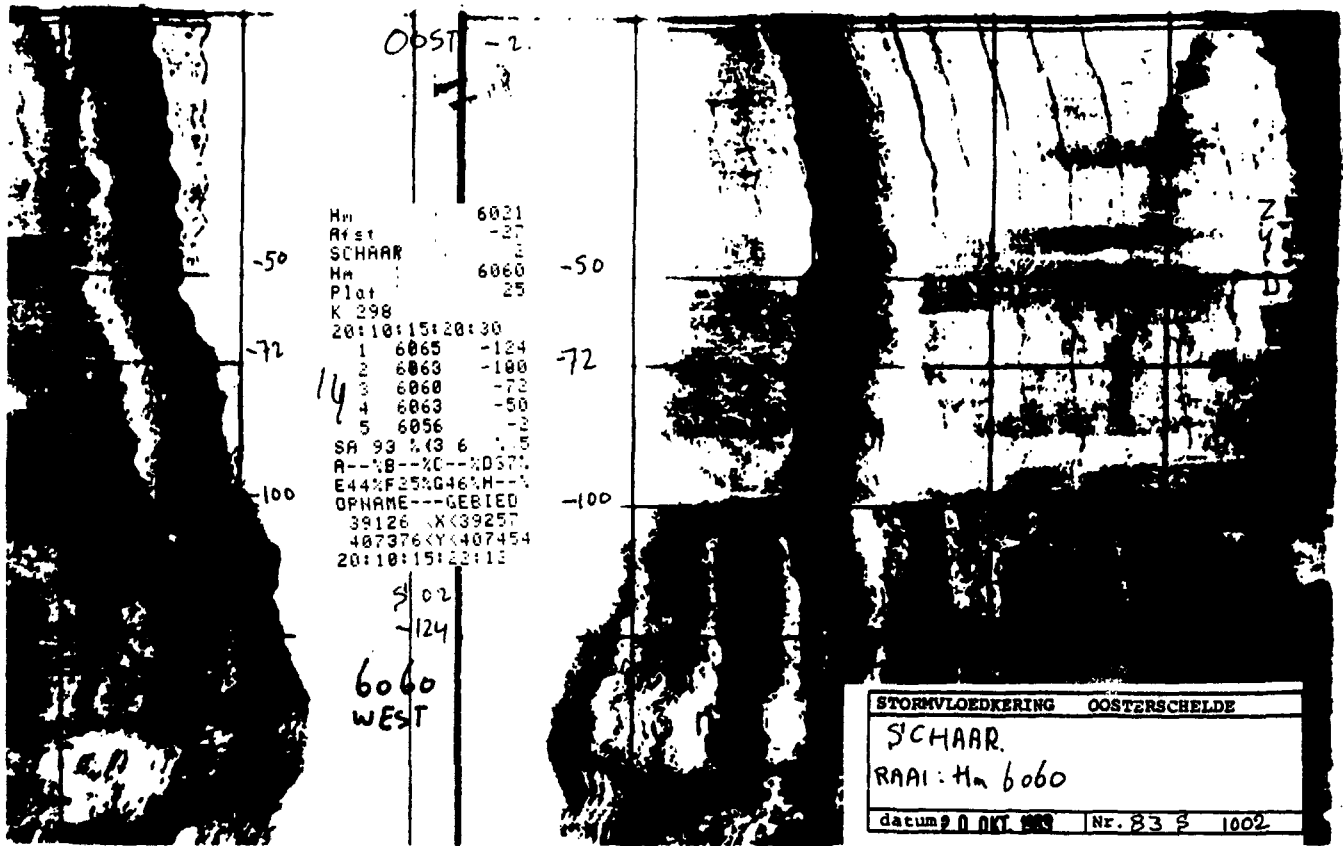
Er is gewerkt met twee frequenties, 100 kHz en 500 kHz.

Het verschil in frequentie was noodzakelijk omdat de 100 kHz-vis een groot afstandsbereik had en minder detailinformatie en de 500 kHz-vis een klein afstandsbereik had en veel detailinformatie (zie ook 3.2.2). Afhankelijk van het doel van de inspectie kon een frequentie worden gekozen.

#### 7.2.2 Sonarinspecties in het Carjanbedrijf

De volgende sonarinspecties vonden (standaard) plaats in de werkcyclus.

- Opnamen van het grof gedustpande bed (uitsluitend in begin periode Hammen). Grindruggen en obstakels waren aantoonbaar. Ook kon worden waargenomen in hoeverre bodembeschermingen, waarop de matten moesten aansluiten, zandvrij waren.
- Opnamen voorafgaand aan het leggen van bovenmatten. Hierbij werd informatie verkregen over het aanwezige zand (zandbezwaar) naast het op te schonen gebied. Opschoontactiek en het gebruik van de Asterias werden mede hierop gebaseerd.
- Opnamen tijdens of vlak voor en eventueel vlak na de vlakheidsmetingen. Dit was een duidelijke "ja-nee"waarneming. De mat werd als voldoende zandvrij beschouwd wanneer ten minste de stiknaden duidelijk en het overige oppervlak van de mat vaag zichtbaar was (mat scheidt er doorheen).
- Opnamen voor het ontzanden en/of ontgrinden van matranden ten behoeve van het bestorten van de negatieve overlap. Beslissingen omtrent ontzanden en ontgrinden werden vrijwel uitsluitend op basis van sonaropnamen genomen.
- Opnamen na ontzanden en/of ontgrinden van de matranden. De ontzandings- en ontgrindingsresultaten werden voornamelijk aan de hand van sonarbeelden bepaald.

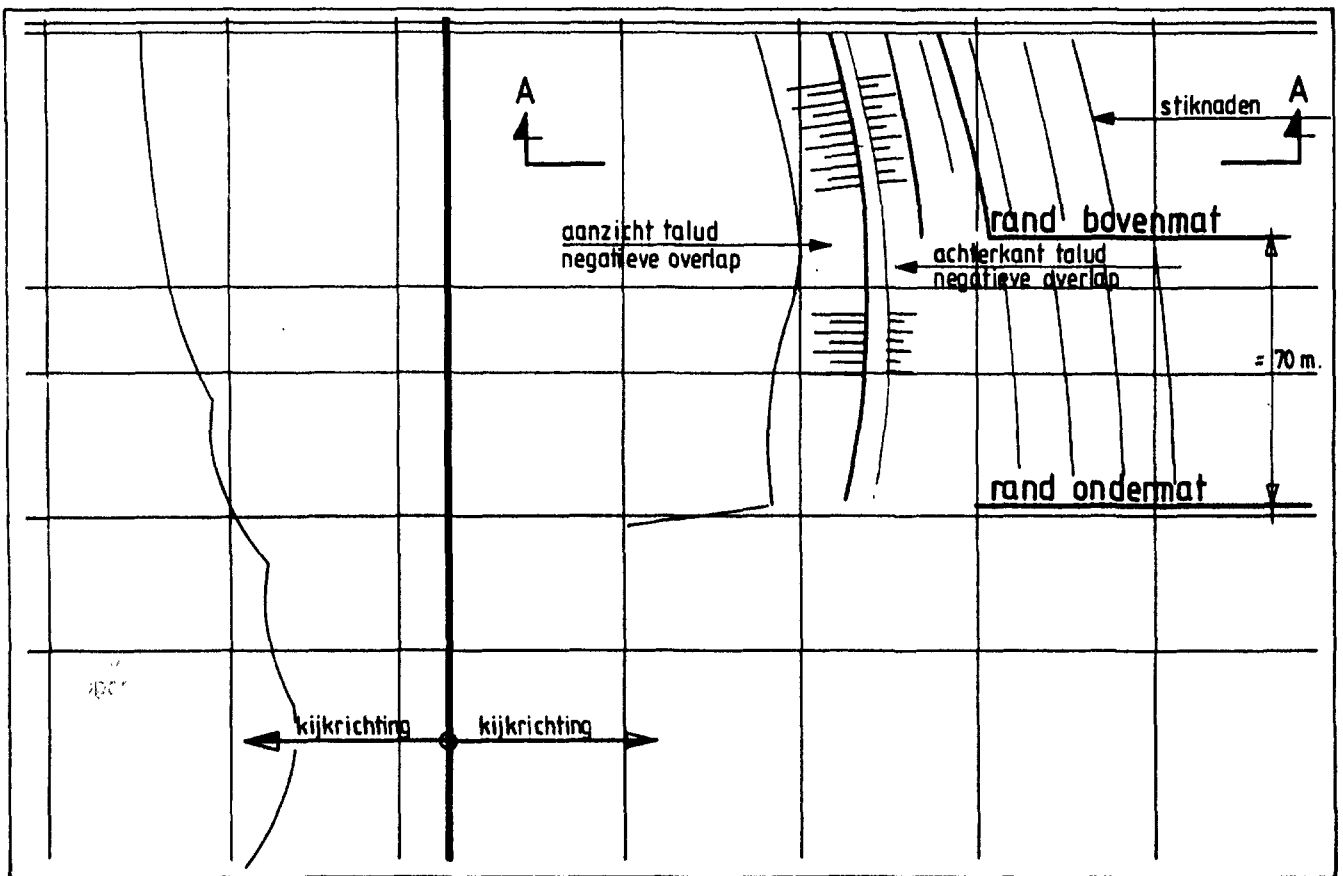


S03

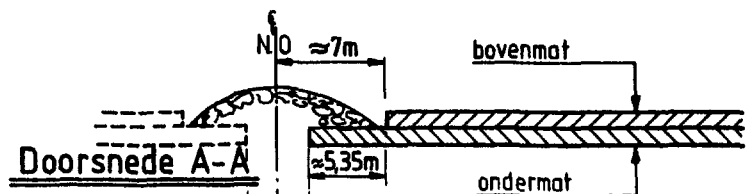
S02

Sonar opname

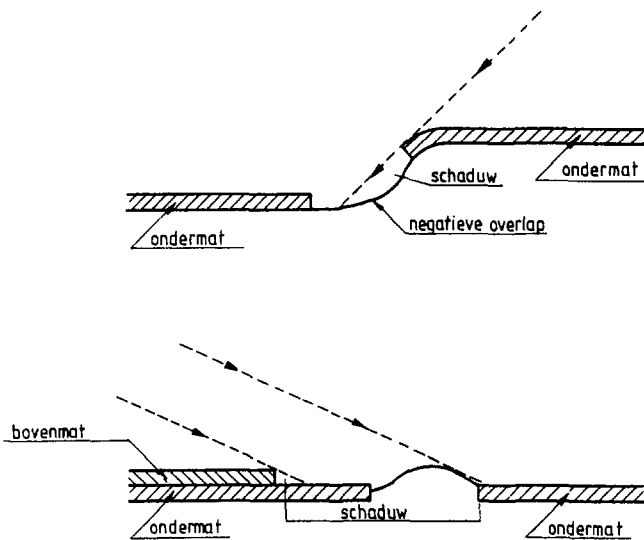
S01



Figuur 20 Sonar opname locatie S01







Figuur 21 Schaduwgebieden sonaropname

Als eis werd gehanteerd, dat de matrand over ten minste 1 m breedte goed zichtbaar moest zijn. Vooral bij afhingende matranden was het noodzakelijk sonaropnamen uit twee richtingen te maken; dit in verband met het schaduweffect van taluds. Een schaduwgebied (lichte vlek) kan gemakkelijk als zand worden gelezen (zie figuur 21).

Zichtbare stiknaden vereenvoudigden de interpretatie, omdat uit de bekende afstand tussen de stiknaden (4 m) de schaal van het sonarbeeld nauwkeurig was af te leiden. Hieruit volgde de theoretische ligging van de matrand, waardoor de sonarbeelden beter geanalyseerd konden worden.

Incidenteel werd, ingeval van twijfel bij moeilijk te interpreteren beelden, aanvullend duikonderzoek verricht.

- Opnamen voor het eventuele ontzanden van het grind 30/60 mm van de negatieve overlap.

Eis was, dat een strook van ten minste 9 m breedte vrijwel schoon moest zijn, wat wil zeggen dat deze strook ten minste een donkergrijze reflectie moest geven.

In het algemeen werd ook als eis gesteld, dat de rand van de bovenmat ten minste nog juist zichtbaar moest zijn.

In verband met de schaduwwerking van de taluds moesten ook hier veelal van twee richtingen opnamen worden gemaakt.

- Opnamen van de gestorte erosiebescherming. Deze opnamen werden veelal gecombineerd met de opnamen ten behoeve van de te bestorten negatieve overlap.
- Controle negatieve overlap. Plaatselijke verstoringen in de basalt van de negatieve overlap was goed te zien op de sonarbeelden.

### 7.2.3 Sonarinspecties in het drempelbedrijf

Sonarinspecties werden in het drempelbedrijf voornamelijk toegepast voor de volgende onderdelen (doc. 9).

- detectie schades aan funderingsmatten
- controle op en localiseren van vervuiling of aanzanding op funderingsmatten
- aanwezigheid gesloten steenlaag
- relatieve ligging randen stort

- aansluiting steenlagen aan pijlerwand
- inzanding van stort
- afdekking van ondergrond door steenlaag
- aanwezigheid damwandschotten in dorpelbalk sponning
- ligging "kraters" verdichtingsplaats Manus.

Gedurende de werkzaamheden aan de opbouw van de drempel hebben er nog enige ontwikkelingen plaatsgevonden.

Zo werden steeds gedetailleerder opnamen van de slootjes gemaakt om de duikers optimale voorinformatie te geven.

Ook heeft in het noordelijke deel van de Roompot de conditiebewaking van de Noma's voor een groot deel plaatsgevonden met behulp van sonar.

Het inspecteren van de damwandschotten in de sponningen werd in een latere fase steeds meer verscherpt.

In de loop van het werk werd ook de apparatuur aangepast om een nog betere resolutie en een voor het te inspecteren onderdeel optimale opname-afstand te kunnen verkrijgen.

### 7.2.4 Conclusies

Het aanvankelijk matig ingeschatte gebruik van sonar is uitgegroeid tot een volwaardige en uiterst effectieve inspectiemethode door een snelle visuele presentatie van hetgeen werd waargenomen.

Gebleken is dat sonarinspecties zeer goed bruikbaar zijn voor het al of niet aantonen van zand. Het schatten van laagdiktes was niet mogelijk.

De aanwezigheid van verspreid grind op overigens schone matten was vrijwel niet te detecteren.

De voorwaarden voor het gebruik van sonar zijn:

- Gunstige omstandigheden. Het beeld wordt al beduidend slechter wanneer men last heeft van turbulentie in het water (ten gevolge van hoge stroomsnelheden en/of het assisteren van sleepboten bij werkschepen) dan wel van hoge golven. Bruikbare sonaropnamen met het 100kHz-systeem kunnen in het algemeen niet worden gemaakt bij golven hoger dan circa  $H_s = 0,5m$ .
- Het 500 kHz-systeem is nog veel gevoeliger voor ongunstige omstandigheden dan het 100 kHz-systeem.
- Interpretatie is alleen mogelijk na voldoende ervaring en met de nodige voorkennis van de geometrie en de aard van de constructies die worden bekeken. De opname is meestal pas goed te beoordelen wanneer men opnamen heeft uit twee tegenovergestelde richtingen. Dit was echter niet altijd mogelijk, bijvoorbeeld door de posities van de werkschepen c.q. boegbakken of draden op de wal.

Het inspectiemiddel heeft vrijwel geheel aan de gestelde eisen en verwachtingen voldaan. Het bleek mogelijk, afhankelijk van het te inspecteren onderdeel, een optimale sonartechniek te ontwikkelen.

## 7.3 Peilen

### 7.3.1 Werkmethode Scholekster

Standaard werden de peilingen met de drempelpeilboot Scholekster uitgevoerd in zogenaamde 5-m tracks.

Deze tracks (gevaren raaien) liepen voor het drempelpeil-

werk loodrecht op de as van de stormvloedkering en lagen 5 m uit elkaar.

Waar een hogere peildichtheid was vereist werden funny-tracks gevaren. Funny-tracks waren willekeurig gevaren raaien die, qua locatie, later in het walverwerkingssysteem werden uitgeplot. Met deze methode kon onder optimale omstandigheden een dichtheid worden bereikt van circa 1-peilpunt per m<sup>2</sup>.

#### 7.3.1.1 Peilinspecties drempelbedrijf

Peilingen werden uitgevoerd voor de volgende bouwfases:

- uitvul- en onderlagen drempel (diepte + dikte);
- opbouw en afwerken kern (diepte + dikte + begrenzing);
- toplaag (diepte + dikte + begrenzing + taludhelling).

Aanvankelijk was gepland om alle drempelstorts met behulp van 5m-track peilingen te keuren. Al gauw bleek deze peildichtheid voor sommige gebieden te gering. Mede gezien de ontwikkeling van het keuringsverhaal voor het dorpelbalkgebied en de taludhellingen van de drempelkern was een grotere peildichtheid nodig. Dit is gedeeltelijk opgevangen door funny-tracks te gaan varen met de Scholekster. Voor het uitwerken van de funny-tracks was de Scholekster en het walverwerkingssysteem eigenlijk niet optimaal uitgerust. Anderzijds is de Wijker Rib ingezet om profileropnamen te maken van genoemde gebieden. Beide inspectiemethoden waren eigenlijk niet meer los te zien van elkaar en vormden samen de basis voor de keuringen en werkvoorbereidingen.

In eerste instantie was gedacht de Schollebaar incidenteel in te zetten voor het drempelbedrijf, bijvoorbeeld tijdens een onderhoudsbeurt Scholekster.

De resultaten hadden echter niet de vereiste nauwkeurigheid, ook niet in minder kritieke gebieden.

Deze peilmethode is daarna dan ook niet meer toegepast.

#### 7.3.1.2 Conclusies

De resultaten van de Scholekster-peilingen en het walverwerkings

systeem hebben geheel voldaan aan de in de voorbereidingsfase gestelde eisen.

Gezien de ontwikkeling van het keuringsverhaal en de strengere eisen vanuit het toplaagstorterbedrijf ware het beter geweest een soepeler en flexibeler peil- en verwerkingssysteem beschikbaar te hebben. In die situatie zouden dan ook funny-tracks bewerkt kunnen worden, er zou een peilsysteem opgezet kunnen worden onafhankelijk van vaste raaien en er zou bijvoorbeeld met een “schuin kijkend” gestabiliseerd transducer platform gevaren kunnen worden. Met dit laatste zou dan ook bijvoorbeeld de aansluiting van steen aan de pijlerwand (beter) gecontroleerd kunnen worden.

Bij dit flexibeler systeem zou de Scholekster (indien kenteringen genoeg beschikbaar) vele taken van de Wijker Rib met de profiler hebben kunnen overnemen.

#### 7.3.2 Handlodingen

Een handloding was een dieptepeiling die plaatsvond met een gemerkte draad met lood en waar handmatig het bodemcontact werd vastgelegd. De positiebepaling vond plaats met behulp van een raaiensysteem en afstandlijn.

De nauwkeurigheid was onafhankelijk van de bodemtopografie, maar was wel afhankelijk van externe meetomstandigheden zoals stroomsnelheid water, het in positie blijven

in de raai en het “gevoel in de hand” van de peiler.

Deze handlodingen waren noodzakelijk om de Scholekster-peiling zodanig uit te breiden, dat het gehele gebied met de Taklift4 diepte-eisen (tijdens het plaatsen van de landhoofdenverkeerskoker) gekeurd kon worden.

De handlodingen beperkten zich dus voornamelijk tot de platberm op NAP -6,20m in het talud van de damaanzet.

Daar waar een overlap in de peilingen zat, kwam de handloding goed overeen met de Scholekster resultaten.

In latere fasen zijn de handlodingen vrijwel geheel vervangen door Wijker Rib profiler opnamen.

#### 7.4 Profilen

De inspecties met behulp van een profiler werden uitgevoerd vanaf de “Wijker Rib”. Dit schip lag gedurende de opname afgemeerd met behulp van een boegbak tegen de zijkant of de kopse kant van een pijlerschacht. De profiler was op een rail verrijdbaar gemonteerd langs de zijkant van de Wijker Rib.

Aan boord van de Manus zijn in de beginfase van het verdichten in de drempeltrein ook twee profilers van het soort Mesotech 952 gebruikt. Echter toen bleek, dat met extra informatie over de vlakheid van de bodem geen hogere verdichtingssnelheid gerealiseerd kon worden, zijn deze van boord gehaald. Het naderen van de pijler door de verdichtingsplaat is toen bewaakt met de daarna geïnstalleerde obstacle avoidance sonar.

#### 7.4.1 Profilerinspecties drempelbedrijf

Het inspecteren door middel van de profiler vond plaats ten behoeve van de volgende bouwfases:

- vlakheid kern in opbouw
- vlakheid afwerklaag drempelkern tussen pijlers
- hoogte stortsteen tegen pijlerwand met name in het dorpelbalkgebied (profielen evenwijdig aan de as van de stormvloedkering, hart op hart 0,25 m);
- aansluiting asfaltzakken (zachte kubels) op de pijler en de omringende steen van de toplaag;
- afwerklaag talud drempelkern aan de Oosterscheldezijde;
- toplaag drempel aan Oosterscheldezijde;
- incidenteel toplaag drempel zeezijde;
- breukstenendam en talud damaanzet in “Taklift 4” gebied;
- verder in diverse gebieden ter aanvulling van de Scholekster peilingen.

#### 7.4.2 Conclusies

De inspecties met behulp van de “Wijker Rib-profiler” hebben zich goed kunnen ontwikkelen en aanpassen aan de strenger wordende keuringseisen bij de drempelopbouw.

Bij het afwerken van de drempelkern en rond het storten van de toplaag steen op de taluds is de profiler een goed en vrijwel onmisbaar inspectiemiddel gebleken.

Bij de definitieve voorbereiding voor de drempeltrein was echter geen profiler voorzien aan boord van de Wijker Rib. Aanpassingen met betrekking tot een uitklapbare arm van ca. 8,0 m voor de profiler, helling-meters en het toepassen van laser voor een betere absolute Z-bepaling werden nog in ontwikkeling genomen en beproefd. De beproevingen waren hoopgevend. Operationeel zijn deze modificaties niet meer toegepast.

soort inspectie		totaal (90 wkn.)	gemiddeld/week
duiken	inspectie + airliften		
	slootjes	800	9
	diepte sonarmeting	13	1
	diversen	211	2 à 3
sonar	aanwezigheid zand		
	aansluiting lagen slootjes	900	10
peilen	uitpeilen voor verdichten (5m)	675	7 à 8
	opbouwen kern (5 m)		
	afwerken kern (funny)		
	uitpeiling, keuring (funny)		
profilen	uitvullen voor verdichten	204	2 à 3
	afwerken kern		
handlodingen	breukstenendam t.b.v. Taklift IV	6	1

## 7.5 Duiken

### 7.5.1 Inleiding

Voor inspectie van het gemaakte werk onder water is veelvuldig gebruik gemaakt van duikers.

De duikwerkzaamheden werden doorgaans verricht vanaf een viertal speciaal daartoe uitgeruste duikvaartuigen (Hillechien, Katseveer, Zuidvliet en Neptunes). Incidenteel is in bijzondere gevallen gedoken vanaf andere schepen en pontons (zoals Manus, Arca, Buffel, Coby, etc.).

### 7.5.2 Te inspecteren onderdelen

De duikinspecties zijn uitgevoerd voor de volgende onderdelen:

- controle op aanwezigheid van zand, kokerwormen, mosselen en/of vervuiling rond de pijlers, met name in het slootje tussen Noma en bovenmat;
- naar aanleiding van de hiervoor genoemde controle was het vrijwel altijd noodzakelijk het slootje zodanig op te schonen dat aan de "zandeis" kon worden voldaan. Het opschonen gebeurde door middel van spuitlans en airlift. De werkwijze is voortdurend aangepast en geoptimaliseerd;
- naar aanleiding van sonarinspecties zijn detailonderzoeken uitgevoerd op zandlaagdikte, "vreemde" voorwerpen en (te) ver uitgewaaierte stortsteen;
- controle van de conditie van de Noma's;
- controle van aansluiting stortvakken aan elkaar en aan de pijler;
- controle beëindiging stortvakken;
- controle hoogteligging stortsteen van de afwerklaag tegen de pijler met name in het dorpelbalk gebied. Deze duiktaak is na de Hammen vrijwel volledig overgenomen door de Wijker Rib met profiler opnamen;
- controle van de dorpelbalk- en schuifspinning op aanwezigheid stortsteen.

In eerste instantie waren duikinspecties gepland ter aanvulling van sonaropnamen en ter controle van bijzondere gebieden.

In veel gevallen was de nauwkeurigheid van een duikinspectie ook groter dan van een sonaropname.

Er is echter gebleken dat in bepaalde gevallen een sonaropname ter voorbereiding van de duik onmisbaar was; de voorwerpen konden anders niet worden gevonden.

De nauwkeurigheid van de rapportage riep wel eens vraagtekens op. Steengroottes werden soms een factor 3 verkeerd ingeschat.

De nauwkeurigheid van de resultaten van de hoogtemeting van de stortsteen tegen de pijlerwand was soms slecht en twijfelachtig. Deze metingen werden uitgevoerd met een in een onderwatercamera ingebouwde drukdoos.

Gezien de ervaringen zijn deze metingen geheel vervangen door Wijker Rib profiler opnamen.

### 7.5.3 Conclusies

Duikinspecties waren een onmisbare schakel in de onderwaterspectie.

Ter aanvulling van, of bij twijfels bij, andere inspectiemiddelen diende een duiker uitsluitel te geven.

## 7.6 Overzicht uitgevoerde inspecties

In onderstaande tabel is een overzicht gegeven van de uitgevoerde inspecties ten behoeve van de opbouw drempel- en overgangsconstructie.

Geconcludeerd kan worden dat:

- de duikactiviteiten veel groter waren dan aangenomen, hetgeen voornamelijk werd veroorzaakt doordat meerdere kenteringen noodzakelijk waren om de slootjes schoon te maken;
- de sonar een erg waardevol hulpmiddel was, waarbij in een relatief korte tijd veel informatie kon worden geleverd. Met de sonarResultaten konden diverse duikwerk-

- zaamheden worden geminimaliseerd en gestuurd;
- bij de peilingen een duidelijke toename van de vraag naar funny-peilingen was waar te nemen. Dit werd veroorzaakt door de wijze van keuren, de noodzaak om bij het afwerken over gedetailleerde informatie te kunnen beschikken en ten behoeve van de werkvoorbereiding van de Trias;
  - de inzet van een profiler alleen zinnig was bij toepassing van de Mesotech 965 profiler.

Opgemerkt dient te worden, dat de inspectie-activiteiten steeds geïntegreerd moesten worden in de stort-, verdichtings-, en opschoonwerkzaamheden waarvoor een grote mate van flexibiliteit bij de werkvoorbereiding en de uitvoering vereist was.

---

## 8. Documentatielijst

---

- Doc 1 = Electronica '84 no. 15/16
- Doc 2 = Meetsystemen ten behoeve van de  
Oosterscheldewerken, deel II Survey informatie
- Doc 3 = Rapport TPD N<sup>o</sup>-206.216 Peilbootverbetering
- Doc 4 = SURDRE - M - 82077 Drempel peilsysteem)
- Doc 5 = SURPEI - M - 82011  
Nauwkeurigheid van peilingen
- Doc 6 = SURDRE -M-84125  
Interpreteren dieptegegevens van profiler ten op-  
zichte van echolood Scholekster
- Doc 7 = Uit Passen en meten van Survey Oosterschelde
- Doc 8 = Side Looking Sonar: Onderzoek toepassingsmo-  
gelijkheden ten behoeve van  
Oosterscheldewerken, Meetkundige Dienst)
- Doc 9 = Evaluatienota drempel 31 DREM-B-85127
- Journal A, vol 27, nr. 4 1986  
Intersite Systems drempelpeilboot, peilinstallatie  
Probleemdefinitie en functionele specificaties  
SURDRE-M-85042 Peilen rand bodembescher-  
ming met de Scholekster
- SURDRE-M-85124 Peilen verwerken  
Interplotlodingen
- 31 DREM-N-85149 Nota Evaluatie uitvoering  
Toplaag drempel met de  
Trias
- 34 FUND-N-85002 Evaluatienota funderingsbed  
SURDRE-M-84040 Meetverhaal profiler Wijker  
Rib

---

## Deelnota 5: Onderwaterdetectie



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>97</b>
<b>2</b>	<b>Aanzandingsdetectie</b>	<b>98</b>
2.1	Inleiding	
2.2	Eisen	
2.3	Zanddiktemeter (ZDM)	
2.3.1	Akoestisch meetprincipe	
2.3.2	Instrumentbeschrijving	
2.3.3	Werking zanddiktemeter	
2.4	Conclusie	
<b>3</b>	<b>Asterias</b>	<b>101</b>
3.1	Inleiding	
3.2	Materieel/systeem	
3.2.1	Drager	
3.2.1.1	Afmetingen en gewichten	
3.2.2	Hijsinstallatie	
3.2.2.1	Specificaties hijsinstallatie	
3.2.3	Umbilical haspels	
3.2.4	Stuurdraadlieren	
3.2.5	Draadpalen	
3.3	Procesbeschrijving	
3.3.1	Procescyclus	
3.3.1.1	Vorbereiding	
3.3.1.2	Neerlaten drager (Asterias)	
3.3.1.3	Meetslag	
3.3.1.4	Ophalen drager	
3.3.1.5	Bediening	
3.4	Ervaringen	
<b>4</b>	<b>Portunus/Wijker RIB</b>	<b>104</b>
4.1	Probleemstelling	
4.2	Randvoorwaarden en omgevingscondities	
4.2.1	Werkcondities	
4.2.2	Overlevingscondities	
4.2.3	Onderwaterzicht	
4.2.4	Algemeen met betrekking tot de inspecties	
4.2.5	Algemene eisen voor het OWI-systeem	
4.3	Programma van eisen Portunus	
4.3.1	Ondermat	
4.3.2	Bovenmat	
4.3.3	Tegelmat	
4.3.4	Overige inspecties	
4.4	Beschrijving systeem	
4.4.1	Portunus	
4.4.1.1	Algemene beschrijving	
4.4.2	Wijker Rib	
4.4.2.1	Algemene beschrijving	
4.4.3	Registratie en presentatie van de gegevens	
4.5	Materieel	
4.5.1	Portunus	
4.5.1.1	Afmetingen en specificaties	
4.5.1.2	Hydraulisch systeem	
4.5.1.3	Inspectiewagen	
4.5.1.3.1	Klar Sicht Vorsatz (KSV)	
4.5.1.3.2	Videocamera's	
4.5.1.3.3	Zanddiktemeters (ZDM)	
4.5.1.3.4	Obstacle Avoidance Sonar (OAS)	
4.5.1.3.5	Jetinstallatie	
4.5.1.4	Side Looking Sonar	



4.5.2	Wijker Rib	
4.5.2.1	Afmetingen en specificaties	
4.5.2.2	Launch and recovery system	
4.5.2.2.1	Kraan	
4.5.2.2.2	Umbilicallier	
4.5.2.2.3	Traveller	
4.5.2.3	Bedieningsruimte	
4.6	Inspectiewerkzaamheden	
4.6.1	Algemeen	
4.6.2	Positioneren Wijker Rib	
4.6.3	Inspectie	
4.7	Ervaringen	
4.7.1	Aanpassingen	
4.7.2.1	Portunus	
4.7.2.2	Wijker Rib	
4.8	Conclusies	
4.8.1	Portunus	
4.8.2	Wijker Rib	
4.8.3	Kraan	
<b>5</b>	<b>Onderwaterwerkkamer</b>	<b>115</b>
5.1	Inleiding	
5.2	Programma van eisen	
5.2.1	Specifieke taken	
5.2.2	Randvoorwaarden	
5.3	Inrichting	
5.3.1	Algemeen	
5.3.2	Ten behoeve van matreparaties	
5.3.3	Ten behoeve van onderhoud/repairatie ankerpalen	
5.4	Werkmethodiek	
5.5	Ervaringen	
<b>6</b>	<b>Trigla</b>	<b>117</b>
6.1	Inleiding	
6.2	Programma van eisen	
6.3	Materieel/systeem	
6.3.1	Systeem componenten	
6.3.2	Trigla	
6.3.2.1	Drijfsysteem	
6.3.3	Umbilical	
6.3.4	Kompasbuissysteem met kijkglas	
6.4	Uitvoeren van inspecties	
6.4.1	Omstandigheden in pijler	
6.4.2	Lanceren Trigla	
6.4.3	Bediening	
6.4.4	Plaatsbepaling	
6.4.5	Terughalen Trigla	
6.5	Opschooninstallatie	
6.6	Ervaringen	
<b>7</b>	<b>Laagdiktemeter asfaltmastiek ("asfaltpikker")</b>	<b>123</b>
7.1	Sondeerapparaat	
7.2	Besturingskast met schrijfeenheid	
7.3	Kabelhaspel met aandrijving	
7.4	Technische specificaties	
<b>8</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>126</b>

---

# 1. Inleiding

---

Omdat het ontwerp van de stormvloedkering mede afhankelijk was van de conditie van de funderingsmatten, de pijlers en de drempel, was het van essentieel belang het gemaakte werk te controleren.

Om te voorkomen dat zand in de constructie c.q. opbouw van de kering zou worden opgesloten -met de kans dat als gevolg van overdrukken zand zou uittreden en deformatie van de constructie zou optreden- moesten in een vroeg stadium dit zand of andere obstakels kunnen worden gedetecteerd en zonodig worden verwijderd.

De mogelijkheid van duikinspectie viel af, omdat de grote oppervlakten die moesten worden geïnspecteerd de inzet van een zeer groot aantal duikers zou vergen. Voeg daarbij de steeds groter wordende stroomsnelheden (duiken tot stroomsnelheden van 0,25 m/sec was nog mogelijk), het geringe zicht onder water (tot 10 à 20 cm), de steeds korter wordende kenteringsvensters en de grote duikdiepten (tot ca. 35 m beneden de waterspiegel) waardoor er te allen tijde gedecomprimeerd zou moeten worden. De stap naar een hooggekwalificeerd onderwaterinspectiesysteem, geïntegreerd in de diverse cycli van het werkmaterieel, was daarom een noodzakelijk gevolg.

In deze deelnota worden achtereenvolgens behandeld: de zanddiktemeter, de Asterias, de Portunus, de onderwaterwerkkamer, de Trigla en de laagdiktemeter voor asfaltmastiek.

## 2. Aanzandingsdetectie

### 2.1 Inleiding

Om de dikte van de zandlagen tussen ondermat/bovenmat, bovenmat/tegelmat en tegelmat/pijler te kunnen meten heeft de Technisch Fysische Dienst van het TNO (TPD/TNO) meetapparatuur, de zogenaamde zanddiktemeter (ZDM), ontwikkeld die op akoestische wijze zanddikten meet. Eventuele aanzanding op de ondermat werd, direct voorafgaand aan het leggen van de bovenmat, gemeten door het inspectiesysteem van de Asterias (zie hoofdstuk 3) dat werd bediend vanaf de Cardium. Aanzanding op de bovenmat en de tegelmat werd gemeten door de Portunus als sensordrager en bediend vanaf het moederschip Wijker Rib (zie hoofdstuk 4). Aanzanding (aanslibbing) op de bovenmat en op de aansluiting tegelmat, onder de pijler, werd gedetecteerd door de Trigla als sensordrager (zie hoofdstuk 6). Op de dustpanzuigkoppen van de Cardium en de Macoma waren voor de procescontrole ook ZDM's geïnstalleerd (zie deelnota 12, respectievelijk 14).

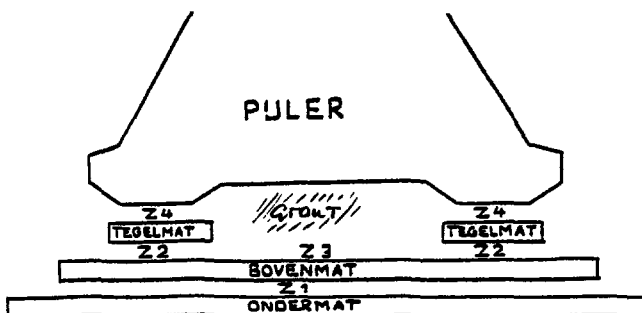
### 2.2 Eisen

Om piping tegen te gaan moest aanzanding ter plaatse van de diverse prefab-onderdelen worden voorkomen.

Bij uitspoeling van afgezette zandlagen -wat zou kunnen optreden wanneer het filterdoek van de fundatiematten verteert- mocht de pijler slechts in zeer beperkte mate scheef zakken.

De hieraan gestelde eisen waren kort samengevat (zie figuur 1)

- ten aanzien van piping:  
 $Z_1 + Z_2 \leq 20 \text{ mm}$  én  $Z_1 + Z_3 \leq 20 \text{ mm}$
- ten aanzien van scheefstand van een pijler:  
 $Z_1 + Z_2 + Z_4 \leq 40 \text{ mm}$



Figuur 1 Aanzandingsgevoelige lokaties

waarin:

$Z_1$  = zandlaag tussen ondermat en bovenmat

$Z_2$  = zandlaag tussen bovenmat en tegelmat

$Z_3$  = zandlaag tussen bovenmat en grout

$Z_4$  = zandlaag tussen tegelmat en pijler.

### 2.3 Zanddiktemeter (ZDM)

Een zanddiktemeter bestond uit een akoestisch meetsysteem dat gebaseerd was op een zeer hoog frequent, penetrerend echolood. Uit de ontvangen echosignalen van de bodem werd afgeleid of er zand op de fundatiematten aanwezig en wat de dikte hiervan was. De vereiste, ruisarme electronica was gecombineerd met een microprocessorsturing om een automatische controle en bijregeling van alle systeeminstellingen te verkrijgen. Na een digitale signaalverwerking bepaalde een tweede microprocessor uit het verkregen resultaat, volgens een bepaalde patroonherkenningsmethodiek, de dikte van de zandlaag. De meetresultaten werden doorgegeven aan een werkschipcomputer, die voor presentatie zorgdroeg.

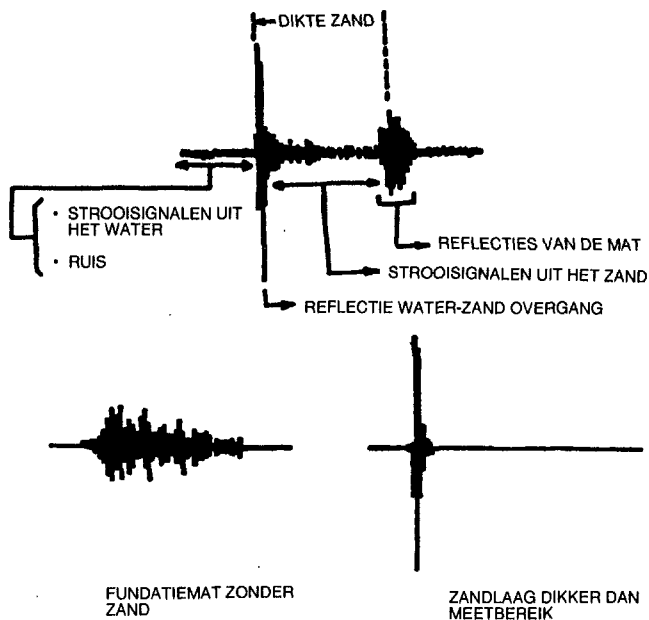
De ZDM is een autonoom werkend systeem dat, na aanschakelen zonder verdere operator handelingen, met meten start. Voor controle, optimalisering en testen waren diverse randapparaten aangesloten, zoals een terminal, een snelle printer en een analoge registratie-eenheid (video-display, line scan recorder).

#### 2.3.1 Akoestisch meetprincipe

Het door een sensor naar de bodem uitgezonden signaal werd bij de overgang van water naar zand gedeeltelijk gereflecteerd en gedeeltelijk doorgelaten. Van het doorgelaten gedeelte werd bij een volgende overgang (van zand naar fundatiemat) weer een deel gereflecteerd enz.

Afhankelijk van de bodemopbouw bestond het van de bodem terugkerende signaal uit een klein of groot aantal opeenvolgende reflecties van variërende grootte. Behalve reflecties bij overgangen tussen de lagen trad er ook verstrooiing door individuele zandkorrels op. De korrels aan het zandoppervlak verstrooiden een deel van de invallende energie in allerlei richtingen (zie figuur 2).

Niet loodrecht naar de bodem gezonden energie werd toch (gedeeltelijk) door de ontvangtransducent ontvangen en veroorzaakte een pulsverlenging. Ook uit het inwendige van het zand kwamen signalen terug. De amplitude van de strooisignalen was afhankelijk van het aangestraald oppervlak en volume (signaal lengte en bundelbreedte), de akoestische frequentie en de zandkorrelgrootte. Belangrijk was om een kort signaal binnen een nauwe bundel uit te zenden. Door een relatief "lage" frequentie toe te passen werd

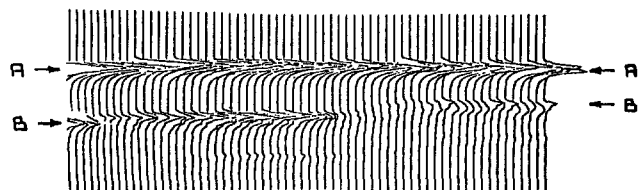


Figuur 2 Enkele karakteristieke signaalvormen

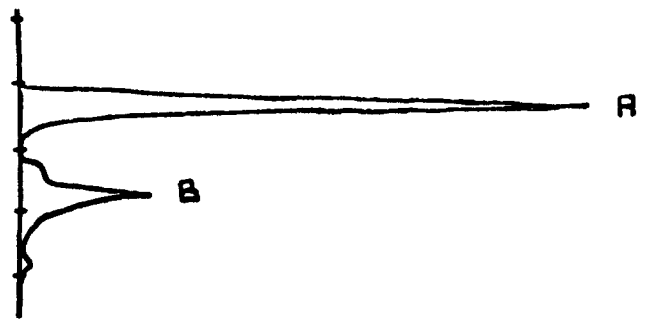
ook een laag strooiniveau verkregen. Een relatief hoge frequentie maakte echter weer een korter signaal mogelijk (hoger oplossend vermogen) met een nauwere bundel.

Behalve de reflectie en verstrooiingseigenschappen van het zand speelde tevens de absorptie in het zand een rol. Bij 500 kHz bedroeg deze 1-3 dB per cm zand (heen en weer) en bij 1 MHz 2-6 dB per cm zand (heen en weer). De absorptie-eigenschappen werden bepaald door de pakking van het zand, de korrelgrootte en de mate van "verontreiniging". Van geweldig grote invloed was de aanwezigheid van lucht in het zand. Een geringe hoeveelheid luchtbelletjes kon penetratie van het geluid in het zand onmogelijk maken.

Bij de overgang van zand naar grind moest, om een optimale verhouding tussen de strooisignalen en de grindecho te krijgen, het aangestraalde oppervlak ongeveer even groot zijn als één kiezelreflector. De sensor diende hiertoe zo dicht boven de bodem te worden geplaatst dat de bundel zich nog nauwelijks kon uitbreiden (ca. 20 cm). Aangezien de kiezels slecht gerichte reflectoren kunnen zijn, kon niet met één meting op één positie worden volstaan. Tijdens het voortbewegen van de sensor werd binnen de meettijd een groot aantal metingen gedaan. Na middeling van al deze metingen waren de water-zand en zand-grind echo's (veelal) wel voldoende sterk ten opzichte van het strooisignaal om een meting te kunnen verrich-



Figuur 3 Voorbeelden van 62 direct na elkaar ontvangen akoestische signalen tijdens het voortbewegen van de sensor boven een fundatiemat met daarop een zandlaag. Verplaatsing ca. 7 cm, A-A=bovenzijde zand, B-B=bovenzijde mat (ZDM ANALOG MONITOR: RECORDER UITGANG)



Figuur 4 Resultaat na middeling

ten. In de zanddiktemeter (ZDM) werd dan een nauwkeurige (tijds-)afstand tussen de beide echo's bepaald. Vermenigvuldiging met de geluidsniveau in het zand gaf de dikte (zie figuur 3 en 4) van het zandpakket.

### 2.3.2 Instrumentbeschrijving

De ZDM werd beschouwd als een Penetrerende - Lage - Transducer - Opstelling. Het maximum aantal sensoren was 20. De signalen van de sensoren werden via coaxkabels naar de elektronica-unit in de beschikbare surveyruimte aan boord van het betreffende werkschip doorgegeven.

De sensoren waren elk uitgerust met twee transducenten met verschillende frequenties: 0.5 en 1 MHz. De 1 MHz transducent gaf een hoog oplossend vermogen (enkele mm's), maar kon hinder ondervinden van strooisignalen van de zandkorrels in de zandlaag of eventueel zwevend of rollend zand in het water.

Onder moeilijke omstandigheden kon er gekozen worden voor de 0.5 MHz transducent. Deze had een oplossend vermogen van ca. 0,5 cm. Beide transducenten hadden de eigenschap een kort signaal uit te kunnen zenden (2.5 periode).

De transducenten waren hiertoe met het piezo-materiaal "lood-metaniobaat" uitgevoerd.

Bij de toegepaste hoge frequenties was een penetratie tot minimaal 12 cm in het zand mogelijk. De optimale opstellingshoogte was 20 cm boven de bodem, waarbij een oppervlak van ca. 4 cm werd aangestraald.

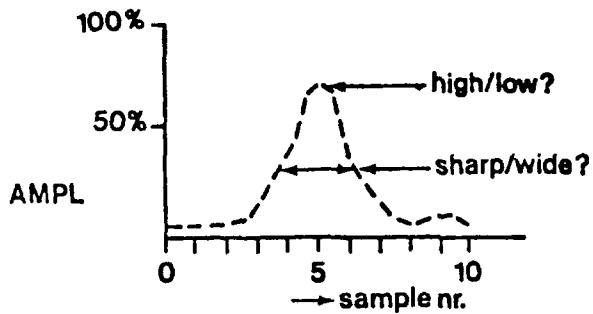
In een sensor was verder enige elektronica opgenomen om de transducenten aan te sturen en om het ontvangen signaal te versterken, alvorens het over de coaxkabel naar de elektronica unit te zenden. De sensoren waren serieel aangestuurd.

In het algemeen geldt dat de zanddiktemeter een autonoom systeem is. Op vastgestelde tijden werden de gemeten zanddikten per sensor met de bijbehorende status informatie toegeleverd aan de werkchipcomputer. Deze communicatie wordt door de analysis-microprocessor verzorgd (AMP).

De AMP had een control-microprocessor voor het uitvoeren van de snelle meetacties per sensor (figuur 5), zoals:

- het verzorgen van de instelling;
- de analyse van de binnenkomende signalen;
- het bijhouden van de statussen van de metingen.

Het binnenkomend sensorsignaal werd door een analoge processor geselecteerd (1 uit 20) en genormeerd. Hierna werd het signaal bemonsterd en opgeslagen in een zeer



Figuur 5 De analyse van de binnenkomende signalen wordt gebruikt om de juiste instellingen van de analoge processor te bepalen

snel geheugen van een data-memory.

Na analyse van de meting kon de datamemory de meting (al dan niet) optellen bij de inhoud van het middelingsgeheugen.

Vervolgens haalde de AMP na afloop van het ingestelde aantal metingen het middelingsresultaat op; en volgens een bepaald zanddiktemeet-algoritme werd de zanddikte bepaald met een bijbehorende kwaliteitsaanduiding.

Meer in detail geschiedde de navolgende signaalprocessing:

in de analoge processor werd met een bodemdector het eerst binnenkomend signaal gedetecteerd. Op aanspreken van de bodemdector werd een Time Varying Gain (TVG) versterker gestart, waarmee een correctie plaatsvond voor de verzwakking in het zand.

Hierbij kon uit een aantal regelcurves worden gekozen die in een geheugen (PROM) waren opgeslagen. Voorafgaand aan de TVG versterker werd door een "Initial GAIN" (IG) versterker het binnenkomend signaal gecorrigeerd voor optredende dempingsverliezen in het water.

De IG-versterker werd hiertoe langzaam bijgesteld op grond van de resultaten van voorafgaande metingen.

Na omhullende detectie werd het signaal bemonsterd en in het ruwe data geheugendeel van het data-memory ingelezen.

Tijdens het inlezen van de volgende meting werd de ruwe data geanalyseerd en tijdens het inlezen van de daaropvolgende meting, afhankelijk van de analyse wel of niet in het middelingsgeheugen, bij de voorafgaande metingen opgeteld.

De gemiddelde data werden in de control-processor nader geanalyseerd, waarbij de volgende vormfunctie-testen werden uitgevoerd:

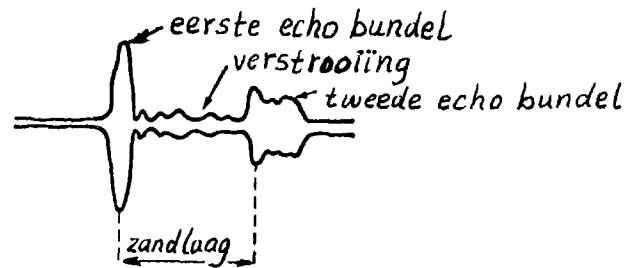
- eerste echo complex na bodem;
- tweede echo complex van de onderliggende mat;
- verstrooiingspatroon van de tussengelegen zandlaag (zie figuur 6).

De afstand tussen de eerste en tweede echo werd berekend en gepresenteerd als de zandlaagdikte.

Iedere meting had zijn eigen statusgetal, waarbij acht verschillende niveaus van betrouwbaarheid waren te onderscheiden.

In het analyseprogramma werden valse indicaties over de resultaten van het opschoonproces vermeden en vond er slechts presentatie plaats van een beperkt aantal diktes per meter.

Het probleem om zandlagen met een hoge graad van nauwkeurigheid te detecteren op een ondergrond van grind of beton was opgelost door toepassing van een aan-



Figuur 6 Vormfunctie-testen, als een deel van de patroonherkenningsprocedure.

tal speciale technieken.

De drie belangrijkste waren:

- een breedbandig transducentontwerp;
- een automatische instelling van de parameters door de analoge processor;
- een middeling van de akoestische signalen tijdens de voortgang van de sensoren.

### 2.3.3 Werking zanddiktemeter

Tijdens het gebruik van ZDM's bleken de meters voornamelijk bij kleine zandhoeveelheden nogal vreemde waarden te produceren. Dit werd mede veroorzaakt door het optreden van los bovendoek van de funderingsmatten, waardoor de ZDM's dit doek als zand detecteerden.

Dikke zandlagen (> 7 mm) konden door de ZDM's worden aangetoond (doc 1). Uitschieters naar boven konden worden achterhaald met het echosignaal op de video scanned memory (VSM).

## 2.4 Conclusie

Voor de ZDM-analyse ten behoeve van de opschooncontrole kan worden gesteld dat de eis van 2 mm niet meetbaar was.

Kwalitatief was het al of niet voldoen aan de eis "schone mat" wel controleerbaar. Steekproefsgewijs werd gecontroleerd of de gemeten zandwaarden al of niet te wijten waren aan los doek. De ervaring leerde dat de gevoeligheid per sensor (of sensortrack) nogal verschillend was, zodat al snel beoordeeld kon worden of een bepaalde sensor wel of niet betrouwbaar mat c.q. veel last had van los doek (doc 2).

Het hoofdspoor voor de opschooncontrole werd daarom: inspectie met video-camera's. Het ZDM-systeem bleef steeds stand-by in verband met de mogelijkheid van slecht zicht onder water voor de video-camera's.

Het zicht van de camera's werd verbeterd door de camera's 10 cm lager te plaatsen en de verlichting aan te passen door twee lampen onder 45° te installeren in plaats van één loodrecht op het te inspecteren oppervlak.

Alhoewel video-inspectie een uitstekend middel was voor ja/nee detectie op aanwezigheid van zand, verhinderden twee belangrijke problemen de toepassing als middel tot zanddetectie in de plaats van ZDM's, namelijk:

- de onmogelijkheid om, indien zand aanwezig was, de dikte daarvan te bepalen (betrouwbare schattingen aan de hand van video-beelden waren haast onmogelijk);
- de afhankelijkheid van goed zicht onder water.

Bij het inspecteren door middel van video-camera's diende het ZDM-systeem als back-up en als feitelijke diktemeting indien er inderdaad meetbaar (dus > 7 mm) zand aanwezig was.

### 3. Asterias

#### 3.1 Inleiding

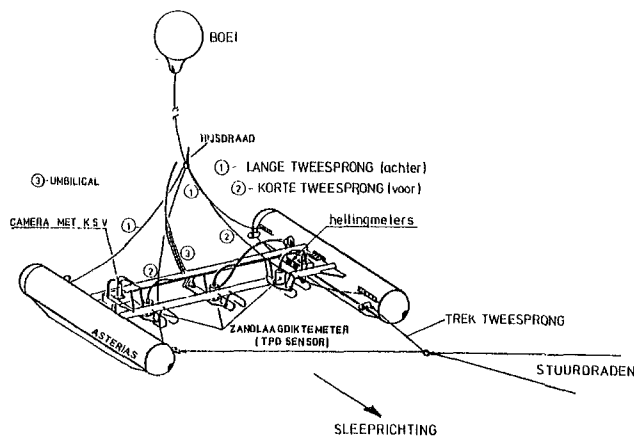
Aangezien het onderwaterinspectieprogramma in de drie stroomgeulen te veelomvattend was voor het inspectiesysteem Portunus/Wijker Rib (zie hoofdstuk 4) en het noodzakelijk was tijdens bepaalde werkcycli het gemaakte werk onder water te controleren vóórdat een vervolg (uitvoerings-)fase startte werd, met name voor het Cardium-bedrijf, een apart onderwaterinspectiemiddel ontwikkeld. De inspectie moest direct voorafgaand aan het leggen van de bovenmat worden uitgevoerd om na te gaan of op de ondermat de aanzanding het toelaatbare had overschreden. Het te ontwikkelen systeem mocht de bouw van de Cardium, met name voor wat betreft de planning, niet beïnvloeden. Tevens moest stagnatie en of beïnvloeding van het matlegproces worden vermeden.

Het uiteindelijk ontwikkelde inspectiesysteem bestond uit een slede met sensoren die tijdens het leggen van de bovenmat door de Cardium gelijktijdig over de ondermat werd meegetrokken. De positie van deze slede, "Asterias" genoemd (Latijn voor zeester), was enkele meters voor het "touch down" punt van de te leggen bovenmat.

#### 3.2 Materieel/systeem

##### 3.2.1 Drager (zie figuur 7)

De drager had -van bovenaf gezien- een H-vorm, waarbij de benen van de H bestonden uit stalen pijp voorzien van een glijprofiel. In het verbindingstuk tussen de benen waren drie zanddiktemeters (ZDM's), een TV camera met verlichting, een K.S.V. (Klar Sicht Vorsatz) en twee



Figuur 7 Zanddetectieslede Asterias hijs- en sleepraden

transponders geplaatst. Eventueel konden een kompas en een hellingmeter X/Y worden gemonteerd. Alle kabels van deze apparaten kwamen samen in een waterdichte aansluitkast, vanwaar zij in een umbilical gebundeld naar de "Cardium" werden geleid.

De ZDM's werkten volgens het akoestisch principe (zie hoofdstuk 2) om de dikte van de eventueel aanwezige zandlagen op de ondermat te meten. De TV camera was bedoeld om de werking van de ZDM's te controleren: ja/nee- zanddetectie. De transponders gaven de plaats van de drager op de ondermat aan in X, Y, Z coördinaten; tevens gaven zij een indicatie van de stand van de drager tijdens het neerlaten. Verschillende 2-coördinaten wezen op een scheve stand.

Het kompas werd gebruikt voor koersaanduiding (X, Y) van de drager tijdens het slepen en kon worden afgelezen via de TV camera.

In het midden op het verbindingstuk was een umbilical terminal bevestigd, waar de umbilical kabel werd doorgevoerd naar de waterdichte aansluitkast.

Aan de benen van de drager zaten de draaibare bevestigingsogen van zowel de hijsdraad als de stuurdraden.

##### 3.2.1.1 Afmetingen en gewichten

De Asterias had een lengte van 2,6 m, een breedte van 4,0 m en een hoogte van 0,6 m. Het bovenwater gewicht bedroeg 11,5 kN en het onderwater gewicht 10 kN.

##### 3.2.2 Hijsinstallatie

Aan boord van de "Cardium" waren aan de beunzijden naast de verdichtingsbokken twee kolomzwenkkransen geplaatst, waarmee de drager te water werd gelaten en uit het water gehaald kon worden. Tijdens het slepen van de drager over de mat bleef de hijsdraad met deze drager door middel van een losneembare verbinding verbonden. De hijsdraad bleef tijdens het slepen slap gevierd om beïnvloeding van het sleepgedrag te voorkomen.

De kolomzwenkkransen waren voorzien van een elektro-takel met heugel/rondsel katrijwerk (elektrisch). De bediening van alle kraanfuncties vond plaats vanaf een positie naast de kolom met behulp van een draagbaar bedieningspaneel. De, van een taatslager voorziene, hijssocket (swivel) was uitwisselbaar met een van een taatslager voorziene hijshaak, zodat de kraan ook voor andere hijsdoeleinden geschikt was te maken. Wanneer de kransen niet werden gebruikt, moeten zij in de ruststand zeevast gefixeerd worden.

### 3.2.2.1 Specificaties hijsinstallatie

Hijscapaciteit	20 kN
Hijssnelheid	2,4 en 22 m/min
Katrijden	4 m/min
Zwenksnelheid	1 omw/min.

### 3.2.3 Umbilical haspels

De umbilical werd door een elektrisch aangedreven haspel gehesen en gevierd, simultaan met het hijsen en vieren van het inspectietuig door de hijsinstallatie. De haspel werd op een stoel aan de beunrand bij één van de verdichtingsbokken opgesteld. Wanneer de "Asterias" werd gebruikt, werd de haspel door de kolomkraan naast het zeevastrek van de drager neergezet. Om zowel aan bakboord- als stuurboordzijde te kunnen inspecteren, kon de haspel bij de beide verdichtingsbokken worden opgesteld. Daartoe waren de elektrische aansluitingen van zowel de haspelmotor als de umbilical zelf van stekkerverbindingen voorzien.

### 3.2.4 Stuurdraadlieren

Voorop de "Cardium" stond zowel aan bakboord- als stuurboordzijde, 30 meter uit het hart, een stuurdraadlier. Met behulp van de door de lieren bediende stuurdraden kon de inspectiedrager op de gewenste plaats op de ondermat worden gezet. Tijdens het slepen waren de lieren gefixeerd en konden naar wens met de hand worden bijgesteld.

De stuurdraden werden van de "Asterias" losgemaakt wanneer deze in het zeevastrek werd geplaatst. De stuurdraden bleven onder de kiel van de "Cardium" hangen en aan een bevestigingspunt in het midden van de beun van de "Cardium" gekoppeld. Met de stuurdraadlieren werden de stuurdraden dan strak onder de kiel getrokken.

De stuurdraadlieren werden van een draadlengtemeting voorzien.

### 3.2.5 Draadpalen

Om een juiste kabelloop van de stuurdraden vanaf de stuurdraadlieren te verzekeren werden aan de voorzijde van de Cardium twee draadpalen bevestigd. Boven de draadpalen werd een omlooptrommel aangebracht om het goed opspoelen van de stuurdraden te verzekeren.

## 3.3 Procesbeschrijving

### 3.3.1 Procescyclus

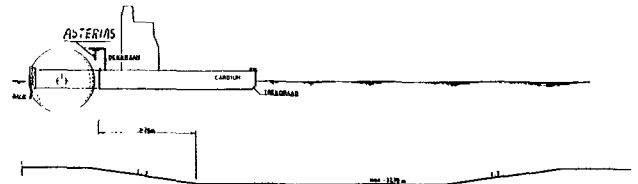
De procescyclus van de Asterias bestond uit vier fasen:

- voorbereiding
- neerlaten
- meetslag
- ophalen.

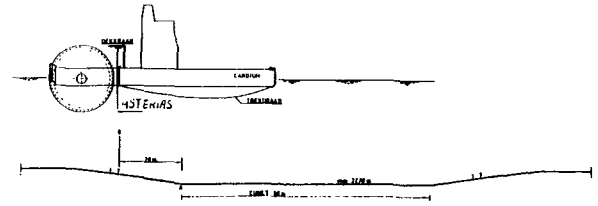
#### 3.3.1.1 Voorbereiding

De voorbereidingsfase bestond uit het bepalen van de plaats waar de aanzanding gemeten moest worden en het op grond van deze keuze eventueel verplaatsen van de drager.

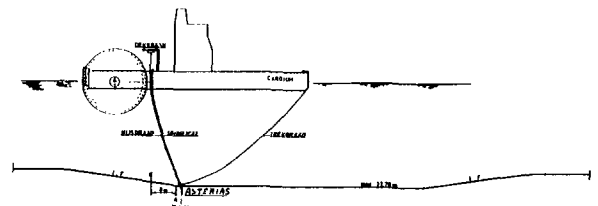
Voor het verplaatsen van de drager was een lege beun nodig (dus geen ingevaren rol), terwijl de Cardium stil moest liggen.



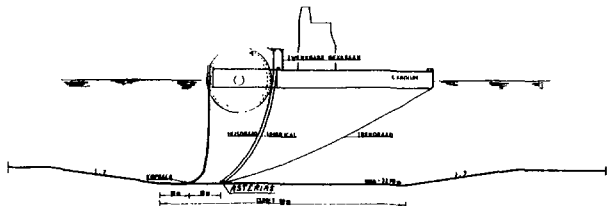
Figuur 8 Situatie wanneer A-B groter is dan 26 m; trekdraden geborgd



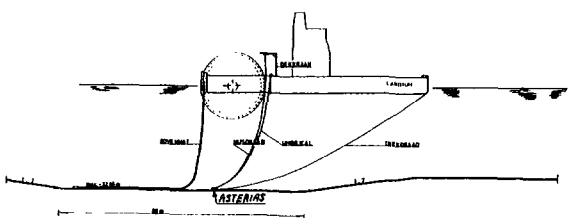
Figuur 9 Situatie wanneer A-B is 20 m; trekdraden op stand B



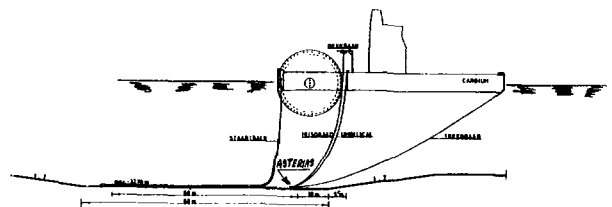
Figuur 10 Situatie wanneer A-B is 8 m; trekdraden op stand B



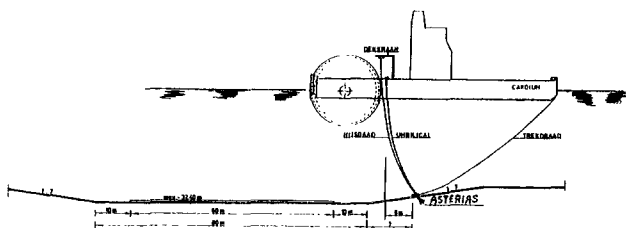
Figuur 11 Trekdraden op stand C



Figuur 12 Trekdraden op stand C



Figuur 13 Moment dat trekdraad ingehaald wordt (tot stand B). De inspectie is gereed



*Figuur 14 Moment dat hijsdraad ingehaald kan worden; trekdraden in stand B*

Bij het opstellen van de aanzandingsverwachting speelden de meetgegevens van voorgaande meetslagen van de Asterias een rol.

Het tijdstip van de laatste meetslag vóór het leggen van de bovenmat, waarbij voldaan was aan de randvoorwaarden (lege beun), lag op ca. 9 uur vóór het leggen van de bovenmat.

### 3.3.1.2 Neerlaten drager (Asterias)

Met behulp van de kraan werd de drager aan de hijsdraad neergelaten (zie figuur 8, 9 en 10). Tevens werden de sleepdraden gebruikt om:

- drager en hijsdraad vrij te houden van de rol
- draaien van de drager rond de lengte-as te voorkomen
- de drager horizontaal naar de mat te brengen.

Was de drager eenmaal “geland”, dan werden de sleepdraden zó ingesteld, dat de gewenste positie ten opzichte van de Cardium werd bereikt. Gedurende deze fase werd door het verwerkingssysteem de positie van de drager bepaald en gepresenteerd.

De gewenste positie van de drager was ca. 10 m vóór het “touch down” punt van de mat. Om een zo groot mogelijk gedeelte van de mat te meten, was het noodzakelijk dat de drager zijn uiteindelijke positie had ingenomen vóór het positioneren van de kopbalk bovenmat.

### 3.3.1.3 Meetslag

Het meten van de aanzanding vond plaats tijdens het leggen van de bovenmat (zie figuur 11, 12 en 13).

Het verwerkingssysteem presenteerde continu positie- en zanddiktegegevens. Bij overschrijding van vooraf ingestelde limieten vond een melding plaats. Op grond van deze meldingen kon worden besloten tot corrigeren van de positie van de drager, of tot stoppen van het matleggen.

### 3.3.1.4 Ophalen drager

Het ophalen van de drager gebeurde, evenals het neerlaten, met de hijsdraad en de sleepdraden (zie figuur 14).

Met deze fase kon worden begonnen direct na het leggen van de mat of na het leggen van een vooraf opgegeven gedeelte hiervan.

Om verwikkelingen met andere activiteiten te voorkomen moest deze (laatste) fase afgerond worden vóór of eventueel tijdens het ophalen van de staartbalk.

### 3.3.1.5 Bediening

Voor de bediening van het operationele systeem waren gedurende ca. drie kwartier vier mensen nodig:

- één man in de container voor de computerbediening
- twee man bij de sleeplieren
- één man bij de kraan.

## 3.4 Ervaringen

De controle van het opschoonresultaat van de Cardium werd dubbel uitgevoerd.

Ten eerste waren achter elke opschoonkop van de dustpanzuigmond van de Cardium twee ZDM's gemonteerd. Ten tweede waren er op de Asterias drie ZDM's, alsmede een video-camera gemonteerd.

Daar de meetnauwkeurigheid van de ZDM's in dezelfde orde lag als de maximum toelaatbare zandlaagdikte, kwam het praktisch neer op ja/nee detectie.

Duidelijk is gebleken dat aan de inspectie van de Asterias enige problemen kleefden met betrekking tot handling, inpassing cyclus, slechte camerakwaliteit en niet betrouwbare meting van de ZDM's.

De ZDM's van de opschoonkoppen en de Asterias verkeerden nog in het begin van de optimalisatiefase.



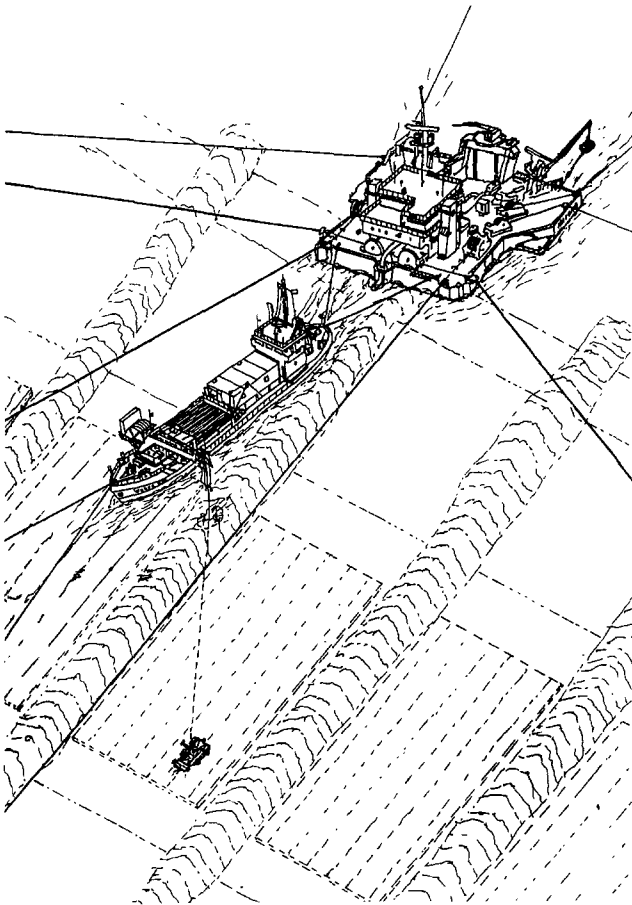
## 4. Portunus/Wijker RIB

### 4.1 Probleemstelling

Alle funderingsmatten, zowel de onder- als de bovenmatten en de tegelmatten moesten voor ze werden "afgedekt" door een volgend prefab-element, aan een 100% visuele inspectie worden onderworpen. Met de wetenschap dat deze systematische inspectie niet zou kunnen worden verricht door duikers voorzien van onderwatercamera's, werd de ontwikkeling van een hoogwaardig onderwaterinspectiesysteem ter hand genomen.

Als eis werd gesteld dat ten gevolge van inspecties de funderingsmatten op generlei wijze mochten worden beschadigd.

Daar het zicht in bepaalde jaargetijden terugliep tot ca. 25 cm was het noodzakelijk de te inspecteren mat tot op dichte afstand te naderen. In een haalbaarheidsstudie is medio



Figuur 15 Inspectie fundatie m.b.t. voorafgaand aan plaatsen van een pijler

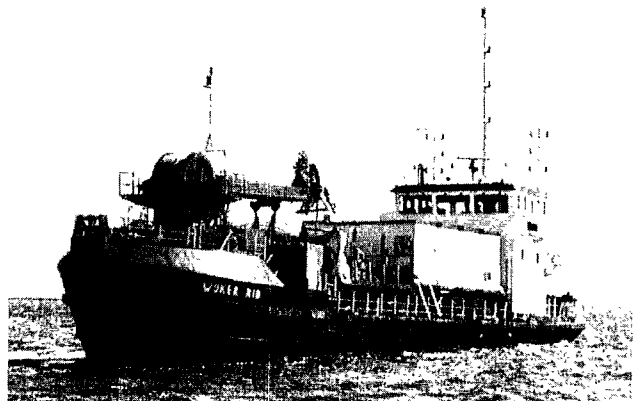


Foto 1 Moederschip "Wijker Rib"

1979 nagegaan of deze inspecties zouden kunnen worden uitgevoerd met een bodemcontactvoertuig uitgerust met inspectiesensoren. In principe bleek dit mogelijk.

Vervolgens werden gedurende de ontwerpstudie diverse sensoren onder Oosterscheldecondities onderzocht en beproefd alvorens groen licht kwam om een bodemcontactvoertuig te bouwen.

Het uiteindelijk gebouwde onderwaterinspectievoertuig Portunus (Latijn voor "zwemkrab") werd gelanceerd en bestuurd vanaf het moederschip Wijker Rib (zie figuur 15). Deze bodemkruiper of seabed crawler bewoog zich voort op rupsbanden en wielen en was voor de inspectietaken voorzien van zes videocamera's, vier zanddiktemeters en een manipulator.

Het moederschip Wijker Rib was voorzien van een werkdek -tevens parkeer ruimte- voor de Portunus, een werkplaatscontainer en een kraan voor het overboord zetten en aan boord halen van de Portunus. Aan dek was een bedieningsruimte voor de Portunus geplaatst (zie foto 1).

### 4.2 Randvoorwaarden en omgevingscondities

Het onderwaterinspectiesysteem (OWI) was ondergeschikt aan de vigerende operatieplannen, ankerpatronen en cycli van de CARJAN- en MOD-processen. Dit was bepalend voor de omgevingscondities van de Portunus en de Wijker Rib.

#### 4.2.1 Werkcondities

Zeegang  $H_s = 0,75$  m bij  $T_{gem} = 4$  sec  
Deining  $H_s = 0,35$  m bij  $T_{gem} = 6$  sec

Stroom 2,5 m/sec richting  $\pm 30^\circ$   
Wind Ugem = 15 m/sec (Beaufort 7, dwars) Umax = 22,5 m/sec

#### 4.2.2 Overlevingscondities

Zeegang Hs = 2,0 m bij Tgem = 6 sec en Vs = 2,0 m/sec  
Deining Hs = 1,7 m bij Tgem = 6 sec en Vs = 2,2 m/sec  
Stroom 2,5 m/sec richting  $\pm 30^\circ$   
Wind Ugem = 22 m/sec (Beaufort 9)

Hoek tussen wind en stroom max.  $90^\circ$ .

#### 4.2.3 Onderwaterzicht

Circa 10 cm in de winterperiode en ca. 4,5 m in zomerperiode.

#### 4.2.4 Algemeen met betrekking tot de inspecties

- \* Directe meldingen van bevindingen naar de bijzondere vaartuigen via beschikbaar zijnde communicatiemiddelen.
- \* Ten behoeve van optimalisatie van het inspectieproces moesten de daartoe benodigde uitvoeringsgegevens ook na de inspecties voorhanden zijn.
- \* Van de inspectieresultaten dienden voldoende kopieën gemaakt te kunnen worden, zo mogelijk tijdens de nabewerking.

#### 4.2.5 Algemene eisen voor het OWI-systeem

- Het systeem mocht geen schade veroorzaken aan enig element van de stormvloedkering.
  - De Portunus diende onder geen beding het gevaar te lopen om ongecontroleerd van funderingsmatten en tegelmatten te geraken.
  - De Portunus moest op een mat naar elke plaats kunnen worden gedirigeerd waar schaden werden vermoed.
  - De inspecties dienden voor zover zij werden uitgevoerd binnen de cycli van de bijzondere vaartuigen, deze cycli niet te beïnvloeden qua uitvoeringswijze of qua tijd.
  - Presentatie van de bij de inspecties vrijgekomen gegevens:
    - \* binnen een half à één uur na beëindiging van de inspecties dienden de bewerkte en gecontroleerde gegevens, voor zover het de video-inspectie betreft, ter beschikking te worden gesteld aan de uitvoerders van de processen met de bijzondere vaartuigen.
- Van deze inspecties vond geen "real-time" presentatie aan boord van de bijzondere vaartuigen plaats.
- \* wat betreft de zanddiktemetingen:  
Algemeen: zo spoedig mogelijk na de opname diende de uitgeplote zanddiktekaart aan boord van de Cardium respectievelijk de Macoma gepresenteerd te worden. Tevens vond aan boord van de Macoma "real-time presentatie" plaats op een P150-printer. Naar de Cardium toe vond geen real-time presentatie plaats.

### 4.3 Programma van eisen Portunus

Het programma van eisen voor de Portunus is opgesteld in 1981 krachtens de toen vigerende planning waarbij werd uitgegaan van het standaard leggen van tegelmatten (zie deelnota 9).

Uitgegaan werd van een 100% inspectie van de te inspec-

teren matten.

In volgorde van de uitvoeringsplanning moesten bij alle inspecties de volgende grootheden kunnen worden aange-

toond:

- filtermattenscheuren
- losse naainaden
- ontbrekende snaplocks
- zanddiktes
- erosiedieptes
- aansluiting overgangen
- stenen (40-200 mm)
- aangroei
- tegelmatstructuur
- vermoede schaden.

#### 4.3.1 Ondermat

Na leggen en na verdichten:

- \* winkelhaken groter dan 20 x 20 cm
- \* snaplocks
- \* scheuren, losse naainaden groter dan 30 cm, 25% random van "bovenmat" gebied 38 x 80 m<sup>2</sup>.

Vlak voor leggen bovenmat:

- \* zanddikte ca. 10 m voor het touch downpunt van de bovenmat uit.

#### 4.3.2 Bovenmat

Na verdichten:

- \* winkelhaken groter dan 20 x 20 cm
- \* snaplocks
- \* scheuren, naainaden groter dan 30 cm, 25% random van 80 x 38 m<sup>2</sup>

Na storten negatieve overlap:

- \* detectie 40-200 na storten negatieve overlap

Voor leggen tegelmat:

- \* winkelhaken
- \* scheuren naainaden
- \* aangroei
- \* zand  
minimaal 7 x 55 m<sup>2</sup> (pijlerbil gebied)

Tijdens leggen tegelmat:

- o zanddikte ca. 10 m voor touch downpunt tegelmatten

Na leggen tegelmat:

- \* schade ter plaatse van kop/staartbalken.

#### 4.3.3 Tegelmat

Direct na leggen:

- \* losliggende of ontbrekende tegels

Voor plaatsen pijler:

- \* zand op tegelmat
- \* losliggende tegels.

#### 4.3.4 Overige inspecties

De hierna vermelde inspectietaken konden alleen worden uitgevoerd met behulp van een manipulatorarm (zie 4.5.1.1).

Ondermat na leggen:

- \* schade ten gevolge van kop/staartbalk
- \* scheuren zijkant mat

Aanliggende mat:

- \* schade zijkant

Ondermat na leggen bovenmat:

- \* schade op ondermat ten gevolge van kop- en staartbalk

- bovenmat
  - \* schade aan de rand van bovenmat ten gevolge van kop- en staartbalk
  - \* schade aan de bovenmat
- Tegelmat voor plaatsen pijler:
- \* zanddetectie naast tegelmat.

#### 4.4 Beschrijving systeem

Bij de beschrijving van het onderwaterspectiesysteem (OWI-systeem) onderscheiden we:

- De "Portunus", het eigenlijke inspectievoertuig, drager van diverse sensoren ten behoeve van de inspecties;
- De "Wijker Rib", het ondersteuningsvaartuig met daarop een kraan, werkplaatsen, controle-bedieningsruimte en de accommodatie voor de bemanning.

##### 4.4.1 Portunus

###### 4.4.1.1 Algemene beschrijving

Door NeCos v.o.f. is de Seabed Crawler Portunus ontwikkeld en gebouwd (zie figuur 16). Een bodemcontactvoertuig en drager van een aantal inspectiesensoren. Het was een rupsvoertuig, dat zich op de rupsen over een zandbodem, een steenbestorting en een fundatiemat kon voortbewegen. Het voertuig was tevens voorzien van vier zwenkarmwielen voor manoeuvreren op de fundatiematten. Hiervoor werden zwenkarmen in een voorgeselecteerde stand geplaatst, vervolgens werden de wielen hydraulisch omlaag gedrukt totdat de rupsbanden voldoende vrij waren van de mat. De aandrijving van de rupsbanden en van de zwenkwielen vond plaats met hydro-motoren. Bij de rupsbanden drevan deze de sprocketwielen, gesitueerd aan de

achterzijde van de crawler, aan. De vier zwenkieren werden elk direct door een ingebouwde hydro-motor aangedreven. De motoren waren alle identiek. Koerscorrectie van enkele graden was, via schranken op rupsen, rijdend op de filtermat toegestaan.

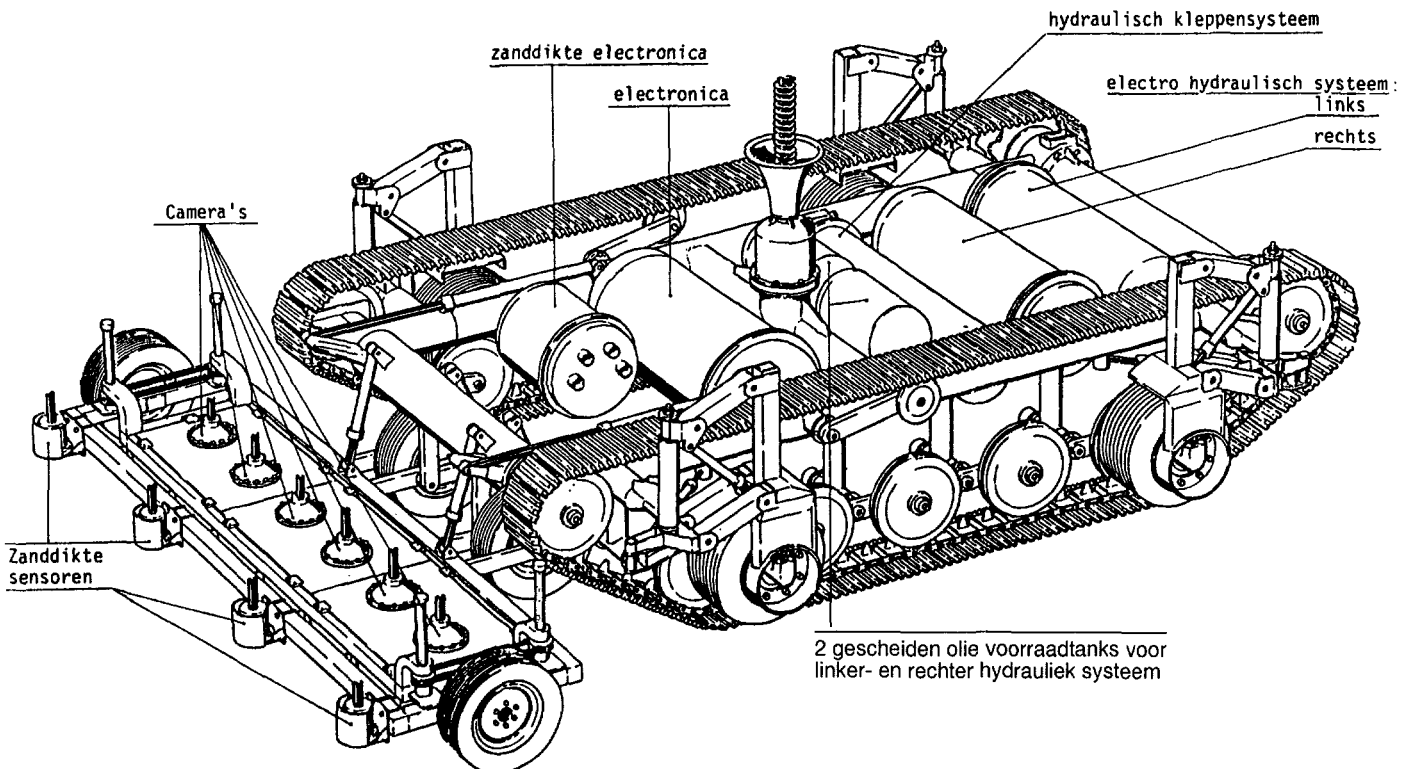
Aan de voorzijde van de crawler bevond zich de zogenaamde inspectiewagen. In de inspectiewagen waren 3 KSV-blokken en beschermplaten, gevuld met anti-vries, gemonteerd in een subframe.

Op elk Klar Sicht Vorsatz-blok waren twee zwart/wit onderwater TV camera's gemonteerd. Het subframe kon met behulp van vier schroefspindels, aangedreven met hydro-motoren, ten opzichte van de wagen in hoogte worden veresteld, waarbij een elektrische gelijkloopregeling ervoor zorgde dat de KSV-blokken evenwijdig aan het frame bleven ingesteld. De hoogte was instelbaar tussen 0 en 35 cm boven het maaiveld.

De totaal zes TV camera's waren aangesloten op zes monitoren in de bedieningsruimte op de Wijker Rib. Aan de voorzijde van de inspectiewagen waren vier TPD-sensoren gemonteerd voor zandlaagdiktemetingen.

Eveneens was in het midden voorop de inspectiewagen een zogenaamde Obstacle Avoidance Sonar (O.A.S.) aangebracht. De voet waarop deze sonar was bevestigd werd met behulp van een hydraulische cilinder gekanteld, dit om scanning in het horizontale vlak mogelijk te houden. Dit gebeurde slechts wanneer de gehele inspectiewagen omhoog werd geklapt om een taludhelling te gaan bestijgen. In dit geval kwam de inspectiewagen ca. 135° gedraaid boven de voorzijde van de crawler te liggen. Een tweede O.A.S. was gesitueerd aan de achterzijde van de Portunus ten behoeve van het rijden direct voorafgaand aan het leggen van een bovenmat en een tegelmat.

De voorste O.A.S. kon hierbij de waarnemingen voor de



Figuur 16 Portunus seabed crawler

crawler uit blijven voeren. De inspectiewagen kon ten opzichte van de crawler vrij voorover of achterover scharnieren. Dit was noodzakelijk voor het op- en afrijden van een talud bij een tegelmat. Gecontroleerd kon de inspectiewagen ook opgetild en gedraaid worden ten opzichte van de crawler. Hierdoor werd het mogelijk met de camera's vooruit te zien. Wanneer de crawler op zijn wielen stond was de inspectiewagen gefixeerd ten opzichte van de crawler, waardoor de vier wielen van de inspectiewagen ook vrij kwamen van het maaiveld. Hierdoor was manoeuvreren mogelijk. Wanneer een der buitenste wielen van de inspectiewagen van de mat dreigde af te rijden voorkwam een glijstrip aan de zijkant van de inspectiewagen dat het frame de mat raakte. Op een montagesteun aan de rechterzijde van de crawler was een inspectie-arm (manipulator), met een lengte van 2,30 m geplaatst. De inspectie-arm was drager voor een camera met verlichting, een profiler voor het uitvoeren van inspecties en metingen en een OTT-molen om stroom te meten. Tevens kon na installatie van een hulpframe een permanente OTT-molen worden geïnstalleerd.

Voor navigatiedoeleinden was achter op de Portunus een akoestische responder gemonteerd, waarmee de positie van de crawler ten opzichte van de, op bodem geplaatste, transponders en het schip kon worden vastgesteld met behulp van het Simrad Super Short Baseline Systeem. Verder bevonden zich op de Portunus een gyrokompas en odometers. Hiermee werd de afgelegde weg berekend uit de omwentelingen van de aandrijfassen, genaamd Dead-Reckoning.

De besturing kon plaatsvinden door een piloot die met een stuurknuppel rupswielaandrijving en zwenkwielen kon bedienen. Het was ook mogelijk een bepaald rijpatroon te kiezen dat dan door de crawler semi-automatisch werd afgelegd.

De afstandsbesturing gebeurde via de "umbilical cable" (navelstreng). De elektrische energie, nodig voor de aandrijving van de crawler en de besturingssignalen, gingen door de kabel. Tevens diende deze voor geleiding van de meetsignalen van de sensoren. De rijsnelheid op rupsbanden en op wielen was regelbaar van 5 tot 50 cm/sec. In geval van nood kon met de umbilical de crawler worden opgehesen (zie foto 2).

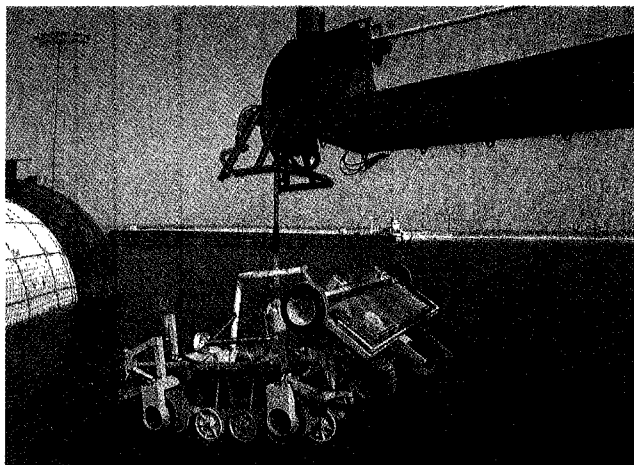


Foto 2 Portunus hangt alleen aan de umbilical (zonder traveller-constructie) opgeklapte K.S.V.

De Portunus kon indien nodig op blokken op het werkdek worden geplaatst om diverse functies van de handbesturing te testen. Op de console in de bedieningsruimte was een status display van de crawler aangebracht, waarop de gegevens over wielstanden e.d. zichtbaar waren.

Via een alarmeringssysteem werden diverse functies bewaakt, zoals een te hoge temperatuur van de hydraulische olie, water in pods, een te lage stikstofdruk e.d.

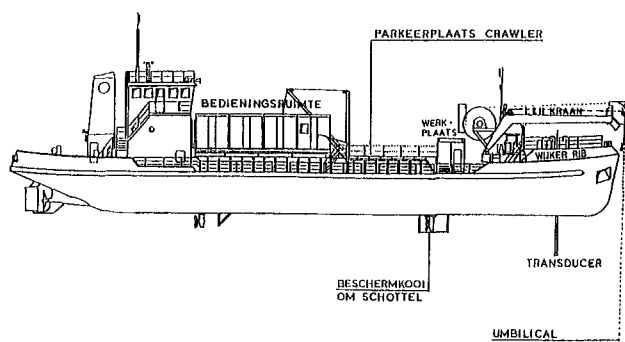
Met behulp van een diagnosesysteem kon elke functie apart worden bediend, hetzij vanaf de console, hetzij direct aangesloten op de elektronica-eenheid van de crawler.

Airconditioning was aangebracht in de computer- en monitorruimte. Alle andere ruimten konden worden verwarmd.

#### 4.4.2 Wijker Rib

##### 4.4.2.1 Algemene beschrijving

De in 1960 gebouwde Wijker Rib begon haar loopbaan als steenstort, werd vervolgens verbouwd tot karteringsvaartuig en tenslotte aangepast aan de functie van moederschip voor de Portunus c.q. de crawler.



Figuur 17 m.s. Wijker Rib

De crawler was via een umbilical cable ("navelstreng") gekoppeld aan het moederschip Wijker Rib (zie figuur 17). Besturingssignalen van de Wijker Rib naar de crawler en meetsignalen van de crawler naar de Wijker Rib gingen via deze streng.

Besturing van de crawler gebeurde in de bedieningsruimte op de Wijker Rib. De Wijker Rib, fungeerde als moederschip voor de Portunus, was als zodanig extra uitgerust met een dubbele porta-cabin, als bedieningscontrole ruimte van de Portunus en een speciale kraan die gebruikt werd om de Portunus op/vanaf de te inspecteren locatie te hijsen.

De kraan was uitgerust met een tweetal lieren. Eén voor het op/afwinden van de umbilical, de ander (met staalkabels en hydraulische klauwen uitgerust) voor het hijswerk van de Portunus boven water (aan/over boord).

De Wijker Rib had twee hekschroeven en twee onder het schip geplaatste Schottel-roerpropellers (totaal vermogen: 1370 pk). Verder was het schip, behalve met een kraan en bedieningsruimte, uitgerust met een generator container, houten werkdek en werkplaatscontainer. Op voor- en achterdek bevonden zich tenslotte nog twee lieren.

Voor navigatie tijdens inspecties werd gebruik gemaakt

van Trident (of AGA Minilir), gyrokompas en Simrad (HPR).

#### 4.4.3 Registratie en presentatie van de gegevens

De zes zwart/wit camera's vóór op de Portunus waren gekoppeld aan video-apparatuur. De beelden van de videotapes waren voorzien van meetgegevens, tijd, datum en coördinaten.

De tapes werden na iedere inspectie gemerkt (met gemarkeerde beschadigingen) en opgeborgen in het archief.

De vier ZDM-sensoren waren gekoppeld aan een computer + plotunit. Gegevens konden desgewenst direct op de zanddiktemetingsplots (en/of op tekening) worden weergegeven. Tevens werden altijd de geregistreerde zanddiktemetingen (automatisch) doorgeseind naar de Macoma.

De plots waren voorzien van matinformatie, datum, tijd en coördinaten.

De beide O.A.S.-units, met instelbare afstandsschalen, konden desgewenst worden gekoppeld aan een videorecorder.

De profiler, die gemonteerd was op de manipulator-arm of op de vaste arm, kon ook gekoppeld worden aan een videorecorder. Tevens konden de opgeslagen gegevens direct of naderhand op plots weergegeven worden. Deze plots waren voorzien van de benodigde informatie.

Tenslotte konden alle gegevens, alarmen, signalen met betrekking tot Portunus worden uitgeplot (bijv. plot van afgelegde weg op te inspecteren gebied, schadekaart, zanddiktekaart).

### 4.5 Materieel

#### 4.5.1 Portunus

De Portunus was samengesteld uit een stalen buizenframe voorzien van een loopwerk waarin de rupsbanden werden geleid.

##### 4.5.1.1 Afmetingen en specificaties

Afmetingen: L = 5,40 m (resp. 6,10 m, inspectiewagen neer)

B = 5,30 m (max., wielen uit)

H = 2,80 m (max., op wielen)

G = 96,50 kN (droog) resp. 49,00 kN (onderwater)

Vlaktedruk: 2,5 N/cm<sup>2</sup> (rupsen) 15,0 N/cm<sup>2</sup> (wielen)

Trekkkracht: rupsen max. 35,7 kN (reserve 17 kN)

Snelheid: 0-50 cm/sec (traploos regelbaar)

Umbilical: Lmax = 400 m

(BIW/de Regt) (buiten  $\varnothing$  = 72 mm

breeksterkte = 400 kN (Kevlar)

G = 45 kN/km (droog)

5,4 kN/km (onderwater)

Inhoud: 10 voedingskabels

21 coaxen

6 twinaxen

2 Kevlar mantels à 4 mm dik

1 buitenmantel à 4,25 mm dik

Camera's: - zwart/wit vidiconbuis

(IBAK) - 160° diag. open hoek

- automatische afsluiters (tegen inbranden ten gevolge van direct zonlicht)

- ten behoeve van visuele inspectie

Zanddiktemeters: - 4 stuks; aangesloten op de zanddiktemeeteenheid welke zich in een aparte

onderwaterpod bevond

- bereik 0-99 mm

Obstacle avoidance

- 2x scanning sonar met instelbare afstandssignalen c.q. hoeken, tevens uitgerust met range-marker (instelbaar). Werd gebruikt om obstakels e.d. aan te scannen + liggen Noma's (inmeten van het gootje met behulp van de range-marker)

Scanning profiler:

(Ulvertech)

- gemonteerd op vaste arm of manipulator (aan rechterzijde van de Portunus), bundelhoek

1°, scanhoek 0-18° werd gebruikt voor het maken van diverse profielen o.a. gootje tussen bovenmat en Noma

- 2 stuks aanwezig; ook samen te gebruiken

Manipulator: (Jungner Marine)

- instelbare inspectie-arm uitgerust met camera, profiler en (soms) stroomsnelheidsmeter. Werd gebruikt om zij-kanten van matten + Noma's te inspecteren, is ca. 6 mnd op Portunus gemonteerd geweest

KSV-bakken (IBAK):

- Klar Sicht Vorsatz perspex blokken (3 st.) met neon-verlichting waarop camera's waren gemonteerd (2/blok). Een en ander om via het heldere perspex een groot oppervlak in beeld te brengen.

#### 4.5.1.2 Hydraulisch systeem

De Portunus had twee geheel van elkaar gescheiden hydraulische systemen. Elk systeem bestond uit een elektromotor van 22 kW 1450 tpm met aan het ene aseind een variabele VOLVO axiale zuigerpomp V33A-35 met kantelplaat. De elektromotor had een nominaal koppel van 1470 Nm en een toelaatbare aanloopkoppel dat 2,5 x zo hoog was, dus 3675 Nm. De nominale stroom bij een spanning van 660 Volt was 34A met een maximale aanloopstroom die 6,5 x zo groot mocht zijn.

De pomp was voorzien van een borstpomp, ventielen en controle-unit, het geheel was geschikt voor gesloten circuit type transmissies. De pomp had een zuigerverplaatsing van 35 cc/omw, een werkdruk van 250 Bar met maximaal 350 Bar en piekdruk 400 Bar. Het maximaal theoretische vermogen was 75 kW.

Aan het andere aseind van de motor was een vaste opbrengst tandwielpomp gemonteerd voor de voeding van de hulpfuncties. Deze pomp was een VOLVO F11-5 met 4,88 cc/omw, een werkdruk van 350 Bar en een piekdruk van 420 Bar. Het gehele systeem, waaronder ook de oliereservoirs, stond onder een overdruk van maximaal 1 Bar boven de onderwateromgevingsdruk, dus op 40 meter diepte maximaal 5 Bar. Het normale temperatuurbereik van het hydraulische systeem was -20 tot 60 graden C. Een "hot-spot" temperatuur van maximaal 75 graden was toegestaan.

Functies

Het aandrijven van hulpcilinders betreffende:

- het positioneren van de wielen;

- het heffen en zakken van de Portunus;

- het heffen en zakken van de inspectiewagen;
- het heffen en zakken van de sonarhead van de O.A.S.;
- het aandrijven van de wielen;
- het aandrijven van de tracks;
- de beweging van de manipulator.

#### 4.5.1.3 Inspectiewagen

Afmetingen:

breedte 4,20 m

lengte 1,30 m

gewicht (droog) 11 kN (inclusief sensoren)

Beschrijving:

De inspectiewagen was voorzien van vier wielen. Deze waren zo geplaatst dat bij het rijden over de tegelmat eenzijdig wegzakken niet kon voorkomen. De wagen werd voortgeduwd door twee, aan de voorzijde van de Portunus aan een draaibare trommel bevestigde, ongeveer verticaal staande, armen die via scharnierende, ongeveer horizontaal lopende armen met de wagen waren verbonden.

Hiermee werd bereikt dat de verticale bewegingen van de voorkant van de Portunus niet werden overgebracht op de inspectiewagen.

De inspectiewagen was door middel van sleden beveiligd tegen beschadiging tijdens het afrijden van de (tegel-)maten (zie foto 3).

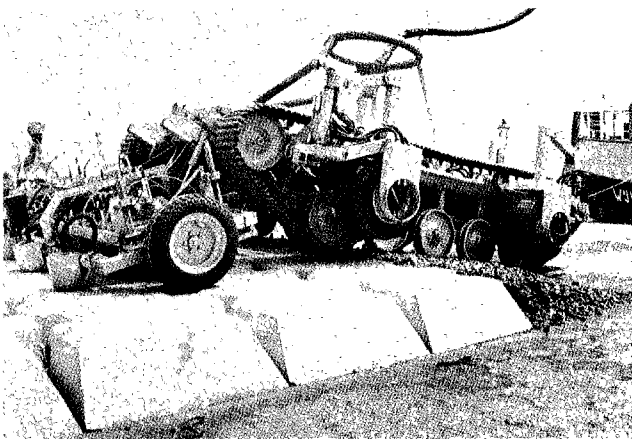


Foto 3 Rijproeven Portunus op tegelmat in werkhaven Schelphoek

Verder was de inspectiewagen met de draaibare trommel aan de Portunus verbonden door twee schuin naar achter lopende en twee schuin naar voren lopende hydraulische cilinders. De draaibare trommel kon door middel van 2 ongeveer horizontaal lopende hydraulische cilinders worden gedraaid, waardoor de gehele inspectiewagen opklapte.

De totale opklaphoek bedroeg ca. 135 graden. In deze stand lag de inspectiewagen boven op de Portunus en kon wat de inspectiewagen betrof elke helling op en af worden genomen. Wanneer de crawler zich op de wielen drukte, was de inspectiewagen star aan de Portunus verbonden, zodat voorkomen werd dat bij het zwenken de wagen over de bodem sleepte.

Sensoren:

De navolgende sensoren waren gemonteerd aan de inspectiewagen:

1 x obstacle avoidance sonar

4 x TPD-sensoren om zanddiktes te meten  
6 x videocamera's en 3 Klar Sicht Vorsatz blokken.

#### 4.5.1.3.1 Klar Sicht Vorsatz (KSV)

Fabrikant: IBAK, Duitsland

Bijzonderheden:

Gewicht boven water 2350 N (per blok), onder water 800 N.

Afmetingen: 0,7 m x 1,0 m x 0,25 m (per blok).

Omdat het zicht onder water in de Oosterschelde soms beperkt kon zijn tot ca. 10 cm, kon met normale camera's geen voldoende groot oppervlak worden geobserveerd. Daarom werd een zogenaamd Klar Sicht Vorsatz ontwikkeld, die ervoor diende het troebele water te vervangen door het heldere en goed licht doorlatende medium perspex. Gelijmatige verlichting was eenvoudig in het perspex gerealiseerd door middel van neonbuizen met blinding aan de bovenzijde, zodat het licht alleen omlaag kon schijnen.

Het videosysteem bestond uit een zes-tal videocamera's met groothoek objectieven gemonteerd op drie perspex blokken. Hiermee werd een minimaal oppervlak verkregen van 300 cm breed bij 35 cm diep (afstand KSV tot bodem 0 cm). De perspex blokken waren gevat in een stalen frame dat afgesteund was tussen 0 en 35 cm ten opzichte van de bodem. Voor het achteroverklappen van de KSV-wagen moesten de KSV-blokken een hoogte hebben van  $\geq 17$  cm boven de bodem.

Als de KSV-blokken de bodem tot op 5 cm naderden, vond alarmering plaats in de Portacabin. De KSV was aan de onderzijde voorzien van een afneembare dunne plexiglasen plaat die eenvoudig kon worden vervangen na beschadigingen ten gevolge van bodemcontact.

Door middel van een puntvormige lichtbron en een cilindervormige lens, die waren gemonteerd in de KSV tussen twee camera's in, werd op het te inspecteren oppervlak een lichtstreep geprojecteerd. De plaats van de lichtstreep in het beeld van de monitor gaf de afstand van de KSV tot het te inspecteren oppervlak en was tegelijkertijd een indicatie voor hoogteverschillen in het oppervlak.

#### 4.5.1.3.2 Videocamera's

Fabrikant: IBAK, Duitsland

Merk: Miniatuur TV-camera, type FK 9 U speciaal

Posities: 6 camera's waren op de drie KSV blokken van de inspectiewagen gemonteerd

1 camera was aan het einde van de manipulator gemonteerd

Bijzonderheden:

- zwart/wit vidicon camera's
- breedhoeklens van 160° diagonale openingshoek
- om inbranden van de "vidicon buizen" in de camera's te voorkomen, indien zonlicht via de lenzen binnen kwam, waren de camera's voorzien van afsluiters die voor de lens konden worden gedraaid
- lengte 255 mm
- diameter 51 mm
- gewicht (in lucht) 1,7 kg
- gewicht (in water) 1,15 kg.

#### 4.5.1.3.3 Zanddiktemeters (ZDM) (zie ook hoofdstuk 2)

Posities: 4 TPD sensoren beschermd gemonteerd voor op het KSV-frame, onderlinge afstand was 1,20 m

Bijzonderheden:

- de sensoren bevatten twee transducenten, één van 0,5

- MHz en één van 1 MHz
- openingshoek 0,5 MHz transducent: 3,5°  
openingshoek 1 MHz transducent : 2°
- de sensoren waren aangesloten op de zanddikte meeteenheid welke zich in een separate onderwaterpod bevond
- gewicht 1 sensor boven water: 150 N  
gewicht 1 sensor onder water: 135 N  
afmetingen maximaal: Ø 200 mm x 195 mm exclusief kabel + canule
- hoogte onderzijde sensor bodem: 20 cm loodrecht naar de bodem gericht.

#### 4.5.1.3.4 Obstacle Avoidance Sonar (O.A.S.)

Fabrikant: UDI Aberdeen, U.K.

Merk: Scanning Sonar AS360

Bijzonderheden:

afstand schalen ...5, 20, 40, 100 m

transmissie frequentie ... 500 KHz

sonar head:

hoogte 34 cm

breedte 19,5 cm

gewicht (in lucht) 110 N

gewicht (in water) 30 N.

Eén O.A.S. was gemonteerd op de voorkant van de inspectiewagen en een aan de achterkant van de Portunus. De voorste O.A.S. functioneerde alleen bij neergelaten of bij geheel opgeklapte inspectiewagen.

Doel:

Om de aanwezigheid van hoopjes stenen en de plaats daarvan aan de voor- en achterzijde van de Portunus tijdig waar te nemen, zodat eventuele maatregelen konden worden genomen. De achterste O.A.S. werd veelal gebruikt bij o.a. het leggen van bovenmat en tegelmat.

#### 4.5.1.3.5 Jetinstallatie

Om een "licht" aangezande mat (maximaal 0,03 m) ten behoeve van navigatiedoelinden te kunnen opschonen en tevens eventuele matbeschadigingen te kunnen bekijken, was een jetinstallatie aan de voorzijde van de inspectiewagen gemonteerd. Losgejet zand werd door de natuurlijke stroming weggevoerd.

#### 4.5.1.4 Side Looking Sonar

Fabrikant: Klein Associates inc. U.S.A.

Merk: Side Scan Sonar 4225 - 001E

Bijzonderheden:

frequentie: 500 KHz

lengte: 121,9 cm

diameter: 8,9 cm (omtrek 30,5 cm)

gewicht (in lucht): 219 N

gewicht (in water): 163 N

horizontale bundelstraal 0,2°

verticale bundelstraal 40°

"Fish" kon worden gemonteerd op de vaste arm aan de rechterkant van de Portunus, ca. 30 cm boven de tracks.

Doel:

Om naast de Portunus informatie te verkrijgen van het oppervlak met eventuele obstakels, o.a. matranden.

#### 4.5.2 Wijker Rib

##### 4.5.2.1 Afmetingen en specificaties

Lengte: 54 m

Breedte: 9,9 m

Diepgang: - grootste (zonder Schottels en transducer)

- 2,50 m

- met alleen Schottels beneden - 3,30 m

- met HPR transducer beneden - 5,00 m

Waterverplaatsing: ± 700 ton

Aandrijving:

2 x hoofdschroeven - 300 pk ieder

2 x roerpropellers (Schottels) - voorin 510 pk  
achterin 260 pk

Energievoorziening:

oorspronkelijke boordnet - 32 KVA

onderwaterinspectiesysteem generatoren - 2 x 125 kVA

Werkdek (voor Portunus): 7 m x 8 m

Draadlieren: voordek 2 lieren met houdkracht 70 kN en trekkracht 25 kN op eerste laag achterdek 2 - 2 x 300 m draad met doorsnede van 22 mm

Accommodatie: dagverblijf voor 16 personen inclusief keukentje Dosbouw kantoor op de brug

De Wijker Rib was verder uitgerust met het Trident III radiografisch plaatsbepalingssysteem en een gyrokompas, terwijl voor de plaatsbepaling van de Portunus het Simrad HPR akoestisch onderwaterplaatsbepalingssysteem was geïnstalleerd. De transducer van dit systeem werd bij gebruik ca. 4,0 m onder het vlak van het schip gebracht (zie figuur 17).

##### 4.5.2.2 Launch and recovery system

Het "launch and recovery system" was het systeem dat de Portunus overboord zette op de te inspecteren locatie en weer terug haalde aan dek van de Wijker Rib.

Het systeem bestond uit drie hoofdonderdelen:

- kraan;
- umbilicallier;
- traveller.

##### 4.5.2.2.1 Kraan

De twee functies van de kraan waren:

- overboord zetten/aan boord halen Portunus
- umbilical geleiding/behandeling tijdens inspecties.

Voor de eerste functie was de kraan onder meer uitgerust met een passieve deiningscompensator (DC), voor de andere functie met een "constant tension" (CT) regeling in de umbilical.

Verder was de kraan uitgerust met:

- \* geleidingsmechanisme voor umbilical
- \* schamelende kraankop
- \* umbilicallier (Ø 2600)
- \* travellerlier (2-trommellier)
- \* elektrisch instelbare palrem.

Specificaties kraan:

- \* – spreid: 10,5 m; 15 ton hijsvermogen
- H: 6-9 m boven W.L.
- zwenksnelheid: 360°/min
- hijsnelheid: 10m/min - 30 m/min
- \* dubbele bediening: 1 kraan  
2 brug Wijker Rib
- \* vanaf brug (WR) bedienbare camera bevestigd op kraan: (monitor op brug).

##### 4.5.2.2.2 Umbilicallier

De umbilicallier had een diameter van Ø 2600 mm en werd hydraulisch aangedreven. De besturing gebeurde door de

bedieningshandle of automatisch door het constant tension systeem, dat continu de kracht in de kabel vergeleek met een ingestelde waarde en daarna inhaalde of uitvierde.

De krachtmeting werd gedaan door een meetwiel dat op de kraankop was gemonteerd. In de kraankop bevond zich ook de topschijf ( $\varnothing$  1 m) waaroverheen de umbilical geleid werd. De kraankop kon scharnieren om een horizontale as (het zgn. "schamelen") om bij het ophalen in stroom, dus schuin oplopende kabels, de schijf onder dezelfde hoek te zetten.

Aan de kraankop bevond zich een vangconstructie, bestaande uit een buisframe waarin drie klauwen waren opgenomen.

Bij het aan boord halen werd de Portunus zover gehesen dat de  $\varnothing$  1 m ring rond de umbilical zich binnen de buisconstructie bevond, waarna de drie klauwen zich rond die ring sloten en zo een "vaste" verbinding tussen kop en Portunus teweeg brachten.

#### 4.5.2.2.3 Traveller

Om de umbilical te ontlasten tijdens hijsen vanaf en vieren tot juist onder het wateroppervlak, was een zogenaamd travellersysteem aangebracht. Dit bestond uit:

- een twee-trommellier, 50 m,  $\varnothing$  18 mm draad per trommel;
- een dwarsbalk met schijven (1 m breed) op de kraankop;
- de zogenaamde traveller, een drager met vier haken die (hydraulisch bediend) kunnen sluiten om de bovenrand van de umbilical pod van de Portunus (zie foto 4 en 5).

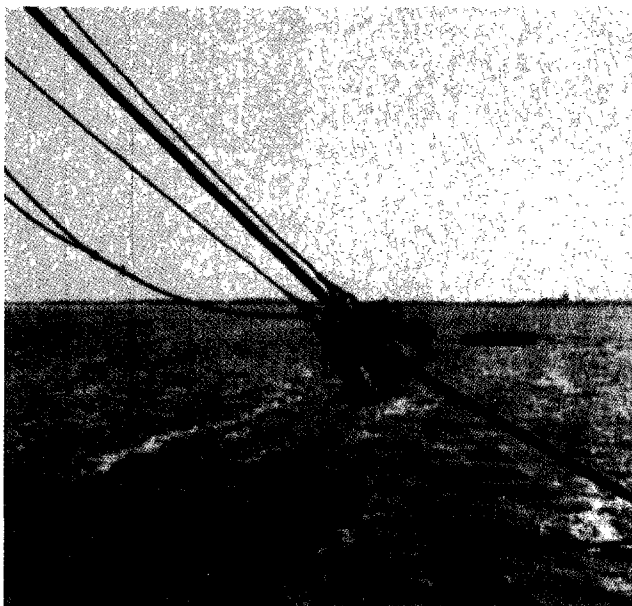


Foto 4 Hydraulische klauwen langs de umbilical (Portunus inspecteert)

Dit systeem wordt alleen tijdens hijsen/neerlaten gebruikt. Dit houdt in dat na de lancering de haken geopend werden en de traveller, glijdend langs de umbilical, opgehaald werd. Omgekeerd moest voor het aan boord halen de traveller worden neergelaten, de haken dichtgedrukt en dan kon worden gehesen met de 2-trommellier. Bediening was alleen mogelijk vanaf de kraan.

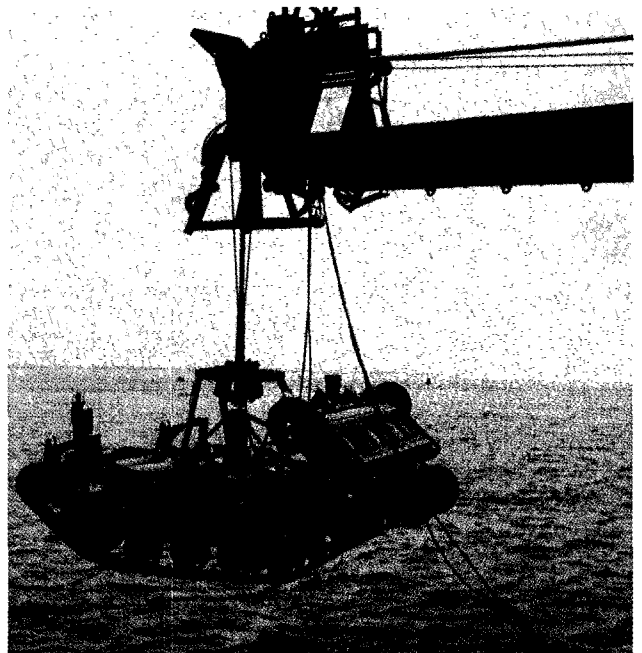


Foto 5 Portunus met vangconstructie (travellersysteem)

#### 4.5.2.3 Bedieningsruimte

Voor de bediening van de Portunus en sensoren, alsmede de verwerking van de inspectiegegevens waren op de Wijk Rib vier containers samengesteld tot een bedieningsruimte (zie figuur 17).

In deze ruimte bevond zich de hoofdconsole waarin gemonteerd:

- monitoren van:
  - camera's
  - profiler
  - O.A.S.
  - plaatsbepaling
- videorecorders:
  - 3 losse recorders en
  - 6 recorders aan een, via microprocessor gekoppelde, gelijklooptregeling waarop "events" (gebeurtenissen) konden worden "gelogged", zodat deze later direct konden worden afgeroepen. Verder hierop tijd, plaats, coördinaten, datum + ingesproken commentaar
- navigatieschermen (HPR)
- status display Portunus waarop alle gegevens met betrekking tot Portunus zichtbaar waren. Bijvoorbeeld wielstanden, alarmeringen, umbilicallengte, etc.
- 2e bediening Portunus
- hardcopy-unit

Tevens was deze ruimte voorzien van:

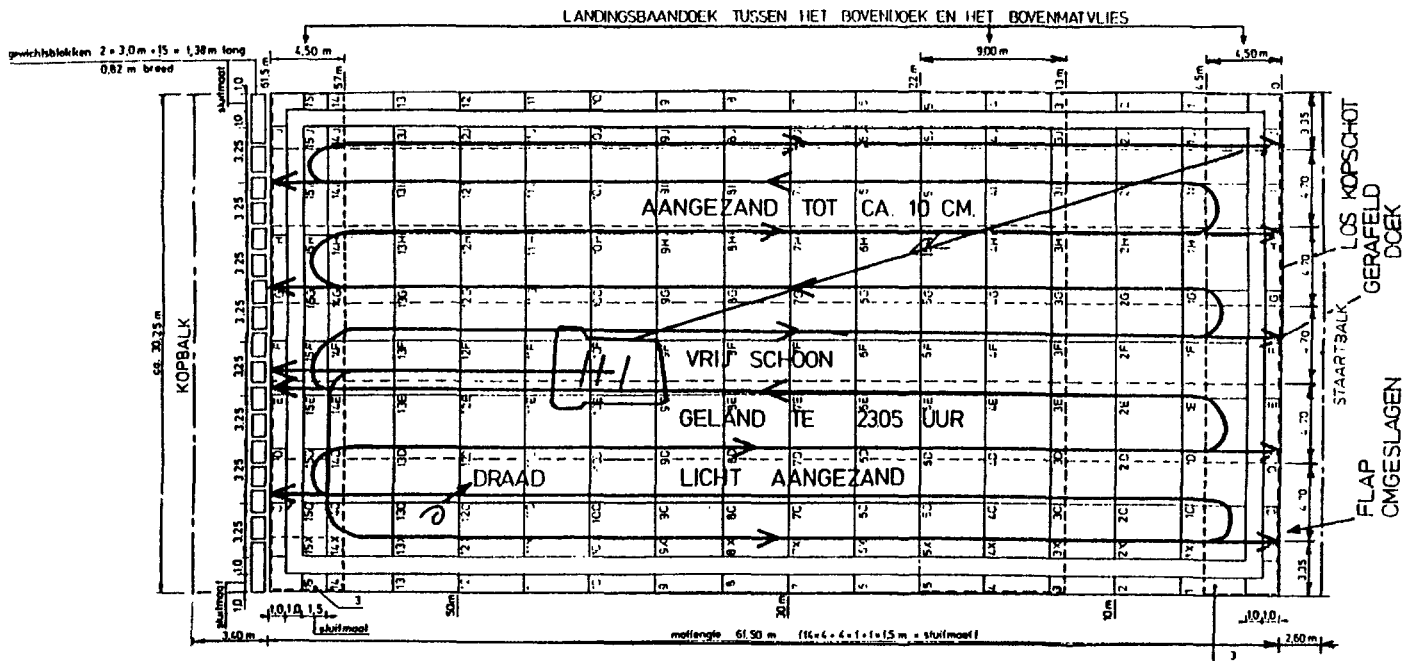
- \* airconditioning
- \* computer PDP 11/34
- \* printer
- \* plotter.

## 4.6 Inspectiewerkzaamheden

### 4.6.1 Algemeen

Inspecties werden na een aanvraag eerst doorgesproken met de uitvoerende directie van het betreffende bedrijf.





Figuur 18 Honderd procent inspectie bovenmat (theoretisch)

Hierbij kwamen ter sprake: datum, tijd, stroomrichting, soort inspectie, positie werkschepen (met de daarbij behorende ankerpatronen), afmeerlokatie Wijker Rib, mogelijke verwachtingen met betrekking tot de inspectie (stenen, schade, zand e.d.), activiteiten van het bedrijf tijdens het verrichten van de inspectie en beschikbare tijd voor de inspectie in verband met het beïnvloeden van de cyclus. Aan de hand van de verkregen gegevens werd een en ander met de gezagvoerder en de ploegleider van Necos doorgenomen.

#### 4.6.2 Positioneren Wijker Rib

In tegenstelling tot de in de ontwikkelingsfase voorgestelde werkmethodeken (vrij varende, niet-cyclus beïnvloedend) werd in de praktijk meestal gebruik gemaakt van de werkschepen c.q. boegbakken en ankerpatronen om een "stabiele" afmeerpositie van de Wijker Rib te creëren en te behouden tijdens een inspectie (zie plaatsbepaling Wijker Rib, deelnota 3).

Een en ander hing samen met het feit dat de inspecties vast in de cyclus van het betreffende bedrijf waren opgenomen.

Het positioneren van de Wijker Rib gebeurde dan ook vaak met het plaatsbepalingssysteem AGA/Minilir van het betreffende werkvaartuig waarbij een en ander werd gecontroleerd aan boord van de Wijker Rib door middel van Trident of AGA/Minilir.

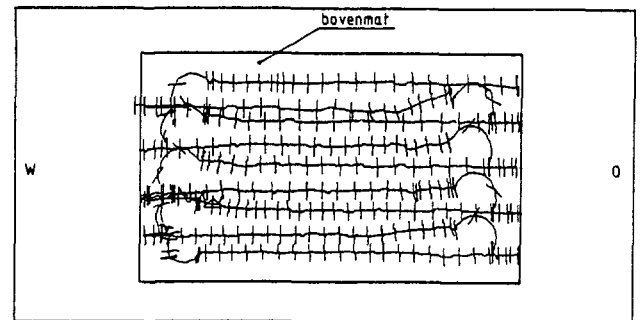
De Wijker Rib werd altijd zo gepositioneerd dat de Portunus op de centerlijnen van de te inspecteren lokatie kon landen.

#### 4.6.3 Inspectie

Op het moment dat de vereiste positie bereikt werd, begon de eigenlijke inspectie.

De Portunus werd dan met behulp van de hulplijer (staal-

F : HHHTD FILTERS WR PORT TIJD : 06 46  
 0 0111 11010 11111



XKSV : 60.8 (M) 2SDX : 0.7 (M) UMB SLAG : 91.0 KOERSPORT : 116.1 (DEG) ·  
 YKSV : 26.9 (M) 2SOY : 0.7 (M) RICHTUMB : 263.9 (DEG)

Figuur 19 Plot afgelegde weg Portunus bij 100% bovenmatinspectie

draden + hydraulisch bedienbare klauwtjes) tot net onder de waterlijn gebracht. Daarna werd de Portunus "overgenomen" door de umbilical, de klauwtjes geopend en de Portunus afgevoerd tot op het te inspecteren gebied. Het op de Portunus aanwezige echolood was daarbij de indicator voor de viersnelheid.

Aan de hand van koers, coördinaten, eventuele matmarkering enz. werd vervolgens de exacte positie van de Portunus bepaald en kon de inspectie beginnen.

Met behulp van de zwenkwielen (ten behoeve van draaien en grote koersveranderingen) werd de Portunus vervolgens, door naar de noord- of zuidrand te rijden gepositioneerd voor de start van de inspectie.

Hierna werd bijvoorbeeld een bovenmat geïnspecteerd door het afrijden van de oostwest lopende tracks op een zodanige wijze dat ze elkaar steeds overlaptten (zie figuur 18).

Alle inspectiegegevens werden geregistreerd op videobanden (met commentaar), hardcopies, plots (zie figuur 19), rapporten en tekeningen. Eventuele bijzonderheden werden direct doorgegeven via de mobiel of de telefoon.

Na voltooiing van een inspectie werd de Portunus weer teruggereden naar de landingspositie (recht onder de kraan) waarna de Portunus met behulp van de umbilical en de kraan gehesen werd tot op de waterlijn en met de hulplijdraden tot op het werkdek (staaldraden en klauwtjes).

De dwarsstreepjes waren projecties van de voorzijde (camerawagen) van de Portunus (werden tijdens het rijden op het scherm getekend).

Het lijnenpatroon was een combinatie van het Trident boven water plaatsbepalingssysteem en het akoestische plaatsbepalingssysteem onder water, waarbij filtertechnieken waren toegepast.

## 4.7 Ervaringen

### 4.7.1 Inzet Portunus

In het eisenpakket voor de uit te voeren onderwaterinspecties, zoals dat in 1981 werd opgesteld (zie onder 4.2 en doc 3), is in de praktijk veel gewijzigd.

Hieronder wordt een overzicht gegeven van volgens het eisenpakket uit te voeren inspecties en hoe dat in de praktijk is uitgekapt.

Eisenpakket	praktijk
1.1 Voor-inspectie rand bodembescherming	niet
1.2 Zijkanten aanliggende ondermat	niet
1.3 Bovenzijde ondermat na afzinken	wel*
1.4 Zijkanten ondermat na afzinken	wel*
1.4.1 Voor- en achterzijde ondermat na afzinken (aansluiting bodembescherming)	wel*
1.4.2 idem 1.4.1 Kopse matranden	wel
1.5 Bovenzijde ondermat na verdichten	wel*
1.6 Negatieve overlap	wel*
2.1 Bovenzijde ondermat tijdens afzinken bovenmat	wel*
2.2 Bovenzijde ondermat tijdens afzinken bovenmat	wel*
2.3 Ondermat ter plaatse van kop- en staartbalk bovenmat	wel*
2.4 Bovenzijde bovenmat na verdichten	wel
2.5 Negatieve overlap	wel*
2.6 Bovenmat na afstorten negatieve overlap	wel
Bovenzijde bovenmat vóór tegelmat leggen	wel*
Bovenzijde bovenmat tijdens tegelmat leggen	wel* (deels)
Bovenmat ter plaatse van kop-staartbalk tegelmat	wel*
Bovenzijde tegelmat na leggen	wel*
Pijler in bouwdok: grindzak	niet
Pijler in bouwdok: na heffen (grindzak)	niet
Pijler in bouwdok: na heffen (onderzijde)	niet
Pijler na transport (grindzak)	niet
Bovenmat voor pijler plaatsen (AZA)	wel*
Bovenmat voor dummy plaatsing	wel*
Pijler na plaatsing (grindzak)	niet
Vermeede schades	wel

NB: de met \* gemerkte inspecties zijn zeer weinig uitgevoerd.

Inspecties, die niet voorzien waren maar wel regelmatig gedaan werden, waren:

- Noma's inmeten (na afzinken);
- pijlerbilgebied na verdichten bovenmat.

In de praktijk is gebleken, dat een groot aantal van de uit het eisenpakket genoemde inspecties niet, c.q. niet standaard, uitgevoerd werden bij de Cardium.

Inspecties welke daarentegen met zeer grote regelmaat uitgevoerd werden, waren:

- \* Bovenmat, 100% eindinspectie
- \* Ligging Noma's door middel van profilermetingen (vanaf een vaste opstelling aan zijkant Portunus).

Oorzaken van het in de praktijk niet uitvoeren van een groot aantal inspecties waren:

#### 1. Tegelmatten:

Deze werden gezien de vlakheid van het door het Carjan-bedrijf opgeleverd funderingsbed, in afwijking van de gedachten hierover in de ontwerpfase, alleen gelegd bij absolute noodzaak.

#### 2. Pijlerinspecties:

- \* Deze waren in het bouwdok moeilijk uitvoerbaar (slib en blikplaten).
- \* Dummyplaatsingen kwamen zeer weinig voor.
- \* De aanzandingsproblematiek in het sluitgat was veel minder groot dan verwacht.
- \* Ter plaatse van het aanzandingsgebied Roompot Noord zou in eerste instantie de Portunus inspectie doen naar uitzakkend zand, op het moment dat de pijler tot op enkele meters boven de bovenmat afgevierd was. Door de mogelijkheid dat de umbilical schade toe zou brengen aan de grindzak en uit oogpunt van overschreiding van beschikbare cyclustijd werd hiervan afgezien.

Met betrekking tot de, wel regelmatig uitgevoerde inspecties kan het volgende opgemerkt worden.

#### 1. Bovenmatten:

Er werden regelmatig voorwerpen gevonden (stenen, gereedschap, etc.) op de bovenmat waardoor een 100% inspectie voor het pijler plaatsen een eis werd.

#### 2. Wiepenmatten:

De ligging hiervan kon gemeten worden met de Portunus met behulp van de Ulvertech-profiler en de UDI-sonar. Gemeten werd de afstand rand bovenmat tot rand wiepenmat. Deze meting bleek in de praktijk vergeleken met andere meetmethodieken de nauwkeurigste.

Totaal heeft de Portunus 411 inspecties uitgevoerd, waarvan 345 (127 respectievelijk 218 inspecties) ten behoeve van het CARJAN- en MOD-bedrijf. De overige 66 acties waren onder andere zoeken naar een zuigkop, proeven met Geodoff, lokaliseren ankerpalen alsmede transpondermetingen.

### 4.7.2 Aanpassingen

Vanaf de ontwikkeling/bouw van het onderwaterinspectiesysteem zijn de volgende aanpassingen (in chronologische volgorde) aangebracht.

#### 4.7.2.1 Portunus

2e helft 1982

- \* Vervanging manoeuvreerwielen in verband met lekrij-

- den op snaplockpennen, door massief rubberen wielen.
- \* Aanpassen hydrauliek ten behoeve van installatie manipulator.

februari 1983

- \* Installatie van 2e O.A.S. op achterzijde.

Aanpassing zandsensorschoenen (opklapbaar, passief) ten behoeve van voorkomen schades.

mei 1983

- \* Montage manipulator

juni 1983

- \* Profileren zwenkwielbanden (verbeterde grip).

juli 1983

- \* Aanbrengen (mech.) eindstops zwenkwielen.
- \* Aanbrengen rubber strips op rupsen (1:3).
- \* Aanbrengen trafo's ter versterking van het profileringsnaal in verband met lengte umbilical.
- \* Maken waterafloopgaten in diverse onderdelen.

augustus 1983

- \* Installatie vaste frames ten behoeve van profileropstelling (manipulator buiten gebruik).

november 1983

- \* Installatie getrapte joy-stick besturing (inzet verschillende snelheidsgebieden).

december 1983

- \* Demontage manipulator.

maart 1984

- \* Installatie (mini) jetinstallatie ten behoeve van wegjetten zand + kleine voorwerpen (stenen tot 15 cm).

#### 4.7.2.2 Wijker Rib

1982

- \* Verbouwing ten behoeve van OWI-systeem (kraan, werkdek, porta-cabin, generatoren, lieren (3) stuurhuis etc.)

1983

- \* Toevoeging 4e lier.
- \* Installatie automatische piloot.

### 4.8 Conclusies

#### 4.8.1 Portunus

- \* Is, na enkele kinderziekten, zeer betrouwbaar gebleken.
- \* Heeft zijn werkzaamheden met grote precisie uitgevoerd.
- \* Cyclusvertraging door schade of uitval is vrijwel niet voorgekomen.
- \* Voldeed aan gestelde eisen.
- \* Manipulator is geen succes geweest.
- \* Umbilicals (hijs-, signaal-, voedingskabel) zijn tot het einde een lopende problematiek gebleven, alhoewel een en ander in de loop der tijd wel verbeterd is.

#### 4.8.2 Wijker Rib

- \* Bleek goed geschikt te zijn voor haar taak.
- \* Voortstuwing was voldoende, maar aan de grens (met name de achterSchottel).
- \* Extra achterlier was onontbeerlijk (met name in "kont op stroom" situatie).

#### 4.8.3 Kraan

- \* Werkte, na diverse aanpassingen, naar tevredenheid, maar aan de grens van zijn specificaties.
- \* CT-regeling moest regelmatig bijgesteld worden.

---

## 5. Onderwaterwerkkamer

---

### 5.1 Inleiding

In de uitvoeringsfasering voor het leggen van de funderings- en tegelmatten lagen deze matten gedurende korte of lange periode geëxposeerd. Opgetreden aanzanding moest worden verwijderd en gecontroleerd.

Schades aan het bovendoek van de filtermatten, tengevolge van onjuiste handelingen van de Cardium, Jan Heijmans, Portunus, Macoma, Ostrea, DOS I, of het herplaatsen van pijler of ankerdraden, waren niet ondenkbaar. Het uitspoelen van filtermateriaal uit de matten zou een direct gevolg kunnen zijn waardoor de fundering haar filtereigenschappen zou kunnen verliezen.

Beschadigde matten moesten derhalve zo snel mogelijk worden gelokaliseerd en aan een nadere in situ-inspectie worden onderworpen en gerepareerd.

Om deze drie grootheden onder water te realiseren werd de onderwaterwerkkamer (ook wel Habitat genoemd) ontwikkeld.

De Habitat werd "gehandeld" door de moederponton "Johan V", die voorzien was van een (gesloten) beun van 6,60 x 6,60 m<sup>2</sup>, waarmee ook grondonderzoek door middel van een voetplaat met duikerklok kon worden uitgevoerd (zie deelnota 6).

### 5.2 Programma van eisen

#### 5.2.1 Specifieke taken

De taken van de onderwaterwerkkamer waren:

- het inspecteren van funderingsmatten en het inventariseren van eventuele schades;
- het repareren -in situ- van beschadigde matten;
- werkzaamheden aan de ankerpalen in de drie stroomgeulen zoals het verwisselen van voorlopers en het monteren en demonteren van de paalkop;
- diverse andere onvoorziene onderwaterwerkzaamheden.

#### 5.2.2 Randvoorwaarden

- Onvlakheid fundatiebed:  
Het maximum hoogteverschil ten gevolge van onvlakheden mocht niet meer bedragen dan 0,3 m over de omtrek van de onderwaterwerkkamer.
- Toelaatbare stroomsnelheden op de met lucht gevulde onderwaterwerkkamer:  
Bij aanstroming op de korte zijde van de onderwaterwerkkamer moest deze nog kunnen werken tot een stroomsnelheid van 3 m/sec. De aanstroomhoek bedroeg hierbij maximum 15°. Bij aanstroming op de lange

zijde moest men met de onderwaterwerkkamer nog kunnen werken tot een stroomsnelheid van 2,0 m/sec. De aanstroomhoek hierbij was maximum 15°.

- Golfcondities op de met lucht gevulde onderwaterwerkkamer:  
De maximale golfcondities waaronder gewerkt moest kunnen worden bedroegen:  
H<sub>sign</sub> = 0,30 m                      T<sub>gem</sub> = 6,5 sec.  
H<sub>sing</sub> = 0,75 m                      T<sub>gem</sub> = 4,0 sec.
- Overlevingsomstandigheden:  
Bij overschrijding van bovengenoemde stroomsnelheden en golfcondities moest de onderwaterwerkkamer met water worden gevuld.
- Matbeschadigingen:  
De onderwaterwerkkamer mocht bij het neerkomen op de funderingsmat geen beschadiging(-en) veroorzaken. De maximaal toelaatbare oplegdruk op de mat mocht niet groter zijn dan 15 N/cm<sup>2</sup>.
- Waterdiepte:  
Voor de hijsdraden en umbilical moest worden gerekend op een waterdiepte van 40,0 m.
- Positioneringsnauwkeurigheid:  
De positioneringsnauwkeurigheid op de mat was 0,75 m (inclusief meetfout). De onderwaterwerkkamer moest met een nauwkeurigheid van ± 0,5 m over de kop van een ankerpaal kunnen worden geplaatst.
- Werken aan de matrand:  
In verband met het hoogteverschil tussen de fundatiediepten van naastliggende pijlers moest in dwarsrichting van de onderwaterwerkkamer een hoogteverschil van 1 m kunnen worden overbrugd.

### 5.3 Inrichting

#### 5.3.1. Algemeen

De binnenwerkse afmetingen waren 6x3x2,5 m. Het gewicht (inclusief ballast) bedroeg 850 kN. In de onderwaterwerkkamer was aanwezig:

- aansluiting 380 V ten behoeve van vaste pompopstellingen;
- luchtleidingen/aansluitingen;
- 2 pompleidingen 4";
- werkverlichting;
- camera's;
- opslagrekken met materiaal voor reparatie;
- airlift.

### 5.3.2 Ten behoeve van matreparaties

- Een pomp met regelbare zuigmond voor het verwijderen van granulaire materialen.  
De benodigde pompcapaciteit en de zuigleiding voor het uitvoeren van matreparaties waren uit de proeven op Schelphoek bekend. De pomp moest de opgezogen matmaterialen buiten de onderwaterwerkkamer kunnen afvoeren.
- Een opslagruimte voor korven, pennen, tussenweefsel en bovendoek. Voor de opslag van bovengenoemde matonderdelen moest in de onderwaterwerkkamer een ruimte worden gemaakt.
- Een opslagruimte voor beschadigde matmaterialen.
- Aanvoermogelijkheid voor de granulaire materialen van buitenaf door middel van een duikklok.
- Transportmogelijkheid binnen de onderwaterwerkkamer voor de verwerking van de materialen,

### 5.3.3 Ten behoeve van onderhoud/repairatie ankerpalen

- Voor het verwisselen van onderdelen van de kop van de paal moest een hijsconstructie aanwezig zijn met een hijscapaciteit van 40 kN. De gewichten van de onderdelen van de paalkop waren:
  - vergrendelen 10,60 kN
  - taatsring + dissel 29,30 kN
  - plaat Ø 1.4- 2kN.

## 5.4 Werkmethodiek

Het positioneren van de onderwaterwerkkamer kon alleen plaatsvinden op de kentering (stroomsnelheid < 0,50 m/sec) vanwege de positioneringsnauwkeurigheid. Het werken met de onderwaterwerkkamer vond plaats vanaf de Johan V. De duikers werden met behulp van een duikklok naar de onderwaterwerkkamer gebracht. Daar reparaties aan de matten zo snel mogelijk moesten gebeuren (dus vlak in de buurt van de Cardium en de Jan Heijmans) werd de Johan V soms afgemeerd aan de Cardium of de Jan Heijmans.

Op deze wijze kon door beide schepen gedurende reparaties niet worden gewerkt.

Met de onderwaterwerkkamer was het mogelijk op een talud van 1:6 te werken. De onderzijde van de kamer was "matvriendelijk" uitgevoerd, doordat deze van een rubberen rand was voorzien, die een druk gaf van circa 0,1 N/mm<sup>2</sup> op de bodem. Indien aan een mat of bodembescherming reparaties werden uitgevoerd was de lengterichting van de onderwaterwerkkamer evenwijdig aan de stroomrichting. Twee duikers repareerden een mat met pneumatisch handgereedschap, waarvan de aansluitpunten zich in de onderwaterwerkkamer bevonden. In de onderwaterwerkkamer heerste gedurende de uitvoering van de werkzaamheden een druk, overeenkomend met de waterdiepte, waarin de werkzaamheden werden uitgevoerd. De onderwaterwerkkamer was derhalve vrijwel droog.

## 5.5 Ervaringen

In het algemeen kon worden gesteld dat de onderwaterwerkkamer voldeed aan de verwachtingen.

De onderwaterwerkkamer is ingezet voor:

- Matreparatie H2 waarvoor 19 posities noodzakelijk waren.

- Matreparatie H4 waarvoor 2 posities noodzakelijk waren.
- Bergen bovenmat H13 waarvoor 9 posities noodzakelijk waren.
- Matreparatie H16 vanwege te steil talud mislukt. In een later stadium met 4 posities wel gelukt.
- Opsporen, vullen en afwerken van ankerton in de negatieve overlap bij R22 waarvoor 1 positie noodzakelijk was.

Voordat de onderwaterwerkkamer werd ingezet voor bovengenoemde werkzaamheden is op de proeflokatie een mat gerepareerd voor proefnemingen met de Macoma.

Over het algemeen kan worden gesteld, dat de onderwaterwerkkamer voldeed aan de verwachtingen.

Het uiteindelijk concept is slechts op twee punten veranderd.

1. Het granulaire materiaal wilde men aanvankelijk aanvoeren met een slang. Om redenen van synchroniteit met de werkzaamheden in de onderwaterwerkkamer (op het moment dat nieuw materiaal nodig was, zat de slang nog vol met oud materiaal) en vanwege aanstroomkrachten op de slang, is overgegaan op een buffervoorraad aan materiaal, dat werd opgeslagen in zakjes in de onderwaterwerkkamer.

2. In het begin waren twee deco(decompressie)tanks aanwezig waarvan één koppelbaar was aan de duikerklok. Zodoende kon de volgende werkperiode pas aanvangen na de noodzakelijke decotijd. Nadat een nieuw decosysteem was geplaatst, bestaande uit een 3-kamerige decotank (de zogenaamde "triple lock" kamer) onderling met elkaar verbonden, kon direct worden begonnen met de volgende werkperiode, hetgeen een verdubbeling betekende van de beschikbare werktijd.

De onderwaterwerkkamer bleek gevoelig voor taluds waardoor een aantal reparaties aan de ondermatten niet vanuit de kamer konden worden uitgevoerd.

## 6. Trigla

### 6.1 Inleiding

Vanaf het begin van de pijlerbouw in de bouwdokken is het onderzoek naar mogelijke aanzanding, aanslibbing of aangroei tussen de bovenmat en onderkant pijlervoet gestart. Uit berekeningen bleek, dat bij de geringste lekkage in de aansluiting van de grindzak (rondom de pijlervoet) en de mat of tegen de pijler, binnen één jaar ontoelaatbare hoeveelheden slib en/of zand onder de pijler konden terecht komen. Berekeningen betreffende deformaties van de pijlers en het ontoelaatbaar toenemen van de spanningen in de pijlervloer ten gevolge van uitspoelen van zand- en/of sliblagen, gaven aan dat zeker aan de Oosterscheldezijde van de pijler geen vervuild oppervlak  $> 25 \text{ m}^2$  aanwezig mocht zijn bij een laagdikte van  $> 20 \text{ mm}$ .

Om er zeker van te zijn dat de ruimte die moest worden gevuld (het zogenaamde ondergrouten), niet boven toelaatbare grenzen was vervuild, kwam de eis naar voren om deze ruimte na het plaatsen van de betreffende pijler te inspecteren.

Het inspecteren onder de pijlervloer kon op geen andere wijze plaatsvinden dan door de groutleidingen. Deze hadden echter maar een doorsnede van 45 mm en 60 mm.

De firma Skadoc uit Yerseke ontwikkelde een apparaat dat via de groutleidingen onder de pijler kon komen. Dit mini-apparaatje, genaamd Trigla (Latijn voor de in de Oosterschelde voorkomende vis Rode Poon), met een lengte van ca. 800mm was samengesteld uit drie scharnierende secties. De Trigla bevatte motortjes plus propellers voor de voortstuwing en besturing, sensor(-tjes) en een kleine CCD camera voor het uiteindelijke doel, namelijk het inspecteren van de met grout te vullen ruimte.

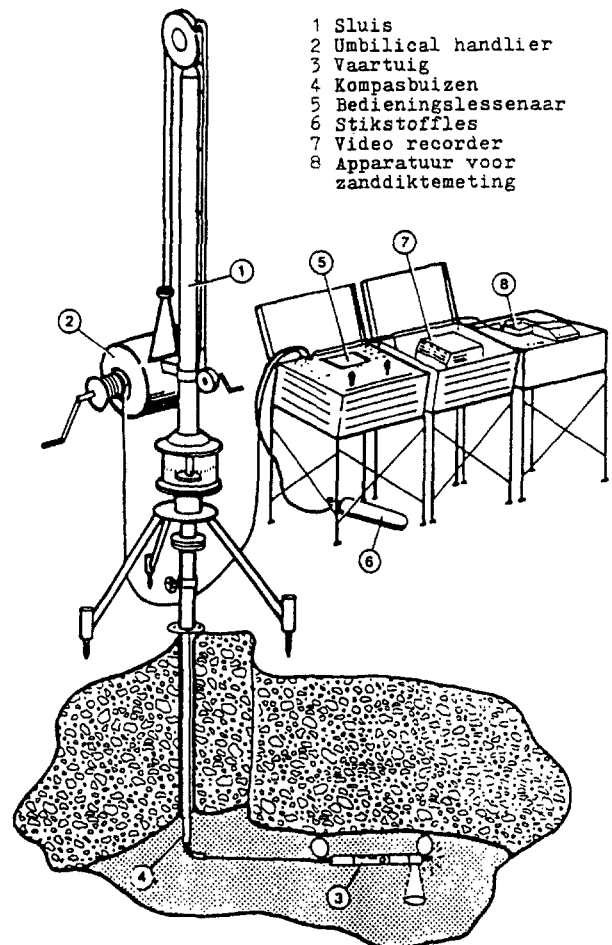
Twee ballonnen aan de uiteinden gaven de Trigla zijn drijfvermogen via een vernuftig elektronisch bestuurd pneumatisch systeem.

Om stagnaties in de voortgang tengevolge van reparatie en onderhoud van het inspectiesysteem te voorkomen waren er twee gebouwd, de Trigla I en de Trigla II.

### 6.2 Programma van eisen

Aangezien er totaal niets bekend was over de kwaliteit van de afsluiting van de grindzak, de doorlatendheid van de funderingsmat en het stromingsbeeld onder de pijler, waren voor deze voorwaarden, verwachtingen aangegeven. De belangrijkste randvoorwaarden waren (doc. 4):

- Inspectie oppervlak voor 3 middenvakken :  $240 \text{ m}^2/\text{vak}$
- Inspectie oppervlak voor 2 randvakken :  $60 \text{ m}^2/\text{randvak}$
- Hoogte variatie midden randvak :  $0 - 1,25 \text{ m}$



Figuur 20 Schematische opstelling bedieningslessenaar/statief in de pijler met inspecterende Trigla onder de vloer.

- Min. te inspecteren hoogte :  $0,35 \text{ m}$
- Min. diameter inspectie openingen :  $(2'') - 45 \text{ mm}$  en  $(2\frac{1}{2}') \text{ } \varnothing 60 \text{ mm}$
- Vloerdikte inclusief standleiding :  $2,10 - 2,40 \text{ m}$
- Naar randvakken gebogen doorvoeren :  $R = 250 \text{ mm}$
- Zichtbeperking onder pijler :  $0,05 - 2,00 \text{ m}$
- Stroomsnelheid :  $0,1 \text{ m/s}$
- Zowel mat als onderzijde vloer moesten worden geïnspecteerd;
- Er moest minimaal in een straal van  $4 \text{ m}$  rond de door-

voer worden geïnspecteerd. Indien de inspectiehoogte minder was dan 0,5 m in een straal van 2 meter;

- Mate van aangroei op mat en/of onderzijde vloer moest worden vastgesteld;
- Zand en sliblagen moesten gemeten worden, Onnauwkeurigheid 10% met een minimum van 10 mm voor zand/slib en 30% voor aangroei met een minimum van 10 mm;
- Randvakken inspectiestraal ca. 0,5 m rond de doorvoeren;
- Voorzichtigheid met het oog op beschadigen van de mat;
- Positiebepaling van opgespoorde verontreinigingen.

### 6.3 Materieel/systeem

#### 6.3.1 Systeem componenten

De hoofdcomponenten van het Trigla systeem waren het stelbare statief met umbilical (navelstreng) en de kompasbuizen (zie figuur 20).

Om alle functies te kunnen bedienen was de umbilical verbonden met de bedieningslessenaar. Deze was voorzien van twee stuurknuppels, een regelsysteem voor het aanpassen van het inspectievaartuig aan de zich wijzigende getij-omstandigheden. Ook waren ingebouwd een schakelaar voor het laten draaien van de inspectiespiegel, kleppen om de scharnieren te activeren en een regelknop voor

de verlichting van de camera. De stikstoftoevoer, voor het opblazen van de twee ballonnen en voor het knikstelsysteem kwam vanuit de aangekoppelde stikstofflessen.

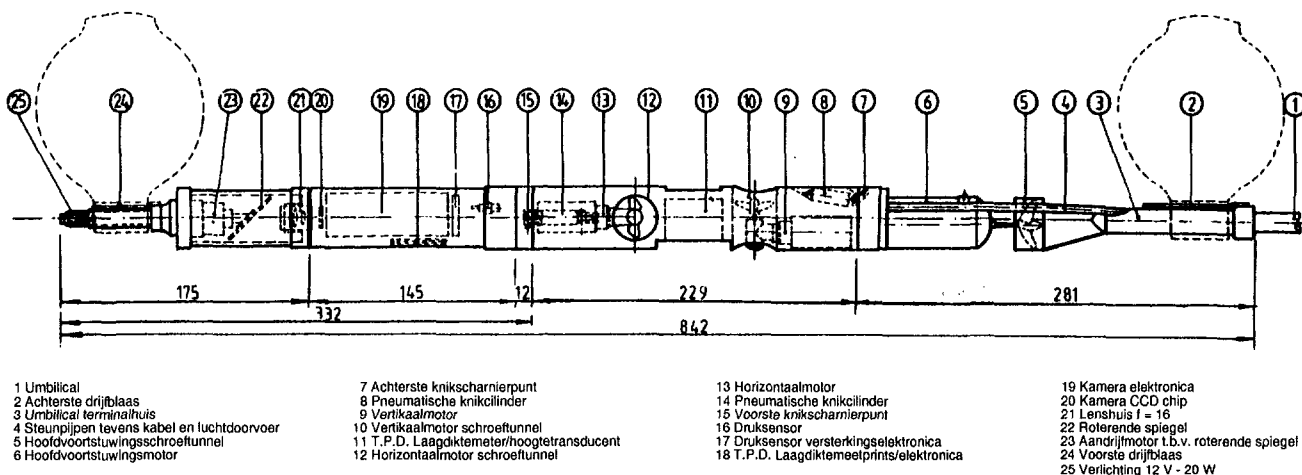
Er was een zeer vernuftig compensatiesysteem in verband met de wisselende waterdruk (eb- en vloedbeweging) aanwezig.

In een aparte kist bevond zich een video-recorder voor het vastleggen en registreren van de gegevens. De apparatuur voor de zanddiktemeting zat in een aparte container. Alle elektronika was beschermd tegen vocht.

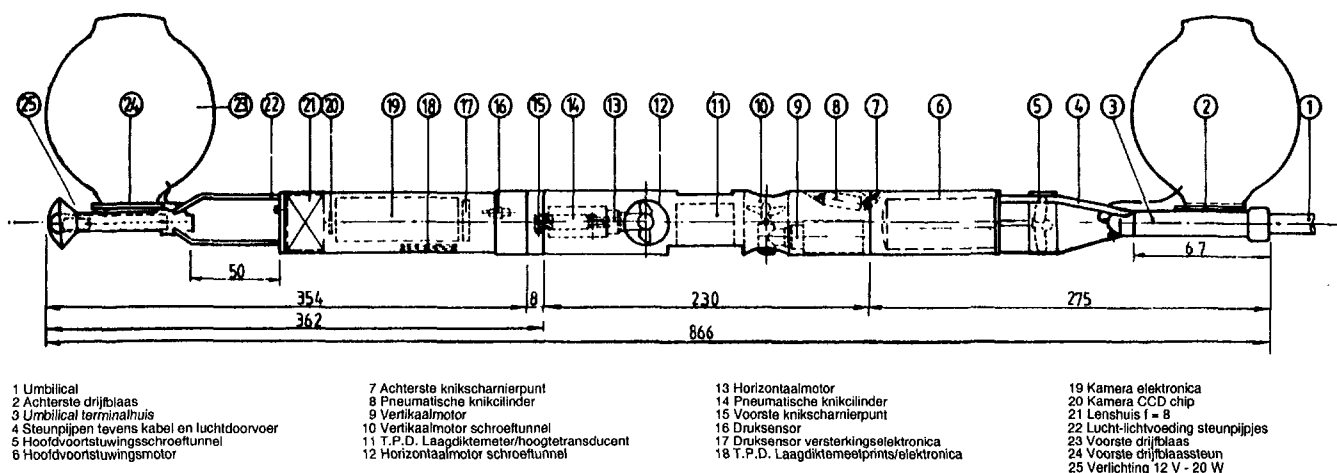
#### 6.3.2 Trigla (zie figuur 21, 22 en 23)

De Trigla bestond uit drie gedeelten namelijk een voorstuk, een middenstuk en een achterstuk. De delen waren met elkaar verbonden door middel van scharnieren en werden bediend door pneumatische minicilinders die werkten met een druk van 40 bar. De cilinders hadden een diameter van 8 mm en een slaglengte van 10 mm. Het voorstuk van de Trigla bevatte de CCD-chip en de elektronika van de camera en de akoestische zanddiktemeter (ZDM). Ook was er een miniatuur druksensor ondergebracht. Voor de CCD-chip was een draaibare spiegel aangebracht. De CCD-chip bestond uit een klein plaatje volbezet met lichtgevoelige puntjes, waar de lens het beeld direct op projecteerde.

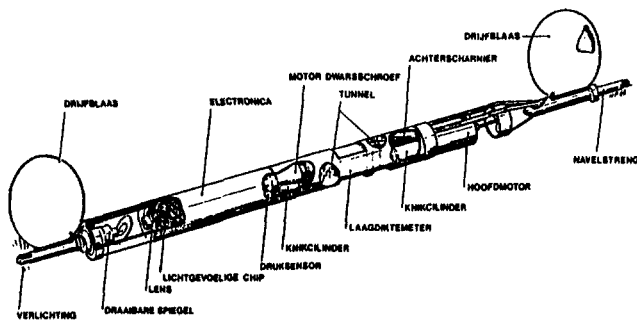
De lamp zat in een beschermhuisje voor de roterende spiegel. Aan dit huisje was ook de voorste ballon bevestigd.



Figuur 21 Onderdeelbenaming Trigla I



Figuur 22 Onderdeelbenaming Trigla II



Figuur 23 Overzicht (inwendig) Trigla I

tigd. In het middenstuk bevonden zich de akoestische sensor, de elektromotoren voor de horizontale en verticale bewegingen en de pneumatische cilinders.

In het achterstuk zat de hoofdvoortstuwingsmotor (stuwkracht ca. 5N). Aan dit deel zaten ook de tweede ballon en de umbilical bevestigd.

### 6.3.2.1 Drijfsysteem

Er waren heel wat ideeën gelanceerd voor de drijflichamen om het geheel drijvend te maken. Het eerste ontwerp bestond uit een kelk in de Trigla behuizing waarin een ballon was geplaatst. Deze ballon was voorzien van een omhulsel in de vorm van een gehaakt netje om het volume te fixeren en de ballon tegen beschadigingen te beschermen. Dit netje gaf risico op "haken" zodat de ballon zou kunnen klappen en de Trigla zou blijven vastzitten. Probleem was ook de noodzaak om specialisten in rubbertechniek te betrekken bij dit commercieel weinig interessante mini-product.

Een langere ballon, beschermd door een rugschildje, bood ook geen soelaas. Het uiteindelijke ontwerp kwam uit op een ingeklemd stuk fietsbinnenband met een luchtaansluiting, dat star op de Trigla werd vastgemaakt. De drijverconstructie zorgde voor een zeer stabiel gedrag van de Trigla. Via hogedrukslangetjes werden de drijfblazen voorzien van stikstof.

De toevoer van stikstof voor de drijfblazen werd geregeld via een stroom-drukvormer, die naar gelang de diepte ingesteld was op een bepaalde voordruk. De ingestelde voordruk moest altijd lager zijn dan de heersende waterdruk. Als uitgangspunt voor het bedienen van de ijzeren longen mocht geen stikstof in de blazen aanwezig zijn, omdat er anders een foutieve blaasinhoud zou ontstaan en de Trigla niet op z'n goede 0-positie kon worden ingesteld. Het totaal opdrijvend vermogen was regelbaar. Om de Trigla te kunnen trimmen (voor of achterover) was de verhouding van de inhoud achter/voorblaas ten opzichte van een 0-positie instelbaar. Om onder de heersende waterdruk de blazen tot het voor drijven benodigde volume te brengen, werd gebruik gemaakt van rolmembranen in een zogenaamde ijzeren long, waarbij de stand van de membranen met lineaire potentiometers werd gemeten.

### 6.3.3 Umbilical

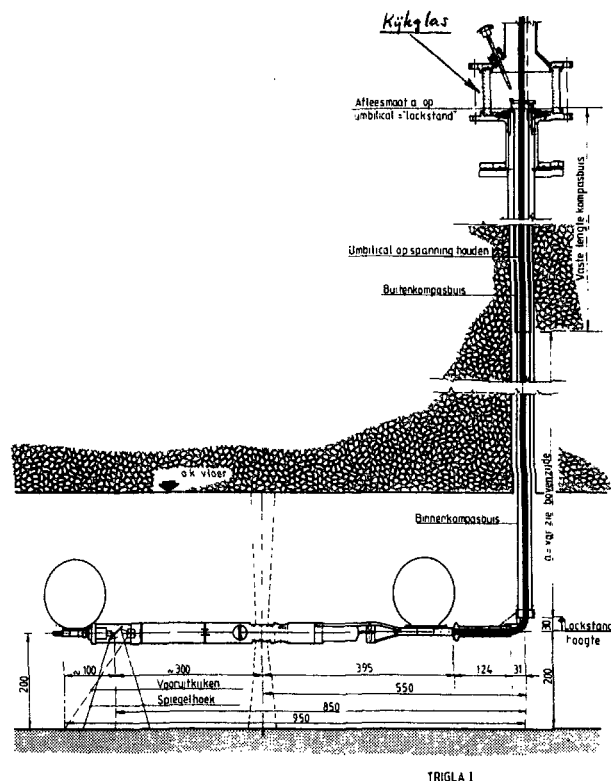
De umbilical bestond uit een siliconenslang met daarin opgenomen de luchtslangetjes en de elektrische draadjes. De omvang van de umbilical was dusdanig, dat deze in verhouding gewicht/opdrijvend vermogen zwevend in het water kwam te liggen. Door de druk op de umbilical te verlagen of te verhogen kon het gedrag van zinkend in licht

opdrijvend worden gewijzigd. Toepassing van minimale draaddiameters en lichtgewicht slangetjes moesten het gewicht beperken. De umbilical was om de 100 mm voorzien van een markeringsstreep en over de eerste tweemeter, in verband met het invoeren onder de pijler, om de 10 mm. De uitgevierde lengte was afleesbaar via het kijkglas (zie figuur 24).

### 6.3.4 Kompasbuissysteem met kijkglas

Het kompasbuissysteem was onderdeel van de plaatsbepaling.

De kompasbuizen, uitgevoerd in roestvrijstaal, schoven in elkaar en konden niet ten opzichte van elkaar draaien. Het uit- en inschuiven liep erg soepel door het toepassen van glijringen. Door een automatisch vergrendelingssysteem konden de buizen onderling bij elke uitgeschoven lengte worden gefixeerd (zie figuur 24).



Figuur 24 Umbilical en kompasbuissysteem

Om de kompasbuizen enigszins te beïnvloeden was een manipulator ingebouwd aan de bovenzijde van het kijkglas. Door op een ring op de bovenzijde van de buitenste kompasbus te drukken, kon de binnenkompasbus worden ontgrendeld. Aan de onderzijde van de kompasbuizen was een scharnierconstructie aangebracht, die ervoor moest zorgen, dat de richting waarin de Trigla uitzwom boven in het kijkglas op de kijkglaswand kon worden afgelezen.

Deze scharnierconstructie werd in eerste instantie gebouwd met een veer, die na het verlaten van de groutleiding 90° omklapte.

Gebleken is dat dit systeem niet optimaal functioneerde. De latere uitvoering werd gemaakt van kunststofbuis met geleiderolletjes, zodat de bocht onderaan meer geleidelijk liep en de umbilical in een kwart cirkel werd doorgevoerd.



De kompasbuizen waren aan de bovenzijde opgehangen in een schommelconstructie, gelagerd op roestvrijstalen kogels. Dit liep erg soepel.

## 6.4 Uitvoeren van inspecties

### 6.4.1 Omstandigheden in pijler

In de pijler heerste een relatieve vochtigheid van bijna 100%. Dit had consequenties voor condensvorming in de apparatuur. Na acclimatiseren van de installatie was dit probleem opgelost.

Omdat in de pijlers een laagje water van ca. 2 - 5 cm bleef staan, werd alle apparatuur "op poten" in de pijler opgesteld. Voedingskabels liepen via de grote schacht. Op de pijler was een aggregaat geplaatst voor de stroomvoorziening.

Nadat het statief was gesteld (zie figuur 20) werd de sluisconstructie erop geplaatst. Er moest voor worden gezorgd dat de sluis precies in het verlengde van de groutleiding werd gesteld. Hierna werd de installatie aangesloten op de voedingen.

### 6.4.2 Lanceren Trigla (zie figuur 25)

De sluis werd met zeewater gevuld door de afsluiter te openen.

Tijdens het vullen was het belangrijk voortdurend controle uit te oefenen op de drukmeters en het cameragedrag. De cameraverlichting werd pas aangezet als de Trigla onder water was in verband met warmte-ontwikkeling.

Ook werden eerst dan de cilinders van de scharnierconstructies geactiveerd. Door de umbilical strak te halen tegen de kompasbuizen en de Trigla samen met de kompasbuizen geleidelijk af te vieren, werd de lancering gestart.

Daarbij kon op de monitor worden gevolgd of alles naar wens verliep. Scherpe randen van de afsluiters en overgangstukken in de pijp zorgden regelmatig voor een schokkerig invoeren van de Trigla.

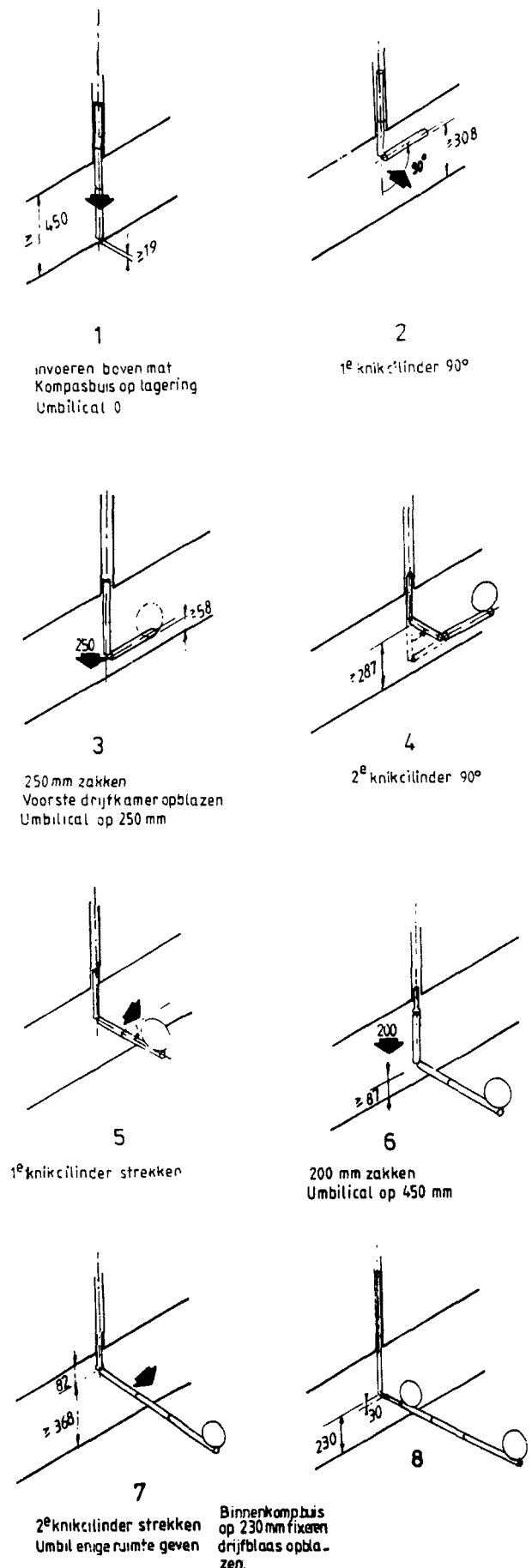
Dit was met name het geval bij enigszins scheef staande groutleidingen. In enkele gevallen is de afwijking in de vorm of scheefstand van de groutleiding dusdanig geweest, dat de binnenkompassbuis hier niet goed langsliep. Deze kon dan niet goed meedraaien met de richting van de Trigla. Als de Trigla niet goed uitzwemmen werd deze eerst strak tegen het omklapmechanisme aangetrokken. Vervolgens werd de umbilical afgevierd door alleen de hoofdmotor aan te zetten.

### 6.4.3 Bediening

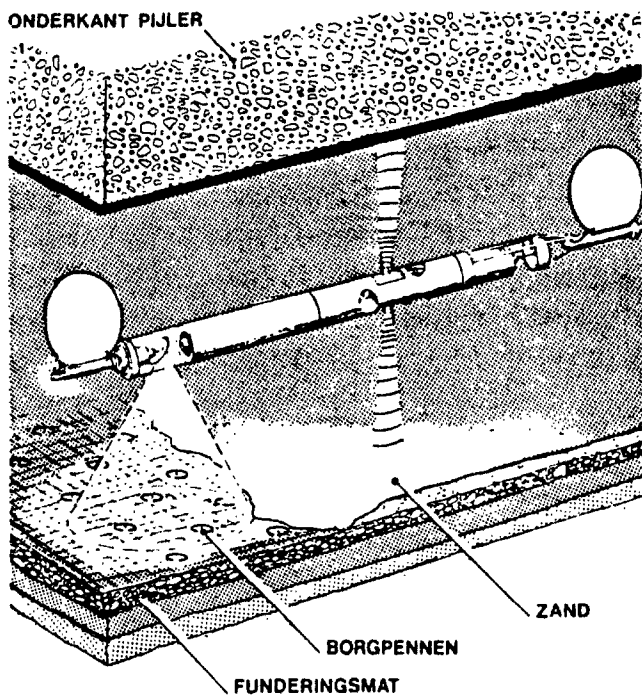
Na wat aanloopmoeilijkheden was het goed mogelijk om de Trigla gecontroleerd en rustig te laten inspecteren. Een nadeel was, dat niet kon worden nagegaan of de hoofdmotor draaide of niet. Het euvel van niet uitvaren kon op deze wijze niet worden gecontroleerd.

De instelling van drijfvermogen, umbilicaldruk etc. werd, afhankelijk van het gedrag van de Trigla, aangepast.

Om richting mat te kijken moest gemiddeld 70 - 150 mm zwemhoogte aangehouden worden omdat anders onvoldoende verlichting aanwezig was (zie figuur 26). Verlichting in zijwaartse richting was door de vorm van de beschermhuls van de lamp onvoldoende. Het handigst bleek te zijn om in het begin de -referentie (= boven kant b.k. mat) in te stellen en met de automatische diepterege-



Figuur 25 Inbrengen Trigla in ruimte = 0,45 m



Figuur 26 Situatie Trigla in actie

ling te werken, zodat maar één knop bediend behoefde te worden.

Overigens was het zaak voortdurend het gedrag van de Trigla te volgen in relatie tot de druksensor van de Trigla om de positie ten opzichte van de startwaarde vast te kunnen stellen. De druksensor bleek erg nauwkeurig te zijn (op de cm nauwkeurig afleesbaar).

Het bedienen van de knikmechanismen heeft goed gefunctioneerd. Het uitvoeren van de handelingen kon worden gevolgd op de monitor. Om te kunnen zien of voldoende aanvoerdruk op de luchtvoorziening aanwezig was, werd een extra manometer aangebracht. Hiermee kon tijdig het moment worden bepaald, waarop de Trigla moest worden teruggehaald in verband met teruglopen van de stikstofvoorraad.

#### 6.4.4 Plaatsbepaling

De plaatsbepaling was bij Trigla I moeilijk vast te stellen uit de opnamen van de bodem. Deze opnamen gaven een egaal grijs beeld te zien waarbij wel de snap-locks waren te onderscheiden. De positie van de Trigla werd dan vastgesteld door uitzwemlengte en richtingindicator te combineren. Voor de zekerheid werd heen en terug gevaren om te zien of de kompasbuizen meedraaiden. Zodra echter de kompasbuis ten gevolge van de scheefstand van de sluis en groutleiding, tegen de binnenzijde aanliep, volgde de indicator schoksgewijs. Een globale benadering van de positie was dan evenwel mogelijk. Door het afscannen van de onderkant van de pijervloer werden betere resultaten verkregen.

De vormgeving van de kanaalplaten gaf in ieder geval aan waar de Trigla zich bevond, zodra een startpunt bekend was. Een bepaalde hoek ten opzichte van de richting van de kanaalplaten, in combinatie met de scan-richting, gaf een duidelijke indicatie. Dit werd extra onderbouwd door waarnemingen na het bereiken van de bil of de compartimenteringsrib. Wanneer de vervuiling onder de pijler dusdanig was, dat de schroeven van de Trigla het water in be-

roering brachten en vuil opwarrelde, kon via de beelden moeilijk worden vastgesteld waar de Trigla zich bevond. Plaatsbepaling kwam in deze gevallen via umbilicallengte en richtingindicator.

Zodra twijfel bestond over de zwemrichting werd in een gebied meerdere malen rondgevoerd.

De Trigla II was voorzien van de mogelijkheid om vooruit te kijken in plaats van recht naar boven/beneden en opzij. Het varen naar een doel was nu goed uitvoerbaar. Varen via de kanaalplaatvorm in een gekozen richting gaf een goede indicatie waar de Trigla zich bevond. Dit bleek een goed systeem te zijn.

Een aangename bijkomstigheid was het kunnen volgen van het oppompen van de voorblaas, op de monitor. Nu was ook werkelijk van meters afstand de grindzak als een witte band herkenbaar als er naar toe werd gevaren. Onderweg kon het bodemreliëf worden afgebeeld via de camera. Door met de neus op de mat te stoten kon de ernst van de vervuiling als het ware worden onderzocht. Bij een volledig schone mat waren de snap-locks te tellen. Overstraling op de camera bij het te dicht bij de mat varen was het gevolg.

Positiebepaling met de vooruitkijk versie van de Trigla was dus veel eenvoudiger geworden. Tijdens het aflaten in de groutleiding was op de monitor waarneembaar of in de leiding ongerechtigheden voorkwamen. In drie gevallen werd er blik waargenomen.

#### 6.4.5 Terughalen Trigla

Om de Trigla terug te halen werd de standaardprocedure toegepast. Het was verstandig om, alvorens de Trigla strak tegen het omklapmechanisme aan te trekken, de achterste blaas goed leeg te laten lopen. Rond de opening was achtergebleven blik veelvuldig de oorzaak van geruneerde drijfblazen. Het is voorgekomen dat de Trigla werd teruggevoerd door het geheel spanningsloos maken voor de scharnierconstructies (onbekrachtigde cilinders). Dit gaf geen problemen.

Het van druk afhaken van de sluis moest even langzaam geschieden als het vullen, omdat de gehele umbilical druk af moest kunnen vloeien. In meerdere gevallen is het voorgekomen dat de Trigla door draaien en keren met de kompasbuizen moest worden teruggehaald. Dit gebeurde vermoedelijk door het blijven hangen op scherpe randen van de groutleiding.

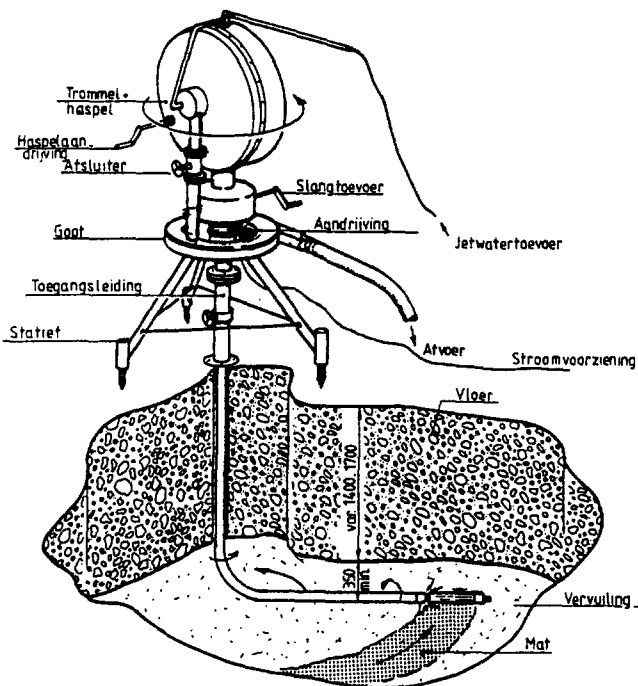
#### 6.5 Opschooninstallatie

Niet onvermeld mag blijven, dat er ook een opschoonapparaat was ontwikkeld om eventueel aangetoonde, ontoelaatbare, aanzanding en/of aanslibbing te kunnen verwijderen.

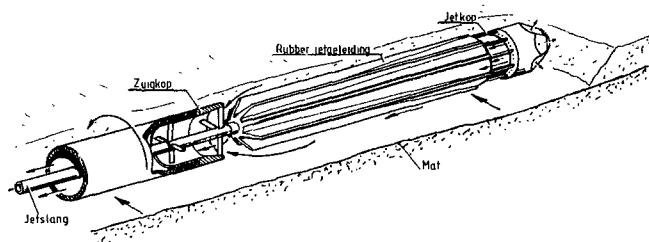
Het principe berustte op het, op dezelfde wijze als de Trigla, onder de pijler brengen van een zuig-jetkop, met op een statief c.q. driepoot een geïnstalleerde pomp (zie figuur 27 en 28). Door het losjetten van de zand-sliblaag kwam de substantie in suspensie en kon het zand-watermengsel worden afgezogen. Dit systeem behoefde zijn functioneren niet te bewijzen, daar geen zand of slib van enig belang werd aangetroffen.

#### 6.6 Ervaringen

Uit de inspecties met de Trigla is gebleken dat, naarmate



Figuur 27 Principe overzicht opschooninstallatie



Figuur 28 Principe zuig-jetkop

men in de Hammen met het pijler plaatsen vorderde, de matten relatief schoner werden. De vervuiling was, met uitzondering van H16, H14, H12, H10, H09 weinig tot minimaal te noemen. In ieder geval waren de meetresultaten hier ruim binnen de toelaatbare waarden. Op de meeste matten waren grote schone delen te zien. Maar ook voor de genoemde meer vervuilde matten bleef de mate van vervuiling ruimschoots aanvaardbaar.

Snap-locks waren in regelmatig patroon herkenbaar. Vervuiling waar geen mat zichtbaar was, bestond vooral uit dode mosselen (schelpen), zwevend wier en slibachtig materiaal. Veelal was uit de beelden van de onderzijde van de vloer af te leiden of de expositieduur op de mik (in het bouwdoek) lang of kort was geweest (mate van aangroei of vervuiling). Omdat nergens onder de pijler leven is geconstateerd, kan worden gesteld dat een deel van de vervuiling afkomstig is geweest van de onderzijde van de pijlers. Voor het overige kon de vervuiling worden toegeschreven aan onvolkomenheden in het opschoonproces bij de eerste matten.

Vervuiling bestond uit polletjes met mosselen en zand tot slibachtig materiaal (laagdikte van 0 - 16 mm). Met name ter plaatse van de snap-locks was er aanhechting van mosselen en daar tussen achtergebleven slibachtige materie.

Schelpen waren allemaal open. De vervuiling van het water ten gevolge van schroefwater was goed merkbaar op de beelden.

Na verloop van tijd waren de beelden vaag en moeilijk herkenbaar. In deze situatie is gebruik gemaakt van de ZDM's om de mate van vervuiling vast te stellen.

## 7. Laagdiktemeter voor asfaltmastiek ("asfaltprikker")

### Inleiding

Voor controle van de laagdikte van de aangebrachte lagen gietasfalt werd door de Onderafdeling Ontwikkeling Nieuwe Werkmethoden een meetapparaat ontwikkeld en gebouwd waarmee met succes gedurende enkele jaren is gemeten.

Het meetapparaat werkte volgens de sondeermethode. Hierbij werd elektrisch-mechanisch een sondeerstaaf in de bodem gedrukt. De conusweerstand van de staaf werd direct elektrisch gemeten en overgebracht op een schrijfeenheid.

Deze schrijfeenheid bevond zich in de besturingskast van het apparaat.

Aan het meetsysteem konden de volgende componenten worden onderscheiden:

- a. het sondeerapparaat (de prikker)
- b. de besturingskast met schrijfeenheid
- c. de kabelhaspel met aandrijving.

Hieronder volgt van elke component een korte beschrijving.

### 7.1 Sondeerapparaat

Het apparaat had een ballast-platform dat op drie poten stond. Deze poten waren uitgevoerd als spuitlansen en maakten dat bij aanzanding op het gietasfalt de poten door het zand zakten totdat deze het gietasfalt hadden bereikt. Voor het waterspuiten was op het platform een "Ritz" diepwellpomp aangebracht, zie figuur 29.

Bovenop het platform was de zogenaamde spindelkast aangebracht. Hierin waren twee spindelassen gemonteerd, waarvan de spoed 4 mm bedroeg. De spindelassen droegen aan de bovenzijde elk een kettingwiel. Een ketting, die beide kettingwielen omspande werd aan de buitenzijde door een derde kettingwiel aangedreven. Op elke spindelass bevond zich een moer.

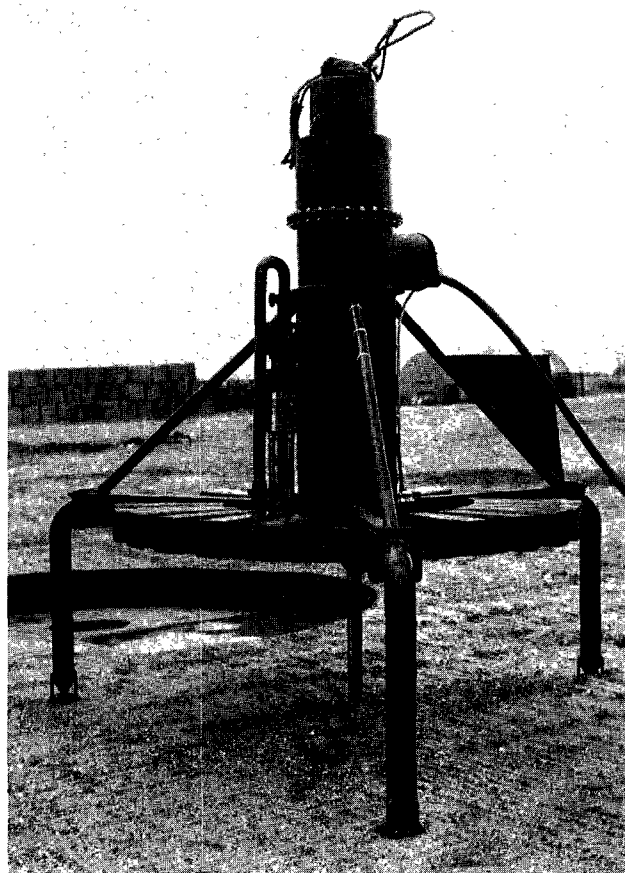
Een brugstuk was tussen deze moeren aangebracht.

Centraal in dit brugstuk was het meetelement geplaatst waaraan de sondeerstaaf was gekoppeld.

De conusweerstand van de staaf met een zeer geringe weerstand voor het geleiden van de staaf werd aldus gemeten.

Onder het ballastplatform was ter geleiding van de sondeerstaaf een pijp met geleideplaatje aangebracht. Deze pijp was eveneens als spuitlans uitgevoerd.

Bovenop de spindelkast was de aandrijfkast gebouwd. Hierin was een gelijkstroom-elektromotor voorzien van thyristorregeling ondergebracht. Voor reductie van het motor-toerental was een axiale tandwielkast aan de E-motor aangebouwd. Voor een goede toegankelijkheid was de boven-



Figuur 29 Sondeerapparaat

kant van de aandrijfkast voorzien van een demontabele kap. Aan de zijkant van de aandrijfkast was de kabeldoorvoering aangebracht. Via een contactdoos was de kabel losneembaar. In hetzelfde vlak als de kabel was een vast roervlak aangebracht, dat tijdens neerlaten en ophijzen van de prikker in stromend water het draaien van het apparaat voorkwam. Bovenop was het sondeerapparaat voorzien van een hijspunt.

### 7.2 Besturingskast met schrijfeenheid

Voor het besturen van het sondeerapparaat was op het begeleidingsvaartuig een kast geïnstalleerd. Via deze kast konden de pomp voor het in werking stellen van de spuitlansen en het bewegen van de sondeerstaaf worden geactiveerd.



Figuur 30 Besturingskast

Het registreren van de sondeerwaarden vond plaats op de schrijfeenheid.

Tevens werd aan de zijkant van het papier de afgelegde weg in centimeters geschreven zodra de sondeerstaaf beweegde.

Aanduiding van de afgelegde weg vond eveneens digitaal plaats. Het gegeven van de afgelegde weg was afkomstig van een pulsgever die gemonteerd was op één van de twee spindelassen.

Een vierkante nok vast verbonden met de spindelassende per omwenteling vier maal een microswitch. Aangezien de spoed van de spindelassen vier mm bedroeg, betekende elke puls een afgelegde weg van één mm.

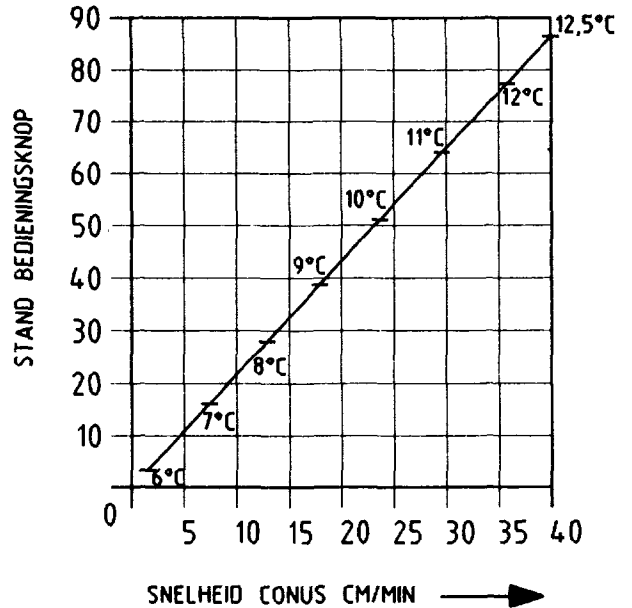
Op de besturingskast gaf een digitaalteller deze weer. Tien van deze pulzen werden steeds opgeteld waardoor een schrijver op de zijkant van het registratiepapier werd geactiveerd en elke cm aangaf.

Een andere schrijver registreerde de sondeerwaarden. Beide schrijvers waren onderdelen van de Philips recorder 8202. Het was mogelijk op de recorder de grootte van de sondeerwaarde te begrenzen. Dit betekende dat bij het bereiken van de maximum ingestelde waarde de aandrijving van de sondeerstaaf automatisch werd gestopt.

Hiermede werd voorkomen dat schade zou ontstaan aan het sondeerapparaat.

De benodigde trekkracht voor het terughalen van de sondeerstaaf werd om dezelfde reden begrensd. De maximale drukinstelling was 5750 N, de maximale trekinstelling was 2750 N.

### SNELHEIDSLIMIETEN VOOR MAX. CONUSWEERSTAND 5500N GIETASFALT 80/100 CONUS Ø15MM



Figuur 31 Grafiek conusweerstand/temperatuur

Voor het instellen van de gewenste sondeersnelheid was een regelknop voor de thyristorregeling met schaalverdeling aangebracht, zie figuur 30 (midden boven op de kast). De hoogste en laagste stand van de sondeerstaaf werden door lampjes aangegeven. Voorts waren visueel en akoestisch enkele alarmeringen aangebracht voor: maximale kracht (druk en trek); lekkage in het sondeerapparaat.

Bij het begin van elke sondering werd automatisch een tijd-klok in werking gesteld, waardoor de duur van elke sondering kon worden afgelezen (digitaal). De snelheid waarmee kon worden gesondeerd was voor een bepaalde kracht een functie van de viscositeit c.q. de temperatuur van een zeker soort gietasfalt. In figuur 31 is voor gietasfalt 80/100 het verband aangegeven van de sondeersnelheid en de temperatuur voor een maximale conusweerstand van 5500 N en een conus van Ø 15 mm.

Dit verband is afgeleid uit een groot aantal metingen bij verschillende temperaturen en conusweerstand. Uit de grafiek blijkt duidelijk dat slechts een klein aantal graden temperatuurverschil grote invloed heeft op de sondeersnelheid.

### 7.3 Kabelhaspel met aandrijving

Het sondeerapparaat werd met behulp van een A-frame of een giek in het water neergelaten aan een staalkabel.

Gelijktijdig of eventueel vooraf werd de zogenoemde "umbilical cable" (navelstreng) afgevierd met de kabelhaspel, zie figuur 32. De haspel werd door een elektromotor via een hydraulisch regelblok, een wormkast en een ketting aangedragen.

Door het regelblok kon de snelheid van de haspel worden geregeld en ook de draairichting ervan. Wanneer voldoende lengte kabel was uitgevierd, werd een verbindingskabel opzij in de haspel gepluigd. Wanneer nu de haspel zou worden gedraaid liep de stekker van de verbindingskabel tegen een der schakelaars aan, die de voeding van de



*Figuur 32 Kabelhaspel*

De zwarte prikker was toepasbaar bij zandlagen tot maximaal 75 cm dikte.

De voedingsspanning voor de bedieningskast 220 V.

De voedingsspanning voor de kabelhaspel 380 V.

Voor het drukcompensatiesysteem was de toevoerdruk minimaal 4 en maximaal 10 ata.

Werkbaarheid tot een stroomsnelheid van maximaal 1,5 m/sec op horizontale bodem.

elektromotor onderbrak, zodat schade aan de verbindingkabel werd voorkomen.

Naast de elektrische verbindingkabel werd via een snelkoppeling een luchtslang op de haspel aangesloten. Deze slang stond in verbinding met de navelstreng, waardoor lucht aan het drukcompensatiesysteem van het sondeerapparaat werd toegelaten. Dit "AGA" druksysteem, dat afhankelijk van de hydrostatische druk aan de buitenkant bij de onderzijde van de prikker luchtdruk in het sondeerapparaat toeliet, voorkwam dat bij eventuele lekkage zeewater in het apparaat kon komen. In geval van lekkage zal lucht uit het sondeerapparaat naar buiten ontsnappen. Mocht de luchttoevoer ontbreken, dan trad alarmering op bij het binnendringen van water onderin de spindelkast.

De kabelhaspel bevatte ca. 70 m kabel. Afhankelijk van de waterdiepte werd de uit te vieren lengte kabel bepaald. Deze bedroeg in de praktijk de waterdiepte plus ca. 5 m.

#### **7.4 Technische specificaties**

Gewicht sondeerapparaat in lucht ca. 16 kN.

Gewicht sondeerapparaat in water ca. 12 kN.

Sondeersnelheid maximaal 40 cm/min, minimaal 2 cm/min.

Praktische snelheid ca. 20 cm/min. (temperatuur boven 10° C).

Effectieve sondeerdiepte onder poten voor:

"Zwarte prikker" (nr. 2) 375 mm.

"Grijze prikker" (nr. 1) 675 mm.

De grijze prikker was voor aanzandingen tot 25 cm te gebruiken.

---

## 8. Documentatielijst

---

- Doc 1 = 346 KWA-M-83173  
Zanddiktemeter (on)mogelijkheden
- Doc 2 = 346 KWA-M-83389 (= 24 KWAP-M-83304)  
= optimalisatie en gebruik zanddiktemeters
- Doc 3 = Surowi-R-81227 Eisenpakket OWI
- Doc 4 = Evaluatienota Inspectie onder pijlers R/KB 3688  
PEGESS-M-86355  
(= R/KB 3688).
- SUROWI-R-81116 Onderwaterinspectieslede "Asterias"  
Cement nr. 11, 1982.  
Beschrijving "Laagdiktemeter voor asfaltmastiek  
(Asfaltprikker)".

### Overige documentatie:

24 KWAP-N-84200 Evaluatienota plaatsen pijlers bedrijf  
(=RIKB 3412)

Ovk nr. DED-2056  
= 34 FUND-M-82002  
= CARTJAN-M-81093 Programma van eisen onderwater-  
werkkamer

34 FUND-N-85002  
(= RIKB 3426) Evaluatienota funderingsbed

OWAPOR-R-83046 Evaluatie manipulator  
= OWATEC-R-83198  
= SURVEY-R-83145

NeCOS; functionele specificaties Portunus

Meetsystemen ten behoeve van de Oosterscheldewerken,  
deel II Survey informatie

Spectator nr. 11, 1982

Brochure Internationale Navigatie Apparaten b.v. (INA)  
Rotterdam

3 maandelijks bericht nr. 112, mei 1985

Land & Water, oktober 1983

Land & Water Nu, special Oosterscheldekering

Natuur en Techniek, 51e jaargang, nr. 4, 1983

Evaluatierapport OWI-system Portunus

Operatieplan Plaatsen Pijlers

---

**Deelnota 6A: Grondmechanisch onderzoek onderwater**





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>130</b>
<b>2</b>	<b>Materieel</b>	<b>131</b>
2.1	Grondonderzoeksponton Johan V	
2.1.1	Specificaties/voorzieningen ponton	
2.2	Sondeer- boorinstallatie	
2.2.1	Het principe van de sondeer-boorinstallatie	
2.2.1.1	Het ballastblok	
2.3	Duikerklok	
2.3.1	Ontwerpeisen	
2.3.2	Beschrijving van de constructie	
2.3.2.1	De grondplaat/ballastvoet	
2.3.2.2	Het kogelscharnier	
2.3.2.3	De duikerklok	
<b>3</b>	<b>Grondmechanische onderzoeksmethoden</b>	<b>135</b>
3.1	Sonderingen	
3.2	Boringen	
3.2.1	Begemannboring $\varnothing$ 29 mm	
3.2.2	Begemannboring $\varnothing$ 66 mm	
3.2.2.1	Principe/systeem van het 66 mm continu steekapparaat	
3.2.3	Ackermann- en puls boring	
3.3	Dichtheidsonderzoek	
3.3.1	Electrische dichtheidsmeting	
3.3.2	Nucleaire dichtheidsmeting	
<b>4</b>	<b>Werkwijze</b>	<b>138</b>
4.1	Met de sondeer-boorinstallatie	
4.1.1	Het sonderen	
4.1.2	Het boren	
4.2	Met de duikerklok	
4.2.1	Inleiding	
4.2.2	Het afdalen	
4.2.3	Het sonderen	
4.2.4	Het continu boren	
4.2.5	Veiligheidsaspecten	
<b>5</b>	<b>De Geodoff en Geodelft</b>	<b>141</b>
5.1	De Geodoff	
5.1.1	Technische specificaties	
5.1.2	Programma van eisen	
5.1.3	Inzet Geodoff	
5.2	De Geodelft	
<b>6</b>	<b>Evolutie bodemonderzoek onder water</b>	<b>144</b>
6.1	Werkbaarheid	
6.2	Conclusies	
<b>7</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>146</b>

---

## 1. Inleiding

---

Tot 1975 werd grondmechanisch onderzoek in de Oosterscheldemonding uitgevoerd in het kader van een dichte Oosterscheldedam.

Ten behoeve van het grondmechanisch onderzoek vanaf het waterniveau werd gebruik gemaakt van eenvoudige boorpontons.

Bij het uitvoeren van sonderingen en boringen werd vanuit een open beun een rond ballastblok van 12 ton neergelaten. Tijdens het neerlaten werd de standpijp, bestaande uit losse pijpen met een lengte van 2,0 m en voorzien van schroefdraad, telkens verlengd totdat het ballastblok op de bodem rustte.

Via de standpijp werden centreerbuizen en sondeerbuizen neergelaten en werd door middel van een verbindingsstuk een hydraulische pers op de standpijp geplaatst. Op deze manier verkreeg men een sondeerinstallatie die geheel op zichzelf stond en in de meeste gevallen onafhankelijk was van de bewegingen die de ponton maakte door wind en golfslag.

Boringen werden door dezelfde standpijp uitgevoerd. Het voordeel hiervan was dat, vooral in diep water, de aanwezigheid van de standpijp de maatvoering vergemakkelijkte. Met deze sondeer-boorpontons zijn zeer veel grondonderzoekingen tot stand gekomen. Toen in de Oosterscheldemonding werd gekozen voor een afsluitbare kering, bleken de op deze manier verkregen grondonderzoekresultaten te summier en kwalitatief veelal onvoldoende.

De geotechnische aspecten van de pijlerdam werden onderverdeeld in de volgende deelgebieden (doc 1 en 2):

- deformaties van de ondergrond;
- waterspanningen rondom de pijlers;
- stabiliteit van de pijlerdam;
- erosieproblematiek en opbouw filterconstructies.

Het grondmechanisch onderzoek voor de verkenning van de ondergrond in het tracé van de Oosterscheldekering werd zowel "in den droge" als "in den natte" uitgevoerd.

Om in hoog tempo een aanvullend grondonderzoek te kunnen uitvoeren, werd de mogelijkheid bekeken om door middel van een bestaande ponton dit aanvullend grondonderzoek te verrichten, waarbij onvoorwaardelijk de eis werd gesteld dat geen ankers mochten worden afgeworpen op reeds aangebrachte constructies voor de bescherming van de bodem tegen uitschuring.

Door de Aannemerscombinatie DOSBOUW werd tijdelijk voor het uitvoeren van grondonderzoek op grote schaal, een ponton ter beschikking gesteld.

Deze ponton, afmeting 78 x 40 m (de Dos I), was gebouwd met het doel fabrieksmatig geconstrueerde betonblokkenmatten op de Oosterscheldebodem te leggen; voor onbepaalde tijd waren deze werkzaamheden opgeschort. De afmetingen van deze ponton, alsmede de ankerinstallatie,

gaven voldoende waarborg om onder minder gunstige weersomstandigheden te werken (zie ook deelnota 9).

Met behulp van dit grootschalig materieel en met gelijktijdige aanpassing en verbetering van de bestaande sondeeren boortechnieken zijn opmerkelijke resultaten bereikt.

Intussen werden verdere ontwikkelingen ter hand genomen. Het idee, om vanuit een bemande duikerklok grondonderzoek te verrichten werd werkelijkheid.

Proefnemingen hadden aangetoond dat met de duikerklok sonderingen kunnen worden uitgevoerd, waarbij aanmerkelijk grotere diepten en hogere penetratiekrachten konden worden aangewend. Ook de uitvoeringen van continu gestoken boringen werden ter hand genomen. Het reeds bewezen succes van de sondeerboortoren, aangevuld met de nieuwe ontwikkelingen met de duikerklok, hebben tot het besluit geleid een nieuw geotechnisch ponton te bouwen. Vanzelfsprekend zijn alle opgedane ervaringen met de DOS I-ponton in het ontwerp verwerkt.

In deze deelnota wordt het grondmechanisch onderzoek in den natte, met in het bijzonder het specifieke materieel dat hiervoor werd ontwikkeld c.q. ingezet, aan een nadere beschouwing onderworpen.

## 2. Materieel

### 2.1 Grondonderzoeksponton Johan V

In mei 1977 gaf de Deltadienst van de Rijkswaterstaat aan DOSBOUW opdracht voor de bouw van deze nieuwe ponton, die het mogelijk zou maken grondmechanisch onderzoek vanaf de oppervlakte van het water uit te voeren, dan wel vanaf de zeebodem door middel van een bemande duikerklok.

Bij het ontwerp van de ponton werd ervan uitgegaan dat zowel de sondeer-boortoren als de duikerklok een aparte plaats op het vaartuig zouden moeten krijgen. Aan de achterzijde van het vaartuig was een open beun van 7 x 7 m gecreëerd. Boven deze beun stond een 12 m hoog portaal, waartussen de sondeerboortoren werd opgebouwd (zie foto 1). Getijverschil plus werkruimte boven het werkplatform waren bepalend voor deze hoogte.

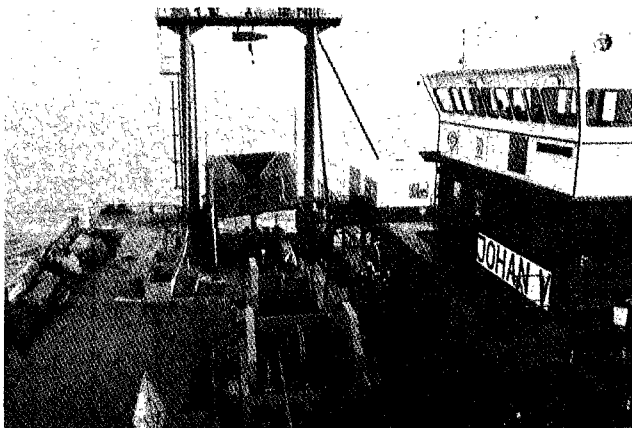


Foto 1 Gezicht op de sondeer-boortoren

Aan de voorzijde werd een middenbeun (centre well) van 7 x 7 m voor de lancering van de duikerklok gebouwd (zie foto 2). Een middenbeun had het voordeel dat de duikerklok van alle zijden gemakkelijk te benaderen was en er meer van de werkruimte kon worden geprofiteerd.

Boven de middenbeun was een zware 4-benige bok opgesteld voor het afvieren van de 700 kN (70 tf) wegende duikerklok. Op het boven de bok gelegen platform stonden twee opspoelinrichtingen, waarvan er één was voor de umbilical (navelstreng waardoor alle bekabeling loopt) waardoor de luchtverversing van de duikerklok en de meetsignalen werden getransporteerd; de andere opspoelinrichting was voor een 380 V elektrische voedingskabel voor de hydraulische drukinstallatie.

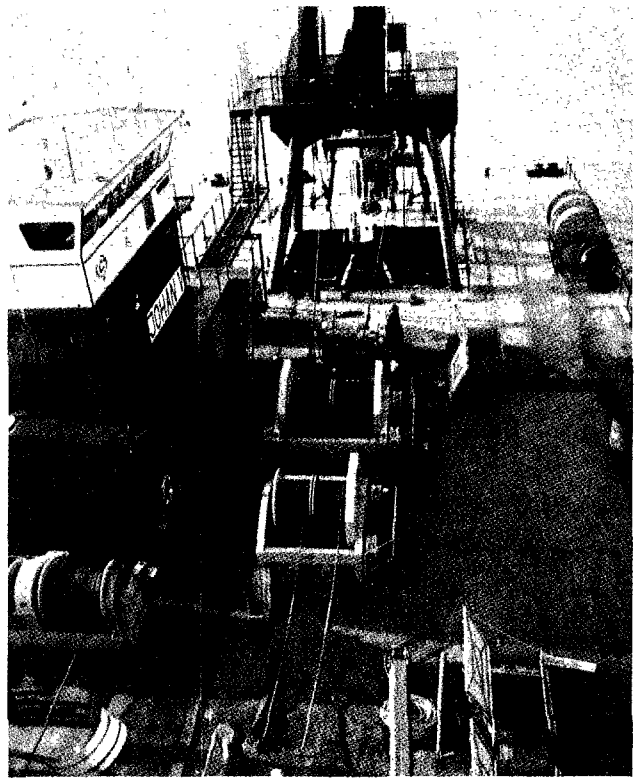
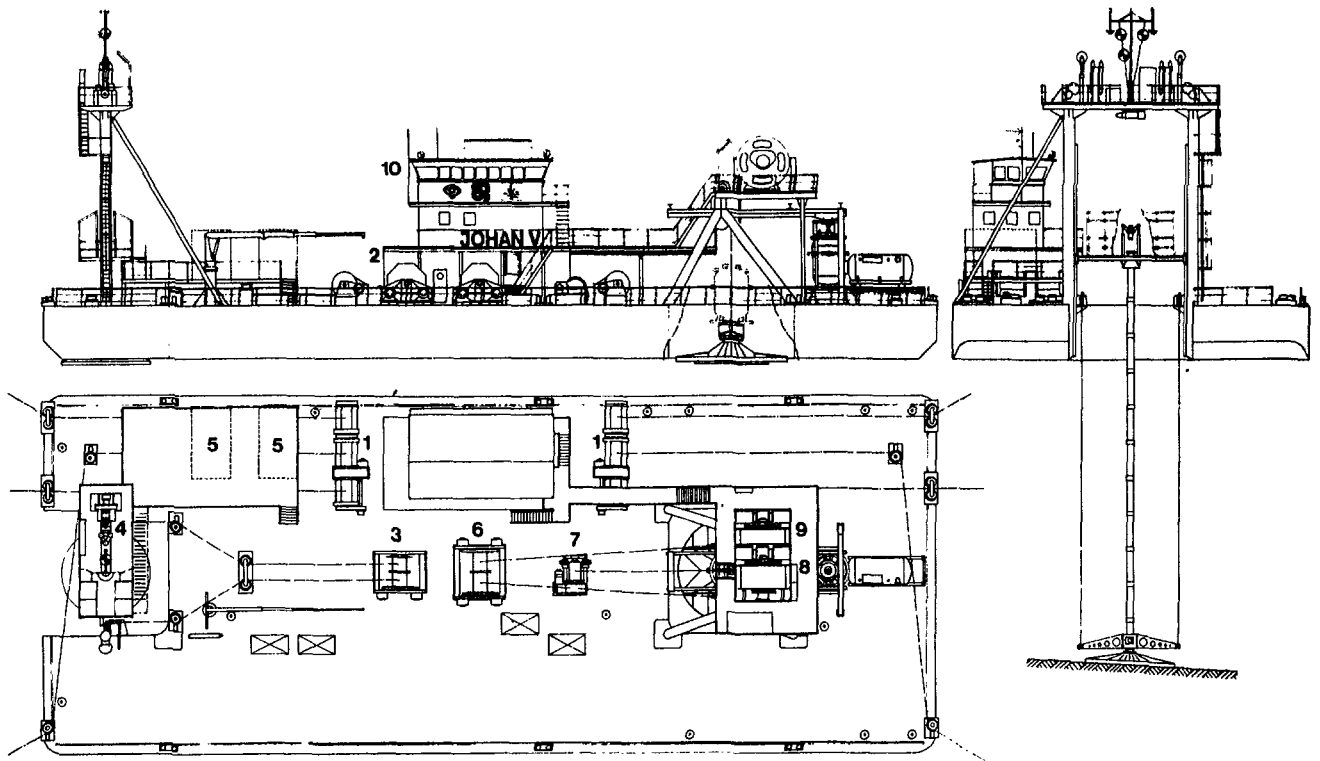


Foto 2 Gezicht op de lanceerinrichting duikerklok

In het dekhuis aan bakboordzijde bevond zich op dek-niveau de machineruimte voor de benodigde energie voor het gehele vaartuig.

Het daarboven gelegen vertrek was het dagverblijf voor de bemanning; de tweede verdieping was de centrale bedieningsruimte van de ponton. Vanuit deze ruimte werden alle op het dek staande lieren, inclusief de instelling van de beide deiningscompensatoren van de sondeerboortoren, bediend. Ook de opspoelinrichtingen van de umbilical en elektrische voedingskabel van de duikerklok werden vanuit deze centrale commandopost bediend.

Alleen het op- en neerlaten van het werkplatform voor de sondeerboortoren vond plaats vanaf dit platform, uiteraard ook de bediening van de sondeer- en boorapparatuur. De hijslieren voor de gewichtsblokken van de sondeertoren alsmede van de duikerklok hielden een constante trekkracht op de staaldraden wanneer zij op de bodem lagen. Dit gold ook voor de opspoelinrichtingen van de umbilical en de elektrische voedingskabel van de duikerklok.



LEGENDA Afmetingen ponton 50 x 20 x 3

- |                         |                                  |                                   |                            |
|-------------------------|----------------------------------|-----------------------------------|----------------------------|
| 1 Ankerlieren           | 4 Deiningscompensatoren          | 7 Lier duikerklok                 | 10 Centrale controleruimte |
| 2 Machiniekamer         | 5 Meetcabine                     | 8 Opspoelinrichting umbilical     |                            |
| 3 Hoofdlier ballastblok | 6 Hoofdlier voetplaat duikerklok | 9 Opspoelinrichting voedingskabel |                            |

Figuur 1 Onderzoekponton Johan V

### 2.1.1 Specificaties/voorzieningen ponton

De ponton had geen eigen voortstuwing, waardoor bijna altijd een beroep moest worden gedaan op sleepboten. Indien de verplaatsing binnen de ankerconfiguratie viel, werd gebruik gemaakt van de eigen verhaallieren.

Afmetingen ponton (zie figuur 1):

Lengte (over alles)	50,0 m
Breedte	20,0 m
Holte	3,0 m
Diepgang	1,0 m
Verankering:	4 zijdraden
	1 boeg, 1 achterdraad
	600, 900 m op 6 trommellieren $\varnothing$ 38
	2 bakken verhaallieren
Communicatie:	kanaal 18
	kanaal 1 storno
	RWS-mobiel
Accommodatie:	3 personen
Bergingspomp 1:	2 x 380 V klokpomp
Perspomp:	3"ansl. 180 L 1 min.
	"Sarlin"
Generator:	2 x 150 kVA
Hydrauliek:	2 sets.

Ten behoeve van duikwerkzaamheden waren naast de eerder genoemde duikerklok, tevens geïnstalleerd: een reparatiekamer (een zogenaamde Habitat), een voetplaat voor grondmechanisch onderzoek, een decompressiekamer, hogedruk compressor 225 bar, buffervoorraad 150 ltr,

luchtbord, meerurenaansluiting (6stuks), werkluchtaansluiting (3 stuks), hydraulische aansluiting en las-/brandapparatuur.

### 2.2 Sondeer-/boorinstallatie

#### 2.2.1 Het principe van de sondeer-boorinstallatie

Een 400 kN (40 tf) wegend ballastblok werd op de bodem neergelaten.

Tijdens het neerlaten van het ballastblok werd een standbuis, inwendig 200 mm vanaf het werkplatform, in secties van 2 m opgebouwd. De buissecties waren voorzien van schroefdraden. De onderste standbuis was cardanisch aan het ballastblok verbonden. Gedurende deze afvieroperatie hing het werkplatform aan twee staaldraadkabels, die elk, via een deiningscompensator, naar een elektrisch aangedreven lier liep. De lieren en deiningscompensatoren stonden op de dwarstraverse van het grote portaal. Zodra het ballastblok op de grond rustte werd het werkplatform aan de boven het water uitstekende standbuis gekoppeld. Hierna werden de deiningscompensatoren in werking gesteld. Zij trokken samen met een constante kracht van 80-kN (8 tf) via het platform aan de gehele constructie. Het werkplatform vond een verticale geleiding in de kolommen van het portaal. Met deze constructie is een opstelling verkregen die geheel onafhankelijk was van de bewegingen van de ponton ten gevolge van tijverschillen en golfslag.

#### 2.2.1.1 Het ballastblok

Om de reactiekracht van het wegdukken van de sondeer-

toren op te nemen was een gewicht nodig van ca. 200 kN (20 tf); voor het wegdukken van de boorbuisen was ca. 300 kN (30 tf) benodigd. Door de eerdergenoemde delingscompensatoren werd er een constante trekkracht van 2 x 40 kN (2 x 4 tf) op het ballastblok uitgeoefend. Voor de contactdruk tussen ballastblok en bodem was in verband met de benodigde weerstand tegen horizontale stromingskrachten een minimumwaarde van 20 kN (2 tf) vereist. Uitgaande van deze gegevens kwam men voor het ballastblok op een onderwatergewicht van 400 kN (40 tf).

De vorm van het ballastgewicht deed denken aan een omgekeerde schotel. Uit de praktijk bleek dat de rand van een dergelijk obstakel op de bodem zo dun mogelijk moest zijn om ontgroning ten gevolge van stroming tegen te gaan, waardoor de standzekerheid van het ballastblok in gevaar kwam.

Om hieraan te voldoen en het volume aan loden ballast te kunnen bergen, was een diameter van 5 m noodzakelijk (zie foto 3).

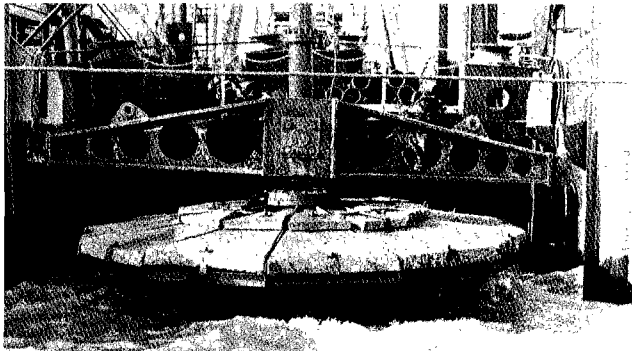


Foto 3 Ballastblok

Aan de rand was het ballastblok 0,25 m hoog en in het centrum 0,70m. De twaalf loden blokken hadden de vorm van een cirkelsector en wogen elk 30 kN (3tf). Zij lagen op een stalen frame. De balken van het frame kwamen samen in een centrale buis waaraan de cardan en de evenaar waren verwerkt.

De cardan liet een speling toe van 8° ten opzichte van de vertikaal. Bij een hellende bodem kwam er daardoor geen extra buigend moment in de standbuis.

### 2.3 Duikerklok

Gezien de afstand die bij grondmechanisch onderzoek moest worden overbrugd vanaf het wateroppervlak tot aan het maaiveld -waarvandaan het daadwerkelijke onderzoek plaatsvond- werd de mogelijkheid bekeken om vanuit een bemande duikerklok, die werd neergelaten tot op het maaiveld, dit onderzoek te verrichten.

#### 2.3.1 Ontwerpeisen

De belangrijkste eisen waren, dat met de duikerklok kon worden gesondeerd tot een grotere sondeerdiepte dan tot dan toe mogelijk was en dat dichtheidsmetingen konden worden uitgevoerd bij waterdiepten tot in principe maximaal 200 m. Deze metingen dienden vanuit de duikerklok te worden uitgevoerd onder atmosferische druk.

Een verdere ontwerp-eis was dat er ook continuboringen mee uitgevoerd konden worden. Hierbij zal het voorlopig nodig zijn de boringen uit te voeren bij een druk in de klok gelijk aan de atmosferische druk plus een tegendruk, die gelijk is aan de buiten de duikerklok heersende waterdruk. Het registreren van uit de duikerklok genomen proeven en waarnemingen langs elektrische weg op het begeleidende vaartuig was eveneens een eis, terwijl '-last but not least'-de veiligheid van mensen voorop moest staan.

#### 2.3.2 Beschrijving van de constructie

##### 2.3.2.1 De grondplaat/ballastvoet

De duikerklok bestond in grote lijnen uit drie delen.

De grondplaat of ballastvoet had een diameter van ca. 6,00m en had aan de onderzijde een snijrand. Aan de bovenzijde was de grondplaat verdeeld in vakken door middel van stalen ribben, die deels de functie hadden de plaat te verstijven, deels de loden ballastpakketten te herbergen. Deze ballast waarborgde dat onder water een reactiekracht van ten minste 400 kN (tf) en maximaal 600 kN (60 tf) kon worden opgenomen.

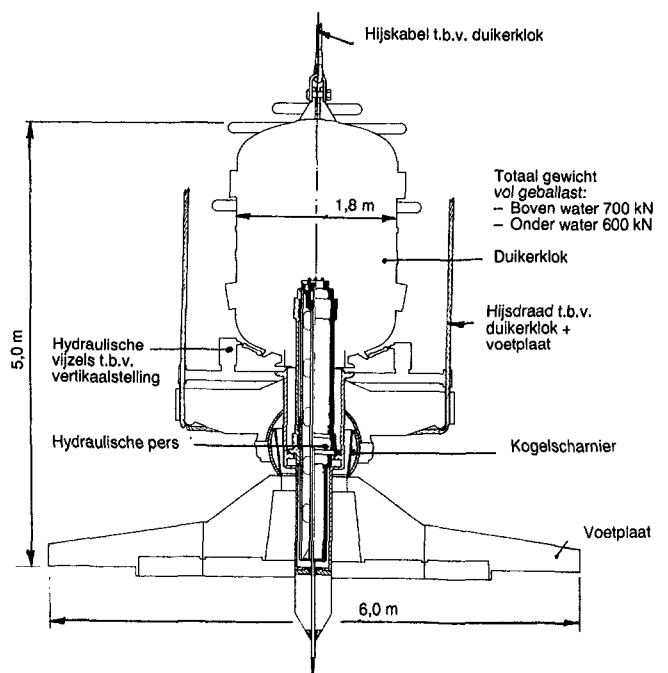
De grondplaat kon worden gedeeld in drie segmenten waarmee transportfaciliteiten werden verkregen. Door middel van een grote serie stalen bouten werden de segmenten met elkaar verbonden.

In het centrum van de grondplaat stond het hydraulische sondeerapparaat opgesteld. Naast het sondeerapparaat, doch buiten de duikerklok, bevonden zich de benodigde hydropompen, de olietank en de elektrisch op afstand te bedienen regelapparatuur, alles verpakt in roestvrij stalen tanks en bestand tegen zout water en uitwendige waterdruk (zie schets van figuur 2).

##### 2.3.2.2 Het kogelscharnier

In het midden van de beschreven grondplaat was een gedeeltelijk open bolvormig stalen element aangebracht.

In dit element paste een tweede bolvormig element, waaraan de hydraulische pers was verbonden.



Figuur 2 Doorsnede duikerklok

Samen vormden beide elementen, nadat zij door middel van een van binnenuit de duikerklok bediende klampconstructie met elkaar waren verbonden, een kogelscharnier. Dit in alle richtingen werkende scharnier maakte het mogelijk om op een hellende zeebodem de duikerklok vertikaal te stellen. Deze vertikaalstelling werd bewerkstelligd door middel van twee hydraulische vijzels die aan de grondplaat en aan de onderzijde van de klok scharnierend waren bevestigd. Zij werden vanuit de duikerklok bediend (foto 4). De controle op de verticale stand geschiedde in de klok door middel van een eenvoudig schietlood.

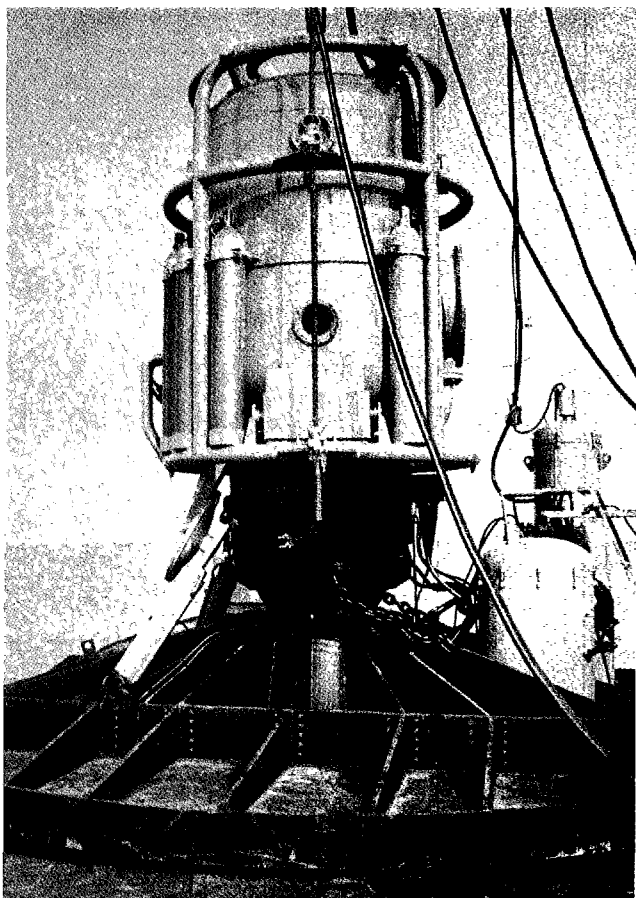


Foto 4 Buitenaanzicht van de duikerklok

### 2.3.2.3 De duikerklok

De eigenlijke duikerklok was een stalen dikwandige cilinder met een inwendige diameter van 1,80 m. De hoogte, gerekend vanaf de werkvloer tot het bolvormige dak, was 2,30 m. De totale hoogte van voetplaat en duikerklok bedroeg ca. 5,00 m. In de verticale wand waren zes vensters gemaakt voor observaties.

In deze wand was eveneens een ronde naar binnen draaiende stalen deur aangebracht (foto 5). Aan de buitenzijde van de stalen deur kon alleen boven water, een zogenaamde decompressietank worden aangesloten.

Op de buitenzijde van de verticale wand van de duikerklok waren onder en boven uitsteeksels aangebracht met aan de uiteinden een ronde doorvoer voor twee zware lange stalen kabels. Deze kabels waren bedoeld voor het neerlaten en ophalen van de duikerklok en de ballastvoet. Zij waren beneden aan de grondplaat vastgemaakt, terwijl de halende parten waren verbonden aan de trommels van een

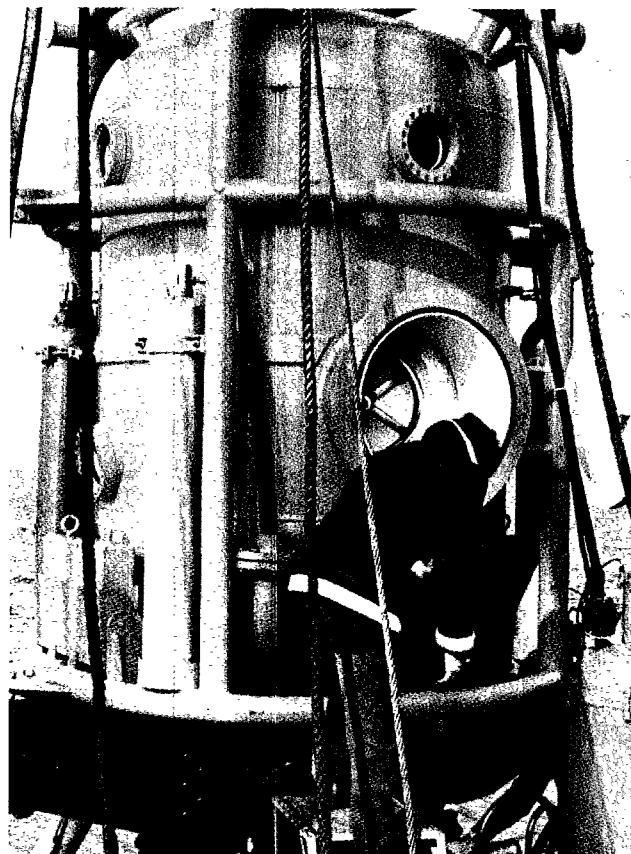


Foto 5 Toegang tot de duikerklok

winch op het begeleidende vaartuig. De hartafstand van deze kabels was 3,00 m, de diameter 50 mm. Zij hadden een breeksterkte van 1000 kN (100 tf).

Op het dak van de duikerklok was een hijsaang aangebracht, waaraan een derde kabel was bevestigd. Met deze kabel werd alleen de duikerklok opgehaald. Naast deze hijskabel liep nog een vierde kabel, de zogenaamde umbilical, vertaald: "navelstreng". Deze umbilical bestond uit twee luchtslangen en een aantal elektrische kabels waardoor de meetsignalen voor het grondonderzoek en die voor de communicatie tijdens het in bedrijf zijn, werden geleid.

Voor de elektrische voeding van de hydraulische sondeerapparatuur was in verband met de veiligheid een afzonderlijke elektrische kabel aanwezig.

De luchtslangen dienden voor de luchtspoeling in de duikerklok.

Het totale gewicht van de hele constructie boven water met volle ballast was 700 kN (70 tf) en onder water 600 kN (60 tf). Het verschil was de waterverplaatsing van voetplaat en duikerklok.

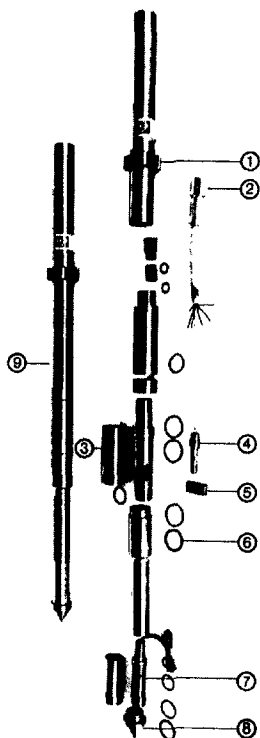
Het hydraulisch sondeerapparaat had een drukcapaciteit van 600 kN (60 tf). In verband met de ruimte in de duikerklok was gebruik gemaakt van één cilinder met een centrale doorvoer van 250 mm.

### 3. Grondmechanische onderzoeksmethoden

#### 3.1 Sonderingen

Bij het sonderen wordt een meetlichaam, de conus, met een doorsnede van 1000 mm<sup>2</sup> en voorzien van een kegelvormige punt met een tophoek van 60° met een voorgeschreven constante snelheid van 20 mm per seconde in de grond gedrukt. De weerstand die de punt daarbij ondervindt, de conusweerstand, wordt gemeten. Bij toepassing van de zogenaamde kleefmantelconus (zie figuur 3) is het tevens mogelijk de plaatselijk optredende wrijving tussen

1. koppelstuk met wrijvingsbreker
2. waterdichte kabelplug
3. wrijvingsmantel
4. meetelement plaatselijke kleef
5. brugstuk
6. O-ring
7. meetelement conusweerstand
8. conuspunt
9. gemonteerde kleefmantel conus



Figuur 3 Onderdelen elektrische kleefmantelconus (type LGM)

de kleefmantel en de grond te meten. In sommige gevallen wordt de totale wrijving tussen de omringende grond en de buizen waarmee de conus wordt weggedrukt, bepaald. De sondeerwaarden kunnen worden gemeten met behulp van een mechanische of een elektrische conus. In het eerste geval vindt de registratie plaats door middel van aflezing van manometers. Bij de elektrische conus geschiedt de registratie van de gemeten waarden langs elektrische weg, waarbij op een analoge recorder de resultaten direct zichtbaar worden gemaakt, terwijl ze tevens worden vast-

gelegd op een ponsband voor verdere computerverwerking, zoals plotten en diverse berekeningen.

#### 3.2 Boringen

Om een zo volledig mogelijk beeld van de ondergrond te verkrijgen stonden, naast de informatie die werd verkregen uit de sondeerresultaten, verschillende boormethoden ter beschikking.

##### 3.2.1 Begemannboring $\varnothing$ 29 mm

De ideaalste wijze van verkennen van de ondergrond werd gevormd door het uitvoeren van een continuboring volgens het systeem Begemann. Dit unieke en zeer geavanceerde boorsysteem gaf een ongestoord en ononderbroken beeld van de grondslag over een maximale lengte van ongeveer 20 m.

Het steekapparaat om dit ononderbroken monster aan de ondergrond te kunnen ontleen is door het Laboratorium voor Grondmechanica ontwikkeld en vervolmaakt gedurende jarenlang intensief speurwerk.

Het LGM heeft de beschikking over steekapparaten voor een monsterdiameter van 29 mm en van 66 mm, die ieder hun eigen toepassingsgebieden hebben. De Begemannboring  $\varnothing$  29 mm geeft aanvullende informatie op de resultaten van de sonderingen. Tevens verschaft zij een eerste indruk van de mechanische eigenschappen van de ondergrond. Het verkregen monster is geschikt voor het maken van korrelverdelingen terwijl ook de volumieke massa per meter kan worden bepaald.

##### 3.2.2 Begemannboring $\varnothing$ 66 mm

De Begemannboring  $\varnothing$  66 mm heeft andere toepassingsgebieden en andere functies dan de Begemannboring  $\varnothing$  29 mm. In bepaalde gevallen zal de normale indrukc capaciteit van 120 kN te gering zijn om over de gehele gewenste diepte een continu monster van 66 mm diameter te kunnen steken. In dat geval staat apparatuur met een indrukc capaciteit van 200 kN ter beschikking.

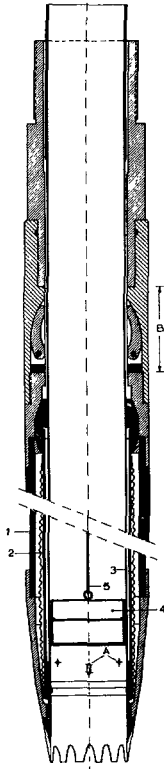
Het ongeroerde ononderbroken monster dat door middel van het Begemann-steekapparaat  $\varnothing$  66 mm wordt verkregen, is bij uitstek geschikt om aan alle mogelijke soorten proefnemingen of bepalingen in het laboratorium te worden onderworpen. Een groot voordeel bij deze methode is dat pas in het laboratorium behoeft te worden vastgesteld welke representatieve monsters uit de boring ter beproeving zullen worden genomen. Dit kan geschieden aan de



hand van de sondeerresultaten en tevens door visuele waarneming van de uitgelegde boring.

### 3.2.2.1 Principe/systeem van het 66 mm continusteekepparaat

In grote lijnen is het principe als volgt. De onderste 0,90m van het gehele systeem bestaat uit drie centrisch in elkaar geplaatste buizen (zie figuur 4), te weten:



Figuur 4 Doorsnede continusteekepparaat 66 mm

1. de buitenste dikwandige buis waarop alle drukkracht terecht komt om dit gedeelte in de grond te drukken;
2. vervolgens een zeer dunne buis met een kleinere diameter waaroverheen 18 m waterdicht "precoated" nylon kous geplooid kan worden opgeschoven (kousenbuis);
3. een plastic buis met een iets kleinere diameter dan de kousenbuis en een iets grotere diameter dan het gestoken monster.

Het onderste deel van de buitenbuis heeft een steekmondconstructie van een zodanige vormgeving, dat een monster wordt verkregen van de vereiste diameter en de juiste lengte; dit laatste echter zonder dat aan het binnenkomende monster getrokken of gezogen wordt.

Het onderuiteinde van de "precoated" nylon kous wordt over het ondereinde van de kousenbuis heengevoerd en via schijf 4 (zie figuur 4) aan staaldraad 5 bevestigd.

Op die wijze wordt het door de steekmond binnenkomende monster geheel door de nylon kous omhuld. De ruimte tussen kousenbuis 2 en plastic buis 3 is gevuld met een speciaal ontwikkelde "smeervloeistof" waarvan het volumieke gewicht  $16 \text{ kN/m}^3$  (s.g.  $1,6 \text{ gr/cm}^3$ ) bedraagt.

Deze "smeervloeistof" wordt door een aantal gaatjes (A) onderin de buis gevoerd naar de uiterst dunne spleet tussen nylon kous en plastic buis. De dwarsafmeting van deze spleet is zo klein dat hij valt binnen de internationaal toegelaten "clearance (speling) of 0,5 - 1% of the sample

radius of samplers for taking undisturbed samples" zodat zelfs in het geval dat de smeerlaag geheel zou worden weggeperst, de horizontale deformaties van het monster binnen geaccepteerde grenzen blijven. Voorts is voornoemde spleet zo klein dat alleen vlak rondom de gaatjes (A) de hydrostatische druk van de smeervloeistof heerst. Aangezien het in de grond drukken van de buizen geschiedt met een snelheid van 20 mm/sec. wordt het monster gedurende het steken slechts zeer kort (ter plaatse van de gaatjes A) aan een iets te hoge horizontale druk blootgesteld. Reeds kort daarboven kiest het monster zijn eigen horizontale druk.

De wrijving tussen de plastic buis en de nylon kous die (met monster) omlaag beweegt, is te verwaarlozen klein.

Uit vorengaande is het duidelijk dat de buizen, zodra men de maximale diepte bereikt heeft, direct weer moeten worden getrokken en niet, bijvoorbeeld 24 uur, in de grond mogen blijven zitten.

Kousenbuis 2 is aan zijn boveinde via een bolscharnier aan de buitenbuis bevestigd, zodat bij eventuele lichte buiging van de buitenbuis het ondereinde van de kousenbuis ten opzichte van het binnenkomende monster steeds op zijn plaats kan blijven. Gezien de zeer geringe beschikbare speling daar ter plaatse is dit noodzakelijk.

Vlak boven de bovenkant van de kousenbuis is een speciaal ontworpen afsluiter (B) ingebouwd, die automatisch de plastic buis dichtknijpt zodra men aan de daarboven gelegen verlengbuizen gaat trekken om het ongeroerde monster naar boven te halen.

### 3.2.3 Ackermann- en pulsborring

Niet altijd kunnen Begemannboringen worden uitgevoerd. De beperkingen die aan de toepassing van dit boorsysteem worden gesteld worden bijvoorbeeld gevormd door de aanwezigheid van steenachtige lagen of door een te grote weerstand in de ondergrond. In deze gevallen staan andere boorsystemen ter beschikking.

Indien het belangrijk is een zo continu mogelijk beeld van de ondergrond te verkrijgen, kunnen Ackermannboringen worden uitgevoerd. Hierbij worden opeenvolgende monsters met een lengte van 300 mm in een steekbus naar boven gebracht. De monsters worden ter plaatse uit de bus verwijderd en in de lengte doorgesneden: daarna worden gootjes ( $300 \times 25 \times 25 \text{ mm}^3$ ) in de monsters gedrukt, worden ze op volgorde verzameld en verpakt voor verzending naar het laboratorium.

Ook is het mogelijk de volledige monsters naar het laboratorium te transporteren. Opgemerkt wordt dat deze monsters niet geschikt zijn voor die laboratoriumproeven waarbij ongeroerdheid van de grond vereist is.

Bij de aanwezigheid van steenachtige lagen kunnen Ackermannboringen worden gecombineerd met kernboringen.

Soms is een nauwkeurige verkenning van de ondergrond minder interessant, bijvoorbeeld bij de aanwezigheid van dikke homogene zandpakketten boven samendrukbare lagen. Men kan dan besluiten tot het uitvoeren van pulsboringen. Bij dit systeem wordt een gat in de ondergrond gepulst, waarbij de uitkomende grond ter plaatse door de boorbaas wordt beschreven en weggegooid of naar het laboratorium wordt gezonden. Ook kunnen op vooraf vastgestelde diepten ongeroerde monsters worden gestoken.

Dit geschiedt vanaf de bodem van het gepulste boorgat met behulp van het Ackermann-steekapparaat, waarbij de normale steekbus wordt vervangen door een bus voor on-

geroerde monsters. Deze ongeroerde monsters hebben een maximale lengte van 400 mm en een diameter van 66 mm. Een beperking bij deze onderzoekmethode is het feit dat de monstereinden ten minste 600 mm van elkaar verwijderd dienen te zijn, opdat het monster over de volledige hoogte ongeroerd blijft.

### 3.3 Dichtheidsonderzoek

Het bepalen van de dichtheid van diep gelegen lagen met behulp van metingen aan monsters is minder nauwkeurig omdat het steken van ongeroerde (zand-) monsters, zonder dat de dichtheid verandert, praktisch onmogelijk is. Om die reden wordt de dichtheid ter plaatse gemeten. In principe kan dit op twee manieren plaatsvinden: namelijk de elektrische en de nucleaire dichtheidsmeting.

#### 3.3.1 Elektrische dichtheidsmeting

Het elektrisch dichtheidsmetingapparaat stelt het poriëngehalte vast van met water verzadigd zand als functie van de diepte.

De toegepaste meetmethode berust op het feit dat de zandkorrels uit elektrisch niet-geleidend materiaal bestaan, terwijl het poriënwater wel elektrisch geleidend is. De eigenlijke meting geschiedt dan ook in twee fasen. In de eerste fase wordt de specifieke elektrische weerstand gemeten van het totale grondmassief -korrels en poriënwater met behulp van de zogenaamde grondsonde. Deze grondsonde bestaat uit een speciale sondeerbuis, waarin de meetelementen elektrisch geïsoleerd zijn aangebracht. Tevens is de sonde voorzien van een conus en een kleefmantel, zodat tegelijkertijd ook in dit geval waardevolle conusweerstand en plaatselijke kleef worden geregistreerd. De sonde wordt in de grond weggedrukt en elke 0,20 m wordt de specifieke elektrische weerstand afgelezen.

In de tweede fase van de meting wordt door middel van de zogenaamde watersonde de specifieke elektrische weerstand van het poriënwater bepaald. De watersonde bevat een meetcel die via een filter kan worden volgezogen met een kleine hoeveelheid poriënwater, waarna de specifieke elektrische weerstand van dit water wordt gemeten. Deze meting wordt op verschillende diepten uitgevoerd.

Het poriëngehalte kan worden afgeleid uit het quotiënt van de beide gemeten specifieke elektrische weerstanden. Een theoretische afleiding van het verband is praktisch niet mogelijk, daar een zandmassa bestaat uit korrels van verschillende grootte en vorm, die niet regelmatig gerangschikt zijn. De gevraagde betrekking wordt daarom in het laboratorium vastgesteld, in de vorm van een ijklijn, door middel van proeven op monsters uit het onderzochte zandpakket. Daartoe wordt in een uit isolerend materiaal vervaardigde cilinder een met water verzadigd zandmonster opgebouwd met een bekend poriëngehalte. Dan kan zowel de specifieke elektrische weerstand van het verzadigde zand als die van het poriënwater worden gemeten. Deze proef wordt bij verschillende poriëngehalten van een monster herhaald. Na ijking van een aantal monsters uit het onderzochte gebied wordt een gemiddelde ijklijn vastgesteld.

#### 3.3.2 Nucleaire dichtheidsmeting

Bij nucleaire dichtheidsmeting wordt zowel bij verzadigde als bij onverzadigde grond langs nucleaire weg het poriëngehalte als functie van de diepte bepaald.

De hiertoe gevolgde werkwijze is, dat met sondeerapparatuur een meetbuis in de grond wordt gedrukt. Vervolgens wordt in de buis een meetlichaam neergelaten, opgebouwd uit een gammastraler, een neutronenstraler en een kristal. Met behulp van het kristal en de daarbij behorende elektronika wordt de intensiteit van de door de grond verstrooide en verzwakte straling gemeten.

De intensiteit van de gemeten gammastraling is bepalend voor de volumieke massa van de grond.

Uit de intensiteit van de gemeten neutronenstraling kan de hoeveelheid water in de grond worden afgeleid. Immers, hoe meer water zich in de grond bevindt des te meer energie van de uitgezonden neutronen bij botsing met de even zware waterstofatomen van het poriënwater wordt geabsorbeerd. Uit de combinatie van de bekende soortelijke massa, de gemeten volumieke massa en de hoeveelheid water is het poriëngehalte te bepalen, ook bij niet verzadigde grond.

Evenals bij de elektrische methode wordt bij deze methode het verband tussen stralingsintensiteit en poriëngehalte in de vorm van een ijklijn bepaald.

Doordat een nauwkeurige meting een dunwandige meetbuis vraagt, is bij de nucleaire methode de bereikbare diepte beperkt. De bereikbare diepte zal echter veelal voldoende zijn om in ieder geval de onverzadigde zone, die met de hiervoor genoemde elektrische methode niet verkend kan worden, te onderzoeken.

## 4. Werkwijze

### 4.1 Met de sondeer-boorinstallatie

#### 4.1.1 Het sonderen

Vanaf het werkplatform (3 x 5 m) werden sonderingen gemaakt met een hydraulisch "20-tons" sondeerapparaat. Het uitknikken van de sondeerbuizen in de 200 mm wijde standbuis werd voorkomen door in deze buis een 40 mm

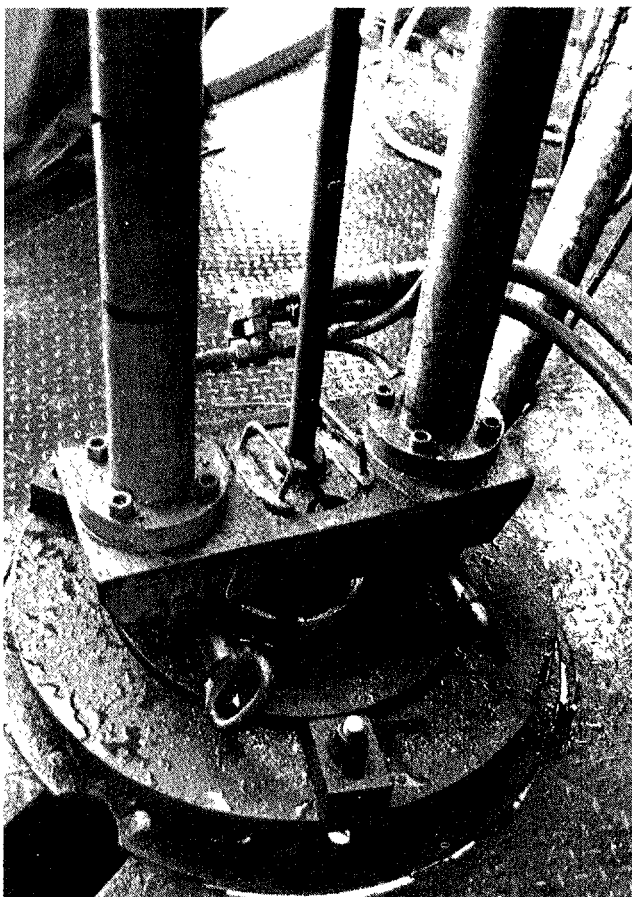


Foto 6 Uitvoering van de sondering

inwendig wijde centreerbuis af te stellen. Deze centreerbuis was voorzien van zogenaamde centreerbeugels en werd opgebouwd in secties van 2 m lengte. Door deze centreerbuis liep de 36 mm sondeerbuis (zie foto 6). Er werd uitsluitend gesondeerd met een elektrische conus, al of niet voorzien van een wrijvingsselement. De registratie geschiedde in één van de op het dek staande meetcabi-

nes. De te meten grootheden (conus- en wrijvingsweerstand) werden met een digitale rekmetr afgelezen. Continue registratie was even goed mogelijk.

#### 4.1.2 Het boren

Vanaf hetzelfde werkplatform werden ook boringen uitgevoerd. In het centrum van het platform werden boorbuisen met een uitwendige diameter van 180 mm, met behulp van een elektrisch aangedreven lier in secties van 2 m neergelaten, totdat zij de bodem raakten en door hun eigen gewicht penetreerden.

Ter weerszijden van het centrum stonden op het platform twee hydraulische vijzels met een netto slag van 1,20 m. De vijzels ontleenden hun reactie aan de hoofdbalken van het werkplatform. Zij werden boven gekoppeld door middel van een brugstuk.

Dit brugstuk had in het midden een ronde doorvoer van ca. 190mm. De aandrijving geschiedde door middel van het aggregaat van het sondeerapparaat, dat in zijn non-actieve toestand zo lang een plaats kreeg op één der hoeken van het platform. Het verder wegdrücken van de 180 mm wijde boorbuis tot de einddiepte van de boring geschiedde dan met secties van 1 m lengte met de hulp van een speciaal geconstrueerd druk-trekstuk.

Normaal werden zogenaamde Ackermannboringen uitgevoerd. Dat wil zeggen dat met een steekapparaat een grondmonster van 0,35 m lengte onder de boorbuis gestoken werd. De boorbuis werd daarna 0,35 m dieper gedrukt en schoongepulst met een puls. Dit proces werd continu herhaald totdat de einddiepte van de boring was bereikt.

Ook het uitvoeren van boringen met het continu-steekapparaat  $\varnothing 66$ mm is met succes toegepast. De meeste boringen van dit type werden in twee trappen uitgevoerd. Voor de uitvoering van een dergelijke boring moet er nog een extra casing worden geplaatst van inwendig 140 mm om het uitknikken van de verlengbuizen van het steekapparaat (uitwendig 110 mm) te voorkomen. De uitvoering van de  $\varnothing 66$  mm continuboring was onder deze omstandigheden tijdrovender dan een Ackermannboring; de kwaliteit ervan was echter optimaal (zie ook 3.2).

### 4.2 Met de duikerblok

#### 4.2.1 Inleiding

Alvorens over te gaan tot de bespreking van de werkwijze dient eerst toegelicht te worden wanneer onder verhoogde luchtdruk moest worden gewerkt en wanneer onder atmosferische luchtdruk (de normale luchtdruk waaronder we le-

ven). Zodra er onder water vanuit de duikerklok een open verbinding werd gemaakt, hetgeen bij de uitvoering van een boring het geval was, moest er een tegendruk worden opgewekt die gelijk moest zijn aan de heersende waterdruk buiten de duikerklok.

Bij de uitvoering van een sondering of dichtheidsmeting behoefde geen open verbinding te worden gemaakt omdat de sondebuizen werden geleid door een serie pakking-ringen die voorkwamen dat er water in de duikerklok binnendrong.

Deze vorm van afsluiting werd de zogenaamde eruptie-afsluiter genoemd.

Het grote voordeel van deze constructie was dat het sonderen etc. kon worden verricht vanuit de duikerklok onder normale atmosferische omstandigheden. Dit hield in dat in dit geval de maximale waterdiepte waarop dit onderzoek uitgevoerd kon worden bepaald werd door de sterkte van de duikerklokconstructie die, zoals eerder vermeld, tot max. 200 m waterdiepte kon worden ingezet.

#### 4.2.2 Het afdalen

Duikerklok en grondplaat konden boven water gekoppeld naar de zeebodem worden afgevierd; de grondplaat eerst en daarna de duikerklok.

In het laatste geval fungeerden de twee stalen kabels als geleiding en werden klok en grondplaat onder water gekoppeld door middel van de beschreven klampconstructie. Bij beide methoden van afdalen moesten de bemanningsleden in de klok aanwezig zijn (foto 7).

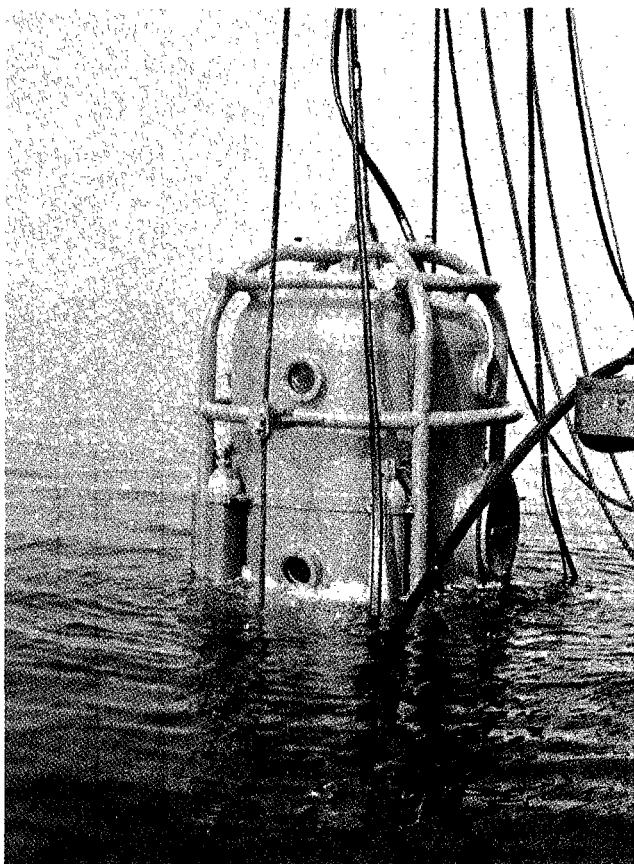


Foto 7 Neerlaten van de duikerklok

#### 4.2.3 Het sonderen

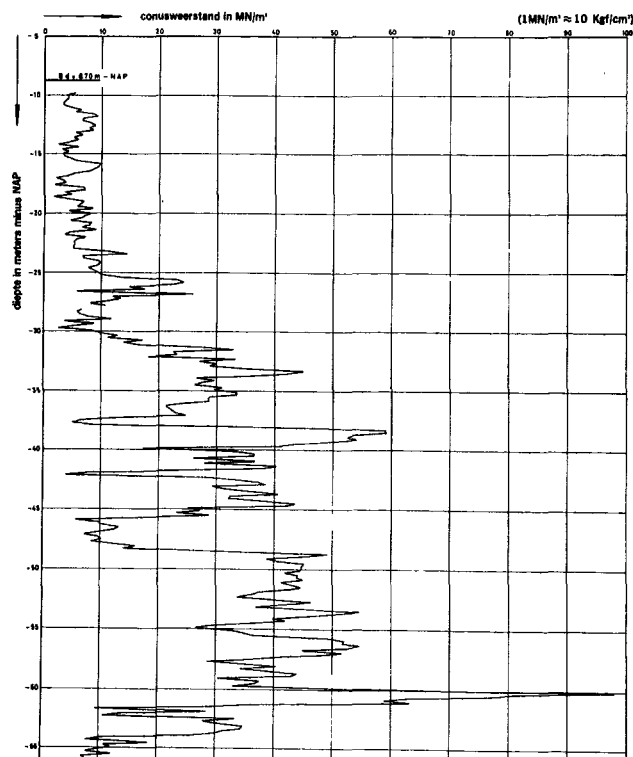
Wanneer er sonderingen of dichtheidsmetingen moesten worden uitgevoerd, werden, alvorens de duikerklok werd neergelaten, boven water eerst de elektrische conus met de twee daarop aansluitende sondebuizen in de eruptie-afsluiter geplaatst. De rest van de verlengbuizen, met de vooraf ingeregende elektrische kabel, lag in een rek op de bodem van de klok. De bediening van de hydraulische pers etc. vond plaats door het personeel in de duikerklok. Het resultaat van de meting ging via de signaalkabel naar het vaartuig en werd daar of zondig geregistreerd of digitaal afgelezen.

Voor het uitvoeren van dichtheidsmetingen was er voor wat betreft de tijdsduur van de grondmeting (dit is de meting van de specifieke elektrische weerstand van grond- en poriënwater), weinig verschil met de tijdsduur nodig voor het uitvoeren van een sondering.

Dat kon niet worden gezegd van de bij deze meting behorende watermeting. Dit was de meting van de specifieke elektrische weerstand van het poriënwater.

Bij deze laatste meting, die wel 12 à 15 uur kon duren, konden de bemanningsleden halverwege worden afgelost. Hiervoor werd de druk in de klok gelijk gemaakt aan de omgevingsdruk, de klok van de voetplaat ontgrendeld en aan het hijsorgaan boven water gehesen.

De twee dikke stalen kabels fungeerden bij deze manipulatie weer als geleiding. Nadat twee andere bemanningsleden waren ingestapt, werd de klok weer gevierd, vergrendeld aan de voetplaat, de druk teruggebracht tot de atmosferische en werd de meting voortgezet. Voor het resultaat van een met de duikerklok uitgevoerde elektrische sondering zie figuur 5.



Figuur 5 Resultaat elektrische sondering

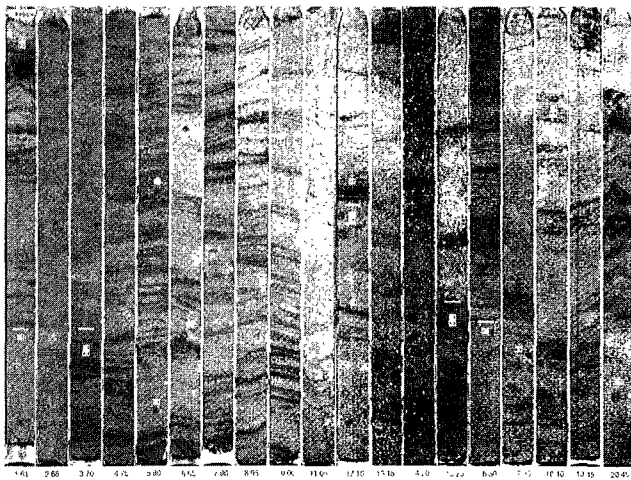
#### 4.2.4 Het continu boren

Het werken met het continu-steekapparaat was wat gecompliceerder dan het sonderen en dergelijke. Hiervoor moest de luchtdruk in de klok worden aangepast aan de waterdiepte. De lucht kwam via de umbilical (navelstreng) van de oppervlakte. De bemanningsleden moesten onder deze verhoogde druk alle handelingen verrichten die normaal voor het boren bovengronds worden gedaan. Via een monitor werden de werkzaamheden gevolgd en begeleid en konden naar aanleiding daarvan aanwijzingen worden gegeven.

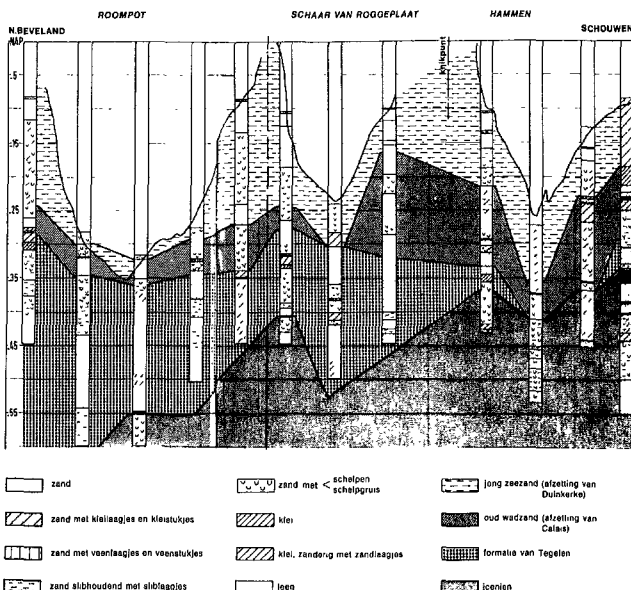
Zodra de boring klaar was werden klok en voetstuk boven water gehesen en stapten de bemanningsleden over in de inmiddels aangesloten decompressietank.

In de decompressietank heerste dezelfde druk als die waaronder zij hadden gewerkt. Deze druk werd in een bepaald tempo, afhankelijk van de tijdsduur die zij onder water hadden doorgebracht, en de diepte naar de normale atmosferische druk teruggebracht. Het resultaat van een *continuboring*, uitgevoerd met behulp van de duikerklok, is weergegeven in figuur 6.

CO - 416012 boring 3



Figuur 6 Resultaat continuboring Ø 66 mm



Figuur 7 Geologisch profiel monding Oosterschelde

Een globale indruk van het geologisch profiel in de monding van de Oosterschelde, op 100 m ten oosten van de as van de kering, is weergegeven in figuur 7.

#### 4.2.5 Veiligheidsaspecten

Bij het ontwerp en de constructie is naar een optimale veiligheid gestreefd. Allereerst waren op een model op ware grootte stroomproeven verricht. Deze proeven werden genomen in de Oosterschelde en hadden tot doel om na te gaan binnen welke tijd zandtransport ten gevolge van stroming de standzekerheid van de grondplaat, in casu de duikerklok, zou beïnvloeden.

Deze proef moest worden genomen omdat bij een grondmechanisch onderzoek de duikerklok 12 à 15 uur op één locatie moest blijven staan en 2 à 3 maal de getijstroom moest verduren. Vooraf was in een stroomgoot van het Waterloopkundig Laboratorium te De Voorst op een schaalmodel dit verschijnsel onderzocht.

De klok is onder Lloyds keur gebouwd en kon tot 200 m waterdiepte opereren. Bij onklaar raken van de compressoren voor de luchtverversing kon de klok van lucht worden voorzien vanuit stalen luchtcilinders, welke aan de buitenzijde van de klok waren aangebracht.

Er was rekening mee gehouden dat in noodsituaties, bijvoorbeeld bij het onklaar raken van de hijsinstallatie op het schip, de klok na het ontkoppelen van het grondframe uit zichzelf ging bovendrijven. Hiervoor werden aan de buitenzijde van de klok aangebrachte ballastgewichten afgeworpen. Deze handeling werd ook van binnenuit geregeld. De gewichten vielen op de grondplaat en konden later weer worden gebruikt.

Mocht de hijsinstallatie van het schip en tegelijk de ver-grendeling van duikerklok met voetplaat onklaar raken, dan moesten de bemanningsleden in een zogenaamde vrije opstijging de klok verlaten. Het is vanzelfsprekend dat voor dit werk alleen ervaren duikers met een goede training konden worden ingezet.

Voor de exploitatie van de duikerklok was vooraf een aantal afspraken gemaakt, waarvan een der belangrijkste was dat het duikbedrijf zorgde voor het duiktechnische gedeelte en het Laboratorium voor Grondmechanica voor het grondmechanische gedeelte.

Bij de uitvoering waren altijd één of twee LGM-deskundigen betrokken.

## 5. De Geodoff en Geodelft

Het grondonderzoek in de stroomgeulen vond hoofdzakelijk plaats vanaf de Johan V.

De door de Jan Heijmans aangebrachte negatieve overlap (zie deelnota 10) moest in verband met de gestelde filtereisen worden gecontroleerd.

De inzet van de Johan V zou echter een te grote inbreuk plegen op de CARJAN-cyclus vanwege ankerpatronen, verhalen, positioneren e.d.

Onderzocht werd of met andere apparatuur, zonder de inzet van de Johan V, hetzelfde grondonderzoek zou kunnen worden uitgevoerd waarvan de resultaten dezelfde betrouwbaarheid hadden als met de inzet van voornoemde ponton.

Gezien het feit dat het voor het CARJAN-bedrijf benodigde grondonderzoek met lichtere apparatuur zou kunnen worden uitgevoerd (geringere penetratiediepte, dus minder persdruk), werden proeven verricht met de Geodoff van de Rijks Geologische Dienst.

De Geodoff (een onbemand apparaat dat op de zeebodem grondmechanisch onderzoek kan verrichten en op afstand wordt "gehandeld" door middel van een umbilical) was gebouwd voor het maken van korte boringen en werd in samenwerking met het LGM, de Rijks Geologische Dienst en de Rijkswaterstaat omgebouwd zodat hiermee elektrische grondweerstandsmetingen konden worden verricht op de wijze zoals die vanaf de Johan V met de duikerklok plaatsvonden.

### 5.1 De Geodoff

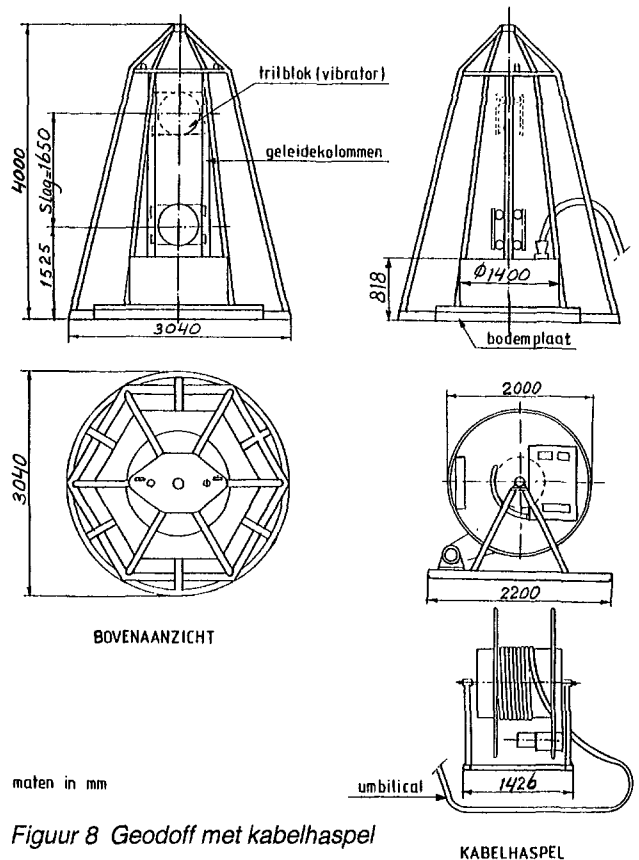
#### 5.1.1 Technische specificaties

De Geodoff bestond uit (doc 3):

- een olietank voor het hydraulisch circuit
- een elektromotor en het hydraulische aandrijfwerk
- een stel geleidekolommen met brugstuk voor de vibrator
- een vibrator compleet gemonteerd met geleiderollen en een roestvrijstalen klamp voor de boorbuis
- een roestvrijstalen hydraulische bodemklamp gemonteerd op de top van de basis
- een afvier- en hijsmechanisme, gemonteerd op de basis, bevestigd aan de vibrator met een synchroon aangedreven rollenketting.

Voor de verbinding van de penetratie-indicator van de Geodoff met het bedieningspaneel werd een kabel gebruikt omhuld met harde foam plastic coating die de kabel in staat stelde te drijven.

Het bedieningspaneel was voorzien van een boringpenetratie-recorder, een hellingsindicator voor de Geodoff en een vibratorindicator.



Figuur 8 Geodoff met kabelhaspel

Het grondvlak van de beschermingsconstructie was een zeshoek (zie figuur 8).

Afmetingen: Hoogte totale constructie 4,00 m  
 Grondvlak (zeskant) 3,04 m  
 Kabelhaspel ca. 1,50 x 2,20 m.

Gewicht boven water inclusief ballast 7,6 ton  
 Onderwater gewicht 6,0 ton

De boorbuis en de sonde werden trillend de grond in- en uitgebracht met een snelheid van ca. 2 cm/sec.

#### 5.1.2 Programma van eisen

Om de Geodoff in te kunnen zetten voor het verrichten van grondonderzoek met betrekking tot het filter van de negatieve overlap moest dit apparaat aan een aantal eisen voldoen. Om deze eisen te toetsen werd een aantal proeven verricht. Deze proeven waren voornamelijk gericht op:

- het kunnen maken van elektrische grondweerstandsmetingen (penetratiediepte ca. 2,5 m) door het losgepakt filter van de negatieve overlap (1/32 mm + 30/60 mm);
- het onderzoeken van de stabiliteit van het apparaat op de negatieve overlap onder stroomcondities;
- het onderzoeken naar uitwijkingen onder stroomcondities bij lancering in verband met de eis ten aanzien van positioneernauwkeurigheid;
- het maken van dusdanige boringen (penetratiediepte ca. 2,5m) dat de kwaliteit van het filter kon worden beoordeeld;
- het maken van referentieboringen en elektrische grondweerstandsmetingen op een van te voren vastgesteld profiel.

Het resultaat van de beproevingen was van dien aard, dat werd besloten met de Geodoff de negatieve overlap te controleren. In principe kon de handeling zowel vanaf de Cardium als de Jan Heijmans plaatsvinden.

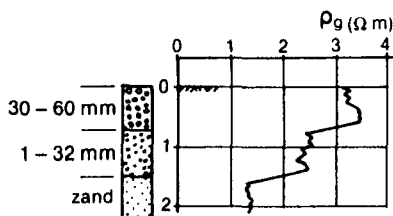
### 5.1.3 Inzet Geodoff

Het onderzoek moest direct na het storten van de negatieve overlap plaatsvinden, voordat het filter werd afgedekt door de zware stenen die dienden om erosie van het filter te voorkomen.

Belangrijk waren de dikte van de filterlagen, bestaande uit grind 1-32 mm met daarop grind 30-60 mm, en de samenstelling daarvan.

Het bleek mogelijk om de laagdikten vast te stellen door een sondering met de zogenaamde grondsonde. Er was een goede relatie tussen de elektrische weerstand van de grond en het materiaal, fijn of grof zand, fijn of grof grind en dergelijke.

Het is echter niet goed mogelijk gebleken om uit de elektrische weerstand (zie figuur 9) tevens de precieze samen-



Figuur 9 Elektrische grondweerstandsmeting

stelling van een laag, nodig voor een gedetailleerde filtercontrole, af te leiden. Daarom is uiteindelijk toch voor het maken van boringen gekozen.

Het boren werd uitgevoerd met een aantal systemen namelijk:

- het Geodoff-frame met de standaard Geodoff uitrusting (buisen  $\varnothing 98$  mm) een penetratiesnelheid van 2 cm/sec. Als afsluiters werden gebruikt de standaard corecatchers (de "corecatcher" zit onderaan de stalen steekbuis, die tijdens het trillend steken open gaat en bij het trekken voorkomt dat het monster uit de buis valt), zogenaamde slappe corecatchers en een afsluiter met een opblaasbare rubberbal in een boorbuis  $\varnothing 84$  mm;
- het Begemann steekapparaat ( $\varnothing 66$  mm) was aangepast om in het Geodoff-frame te kunnen worden geplaatst. In tegenstelling tot de standaard Begemann boringen werd het steekapparaat niet drukkend, doch tril-

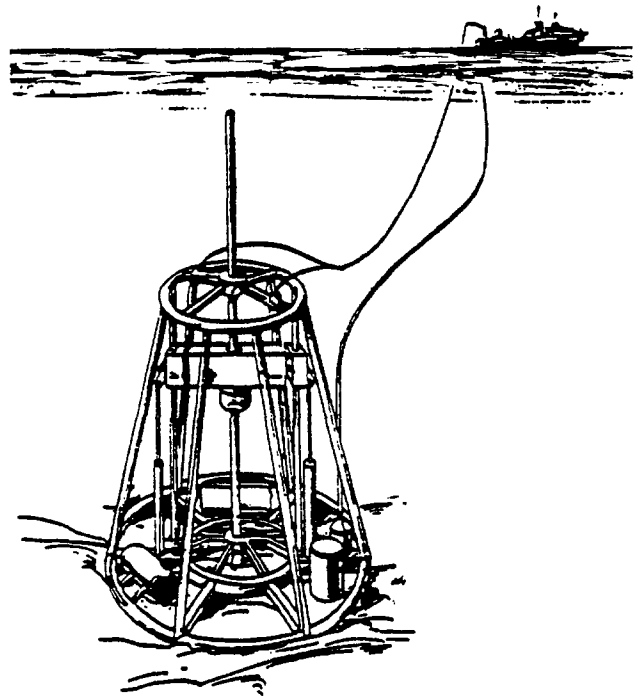
lend op diepte gebracht. Als afsluiter werd de standaard afsluiter van het Begemann systeem gebruikt, hetgeen zich ca. 0,9m boven de steekmond bevond;

- de Rokleng vibrocorer waarbij de boorbuis ( $\varnothing 100$  mm) met behulp van een pneumatische hamer op diepte werd gebracht. Als afsluiter werd een corecatcher gebruikt;
- de toepassing van een hydraulisch trilblok, waarbij de boorbuis ( $\varnothing 150$  mm) hydraulisch op diepte werd getrild. Ook hier werd een corecatcher als afsluiter gebruikt.

Op grond van de resultaten bleek het werken met de standaard Geodoffopstelling met een binnendiameter van  $\varnothing 98$  mm, een penetratiesnelheid van 2 cm/sec en een slappe corecatcher als afsluiter de beste werkwijze.

### 5.2 De Geodelft

De Geodelft was evenals de Geodoff I een op afstand bediend onderwater sondeer/boorapparaat, dat sterke over-



Figuur 10 Artist's impression Geodelft

eenkomsten met de Geodoff I vertoont (zie figuur 10).

Wat afmetingen betreft was de Geodoff iets groter en bood boorteknisch enkele extra mogelijkheden zoals:

- monsterdiameter  $\varnothing 98$  mm met lengte 3 m in plaats van 2 m bij de Geodoff I;
- Begemann-boormethode met eveneens een grotere lengte;
- monsterdiameter kon desgewenst vergroot worden tot  $\varnothing 105$  à  $110$  mm, indien noodzakelijk zelfs tot  $\varnothing 155$  mm.

De specificaties met betrekking tot het grondmechanisch onderzoek en de (onderwater-) gewichten waren als volgt:

gewicht	: boven water	= 45 kN
	: onder water	= 35 kN
sonderen	: drukkracht	= 30 kN
	: trekkracht	= 40 kN
boren	: slagkracht	= 80 kN
	: doorvoer	= 125 mm

Door ballasten was dit op te voeren tot:

gewicht	: boven water	= 57 kN
	onder water	= 45 kN
sonderen	: drukkracht	= 40 kN
	trekkracht	= 50 kN

200 kN uitvoering:

gewicht	: boven water	= 275 kN
	onder water = 235 kN	
sonderen	: drukkracht	= 200 kN
	trekkracht	= 250 kN
boren	: slagkracht	= 80 kN
	doorvoer	= 125 mm.



## 6. Evolutie bodemonderzoek onder water

Op de proeflocatie in de Roompot zijn de proefstorten met behulp van de duikerklok en voetplaat bemonsterd (Begemann boringen  $\varnothing$  66 mm).

Met behulp van deze boormethode is gebleken, dat het goed mogelijk is om een representatief monster van de negatieve overlap naar boven te halen.

Door de inzet van de Johan V bij de reparatie van enkele matten in de Hammen was het niet mogelijk een aantal negatieve overlappen in de Hammen met deze boormethode te bemonsteren.

Mede door de korte beschikbare tijd en omdat ander materieel op dat moment niet voorhanden was zijn de gewenste bemonsteringen achterwege gebleven.

Gezien het voornoemde probleem is eind januari 1983 een aantal acties opgestart om toch onafhankelijk van de inzet van de Johan V (duikerklok + voetplaat) te kunnen bemonsteren.

Deze acties hebben tot de inzet van de Geodoff I geleid. Voordat tot inzet kon worden overgegaan is in Schelphoek een aantal proefnemingen gedaan waaruit geconstateerd kon worden, dat, ondanks de vrij hoge boorverliezen, de opbrengsten representatief voor het aangebrachte materiaal waren. Dit bleek uit zevingen van het aangebrachte materiaal.

Met deze kennis is met de bemonstering van de negatieve overlappen in de Hammen gestart.

Om de opbrengst van de bemonstering te verhogen is tijdens de uitvoering met een grotere diameter  $\varnothing$  98 mm gestart.

De resultaten hiervan waren dusdanig onbetrouwbaar dat hiermee is gestopt.

In verband met de hoge boorverliezen is in Schelphoek een tweede serie proeven van start gegaan om te onderzoeken hoe het gehanteerde boorsysteem zodanig kon worden geoptimaliseerd dat volledig aan de eisen van opbrengst en representativiteit kon worden voldaan. Ondermeer is de invloed van de buisdiameter, de penetratiesnelheid en de afsluiterconstructie onderzocht.

De problematiek van de boringen was tevens aanleiding om te bekijken in hoeverre er nog meer boorsystemen voorhanden waren.

Een aantal mogelijkheden waren:

- gèlering van de boring;
- bevroezingsmethode;
- diverse afsluitconstructies;
- andere boorapparaten.

Na alle mogelijkheden intensief te hebben onderzocht is

besloten om een tweetal apparaten op Schelphoek te proberen:

- Rokleng;
- Hydraulisch trilblok.

Tevens is de mogelijkheid van het afsluiten van een steekapparaat met chemische injectie onderzocht.

De conclusie uit het onderzoek was, dat met de Geodoff I, voorzien van een aantal aanpassingen, een representatieve boring met voldoende opbrengst (>60%) was te maken.

Een ander probleem betrof de bemonstering van een aantal negatieve overlappen in de Hammen, die reeds met balsalt 40/230 mm afgedekt waren en zelfs voor een deel al met een grindwiepenmat. Met veel aanpassingen (en geld) is het gelukt om met behulp van de duikerklok en voetplaat (vanaf de Johan V) deze negatieve overlappen te bemonsteren, waardoor een kwalitatief oordeel van deze filterconstructies kon worden gegeven.

Met het aangepaste Geodoff-systeem zijn de sluitgaten Schaar en Roompot bemonsterd.

De Geodoff I is voor lange tijd vanaf een boegbak langszij de Jan Heijmans gelanceerd. Door een gewijzigde Carjancycclus werd de Geodoff I vanaf de "Arca" langszij de Cardium gelanceerd. In latere instantie werd de Geodoff I aan boord van de Cardium behandeld, waardoor de tijdsduur van de bemonsteringscyclus kon worden bekort. De Cardium werd hiervoor aangepast (parkeer- en werkbordes en een nieuwe takel).

Het aantal boringen per negatieve overlap was heel verschillend:

standaard was vier boringen per cyclus.

In een aantal gevallen waren vier boringen voldoende. Gezien de versturende invloed van met name de staalslakken en het grove grind, was op veel plaatsen het aantal boringen per negatieve overlap groter dan vier (maximaal 12).

Ondanks dit aantal kon de bemonsteringscyclus, op een paar uitzonderingen na, in één laagwaterkentering worden uitgevoerd.

Tegen het einde van de uitvoeringsperiode van het fundingsbed werd in plaats van de Geodoff I het boor- en sondeerapparaat -de Geodelft- ingezet.

Voor de bemonstering van de laatste negatieve overlap (R32) is zowel de Geodoff I als de Geodelft ingezet.

Uit de resultaten bleek dat het fenomeen Oosterscheldesand door- en op bemonstering naar alle waarschijnlijkheid te wijten is geweest aan de aanwezigheid van 30/60 mm grind c.q. staalslakken. De oorzaak was vermoedelijk een combinatie van het trillend inbrengen en propvorming aan de onderzijde van de pijp. Het Geodoffsysteem was hier gevoelig voor.

## 6.1 Werkbaarheid

Gelet op de positioneeruauwkeurigheid (in X-richting) moest binnen een stroomvenster van circa 0,80 m/sec. worden gewerkt.

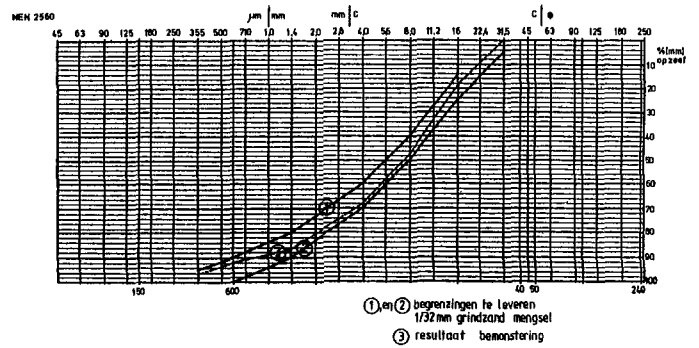
De begrenzing met betrekking tot de golven was grotendeels gekoppeld aan de hijswerkzaamheden met de kraan, dat wil zeggen aan de krachten, die hierdoor in de hijsdraad konden ontstaan.

Gebleden is dat met een golfhoogte tot circa 0,50 m nog kon worden gewerkt.

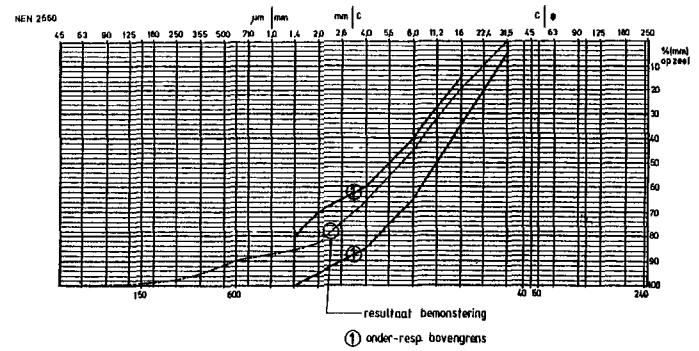
## 6.2 Conclusies

Gesteld kan worden, dat met een systematische controle van het materiaal 1/32 mm grindzand, betrouwbare informatie van de filterkwaliteit van de negatieve overlap is verkregen. Tevens kon met behulp van de boringen op veel plaatsen een indruk van het onderlingende Oosterschelde-zand ( $d_{50}$ ) worden verkregen, waarbij echter gesteld moet worden, dat dit onderzoek pas in de Roompot is opgestart. In de Hammen en de Schaar zijn wel boringen met Oosterschelde-zand gemaakt maar deze zijn niet uitgezeefd. Met behulp van uitvergroete foto's kon met redelijke betrouwbaarheid een uitspraak worden gedaan over de  $\mu$ -waarde van het Oosterschelde-zand in de Hammen.

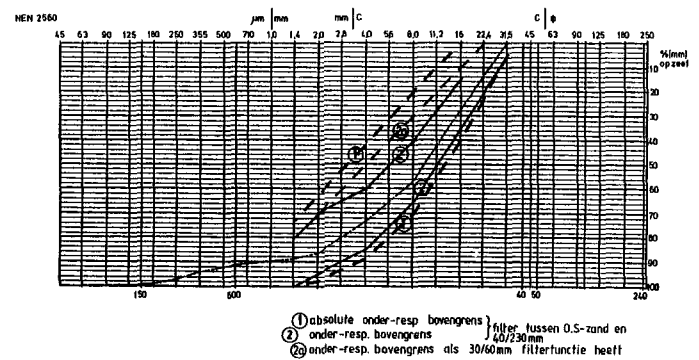
In de figuren 11, 12 en 13 is achtereenvolgens de zeefkromme weergegeven van granulair materiaal 1/32 mm uit de aanvoer; tijdens het verwerken (op de transportband) en het boorresultaat -na verwerking in de negatieve overlap- uitgevoerd met de Geodoff.



Figuur 11 Zeefkromme 1/32 mm (aanvoer)



Figuur 12 Zeefkromme 1/32 mm (transportband)



Figuur 13 Zeefkromme 1/32 mm (Geodoffboring)

---

## 7. Documentatielijst

---

Doc 1 = LGM mededelingen nr. 94, september 1988

Doc 2 = Sonderen en boren te water (publicatie LGM)

Doc 3 = KWA-M-83183; Stand van zaken beproeving  
Geodoff ten behoeve van grondonderzoek nega-  
tieve overlap

### Overige documentatie:

3md. berichten: nr. 72 mei 1975  
nr. 87 februari 1979

OWATEC - R - 84184; Rapportage duikveiligheid/ontblik  
ken

"De duikerklomp" (publicatie LGM en duikbedrijf)

Sonderen (publicatie LGM)

Boringen (publicatie LGM)

Dichtheidsonder-  
zoek (publicatie LGM)

346 KWA-M-83477: Onderzoek naar het optimaliseren  
van het boorsysteem ten behoeve  
van de bemonstering van de  
negatieve overlap

346 KWA-N-84261: Kwaliteit negatieve overlap

34 FUND-N-85002: Evaluatienota funderingsbed.

---

## Deelnota 6B: Materieel grondverbetering



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>150</b>
<b>2</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>151</b>
<b>3</b>	<b>Materieelkeuze</b>	<b>152</b>
<b>4</b>	<b>Materieel grondverbetering</b>	<b>153</b>
4.1	Ontgraven met dustpanzuiger	
4.1.1	Algemeen	
4.1.2	Specificaties "Sliedrecht 27"	
4.2	Aanvullen met hopperzuigers	
4.2.1	Algemeen	
4.2.2	Hopperzuigers	
4.2.2.1	Specificaties "Willemstad"	
4.2.2.2	Specificaties "Johanna Jacoba"	
4.2.3	Overig ingezet materieel	
<b>5</b>	<b>Procesbeschrijving</b>	<b>158</b>
5.1	Het bagger-/dustpanproces	
5.1.1	Opgedane ervaringen met het dustpannen	
5.2	Het klapproces	
5.2.1	Opgedane ervaringen met het klappen	
5.2.2	Zandverliezen bij het "bakken klappen"	
5.2.3	Gemiddelde zandbalans bij het "bakken klappen"	
5.2.4	Zandverliezen bij het "pijpstorten"	
5.3	Zandwinning	
<b>6</b>	<b>Conclusies</b>	<b>163</b>
6.1	Uitvoeringsmogelijkheden met een dustpanzuiger	
6.2	Uitvullen van cunetten met behulp van sleephopperzuiger	
<b>7</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>164</b>

# 1. Inleiding

De stabiliteit van de pijlers wordt voornamelijk bepaald door de grondmechanische eigenschappen van de ondergrond waarop ze zijn gefundeerd. Vooral de verschillen in deformatie per pijler en tussen twee pijlers spelen een maatgevende rol.

De deformaties kunnen alleen binnen de gestelde grenzen blijven wanneer de bovenlaag van de ondergrond voldoende vast is.

Losgepakt zand, klei en zandhoudende klei zijn onvoldoende draagkrachtig. In losgepakt zand kunnen ten gevolge van cyclische belastingen wateroverspanningen worden gegenereerd, die verweking van de zandgrond tot gevolg kan hebben. Dit kan leiden tot ontoelaatbare deformaties van de pijlers.

De mate van wateroverspanningsgeneratie wordt voornamelijk bepaald door het poriëngehalte van de zandgrond. Is die minder dan 40%, dan blijft ook de wateroverspanning zeer gering.

In hoeverre de wateroverspanningen kunnen afstromen wordt bepaald door het slibgehalte van het zand. Bij slecht doorlatend, sterk slibhoudend, zand kunnen de wateroverspanningen zeer moeilijk afstromen en is verwekingsgevaar aanwezig.

Bij klei en zandhoudende klei zal de grond ten gevolge van de belastingen grote samendrukking ondergaan, hetgeen grote deformaties van de pijlers ten gevolge heeft.

In de as van de stormvloedkering moest deze niet draagkrachtige grond worden verbeterd. Bij zand kan dit worden bereikt door het te verdichten totdat het poriëngehalte beneden de 40% is gebracht, waardoor het verwekingsgevaar wordt geëlimineerd. Tevens neemt dan de vastheid van de zandgrond toe. Het slibpercentage in het zand mag niet groter zijn dan 11 à 12%, daar verdichten anders, vanwege de lang benodigde triltijden, niet meer economisch verantwoord is. Zand met een slibpercentage van meer dan 15 à 20% is helemaal niet meer verdichtbaar. Ook klei en zandhoudende klei kunnen niet door trillen worden verdicht.

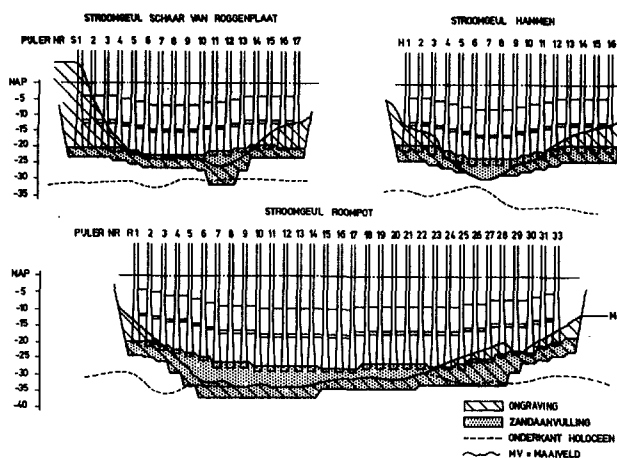
Één en ander hield in dat het losgepakte zand met meer dan 12% slib, de klei en zandhoudende klei ter plaatse - voor zover deze lagen zich bevonden binnen de invloedssfeer van de belastingen van de pijlers en binnen het gebied waar wateroverspanningen konden optreden - moesten worden verwijderd en vervangen door schoon zand.

De begrenzingen van de te verwijderen c.q. te vervangen grond is vastgesteld aan de hand van grondmechanisch onderzoek. Per pijlervak werden vier sonderingen en één boring uitgevoerd en per twee à drie pijlers een dichtheidsmeting (zie boek 2.5.7).

In de overige gedeelten van de stroomgeulen werd de

grondverbetering uitgevoerd tot 3,0 m beneden de pijlervoet.

De op deze manier bepaalde uitbaggerlijn is in figuur 1 schematisch weergegeven.



Figuur 1 Schematische weergave omvang grondverbetering

De grondverbetering bestond uit drie onderdelen:

- het ontgraven c.q. verwijderen van de "slechte" grond;
- het aanvullen van het ontstane cunet met "schoon" zand;
- het afdekken van de zandaanvullingen met een stroombestendige grindlaag.

In deze deelnota wordt het materieel beschreven dat werd ingezet voor het realiseren van bovengenoemde werkzaamheden. Met uitzondering van het materieel voor het aanbrengen van de stroombestendige grindlaag, daar die werkzaamheden met conventioneel materieel plaatsvonden (spiljbak afgemeerd aan afvierponten) en de nodige ervaring en kennis reeds aanwezig was.

---

## 2. Probleemstelling

---

De onderbegrenzing van de te maken grondverbetering varieerde tussen NAP -16,0 m en NAP -38,0 m; de dikte van de te baggeren lagen tussen 0,5 en 10,0 m.

Totaal moest ca. 3.000.000 m<sup>3</sup> grond in de as van de stroomgeulen worden verwijderd. Aan de productie en toleranties werden hoge eisen gesteld; de bodem van het cunet moest binnen een tolerantie van 0,3 m worden opgeleverd.

Gezien deze eisen en de grote baggerdiepte, bleken geen van de in Nederland gebruikte baggerschepen (zonder ingrijpende aanpassingen) het werk te kunnen uitvoeren.

Niet direct bepalend voor de materieelkeuze, doch wel medebepalend voor de productie c.q. de hoeveelheid te verwijderen specie waren de ondieptes aan zowel de noord- als zuidzijde van de stroomgeulen. Hier moesten de zogenaamde manoeuvreerplateaus worden gebaggerd om het manoeuvreren met de Cardium en de Ostrea mogelijk te maken. De benodigde diepte voor de Cardium met geladen rol bedroeg NAP -15,50m en voor de Ostrea met pijler NAP -16,00 m.



### 3. Materieelkeuze voor het maken van de ontgravingen

De keuze van het materieel waarmee het graven van de cunetten het geschiktst kon worden uitgevoerd, was afhankelijk van een aantal factoren, namelijk (doc 1):

- \* de maximale diepte waarop kon worden gewerkt
- \* de produktie, welke in relatie tot andere werkzaamheden moest kunnen worden gehaald
- \* de kosten
- \* de te verwijderen hoeveelheden
- \* de samenstelling van de te verwijderen grondslag.

Bij de materieelkeuze ging het in principe om de volgende type werktuigen:

- \* baggermolen
- \* cutterzuiger
- \* dustpanzuiger.

In de hoeveelheden was een splitsing gemaakt tussen het niveau boven NAP -25,00 m en beneden NAP -25,00 m. Dit in verband met de maximale diepte tot waar nog met een cutterzuiger kon worden gewerkt (doc. 2).

sluitgat	grondverbeteringen		Manoeuvreeer-plateaus boven NAP -25,00
	boven NAP -25,00	beneden NAP -25,00	
Roompot	353.000 m <sup>3</sup>	575.000 m <sup>3</sup>	69.000 m <sup>3</sup>
Schaar	1.350.000 m <sup>3</sup>	250.000 m <sup>3</sup>	172.000 m <sup>3</sup>
Hammen	480.000 m <sup>3</sup>	105.500 m <sup>3</sup>	46.000 m <sup>3</sup>

Onderstaande overwegingen hebben een rol gespeeld in de keuze van een dustpanzuiger.

- \* Een baggermolen heeft het nadeel van een beperkte produktie (ten opzichte van de cutter- en dustpanzuiger) Ook uitvoeringstechnisch was de baggermolen niet aantrekkelijk in verband met het afstromen van het zand van de kop van de emmers bij het baggeren op grote diepte.
- \* Een cutterzuiger heeft de beperking dat niet dieper kan worden gewerkt dan NAP -25,0 m.
- \* Zowel de baggermolen als de cutterzuiger hebben het nadeel dat zich onder in het cunet een sliblaag (mors) en een laag geroerde grond vormt waarvan de samenstelling en dikte vrijwel niet was te voorspellen. Gesteld kan worden dat zo'n morslaag in verband met grondwaterbewegingen, negatief is.
- \* De dustpanzuiger echter levert een cunetbodemp op

waarin zich geen of geen noemenswaardige morslaag bevindt.

Tevens werd bij het inzetten van een dustpanzuiger in een vroeg stadium ervaring opgedaan. Dit kon van veel nut zijn bij het maken van een vlakke bodem voor de aanleg van de funderingsmat.

De in te zetten dustpanzuiger moest aan de volgende essentiële eisen voldoen:

- een produktie van 70.000 m<sup>3</sup> grond per week;
- stabiel zijn om onder Oosterscheldecondities te kunnen werken;
- zand tot 4 à 5 km kunnen wegpersen via een (drijvende-) of vaste leiding;
- bakken kunnen laden (langs zij de zuiger).

Na uitgebreide verkenning van zowel bestaand als nieuw te ontwikkelen baggermaterieel werd besloten de profielzuiger "Sliedrecht 27" om te bouwen tot dustpanzuiger.

## 4. Materieel grondverbetering

### 4.1 Ontgraven met dustpanzuiger

#### 4.1.1 Algemeen

De dustpanzuiger is een type zuiger dat in de Verenigde Staten wordt gebruikt voor onderhoudsbaggerwerk in de Mississippi rivier.

De dustpanzuiger is een profielzuiger met een zeer brede, spleetvormige zuigmond. De breedte van de spleet bedraagt ca. 10,0 m. Op regelmatige afstand in de zuigmond zijn jetjes geplaatst die er voor zorgen dat het zand in suspensie komt en gelijkmatig wordt verdeeld over de zuigmond.

Bij dit werk maakt de zuiger evenwijdige sneden tegen de stroomrichting in. De zuiger verplaatst zich hierbij door middel van twee ankerlieren die op de boeg van het schip zijn geplaatst.

Volgens Amerikaanse gegevens over de productie van een dustpanzuiger moest de zuigkop aan de volgende eisen voldoen:

- breedte (B) : hoogte (H) = 1 : 32
- jetafstand hart op hart 0,25 m
- nozzle opening ca. 0,03 m
- op beide uiteinden van de zuigkop jets, die een hoek van 90° met de verhaalrichting maakten.

#### 4.1.2 Specificatie "Sliedrecht 27" (zie foto 1 en 2)

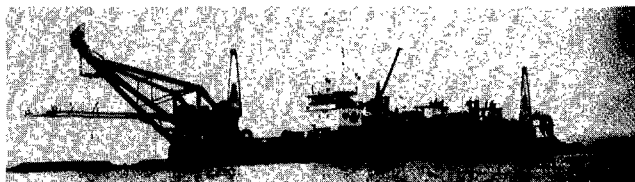


Foto 1 De dustpanzuiger Sliedrecht 27

#### Afmetingen en gewichten

lengte O.A.	: 100,40 m
lengte casco	: 81,01 m
breedte	: 13,00 m
holte l.z. v/a	: 5,10 / 4,60 m
afm. beun voorschip	: 37,80 x 4,18 m
diepgang* T.A.	: 2,60 m
diepgang* T.V.	: 3,40 m
waterverpl. min.	: 1451,36 m <sup>3</sup>
waterverpl. max.	: 2166,44 m <sup>3</sup>
bruto tonnage	: 1307,09 RT
netto tonnage	: 1118,31 RT
binn.meetbr. nr.	: R-36949-N

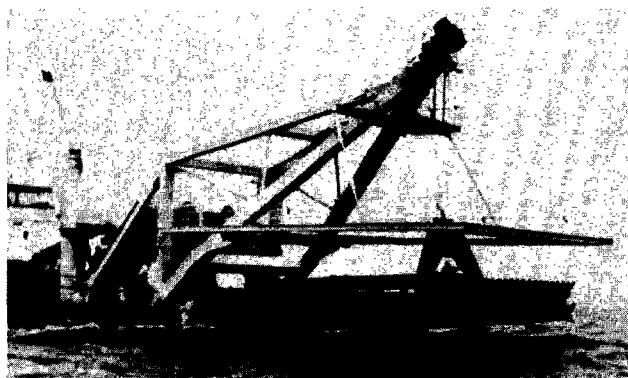


Foto 2 De dustpanzuigkop

int. meetbr. nr.	: 16668
brandmerk	: 13967 Z Rott. 1973
reg. nr. C.B.	: D 695
Radio roepnaam	: P.H.N.L.
classificatie	: B.V. I 3/3 + dredger sheltered waters
constr. gewicht	: 1894 ton
Bouwjaar	: 1973 (verbouwd 1979)

#### Pomp-/zuig-/jetgegevens

zuigleiding	: ø 590-800-1050
persleiding	: ø 900
jetleiding	: ø 700
gew. pomphuis	: 8,5 ton
gew. waaier	: 3 ton
diam. waaier	: ø 1680 mm
lengte ladder (hart as)	: 28 m
gew. ladder compl.	: 162 ton
lengte dustpan	
zuigbuis	: 25 m
gew. dustpan	
zuigbuis	: 100 ton
breedte zuigmond	: 10,06 m

kleine "dustpan" zuigkop (boven water)

baggerdiepte max. : 40 m

pompvermogen = 1300 kw.

Pompcapaciteit met water = 3,5 m<sup>3</sup>/sec., hetgeen inhoudt dat bij een opening van 40 cm in de zuigkop een snelheid van 0,9 m/sec. wordt verkregen, welke tot 0,7 m/sec. afneemt bij het baggeren van zand met een hoge mengsel-dichtheid.

Het jetsysteem bestond uit 24 pijpjes (zogenaamde nozz-

les) boven op de dustpankop; de jetdruk en het jetdebiet waren respectievelijk 3,5 atm en 1,2 m<sup>3</sup>/sec.

#### Overige gegevens

– 6 ankerdraden van 600 kN trekkracht en 1000 kN houdkracht	
tot. geïnst. vermogen	: 7165 kW
motor z.p.1 generator	: M.A.N. G9V30/45AT nr. 413550 1406 kW 500 rpm
el. motor z.p.1	: Smit ok 996206 nr. 1-1848-6B1 1229 kW 9990 rpm twk-red. 4,1:1
motoren zp2, zp3, zp4	: 3xMAN G9V30 nrs. resp. 45atl 413549, 413548, 413547 1406 kW, 500 rpm twk red: 1,5:1
motor jetpomp	: CAT D 399 nr. 91B436 rpm 828kW 1200/1330 twk red. 1,96:1
motor boordnet-generator	: CAT D 399 nr. 91B438 681 kW 1000 rpm
motor havengenerator	: Lister HR4A2 nr. 758 HR4AM22 32 kW 1500 RPM
Tankinhouden	
ballast voor tot.	: 203,6 m <sup>3</sup>
ballast achter tot.	: 187,- m <sup>3</sup>
drinkwater tot.	: 42,3 m <sup>3</sup>
brandstof tot.	: 529,- m <sup>3</sup>
brandstof dag	: 14,4 m <sup>3</sup>
smeerolie tot.	: 12,7 m <sup>3</sup>
sumptank	: 113,- m <sup>3</sup>
draden	
hijsdr. ladder	: ø 68 mm
hijsdr. zuigbuis	: ø 68 mm

## 4.2 Aanvullen met hopperzuigers

### 4.2.1 Algemeen

In het begin was reeds beslist dat de zandaanvulling van de grondverbeteringen met behulp van hopperzuigers zou worden uitgevoerd. Voor elke stroomgeul waren één c.q. twee zandwingebieden aangewezen. Het matig fijne zand werd uit de Oosterschelde gehaald, het grove zand uit de Noordzee.

De theoretisch te klappen hoeveelheden, rekening houdend met ca. 10% verlies, bedroegen bij de aanvang van het klapwerk:

locatie	soort zand	hoeveelheid (m <sup>3</sup> )
Roompot	fijn	682.000
	grof	536.000
Schaar	fijn	85.000
	grof	120.000
Hammen	fijn	133.000
	grof	140.000
Roompot	fijn	65.000
	grof	35.000
Schaar	fijn	61.000
	grof	33.000
Hammen	fijn	52.000
	grof	15.000

Totaal moest er, theoretisch, worden aangevoerd:

fijn zand: 1.078.000 m<sup>3</sup>

grof zand: 879.000 m<sup>3</sup>

Het aanbrengen van het zand heeft voor het overgrote deel plaatsgevonden met de hoppers Willemstad en Johanna Jacoba.

### 4.2.2 Hopperzuigers

#### 4.2.2.1 Specificaties "Willemstad" (zie figuur 2)

##### Algemeen

Bouwjaar	: 1977
Werf	: IHC Smit Kinderdijk
Klasse	: B.V. I 3/3 E Deep Sea
Werkgebied	: 15 miles from shore 20 miles from port

Tonnage bruto	: 4.722 RT
Tonnage netto	: 1.476 RT

Vaarsnelheid leeg	: 13.1 kn
geladen	: 12.5 kn

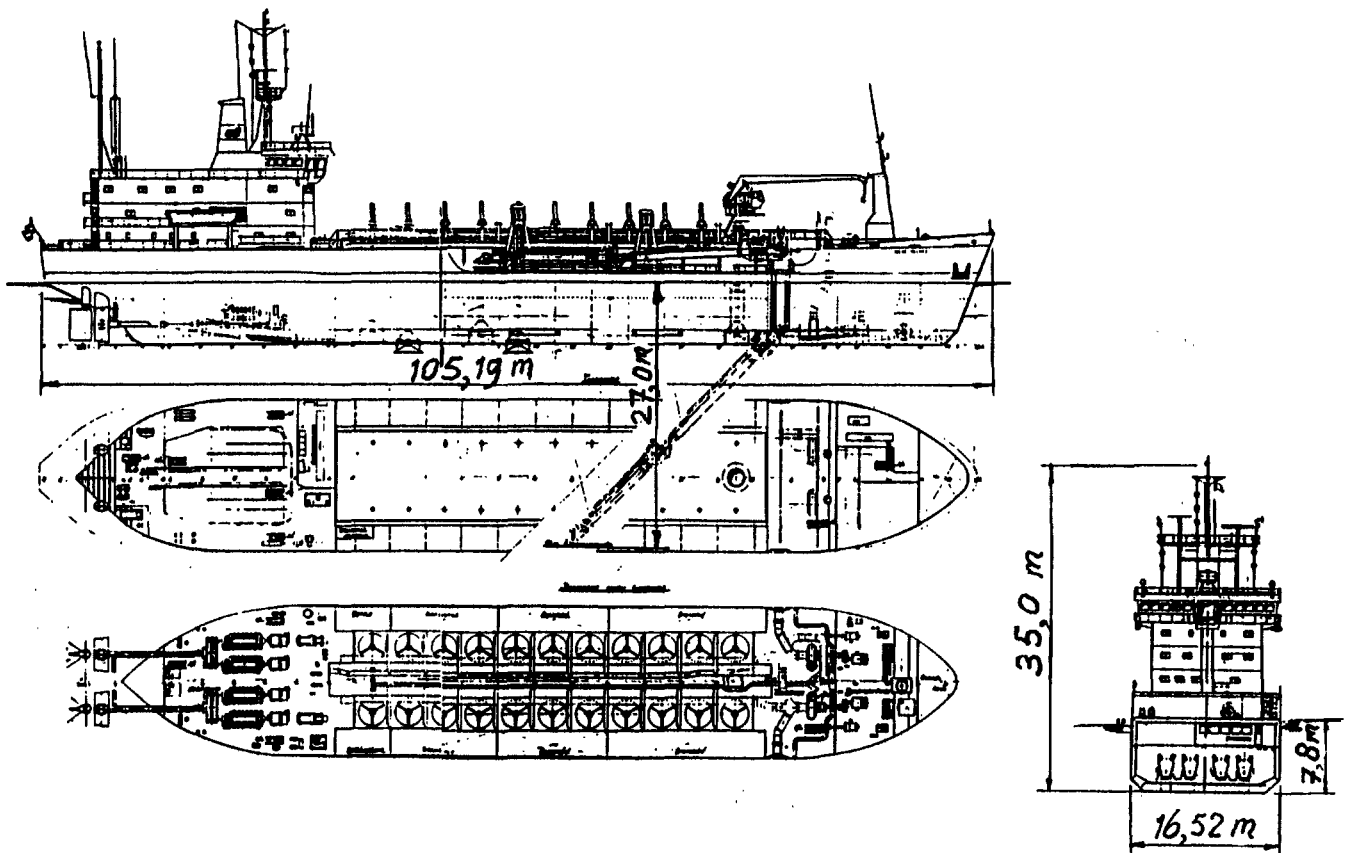
##### Afmetingen

Lengte o.a.	: 105.19 m'
" l.l.	: 98.00 m'
Breedte	: 16.52 m'
Holte	: 7.80 m'

##### Diepgang:

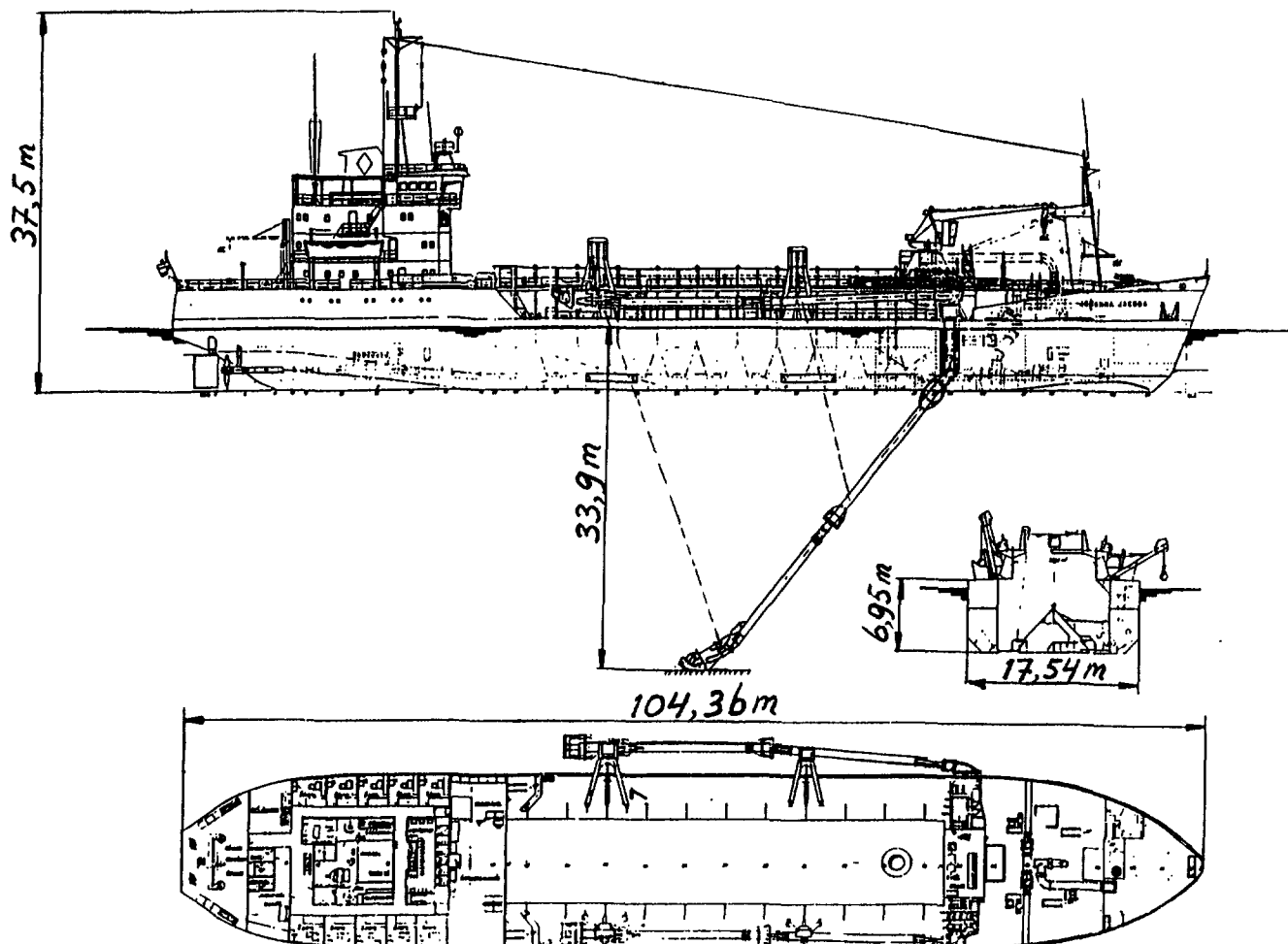
– leeg bedr. klaar	: T <sub>a</sub> = 4,99 m' T <sub>v</sub> = 3,30 m'
– Lloyds	: T <sub>a</sub> = 5,80 m' T <sub>v</sub> = 4,75 m'
– BOT	: T <sub>a</sub> = 7,12 m' T <sub>v</sub> = 7,12 m'
– max.	: T <sub>a</sub> = 7,18 m' T <sub>v</sub> = 7,18 m'

Hoogste punt t.o.v. basis: 37,30 m'



Figuur 2 Hopperzuiger "Willemstad" (Selat Melakka)

Inhouden/gewichten		Hulpmotoren	: 2 x Cat 343 TA 234 kW - 1500 rpm
Scheepsgewicht (leeg)	: 3.872 t		
Waterverpl. leeg bedr.klaar	: 4.997 t	Brandstof	: M.D.O.
BOT	: 10.680 t		
Laadvermogen BOT	: 6.060 t	Voortstuwingsvermogen:	
Beuninh. min.	: 2.800 m <sup>3</sup>	tijdens varen	: 2 x 2425 kW
" max.	: 4.190 m <sup>3</sup>	tijdens zuigen	: 2 x 1450 kW
Bunker cap. - brandstof	: 1.151 m <sup>3</sup>	Max. verm. op boegjet	: 441 kW
- smeerolie	: 24 m <sup>3</sup>	Onafh. boegjet	: ja
- drinkwater	: 84 m <sup>3</sup>		
<b>Baggertechnische gegevens</b>		Max. pompvermogen:	
Aantal zuigbuizen	: 2	zuigen	: 2 x 530 kW
Diameter zuigbuis	: ø 0,75 m'	walpersen	: 2 x 660 kW
Max. baggerdiepte	: ± 27,00 m'	waterjet	: 2 x 316 kW
Max. zuigbuislengte	: ± 32,50 m'		
Lossysteem/aantal	: kegelkl./22	Aantal/type schroeven	: 2/var pitch
Extra ben. dg bij lossen	: 1.00 m'	<i>Algemene informatie</i>	
Walpersinstallatie	: ja	Accommodatie	: 27 pers.
Plaats walaansluiting	: zij/boeg	Hijsgerei aan boord	: Rijdende kraan 12 t/13,25 m'.
Ontgassing	: nee		
Waterjets op sleepkop	: ja		
<b>Machinekamergegevens</b>			
Totaal geïnstalleerd	: 5.764 kW		
Hoofdmotoren	: 4 x Bolnes 12V DNL 150/600 1324 kW - 600 rpm		



Figuur 3 Hopperzuiger Johanna Jacoba

#### 4.2.2.2 Specificaties "Johanna Jacoba" (zie figuur 3)

##### Algemeen

Bouwjaar	: 1977
Werf	: IHC Smit Kinderdijk
Klasse	: B.V. I 3/3 E Deep Sea
Werkgebied	: 15 miles from port

Tonnage bruto	: 3.773,6 RT
Tonnage netto	: 1.886,4 RT
Linssen tonnen	: 5.660 T
Vaarsnelheid leeg	: 12.5 kn
geladen	: 11.5 kn

##### Afmetingen

Lengte o.a.	: 104.36 m'
" l.l.	: 98.00 m'
Breedte	: 17.54 m'
Holte	: 6.95 m'

##### Diepgang:

- leeg bedr. klaar	: $T_a = 3.75 \text{ m}'$ $T_v = 2.35 \text{ m}'$
- Lloyds	: $T_a = 5.75 \text{ m}'$ $T_v = 5.45 \text{ m}'$
- BOT	: $T_a = 6.23 \text{ m}'$ $T_v = 6.23 \text{ m}'$
- max.	: $T_a = 6.50 \text{ m}'$ $T_v = 6.50 \text{ m}'$

Hoogste punt t.o.v. basis	: 37.50 m'
---------------------------	------------

##### Inhouden/gewichten

Scheepsgewicht (leeg)	: 3.324 t
Waterverpl. leeg bedr.klaar	: 4.073 t
BOT	: 9.071 t
Laadvermogen BOT	: 5.198 t
Beuninh. min.	: 2.550 m <sup>3</sup>
" max.	: 4.121 m <sup>3</sup>
Aantal standen	: var.
Bunker cap. - brandstof	: 644 m <sup>3</sup>
- smeerolie	: 29 m <sup>3</sup>
- drinkwater	: 140 m <sup>3</sup>

Ballast water	: 460 m <sup>3</sup>
Min. hoeveelheid restwater	: 200 m <sup>3</sup>

##### Baggertechnische gegevens

Aantal zuigbuizen	: 2
Diameter zuigbuis	: $\varnothing 0,75 \text{ m}'$
Max. baggerdiepte	: 33.90 m'
Max. zuigbuislengte	: 38.00 m'

Lossysteem/aantal	: schuiven/20
-------------------	---------------

Walpersinstallatie	: ja
--------------------	------

Plaats walaansluiting	: zij
-----------------------	-------

Ontgassing	: ja
Waterjets op sleepkop	: nee
<i>Machinekamergegevens</i>	
Totaal geïnstalleerd	: 4.382 kW
Hoofdmotoren:	
. vaar/pomp	: 2 x Bolnes 16V DNL 150/600 1765 kW - 600 rpm
. pompen	: 2 x MWM TBD 601 380 kW-1600 rpm
Hulpmotoren:	
. boordnet	: 2 x MWM TBD 601-6k 356 kW - 1500 rpm
. havenset	: Deutz F 6L 912 37 kW - 1500 rpm
. hulp	: Deutz B/F8L 413 103 kW - 1500 rpm
Voortstuwingsvermogen:	
tijdens varen	: 2 x 1765 kW
tijdens zuigen	: 851-1137 kW
Max. verm. op boegjet	: 800 kW
Onafh. boegjet	: nee
Max. pompvermogen:	
zuigen	: 2 x 580 kW
walpersen	: 2880 kW
Aantal/type schroeven	: 2/var pitch
<i>Algemene informatie</i>	
Accommodatie	: 42 pers.
Hijsgerei aan boord	: Rijdende kraan ± 15 tm

Voor het werk was de Johanna Jacoba zodanig aangepast, dat het zand eveneens door middel van de zuigbuis kon worden gelost (het zogenaamde pijpstorten).

#### 4.2.3 Overig ingezet materieel

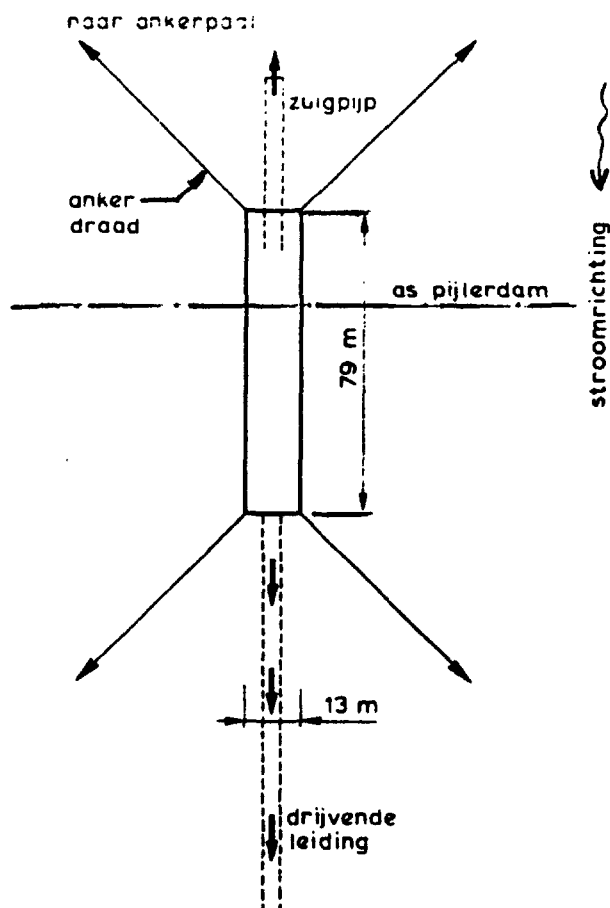
Ten behoeve van het vullen van het cunet met zand zijn naast de Willemstad en de Johanna Jacoba ook de volgende hopperzuigers (incidenteel) ingezet: de Gateway; de HAM 308; de Meerval; de Seaway, de Medway en de HAM 306.

Bij het storten van de zandladingen werd, met name bij het pijpstorten door de Johanna Jacoba, gebruik gemaakt van de afmeerpontons Moby Dick en Manus. Met behulp van deze, in feite verankeringspositionering-spontons, kon op de juiste locatie worden gestort.

## 5. Procesbeschrijving

### 5.1 Het bagger-/dustpanproces

In de Oosterschelde, waar we met een getijgebied hebben te maken was de werkmethode, zoals toegepast in de Mississippi rivier, niet toepasbaar omdat iedere zes uur de stroomrichting 180° draait. Om deze reden werd de zuiger voorzien van zes ankerdraden: één ter plaatse van het midden van de boeg en de achtersteven en één ter plaatse van iedere hoek van het schip, waarmee de zijdelingse beweging van het schip kon worden gecontroleerd (zie figuur 4).



Figuur 4 Verankering van de dustpanzuiger

Op deze wijze kon onafhankelijk van de stroomrichting worden gebaggerd. De afvoer van het gebaggerde materiaal vond plaats door middel van een rubberen drijvende leiding. Bij het baggeren in de as van de Oosterschelde is

de baggerspecie ca. 700 m benedenstrooms van de zuiger weer in de Oosterschelde afgevoerd.

Dit betekende dat om de zes uur de drijvende leiding van zeezijde naar Oosterscheldezijde en vice versa diende te worden omgelegd.

#### 5.1.1 Opgedane ervaringen met het dustpannen

Het dustpannen in de as van de stroomgeulen in de Oosterschelde is eind september 1979 gestart en februari 1981 beëindigd. Uit de in deze periode opgedane ervaringen met de dustpanzuiger is het mogelijk geweest een analyse te maken omtrent de producties. De grootte van de netto-uurproducties (= aantal m<sup>3</sup> gebaggerde grond gedeeld door de netto-zuigtijd) was sterk afhankelijk van de grondsoort die moest worden gebaggerd:

- sterk silthoudend zand: 1100 m<sup>3</sup>/uur (% < 60µm = 15-20)
- zandhoudende klei tot sterk kleihoudend zand: 750 m<sup>3</sup>/uur
- schoon zand: 3000 m<sup>3</sup>/uur (% < 60µm = 0-5).

De relatief lage netto-uurproductie in het sterk silthoudende zand werd veroorzaakt doordat dit zand (voorkomend op een diepte van ca. NAP -30 tot NAP -38 m) op een aantal plaatsen door de grote voorbelasting (pleistoceen) versteend was. Voor het dustpannen van dit zand waren dan ook vele, zeer dunne baggersneden nodig, de dichtheid van het opgezogen mengsel was laag.

De kleinste netto-uurproductie werd bereikt bij het dustpannen van het sterk silthoudende zand tot zandhoudende klei, voorkomend in het sluitgat Roompot op diepten van NAP -30 tot NAP -35 m. De zuigmond raakte hierbij vrij vaak verstopt door de aanwezigheid van "zeer vette" kleiballen. Ook konden er slechts dunne baggersneden worden toegepast, terwijl de dichtheid van het opgezogen mengsel laag was.

De werkbaarheid van de dustpanzuiger was zeer groot. Gedurende de zogenaamde stormmaanden bedroeg het gemiddelde percentage onwerkbaar weer slechts ca. 5% (percentage stagnatie door onwerkbaar weer ten opzichte van de totale bruto-uren).

### 5.2 Het klapproces

Voor het aanbrengen van de uit schoon zand (% < 60 µm = 0-5) bestaande grondverbetering is gebruik gemaakt van sleehopperzuigers met een beuninhoud van ca. 3000 m<sup>3</sup>. De grondverbetering bestaat in het algemeen uit matig fijn tot matig grof zand met een gemiddelde korrel diameter van ca. 0,2 mm. De geklaptte laagdikte varieerde van 6 tot 12 m.

In het midden van de stroomgeulen traden de hoogste stroomsnelheden op; de geklapte ophogingen stonden hier dan ook bloot aan erosie. Daarom bestond de bovenste 3 m van de geklapte ophoging uit grof zand met een gemiddelde korrel diameter van ca. 0,35 mm. Nadat de ophoging op het vereiste niveau is geklapt, is deze met stroomvast materiaal (betongrind) afgedekt.

Voor het aanbrengen van het zand zijn twee methoden gevolgd:

- het klappen van zand door de beunkleppen van de hopper, het zogenaamde bakkenklappen, de storttijd hierbij bedroeg ca. 10 minuten;
- het storten van het zand door de zuigpijp van de hopper, het zogenaamde pijpstorten, de storttijd lag hier veel hoger, namelijk ca. 1 uur.

Tevens diende bij deze methode de hopper tijdens het storten aan een afvierponton gekoppeld te zijn, die de hopper tijdens het storten verhaalde. Het storten bij deze methode gebeurde alleen rond de kentering.

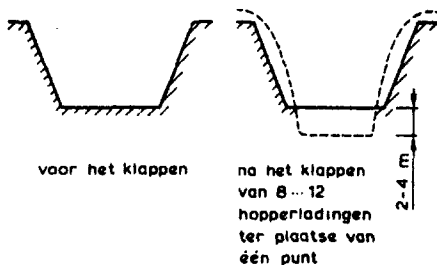
Vanwege de veel geringere storttijd is de methode van het bakkenklappen goedkoper; voor het overgrote deel is dan ook het bakkenklappen toegepast.

### 5.2.1 Opedane ervaringen met het klappen

Met het klappen van zand op grote waterdiepten zoals deze in de Oosterschelde voorkomen (30,0 m tot 40,0 m) had men nergens in de wereld ervaring. Het was daardoor niet mogelijk van te voren een vastomlijnde uitvoeringsprocedure vast te stellen. De efficiëntste uitvoeringsprocedure moest dan ook gedurende de aanvangsperiode van het hopperproces door proberen worden bepaald.

Tijdens de uitvoering werd allereerst getracht het gegraven cunet op hoogte te brengen door 8 - 12 hopperladingen op één plaats te klappen (bakkenklappen).

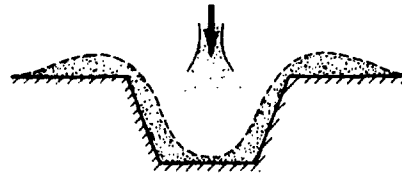
Het bleek dat met deze werkwijze op de plaats van de stortlocatie in de cunetbodemp 2 - 4 m diepe kraters ontstonden. Ter plaatse van de taluds van het cunet werd zand afgezet, de cunetbodemp werd echter verdiept. De zandverliezen bij deze stortwijze waren dan ook zeer groot. Van het gestorte zand werd slechts ca. 10 - 20% ter plaatse van de taluds van het cunet afgezet (zie figuur 5).



Figuur 5 Gevolgen van het klappen van een groot aantal hopperladingen op één punt

Vervolgens werd de werkwijze toegepast, waarbij op één punt slechts één tot tweehopperladingen werden geklapt. Het opgeklapte profiel verkreeg hierdoor de in figuur 6 weergegeven vorm. Ter plaatse van het stortpunt vond op de taluds van het cunet de maximale sedimentatie plaats; een vlak bodemprofiel werd echter niet verkregen.

Met behulp van deze ervaring en de resultaten van de uitgevoerde metingen tijdens het storten, werd de volgende definitieve werkwijze toegepast om de cunetten vol te krij-

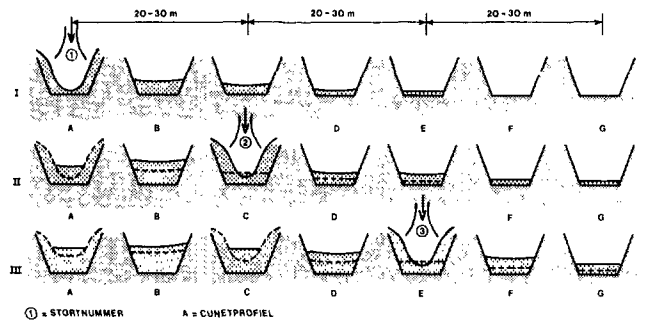


Figuur 6 Profiel na het klappen van een gering aantal hopperladingen op één punt

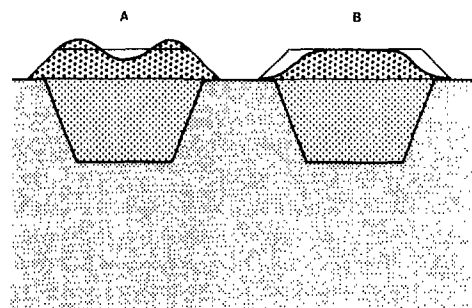
gen. Er werden eerst op één plaats twee hopperladingen gestort. Uit de resultaten van de echo-lood-metingen was gebleken, dat de sedimentatiesfeer van het geklapte matig fijne tot matig grove zand een cirkel met een straal van ca. 100 m is. Aan weerszijden van het stortpunt vond ter plaatse van de cunetten eveneens sedimentatie plaats; er werd hier wel een vlakke bodemafwerking bereikt.

Het volgende stortpunt voor twee hopperladingen was op 20 tot 30m afstand van het eerste. Daar bij het tweede stortpunt door de eerste stort al sedimentatie had plaatsgevonden, verkreeg het bodemprofiel na deze tweede stort niet meer zo'n kratervorm.

Het derde stortpunt voor twee hopperladingen was weer op 20 tot 30m afstand van het tweede. De hiervoor beschreven uitvoeringsprocedure door middel van bakkenklappen is in figuur 7 schematisch weergegeven. Nadat de grondverbetering op hoogte was geklapt, werd in het algemeen een vlak bodemprofiel verkregen. Op een aantal plaatsen week het profiel echter af, zie figuur 8:



Figuur 7 Schema van de uiteindelijke gevolgde procedure



Figuur 8 Oppervlakteprofielen na het bakkenklappen

- in het midden van de ophoging resteerde na het bakkenklappen een kleine krater van ca. 1 m diep;
- na het bakkenklappen waren de taluds van de ophoging niet in voldoende mate afgewerkt.

Uit de opgedane ervaringen was geleerd, dat in deze ge-

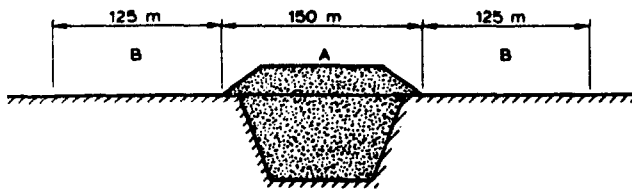


vallen het theoretisch profiel van de ophoging niet door bakkenklappen kon worden verkregen. Deze gevallen leenden zich uitstekend voor de stortmethode met de zuigpijp van de hopper. De zuigpijp bevond zich tijdens het storten ca. 1 m boven de aan te storten oppervlakte; dit in tegenstelling tot het bakkenklappen waarbij vanaf de waterspiegel wordt gestort. De zandtoevoer door de zuigpijp kon tevens worden dichtgedraaid, waardoor de hoeveelheid te storten zand beheerst kon worden.

Voor beide situaties is het storten met de zuigpijp economisch en effectief gebleken.

### 5.2.2 Zandverliezen bij het "bakkenklappen"

Voor de bepaling van de zandverliezen tijdens het zandklappen en de bepaling van het netto-rendement hiervan, wordt de in figuur 9 weergegeven schematisatie toegepast. De zandverliezen begonnen al gedurende het zuigproces van de hopper. Het opgezogen zand komt in een zeer los-



Figuur 9 Schematische zandaanvulling cunet.

se pakkingsdichtheid in de beun van de hopper terecht, doordat in feite geen zand, maar een zand-watmengsel wordt opgezogen. Het poriëngehalte van het zand in de beun van de hopper bedraagt ca.  $n = 48$  tot 50% (bepaald met elektrische dichtheidsmetingen). Wanneer het zand wordt geklapt, heeft het geklapt zand op de bodem een poriëngehalte van ca.  $n = 40$  tot 42%. Dus  $1 \text{ m}^3$  zand in de beun van de hopper komt overeen met ca. 0,85 tot  $0,90 \text{ m}^3$  geklapt zand op de bodem.

Dit verschijnsel wordt de "uitlevering van zand ten gevolge van klappen" genoemd: de uitlevering bedraagt dus -10 tot -15%.

Bij het klappen van zand komt niet al het zand binnen het theoretisch te klappen profiel terecht. Al het geklapt zand dat binnen het theoretisch profiel terecht komt, draagt bij tot het netto-rendement van het klapproces. Het netto-rendement is dan ook gedefinieerd als het quotiënt van de beuninhoud en de hoeveelheid zand die binnen het theoretisch profiel terecht komt (gebied A van figuur 9).

Zoals eerder is vermeld, treden bij het klappen van zand verliezen op. In het algemeen zal de grootte van de zandverliezen door de volgende factoren worden bepaald:

- stortsnelheid van de hopper;
- grootte van de te storten lading zand;
- grootte van de stroomsnelheid van de getijstroom;
- de waterdiepte;
- vorm van de aan te klappen bodem (cunet of vlak bodemprofiel).

Uit de ervaringen bij de aanvang van het klapproces bleek dat er enorme zandverliezen optraden. Om na te kunnen gaan waardoor deze zeer grote zandverliezen werden veroorzaakt, werden er metingen tijdens het zandklappen uitgevoerd bij een waterdiepte van ca. 30 tot 35 m. Voor deze metingen is gebruik gemaakt van het RWS-meetvaartuig "De Wijker Rib". Dit meetvaartuig was, vóór de ombouw tot moederschip ten behoeve van de bottom-crawler

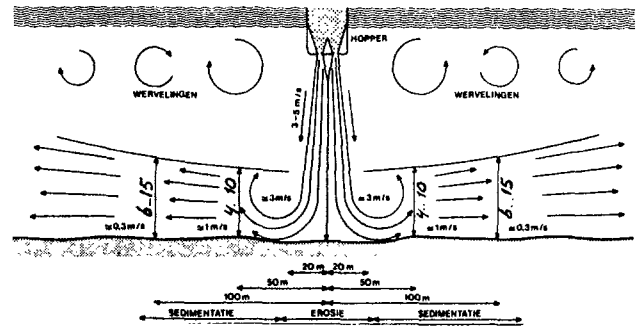
Portunus (zie deelnota 5) uitgerust met onder meer 48 echo sounders van 100 kHz, die op een afstand van 1,250 m uit elkaar waren geplaatst. Het meetgebied had dus een breedte van 58,750 m.

Met de akoestische impulsen van 100 kHz frequentie was het goed mogelijk zandconcentraties in het water te detecteren. Hierdoor was het mogelijk om behalve de bodemligging, ook de "weg" van het geklapt zand in het water te bepalen.

Voor de bepaling van de grootte van de zandconcentraties werd gebruik gemaakt van de akoestische concentratiemeter AZTM. Met de AZTM-meter kon de grootte van de zandconcentratie worden bepaald door een akoestisch elektronisch 4,5 MHz-meetinstrument. Bovendien was er een naar beneden gerichte transducer van 210 kHz aan bevestigd, zodat tevens de afstand van de AZTM tot de bodem exact kon worden bepaald.

Tenslotte werd een OTT-stroommeter gebruikt, waarmee de grootte en richting van de stroom konden worden bepaald.

De resultaten van de op deze wijze uitgevoerde metingen tijdens het klapproces zijn in figuur 10 schematisch weergegeven.



Figuur 10 Analyse van het zandverlies bij bakkenklappen

De gemiddelde afstand van de meetinstrumenten tot het midden van de hopper bedroeg ca. 35 m loodrecht op de hoofdrichting van de getijstroom. De gemiddelde grootte van de getijstroomsnelheid bedroeg tijdens de meting ca. 0,6 m/s, terwijl het uit te vullen cunet ca. 4m diep was (ten opzichte van omliggende bodem).

Uit de resultaten van de metingen kon de volgende beschouwing gemaakt worden over het fysisch proces dat zich tijdens het zandklappen afspeelt. Dicht bij de cunetbodem had het geklapt zand een naar beneden gerichte snelheid van 3 tot 5 m/s. Deze stortstroom veroorzaakte grote erosiekrachten op de zandige bodem met als gevolg, dat er kraters van ca. 1 m diepte ontstonden. Vervolgens ontstond er rondom het stortpunt op de bodem een dichtheidsstroom met een zeer hoge initiële snelheid; op ca. 20 m van de hopper bedroeg de snelheid ca. 3 m/s, terwijl de concentratie tussen de 2000 - 5000 p.p.m. varieerde. De "dikte" van de dichtheidsstroom varieerde tussen de 4 tot 15 m. Door de aanwezigheid van een cunet in de bodem en een getijstroom spreidde de dichtheidsstroom zich niet radiaal.

Een groot gedeelte van het geklapt zand werd door de dichtheidsstroom uit het cunet weer naar boven getransporteerd en vervolgens door de getijstroom afgevoerd. Uit de metingen bleek dat op deze wijze ca. 1/3 deel van het geklapt zand weer met de getijstroom werd meegevoerd. Zandafzetting vond pas plaats op ca. 20 m vanaf het stort-

punt op de bodem van het cunet, dus voornamelijk ter plaatse van de taluds van het cunet (zie ook figuur 6). De sedimentatie hield op ca. 50m vanaf het stortpunt (sedimentatie invloedssfeer in een cirkel met een straal van ca. 50 m).

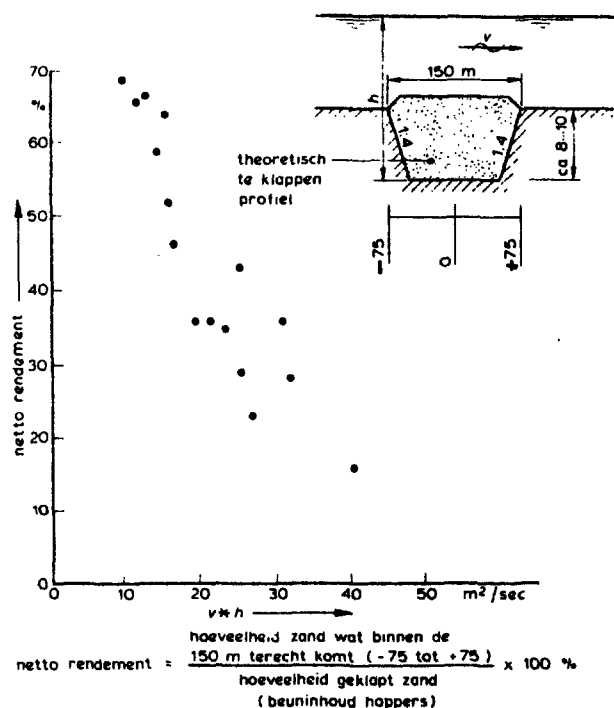
### 5.2.3 Gemiddelde zandbalans bij het "bakkenklappen"

Gedurende het klapproces werden dagelijks "echolodingen" uitgevoerd. Met behulp van de resultaten van deze "echolodingen" kon voor het bakkenklapproces een gemiddelde zandbalans worden samengesteld. Indien de totale hoeveelheid m<sup>3</sup> geklapt zand (beun-inhouden) op 100% wordt gesteld, ziet de zandbalans voor het geklapt zand er als volgt uit:

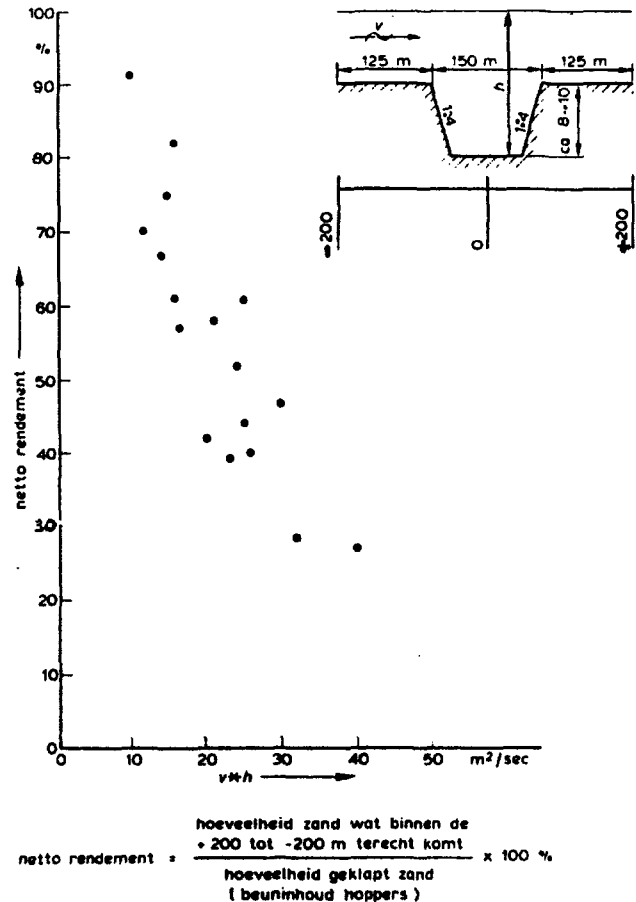
- netto-rendement (zand dat binnen het theoretisch te klappen profiel valt) voor zowel matig fijn tot matig grof en grof zand: 45 -55%;
- hoeveelheid zand die binnen een afstand van 150 m buiten de begrenzing van het theoretisch te klappen profiel terecht komt (gebied B van figuur 9): 10 - 15%;
- de hoeveelheid geklapt zand die door erosie verdwijnt: ca. 10%;
- hoeveelheid zand die niet is teruggevonden: 20 - 35%.

Het grootste verliespercentage is de 20 - 35% zand dat niet meer werd teruggevonden. De tijdens het klapproces uitgevoerde metingen met de "Wijker Rib" gaven zo een redelijke verklaring voor dit grote verliespercentage. Voor het bakkenklappen van zand in de Oosterschelde kon, gezien de hiervoor genoemde verliespercentages, de vuistregel worden gehanteerd dat voor het aanbrengen van A m<sup>3</sup> zand voor de grondverbetering er ca. 2 A m<sup>3</sup> zand door de hoppers moest worden aangevoerd (totaal gemiddeld verliespercentage van ca. 50%).

Uit het bakkenklapproces bleek dat de grootte van het netto-rendement voornamelijk werd bepaald door de getij-



Figuur 11 Relatie tussen het netto-rendement en het product van de getijstroomsnelheid en de waterdiepte in het theoretisch te klappen profiel (gebied A in figuur 9)



Figuur 12 Relatie tussen het netto-rendement en het product van de getijstroomsnelheid en de waterdiepte binnen het gepeilde gebied (A + 2B in figuur 9)

stroomsnelheid en de waterdiepte waarop geklapt werd. Voor het "Oosterschelde-cunet" was het mogelijk een grove relatie samen te stellen tussen het netto-rendement en het product van de getijstroomsnelheid en de waterdiepte. Deze relatie is grafisch in de figuren 11 en 12 weergegeven. Figuur 11 heeft betrekking op het zand, dat binnen het theoretisch te klappen profiel (gebied A van figuur 9) terecht is gekomen; figuur 12 heeft betrekking op het zand dat binnen het gepeilde gebied (gebied A + 2B van figuur 9 is beland).

### 5.2.4 Zandverliezen bij het pijpstorten

Als in plaats van het bakkenklappen de stortmethode met de zuigpijp van de hopper werd toegepast konden hogere netto-rendementen worden bereikt (ca. 60 tot 80%). Dit komt voornamelijk doordat het stortpunt zich bij deze klapmethode ca. 1 m boven de aan te klappen bodem bevindt. De ervaring heeft echter geleerd dat het te verkrijgen netto-rendement met het pijpstorten in sterke mate afhangt van de uitvoeringsprocedure- en de stroomsnelheid waarbij door de zuigpijp wordt gestort. Gedurende het pijpstorten dient de hopper namelijk aan een afvierponton te zijn gekoppeld. Met behulp van de ankerdraden van deze afvierponton wordt de hopper dan in de stroomrichting c.q. schuin tegen de stroomrichting in, al zig-zaggend, over het storttraject verhaald. De nauwkeurigheid van verhalen bepaalt in feite de nauwkeurigheid van het pijpstorten. De verhaalnauwkeurigheid hangt sterk af van de stroomsnel-

	bakkenklappen	pijpstorten
netto-rendement	45 tot 55%	60 tot 80% bij V = 0 tot 0,2 m/s
(fijn en grof zand)	bij v < 1 m/s	40 tot 60% bij V = 0,2 tot 0,4 m/s
storttijd voor beuninhoud van 3000 m <sup>3</sup>	10 minuten	1 uur
te bereiken storthellingen onder water	1:10 tot 1:15	1:4 tot 1:6
sedimentatiesfeer	fijn zand: 60 tot 80 m grof zand: 40 tot 60 m	10 tot 30 m
beperkingen	om kraters te voorkomen, is een bepaalde uitvoeringsprocedure vereist	storten bij kentering netto-rendement is sterk afhankelijk van de baan over het storttraject

Tabel 1. Samenvatting bakkenklappen ten opzichte van pijpstorten

heid van de getijstroom, evenals de hoeveelheid zand die binnen het theoretisch te storten profiel terecht komt.

Het pijpstortproces heeft geleerd dat bij stroomsnelheden groter dan 0,2 tot 0,4 m/s het verhalen van de hopper door middel van de afvierponton wordt bemoeilijkt. Bij deze stroomsnelheden treedt dan ook een sterke daling van het netto-rendement van de pijpstorter op (van 60 tot 80% naar 40 tot 60%); terwijl het zeer moeilijk wordt een vlak bodemprofiel te verkrijgen. Bij stroomsnelheden groter dan 0,5 tot 0,6 m/s is de hopper niet meer door een afvierponton te verhalen; dat wordt dan te gevaarlijk.

De hoge netto-rendementen van 60 tot 80% worden alleen bereikt, als bij kentering door de zuigpijp wordt gestort.

Hoewel met pijpstorten hogere netto-rendementen verkregen kunnen worden is het storten van zand met bakkenklappen toch economischer, omdat het pijpstorten alleen bij kentering gebeurt. Daar komt nog bij, dat het storten van het zand door de zuigpijp van de hopper ca. één uur in beslag neemt, in tegenstelling tot bakkenklappen waar de storttijd slechts tien minuten duurt bij een beuninhoud van de hopper van ca. 3000 m<sup>3</sup>. Tabel 1 geeft een samenvattende vergelijking van bakkenklappen ten opzichte van pijpstorten.

### 5.3 Zandwinning

Het zand ten behoeve van de grondverbetering werd uit een vijftal wingebieden gezogen, namelijk vier wingebieden ten oosten en één wingebied ten westen van de stormvloedkering.

Met behulp van de resultaten van de zeefanalyses kon de hieronder volgende tabel omtrent de samenstelling van het gezogen zand worden gemaakt.

wingebied	d50(µm)		% schelpen		siltgehalte
	-	s	s	-	
	x		x		
OS 1	234	30	0,9	0,9	0-1
OS 2	254	30	5,4	3,5	0-1
OS 4	197	22	0,3	0,2	0-1
OS 5	286	20	9,8	4,4	0-1
NZ	332	35	5,3	4,4	0-1

-

x = gemiddelde

s = standaardafwijking

In de volgende tabel is naast de d50 van het zand, tevens het aantal m<sup>3</sup> opgezogen zand per minuut zuigtijd weergegeven.

wingebied	d50 (µm)	m <sup>3</sup> opgezogen zand/ minuut zuigtijd
OS 1	234	44
OS 2	254	45
OS 4	197	35
OS 5	286	54
NZ	332	47

---

## 6. Conclusies

---

Hierbij kan een onderscheid worden gemaakt tussen het dustpannen en het uitvullen van de cunetten (doc. 3).

### 6.1 Uitvoeringsmogelijkheden met behulp van een dustpanzuiger

- \* Zeer geschikt voor zandige gronden (% <math><60 \mu</math> tot 10 à 15) – hoge producties. Minder geschikt voor sterk silt-houdend c.q. kleihoudend zand c.q. klei – lage producties.
- \* Zowel in onverdicht (zettingsvloeiingsgevoelig) als verdicht zand zijn hellingen van ca. 1:4 te dustpannen.
- \* Grote werkbaarheid (in verband met goed lier- en verhaalsysteem).
- \* Geen mors van enige betekenis.
- \* Toepasbaar bij waterdiepten tot ca. 40 m (Sliedrecht 27).
- \* Toleranties in z-richting van  $\pm 30$  cm zijn haalbaar (bij het op de Sliedrecht 27 speciaal hiertoe aangebrachte meetsysteem).

Deze kennis (ervaring) met de dustpanzuiger is algemeen toepasbaar en dus niet alleen aan de situatie van de Oosterschelde gebonden.

### 6.2 Uitvullen van cunetten met behulp van sleephopperzuigers

- \* Voor de bepaling van het stortpunt op de bodem geven de volgende formules een vrij goede benadering:

$$v \leq 0,70 \text{ m/s} \quad x_0 = \frac{d \cdot \sqrt{2}}{1 \text{ m}^2/\text{s}^2}$$

$$v > 0,70 \text{ m/s} \quad x_0 = \frac{dV}{2 \text{ m/s}}$$

- \* De effectiefste methode van bakkenklappen (aantal bakken op een plaats, uitvoeringsvolgorde) kan het best door uitproberen tijdens het beginstadium van het werk worden bepaald.

Op deze wijze kan naar een optimalisatie van het rendement worden gezocht.

- \* Voor het afwerken van oppervlaktoprofielen van uitge-

vulde cunetten (resterende gaten en taludgedeelten ter plaatse van ophogingen) is het storten van zand door middel van de zuigpijp van de hopper de meest efficiënte en economische methode.

- \* Met het zogenaamde pijpstorten zijn in vergelijking tot het bakkenklappen hogere rendementen te verkrijgen, mits bij het pijpstorten een voldoende zware afmeerpon-ton wordt toegepast. Tevens zijn met behulp van het pijpstorten vrij steile onderwatertaluds (1:4 à 1:6) te verkrijgen; dit in tegenstelling tot het bakkenklappen (1:10 à 1:15).

---

## 7. Documentatielijst

---

Doc 1 = 2 Probu-M-79040    Materieelkeuze voor het maken van de grondverbetering c.a.

Doc 2 = 2 Probu-M-79048    Keuze materieel voor overleg grondverbetering

Doc 3 = 24 EGRO-M-81047    Evaluatie-nota grondverbetering  
24 EGRO-M-81042

### **Overige documentatie:**

Polytechnisch Tijdschrift: nr. 9, 1981

Driemaandelijkse berichten: nrs. 89, augustus '79, nr. 94, november '80

W.L. Rapport nr. M-1558: Het onderzoek van een dustpanzuigmond (november 1978)

R/KB 535: Methode met dustpanzuiger (bijlage 2).

---

## Deelnota 7: Verdichtingsschip Mytilus



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding/probleemstelling</b>	<b>169</b>
<b>2</b>	<b>Verdichtingsmethoden</b>	<b>170</b>
2.1	Rütteldruck-verfahren	
2.2	Dynamic consolidation	
2.3	Vergelijking DOS-Nederhorst	
<b>3</b>	<b>Ontwerputgangspunten verdichten</b>	<b>172</b>
3.1	De verdichtingsomvang ter plaatse van de pijlers	
3.1.1	Vertikale verdichtingsomvang	
3.1.2	Horizontale verdichtingsomvang	
3.2	Uitgangspunten voor het eventueel weglaten van verdichtingspunten	
3.2.1	Weglaten verdichtingspunten ter plaatse van het gebied tussen de pijlers	
3.3	Verdichtingseisen	
<b>4</b>	<b>Keuze verdichtingsponton</b>	<b>175</b>
4.1	Tijd	
4.2	Kosten	
4.3	Flexibiliteit	
4.4	Oorspronkelijk ontwerp	
4.4.1	Ontwerpwijziging	
<b>5</b>	<b>Materieel</b>	<b>177</b>
5.1	Verdichtingsschip Mytilus	
5.1.1	Algemene beschrijving en werkwijze	
5.1.2	Verdichtingsinstallatie	
5.1.3	Gegevens schip	
5.1.4	Hydraulische randvoorwaarden	
5.1.5	Technische specificaties dieselaggregaten, spoelpompen en jetluchtcompressoren	
5.2	De trilnaalden	
5.2.1	Algemeen	
5.2.1.1	Vibrator met trekkop en adaptor	
5.2.1.2	Onder- en bovenschacht	
5.2.1.3	Resonator	
5.2.1.4	Trilnaadspecificatie	
5.3	Lieren, geleidebalk en spudpalen	
5.3.1	Naaldlieren en deiningscompensatoren	
5.3.1.1	Technische specificatie naaldlieren (4 stuks)	
5.3.1.2	Technische specificatie deico's (4 stuks)	
5.3.1.3	Hijsdraad	
5.3.2	Spudpaal-systeem	
5.3.2.1	Beschrijving spudsysteem	
5.3.2.2	Buffer-systeem	
5.3.2.3	Ontgroning rondom de spudpalen	
5.3.2.4	Technische specificatie spudhefcilinders	
5.3.3	Geleidebalk en balklieren	
5.3.3.1	Technische specificatie balklieren (2 stuks)	
5.4	Ankerlieren	
5.4.1	Technische specificatie 80 t - ankerlieren	
5.4.2	Technische specificatie 55 t - ankerlieren	
5.5	Reparatievoorzieningen aan boord	
5.5.1	Opgetreden moeilijkheden tijdens de bedrijfsvoering	
5.5.2	Aanvulling c.q. uitbreiding van de voorzieningen	
<b>6</b>	<b>Werkwijze verdichten</b>	<b>188</b>
<b>7</b>	<b>Overzicht verloop procesvoering</b>	<b>190</b>
7.1	Het verloop van het verdichtingsproces vanaf start as-verdichting	
7.2	Alternerend verdichten	
7.3	Verdichting pijlers as stroomgeul Hammen met 2 units per vibrator	



7.4	Horizontale stapafstand bij 3 units per vibrator	
7.5	Verdichten met 3 units per vibrator	
7.6	Optimalisatie van het kwantitatieve verdichtingsproces	
7.7	Optimalisatie van het verdichtingsproces	
<b>8</b>	<b>Verdichtingscontrole</b>	<b>193</b>
<b>9</b>	<b>Evaluatie</b>	<b>194</b>
9.1	Werktuigkundige problemen en oplossingen	
9.2	Conclusie	
<b>10</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>196</b>

# 1. Inleiding/probleemstelling

De pijlerconstructie in de Oosterschelde rust via een grofkorrelig fundatiebed (mattenoplossing) op een voornamelijk uit zand bestaande ondergrond. Ten gevolge van de cyclische golfbelastingen op de pijlerconstructie kunnen in deze zandondergrond wateroverspanningen worden opgebouwd.

Het zand wordt hierdoor als het ware een vloeibare massa (er treedt zogenaamd "verweking" van het zand op), wat grote, ontoelaatbare zettingen en rotaties van de pijlerconstructie tot gevolg heeft.

De mate waarin de wateroverspanningen worden opgebouwd wordt voornamelijk bepaald door het poriëngehalte en de doorlaatbaarheid van de zandgrond. Uit laboratoriumproeven was gebleken dat voor Oosterscheldezand (d<sub>60</sub> 150-250 µm en siltgehalte < 10%) bij poriëngehalten kleiner dan 40% de wateroverspanningopbouw bij golfbelasting op de pijler verwaarloosbaar klein is.

Bovendien moest het draagvermogen van het zand aanzienlijk worden vergroot wat geringere zettingen van de pijlerconstructie tot gevolg heeft. Uit de resultaten van continu-boringen en elektrische dichtheidsmetingen is gebleken dat het te verdichten zand (het oorspronkelijk aanwezige holocene zand en de geklaptte grondverbetering) ter plaatse van de toekomstige pijlers over het algemeen losgeplakt was met poriëngehalten van 40 tot 43%. Met andere woorden: dit zand was sterk "verwekingsgevoelig"; bij golfbelastingen op de pijlerconstructie zouden grote wateroverspanningen in de zandgrond ontstaan. De "verwekingsgevoeligheid" van het zand diende dus te worden geëlimineerd, ofwel het poriëngehalte moest kunstmatig tot beneden 40% worden gebracht. Een gangbare methode om dit doel te bereiken is het verdichten van de zandgrond.

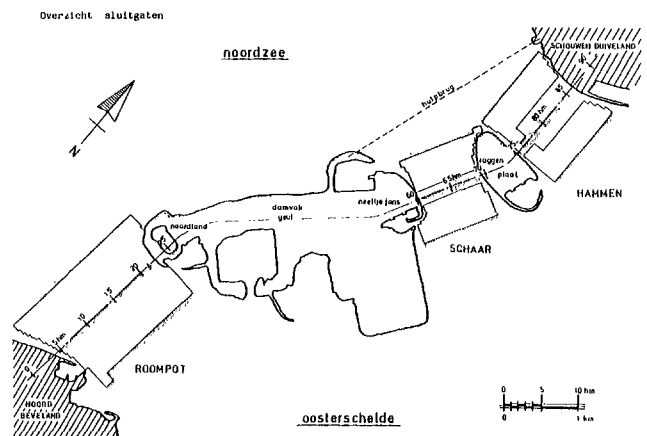
Ook langs de randen van de bodembescherming (aan weerszijden van de stormvloedkering op ca. 500-600 m) was een verbetering van de holocene grondslag, om ontgrondingen tijdens en na de bouw van de stormvloedkering te beperken, nodig. Deze werkzaamheden moesten worden uitgevoerd in een tijdsbestek van drie jaar, te weten van begin 1980 tot en met eind 1982.

De te verdichten gebieden zijn schematisch weergegeven in figuur 1.

In de daaraan voorafgaande jaren is door middel van praktijkproeven onderzoek uitgevoerd naar de mogelijkheden van verschillende technieken van bodemverdichting.

Tevens heeft er een analyse plaatsgevonden van alternatieve constructies waarbij de verdichting kon worden weggelaten.

Deze onderzoeken en analyses hebben tot de conclusie geleid dat om constructieve en financiële redenen, verbetering van de ondergrond het beste plaats kon vinden door



Figuur 1 De te verdichten gebieden in de as van de stormvloedkering en aan de randen van de bodembescherming

middel van trilnaadverdichting.

Aangezien er geen bestaand materieel voorhanden was, om een werk van een dergelijke omvang uit te voeren, diende er een apart stuk materiaal gebouwd te worden.

Rijkswaterstaat en Doshbouw hebben verschillende mogelijkheden ter verwezenlijking van een dergelijk stuk uniek materiaal onderzocht.

In eerste instantie is gedacht aan de mogelijkheid een bestaand vaartuig te gebruiken, dit te wijzigen en te voorzien van de benodigde installaties en apparatuur.

Een mogelijkheid was om hiervoor het blokkenschip "Libra" te benutten.

In januari 1975 werd begonnen dit idee verder uit te werken en een ontwerp te maken.

In de loop van de ontwerpfase bleek deze oplossing echter zoveel nadelen te bezitten (onder andere werkbaarheid en exploitatiekosten), dat besloten werd een geheel nieuw vaartuig te ontwerpen.

Het nieuwbouwontwerp bestond uit twee pontons, die onderling door middel van zware krammen waren verbonden; de trilnaalden werden neergelaten door het tussenliggende beun.

Door het wijzigen van meerdere belangrijke ontwerpcriteria is dit ontwerp later ingrijpend gewijzigd en tenslotte is hieruit het ontwerp van de "Mytilus" voortgekomen.

---

## 2. Verdichtingsmethoden

---

Het onderzoek naar een geschikte verdichtingsmethode voor de zandondergrond in de Oosterschelde begon al in 1974 met het uitvoeren van verdichtingsproeven (damvak Geul), waarbij de methode Van Hattum en Blankevoort (partner van de aannemerscombinatie Dosbouw) werd toegepast.

Bij deze diepteverdichtingsmethode was een vibrator, die verticale trillingen afgeeft, bovenop de trilnaald geplaatst. Via de bladen van de zich onder in de trilnaald bevindende resonator werden deze trillingen door middel van schuifspanningen aan de omringende grondmassa overgedragen.

In 1977 zijn nog aanvullende proeven op het land (strand Neeltje-Jans) en het water (bouwput Schaar) uitgevoerd, waarbij tevens de mogelijkheid van het verdichten van zeegrind is onderzocht.

Tevens werd de toepasbaarheid van twee andere grondverdichtingsmethoden in beschouwing genomen:

a) Het rütteldruck - verfahren (Nederhorst)

Bij deze methode wordt gebruik gemaakt van een buisvormig lichaam waarin een electromotor is gemonteerd; op de verlengde as daarvan zijn excentrieken geplaatst. De verdichter maakt door de beweging van de excentrieken een cirkelvormige beweging en zendt horizontale trillingen in alle richtingen uit.

b) Dynamic consolidation (Ménard)

Dit is een methode waarbij verdichting wordt bereikt door een blokgewicht (zwaarte afhankelijk van de verdichtingseis- en gewenste dieptewerking) over een bepaalde hoogte op de te verdichten grondslag te laten vallen.

### 2.1 Rütteldruck-verfahren

In 1977 had de aannemerscombinatie DOS (Dijkbouw Oosterschelde) al een vrij gedetailleerd voorontwerp van een verdichtingsvaartuig gepresenteerd. Uit verdichtingsproeven was ook reeds gebleken dat met de methode van Hattum en Blankevoort kwalitatief goede verdichtingswaarden konden worden verkregen.

Om de keuzemogelijkheid te vergroten werd tevens aan de fa. Nederhorst gevraagd een aanbieding te doen voor het verdichten van de zandondergrond in de Oosterschelde.

Daar weinig tijd beschikbaar was voor het maken van een offerte, was het door Nederhorst gepresenteerde ontwerp globaler dan dat van DOS. De wijze waarop Nederhorst echter dacht te gaan werken werd technisch gezien realiseerbaar geacht.

### 2.2 Dynamic consolidation

Om een indruk te kunnen krijgen over de toepasbaarheid van de valblok-methode voor de verdichting van de Oosterscheldebodem, moesten de volgende zaken worden uitgezocht:

- \* relatie tussen gewicht valblok en verdichtingsdiepte
- \* homogeniteit van verdichting
- \* effect van taludhellingen
- \* effect van een op de bodem liggende laag grofkorrelig materiaal (op dat moment vigerend) op de kwaliteit van het verdichten
- \* vlakheid van het oppervlak na verdichten (kraters)

Gezien de hoge kosten van een proef waarbij de hiervoor genoemde zaken zouden worden onderzocht en de vele zaken die nog moesten worden uitgezocht om een indruk te krijgen over de toepasbaarheid van deze verdichtingsmethode, werd het spoor van dynamic consolidation verlaten. De proef is daarom niet uitgevoerd.

### 2.3 Vergelijking DOS-Nederhorst

Bij de vergelijking van het diepteverdichten (DOS) en rütteldruck-verfahren speelden de volgende aspecten een rol:

- \* verdichting
- \* financiën
- \* planning

In onderstaande tabel is de indertijd opgestelde offerte-vergelijking voor de relevante aspecten weergegeven. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het gaat om "enigszins" vergelijkbare zaken.

Technisch gezien werden de ontwerpen vergelijkbaar geacht en qua realisering van het werk gelijkwaardig, evenals qua werkbaarheid.

Financieel gezien werd geen significant verschil gesignaleerd, terwijl qua planning geen voorkeur voor één van de firma's bestond.

Uiteindelijk werd gekozen voor het ontwerp (aanbieding) van DOS (diepteverdichtingsmethode van Hattum en Blankevoort). Hierbij hebben de volgende argumenten een rol gespeeld:

- \* De naaldafstand bij het DOS-ontwerp was variabel, waardoor beter kon worden ingespeeld op de variatie in grondeigenschappen.

Relevante aspecten voor vergelijking offerten D.O.S. en Nederhorst ter zake van verdichtingsproblematiek	D.O.S.	Nederhorst
afmetingen verdichtingsvaartuig	72x42x6,5 (m)	72x28x5,50 (m)
- afmetingen beun	8x50 (m)	8x50 (m)
- aantal trilnaalden	10	18
- verdichtingsduur/m <sup>1</sup>	ca. 6 min/m	ca. 6 min/m
- stramienafstand	5 m	2,3 m
- omsteltijd/triltijd	ca. 1,5/2,25	?
- trilapparatuurgegevens:		
hoogte	3 m	4,6 m
diameter (inclusief bladen)	1,4 m	± 0,9 m
energie afgifte - max	ca. 2x82 pk bij 25 Hz ca. 2x96 pk bij 50 Hz	ca. 50-55 pk
- werkduur - absoluut	ca. 2,6 jaar	ca. 2,8 jaar
- werkduur - op basis van 88 uur, week	ca. 2,6 jaar	ca. 4 jaar
- investeringskosten (totaal)	ca. 39 mln	ca. 32 mln
- investeringskosten (ponton)	ca. 10 mln	?
- totaal kosten 7,315 mln m <sup>3</sup> verdichting *)	ca. 69 mln	ca. 65 mln
- afschrijvingskosten	ca. 34 mln	ca. 25 mln
- exploitatiekosten	ca. 35 mln	ca. 40 mln

\*) Op dat moment vigerende verdichtingsomvang

- \* Met de methode Van Hattum en Blankevoort was reeds een aantal verdichtingsproeven uitgevoerd, waardoor al enig inzicht was verkregen in de mogelijkheden met deze verdichtingsmethode.
- \* Uit oogpunt van werkcoördinatie bestond een sterke voorkeur voor een sterk geïntegreerd werkverband. In dit geval zou Nederhorst als onderaannemer van DOS moeten optreden, hetgeen kostenverhogend zou zijn.
- \* De garantie ten aanzien van de kwaliteit in het gehele project woog bij DOS aanmerkelijk zwaarder dan bij Nederhorst.

### 3. Ontwerputgangspunten verdichten

De ontwerputgangspunten met betrekking tot het verdichten van de zandgrond ter plaatse van de pijlers waren als volgt onder te verdelen:

#### A Verdichtingsomvang

- horizontaal
- vertikaal
- ter plaatse van locaties waar pylonen waren getrokken

#### B Verdichtingseisen

- grondmechanische uitgangspunten
- formulering van de eisen

#### 3.1 De verdichtingsomvang ter plaatse van de pijlers

Er werd een onderscheid gemaakt tussen de horizontale en verticale verdichtingsomvang.

##### 3.1.1 Vertikale verdichtingsomvang, zie figuur 2.

De grootte van de verticale verdichtingsomvang werd in principe bepaald door:

- a) de uitbaggerlijn
- b) de verdichtingsdiepte naar aanleiding van de verwerkingsgevoeligheid en deformaties van het zand
- c) de grensscheiding pleistoceen - holoceen
- d) het maximale dieptebereik van het Mytilus-trilnaalden-systeem

sub a)

De ontwerputgangspunten met betrekking tot de uitbaggerlijn zijn weergegeven in doc. 1.

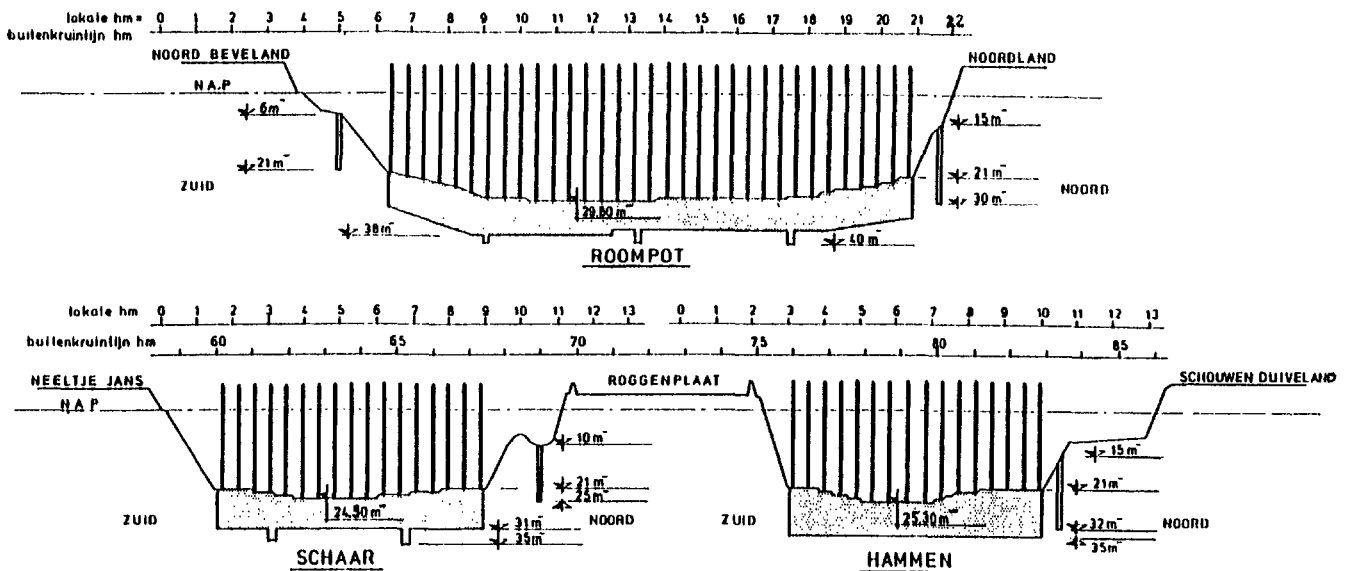
sub b)

Met behulp van de zogenaamde "β-berekeningen" en deformatieberekeningen heeft het LGM de verticale begrenzing van het "verwerkingsgevoelige" zand ter plaatse van de as-sluitgaten bepaald. Bij het sluitgat Hammen bedroeg deze begrenzing ongeveer 10 m beneden onderkant voetplaat van de pijler, terwijl deze bij de Schaar van de Roggenplaat en Roompot varieerde tussen de ca. 4 en 20 m beneden onderkant voetplaat van de pijler.

Sub c) Het pleistoceen

Het pleistocene zand heeft een grote voorbelasting gehad (het is overgeconsolideerd) en bezit daardoor een relatief grote horizontale voorspanning.

Ten gevolge van trillingen kan deze voorspanning voor een deel verloren gaan, waardoor pleistoceen zand met hoge conusweerstand (>15 MN/m<sup>2</sup>) na het verdichten een lagere conusweerstand verkrijgt (kan een reductie van zelfs 50% opleveren), terwijl het poriëngehalte hierbij enigszins kan toenemen. Schoon pleistoceen zand met lage conusweerstand (<10 MN/m<sup>2</sup>) zal ten gevolge van het verdichten, bij het ontbreken van een horizontale voorspanning, wel een grotere conusweerstand en dichtheid krijgen. Gezien het bovenstaande diende daarom met de



Figuur 2 Vertikale verdichtingsomvang als stormvloedkering

trilnaad niet in pleistoceenzand met conusweerstand  $>15 \text{ MN/m}^2$  te worden getrild.

#### Sub d) Maximale diepte bereik verdichtingsschip

Met het ontworpen verdichtingsschip was het mogelijk een ongeveer 15 m dik zandpakket te verdichten, met als ondergrens 35 m -NAP (incidenteel kon tot 38 m -NAP worden gegaan waarvoor echter enige aanpassingen aan het verdichtingsschip nodig waren, zoals het verlengen van de naalden).

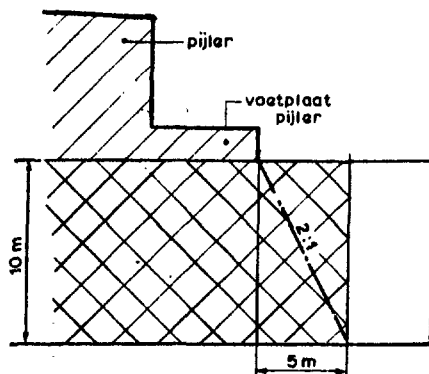
De minimale bodemdiepte van waaraf met behulp van de Mytilus kon worden verdicht bedroeg ca. 7,5 m -NAP.

Met behulp van de uitgangspunten a t/m d is de verticale verdichtingsomvang bepaald, zoals die in figuur 2 is weergegeven. Het verdichte zand had voor ca. 80% van het totaal de classificatie matig fijn tot matig grof ( $d_{60} = 200\text{-}250 \mu\text{m}$ ) en een siltpercentage  $<5\%$ . Het overige te verdichten zand was vrij schoon en had de classificatie zeer grof ( $d_{60} \approx 300 \mu\text{m}$ ).

### 3.1.2 Horizontale verdichtingsomvang

De uitgangspunten voor de horizontale verdichtingsomvang waren als volgt:

De waterspanningsgeneratie treedt niet alleen in de zandgrond onder de pijlers op, maar ook enige meters buiten de rand van de voetplaat. In dit gebied komen zelfs de grootste bijdragen van de deformatie en rotatie en de verschillen in deformatie en rotatie voor. Om deze redenen was het noodzakelijk de verdichting tot buiten de rand van de voetplaat door te voeren. Aan de Oosterscheldezijde tot ca. 16 m buiten de rand en aan de zeezijde tot ca. 12 m buiten de rand (horizontale verdichtingsomvang  $\perp$  as). De horizontale verdichtingsomvang evenwijdig aan de as, ter plaatse van de eerste en laatste pijler in een sluitgat, werd gesteld op 5 m. Bij deze 5 m is uitgegaan van een verticale verdichtingsdiepte van 10 m onder de voetplaat en een belastingspreiding van 2:1 (zie figuur 3).

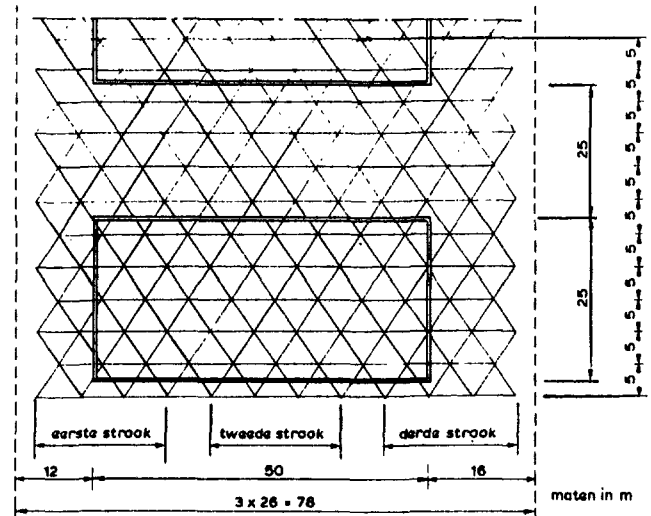


Figuur 3 Verdichtingsomvang evenwijdig aan de as

Of de ondergrond, gelegen tussen de pijlers, al of niet verdicht moest worden, hing af van de volgende factoren:

- zettingen van de drempel
- mogelijke ontspanning van de verdichte grond onder de pijler door zijdelingse belasting, hetgeen deformatieverschillen kan veroorzaken
- mindere verdichtingsgraad in de omgeving van de randtripunten.

Daar de invloeden a t/m c niet volledig waren te bepalen,



Figuur 4 Horizontale verdichtingsomvang ter plaatse van een pijler

werd besloten de ondergrond gelegen tussen de pijlers eveneens te verdichten.

In figuur 4 is een schematisatie van de toegepaste horizontale verdichtingsomvang weergegeven.

### 3.2 Uitgangspunten voor het eventueel weglaten van verdichtingspunten

In principe zou er met vier trilnaalden tegelijk worden getrild. Van te voren was echter reeds voorzien dat dit, vanwege reparatie aan en uitwisselen van naalden c.q. naaldonderdelen, bij lange na niet altijd mogelijk zou zijn.

Ten einde de invloed van naalduitval op de voortgangssnelheid zoveel mogelijk te beperken, is geanalyseerd in welke situaties een verdichtingspunt zou kunnen worden weggelaten. Hierbij waren drie situaties te onderscheiden:

- gebied tussen pijlers
- gebied randpijlers-aansluiting damaanzetten
- ter plaatse van de pijlers

#### 3.2.1 Weglaten verdichtingspunten ter plaatse van het gebied tussen de pijlers

Het aantal verdichtingspunten tussen de pijlers werd bepaald door:

- belastingspreiding
- ontspanning van de verdichte grond
- drempeldeformenties

- Ten behoeve van a en b moesten naast de pijler minimaal twee verdichtingsrijen aanwezig zijn. De hart op hart afstand tussen deze rijen diende vrijwel gelijk te zijn aan die ter plaatse van de pijlers zelf.
- Drempeldeformentie ten gevolge van de deformaties van de ondergrond tussen de pijlers was voor het ontstaan van een spleet onder de dorpelbalk niet meer van belang. Deze deformaties waren wel belangrijk voor de grondspanning op de teenconstructie van de pijlers. Om de deformaties tussen de pijlers beperkt te houden mocht de stapafstand tussen de pijlers niet meer dan 6 m bedragen.

Uit het bovenstaande blijkt dat uit het oogpunt van de be-

lastingspreiding en de ontspanning van de verdichting de horizontale stapafstand tussen de pijlers vrijwel dezelfde diende te zijn als ter plaatse van de pijlers zelf. Daar de afstand tussen de randen van tweeaangrenzende pijlers slechts 20 m bedraagt, impliceerde dit dat er geen enkele verdichtingsrij tussen de pijlers kon worden weggelaten (vergroting van de horizontale stapafstand tussen de pijlers zou het eventueel weg kunnen laten van één verdichtingsrij) betekenen.

### 3.3 Verdichtingseisen

De verdichtingseisen bij de as van de kering konden als volgt worden onderverdeeld:

- Eis met betrekking tot de gemiddelde graad van verdichting, uitgedrukt in een conusweerstand en poriëngehalte:

$$q_{\text{pijler}} = \alpha \cdot \frac{q_1 + q_2 + q_3 + q_4}{4} \geq 13 \text{ MN/m}^2 \text{ en } n \leq 40\%$$

doch  $q \geq 15 \text{ MN/m}^2$

5 opeenvolgende pijlers

$q_1 \dots q_4$  = sonderingen ter plaatse van de hoekpunten van de pijler

$a$  = vergrotingsfactor ten gevolge van zwaardere verdichting bij de trilpunten.

- Eis met betrekking tot de spreiding in de conusweerstand bij één pijler, vanwege de toelaatbare inhomogeniteit van de grondslag binnen het gebied van één pijler.

$$\frac{q_{c_{\text{max}}}}{q_{c_{\text{min}}}} \leq 1.4 \text{ of } \frac{q_{c_{\text{min}}}}{q_{c_{\text{max}}}} \geq 0.71$$

$q_{c_{\text{max}}}$  = max. waarde van de gewogen conusweerstand ter plaatse van de hoekpunten van de pijler

$q_{c_{\text{min}}}$  = min. waarde van de gewogen conusweerstand ter plaatse van de hoekpunten van de pijler

- Eis met betrekking tot de gemiddelde conusweerstand van twee aangrenzende pijlers in verband met de toelaatbare verschildwarsrotaties van twee aangrenzende pijlers

(1)

$$0,75 \leq \frac{\mu q_c [R_i]}{\mu q_c [R_{i+1}]} \leq 1.35$$

(2)

$$0,60 \leq \frac{\frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} [R_i]}{\frac{q_{c3} + q_{c4}}{2} [R_{i+1}]} \leq 1.70$$

$q_c (R_i)$  = gemiddelde van de vier conusweerstand van pijler  $R_i$

$q_c (R_{i+1})$  = gemiddelde van de vier conusweerstand van de aan  $R_i$  grenzende pijler  $R_i + 1$

De verdichting bij een pijler moest aan alle drie eisen voldoen. De eisen hingen nauw samen met de toelaatbare deformaties en rotaties van een pijler; deze waren weer gerelateerd aan de toleranties bij de schuifgeleidingsbreedte en sponningsdiepte van de schuiven.

Voor de verdichting van de ondergrond ter plaatse van de randen van de bodembescherming gold slechts de eis  $q \geq 10 \text{ MN/m}^2$ , daar hier niet aan deformatie-eisen behoefde te worden voldaan.

Om de gestelde verdichtingseisen te kunnen halen werden de volgende verdichtingsafmetingen toegepast:

- hart op hart afstand trilnaalden 6,50 m, strookbreedte verdichtingsbalk 26 m (vier trijnaalden)
- horizontale stapafstand (afstand tussen twee opeenvolgende verdichtingsbalkposities) pijlers 4,0 m, randbodembescherming 6 m
- verdichtingsbreedte pijlers 78 m (drie stroken), randbodembescherming 26 m, plaatselijk 52 m
- gemiddelde verdichtingsdiepte
  - o as Hammen 10 m
  - o as Schaar 9 m
  - o as Roompot 8 m
  - o rand bodembescherming 6-15 m

## 4. Keuze verdichtingsponton

Bij de keuze van de verdichtingsponton werden de volgende alternatieven in de studie betrokken:

- \* het ombouwen van het blokkenvaartuig LIBRA
- \* het bouwen van een nieuw verdichtingsvaartuig

Voor het bepalen van de keus zijn drie aspecten van groot belang geweest:

- \* tijd
- \* kosten
- \* flexibiliteit

### 4.1 Tijd

Met de LIBRA kon het verdichtingsprogramma waarschijnlijk alleen tijdig worden afgewerkt indien ca. 1 juni 1976 met het verdichten zou worden begonnen.

Bij gebruikmaking van een nieuw te bouwen schip kon ongeveer één jaar later met de verdichtingswerkzaamheden worden gestart, namelijk ca. 1 juni 1977.

Dit verschil werd veroorzaakt doordat de LIBRA "slechts" met acht trilnaalden (hart op hart 4 m) kon worden uitgerust, terwijl bij de nieuwbouw ponton het aantal trilnaalden aan de behoefte kon worden aangepast.

### 4.2 Kosten

Het tijdsaspect ging meespelen bij het eraan verbinden van kosten. Indien zou worden beslist om medio 1976 te starten met het verdichten met behulp van de LIBRA, moest onmiddellijk worden begonnen met de ombouw van het schip. Dat betekende dat er vele miljoenen zouden worden uitgegeven op een moment dat het nog geenszins vaststond tot welke beslissing in 1976 met betrekking tot de afsluiting van de Oosterschelde zou worden gekomen. De opdracht tot het bouwen van een nieuw schip kon worden gegeven op het moment dat de conclusie van het eindverslag met betrekking tot de afsluiting bekend was. Bij de keuze van een nieuw schip voor het verschijnen van het eindverslag zouden dan slechts enkele miljoenen moeten worden uitgegeven.

Uit de berekening bleek tevens dat de kosten van het verdichten met de LIBRA ca. 40% hoger waren dan met toepassing van een nieuw te bouwen schip.

### 4.3 Flexibiliteit

Voor wat betreft de flexibiliteit had de Libra twee beperkingen:

- 1) er moest een vaste afstand tussen de trilnaalden worden gekozen

2) de werkende lengte van de LIBRA was een vaste maat. Bij een nieuw te bouwen schip konden deze grootheden, binnen bepaalde grenzen, worden gekozen.

Gezien de hiervoor genoemde argumenten werd besloten tot het bouwen van een nieuw verdichtingsschip.

### 4.4 Oorspronkelijk ontwerp

Het oorspronkelijk ontwerp van de nieuwbouw verdichtingsponton bevatte tien trilnaalden met op elke naald een kiftoevoegingsinstallatie.

Nieuwbouwponton met tien trilnaalden

Gegevens casco: twee pontons, elk 72 x 17 x 5,5 m

Voor en achter gekoppeld door twee zware kraanconstructies.

lengte	: 72 m'
breedte	: 42 m'
holte	: 5,5 m'
diepgang	: 2,5 m'
beunbreedte	: 8,0 m'
beunlengte	: 58,5 m'

Boven de beun was een grote bokconstructie geplaatst waarin de tien trilnaalden op instelbare onderlinge afstand (3,5-5,0 m') door middel van naaldhijslieren en deiningscompensatoren zouden worden opgehangen.

Voor de geleiding van de trilnaalden was een geleidebalk aanwezig die onafhankelijk van de naalden in het beun opgehesen kon worden. Deze balk was via twee uithouderpalen in horizontale zin gefixeerd en kon tot ca. 16 m' beneden de waterlijn worden neergelaten. Tevens kon de balk vertikaal gericht en in schuine stand worden gezet door middel van de uithouderpalen en hydraulische cilinders.

De verdichting werd bereikt door middel van tien trilnaalden:

- Minimale bodemdiepte 13 m'-NAP
- Maximale verdichtingsdiepte 20 m' met als onderbegrenzing 35 m'-NAP
- Toelaatbaar bodemtalud 1:10 (over tien naalden)
- Het gemaakte gat moest worden opgevuld met kif (kifpalen)

De trilnaalden waren uitgevoerd met:

- Spoelwater en jetlucht inrichting
  - Klok met luchtkoeling over de vibrator
  - Trechter, slang, afsluiter en klep voor grind
  - Voldoende ruimte om grind op te slaan voor een cyclus
- De vibrator had een verticale slagkracht van 60 ton en de toepasbare frequenties waren 25 en 50 Hz.



#### 4.4.1 Ontwerpwijziging

Omdat na de opzet van het oorspronkelijke nieuwbouwontwerp nog diverse ontwerpcriteria werden gewijzigd werd een herzien ontwerp gemaakt, dat heeft geleid tot de bouw van het verdichtingswerktuig "Mytilus".

De wijzigingen bestonden in hoofdzaak uit:

- a) De toevoeging van kif ten behoeve van het verdichtingsproces kon vervallen (geen invloed op de verdichtingskwaliteit);
- b) De naalden werden verzwaard, de slagkracht werd van 60 ton op 120 ton gebracht.

Hierdoor:

- minder naalden nodig, aantal uiteindelijk gereduceerd tot vier stuks
  - minder plaats nodig
  - minder kans op storingen;
- c) In verband met het transporteren van het vaartuig door sluisen en vaarwegen van beperkte breedte diende indien mogelijk de maximale transportbreedte gereduceerd te worden;
  - d) In verband met de sterke vermindering van de variatie van het geladen gewicht (kif verviel) werd het ballaststelsel van de ponton vereenvoudigd.

## 5. Materieel

### 5.1 Verdichtingsschip Mytilus

#### 5.1.1 Algemene beschrijving en werkwijze

Het verdichtingswerktuig de Mytilus (Latijn voor mossel) in 1979 gebouwd op de werf Boele Bolnes, was opgebouwd uit een deelbaar casco, een portaal en diverse installaties. Het casco had op hart schip een beunruimte over ca. 60% van de lengte, bestemd voor het hijsen en neerlaten van de verdichtingsapparatuur.

De benodigde energie voor alle installaties werd hoofdzakelijk geleverd door vier diesel-aggregaten, onderdeks geïnstalleerd in de machinekamer in het achterschip. In deze machinekamer waren tevens de pompen voor het jetwatersysteem opgesteld.

Ten behoeve van de compressoren, de starterkasten van de naaldvibratoren en de Centrale Controle kamer (CCR) waren aan bakboordzijde drie afgescheiden ruimten aangebracht. De genoemde speciale systemen van jetwater en jetlucht waren bestemd om het indringen van de trilnaalden te vergemakkelijken.

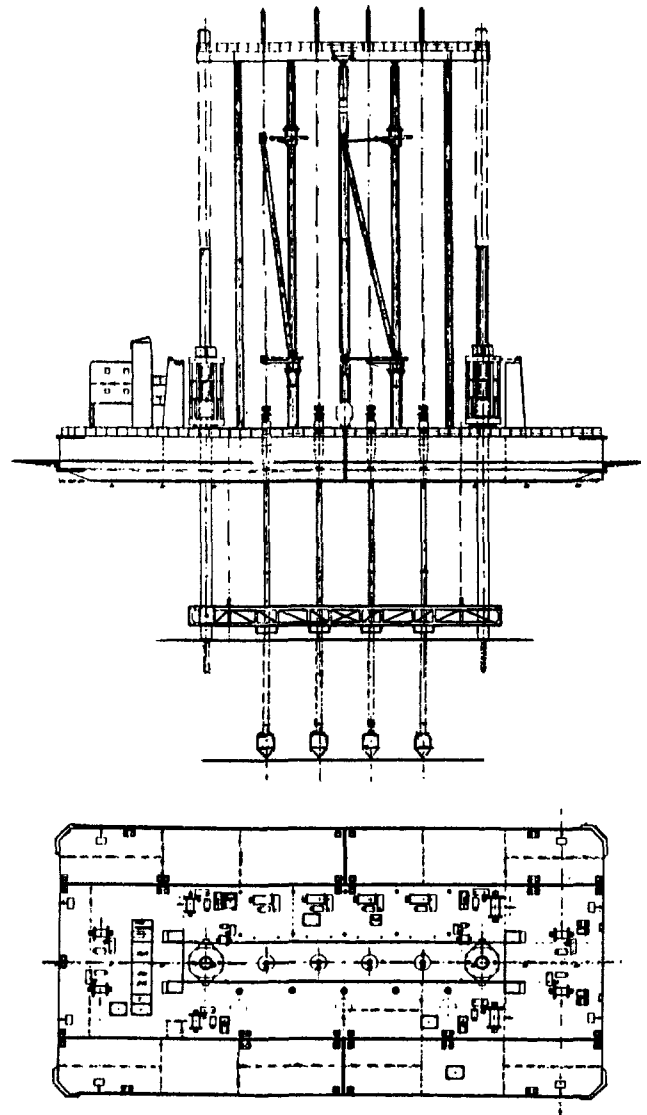
Op het dek was een aantal dekhuisjes geplaatst voor toegangen naar onderdeks, ventilatie invoer en afvoer en dergelijke.

Op het achterschip was een accommodatie dekhuis, bestaande uit twee lagen, gemonteerd op het toegangsdekhuis voor de motorkamer en aan de achterzijde ondersteund door twee of meerdere poten. Hier bevonden zich de kantoren van de uitvoerder en de opdrachtgever, 2 tweepersoons-slaaphutten, een kombuis, een messroom, proviandruimte, was- en verkleedgelegenheid. Rekening werd gehouden met twee ploegen van 20 man in shifts van 12 uur. Het centrale bedieningshuis was geplaatst in het tweede vak van het portaal op circa 8 m boven het dek.

Aan stuurboordzijde van de middenponton was een naaldwerkplaats opgenomen, naast een aantal ballast- en brandstoftanks. Het dek aan stuurboordzijde deed dienst als transport-, de-, en montageruimte voor de trilnaalden.

#### 5.1.2 Verdichtingsinstallatie

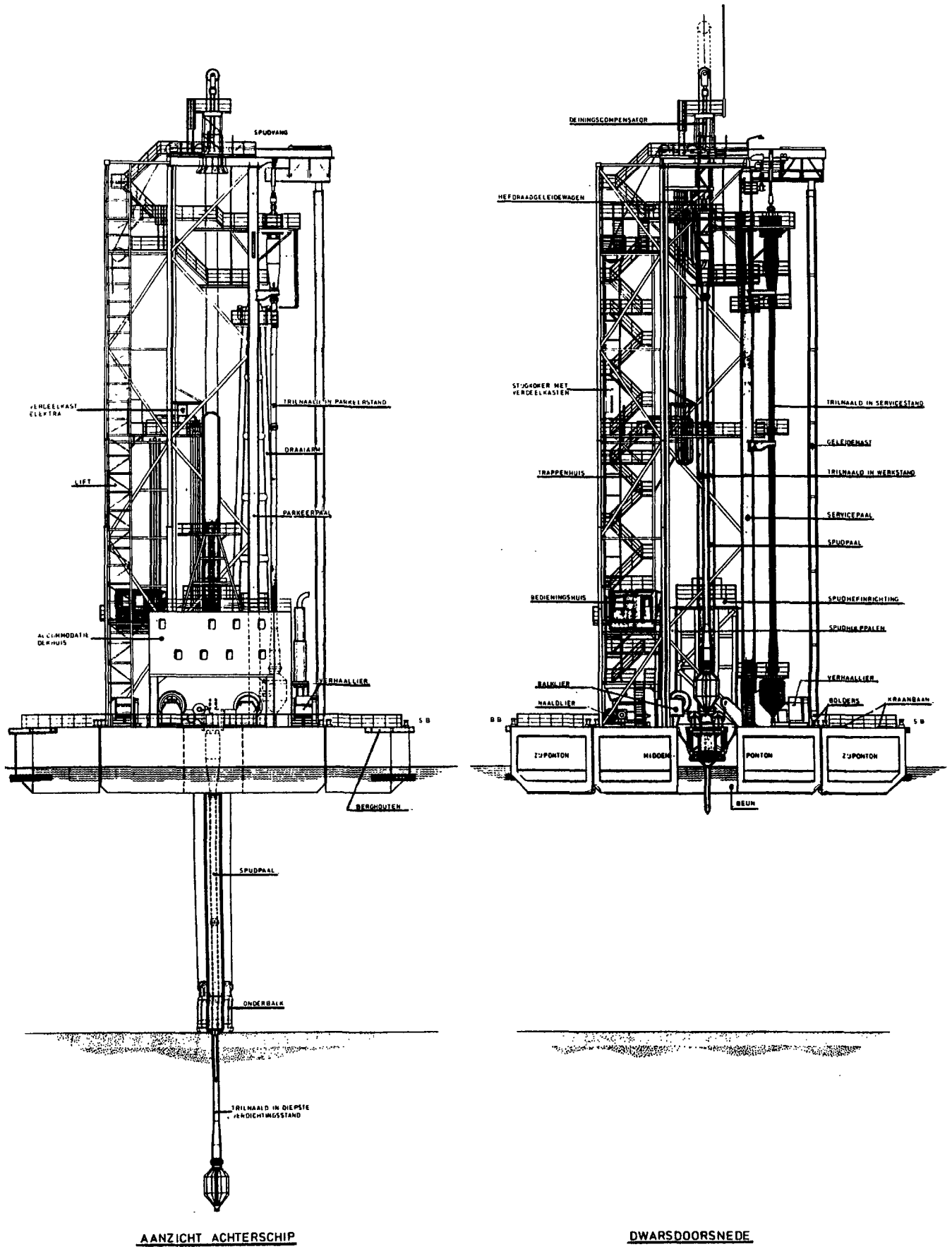
De verdichtingsapparatuur bestond uit een viertal in één rij opgestelde trilnaalden met een onderlinge afstand van 6,50 m. Elk van de trilnaalden hing via een 4 parts takel aan een deiningscompensator, geplaatst bovenop het portaal. De trilnaalden werden tijdens het hijsen en dalen in horizontale zin geleid; aan de onderzijde in de onderbalk,



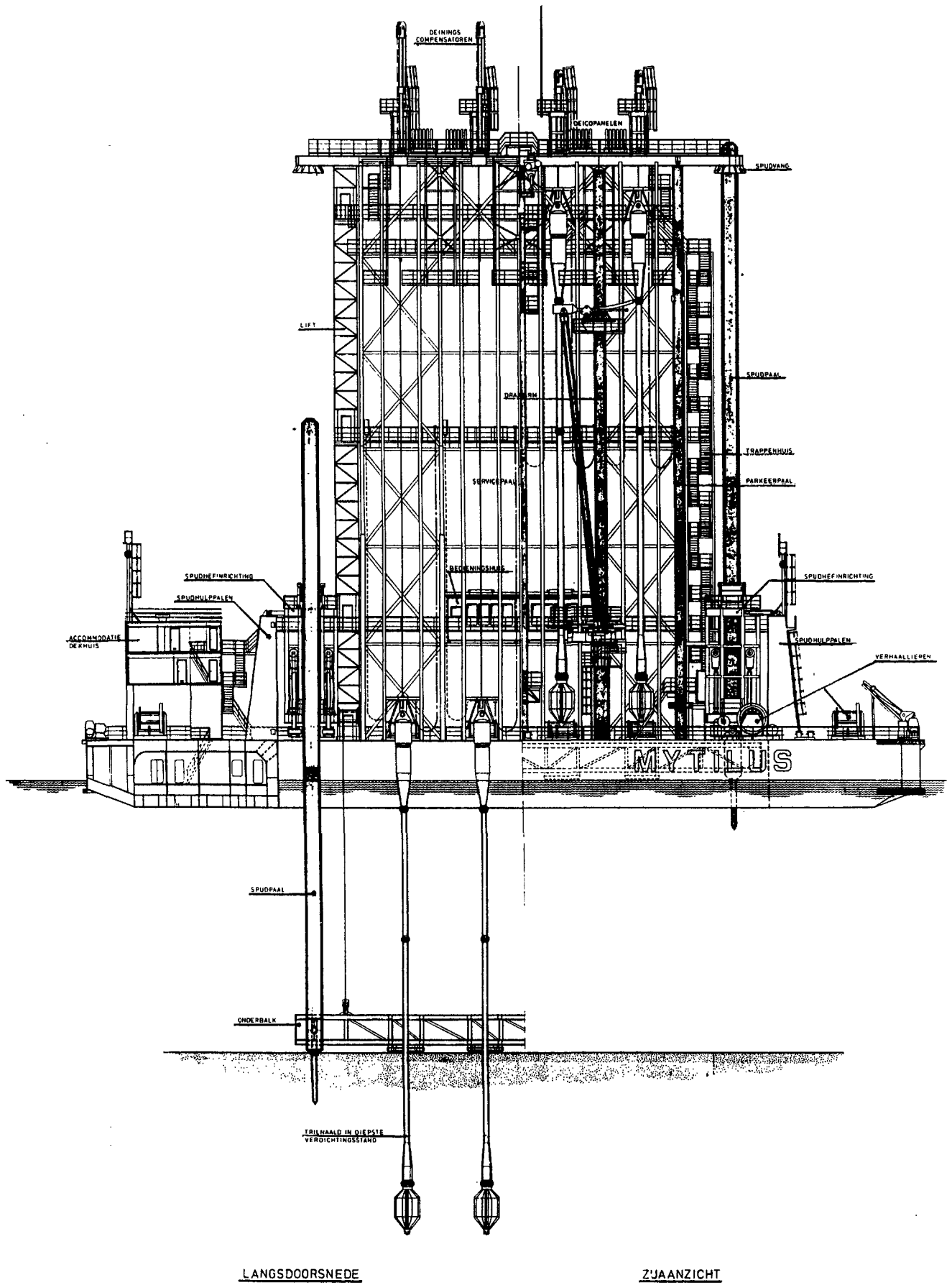
Figuur 5 Verdichtingsschip Mytilus

die onafhankelijk van de trilnaalden in de beun opgehesen kon worden. Aan de bovenzijde via een door middel van een wielensetel aan de beunzijde langs het portaal verbonden geleidingskar. De onderbalk was door middel van twee spudpalen in horizontale zin instelbaar, verend gefixeerd ten opzichte van de ponton en kon vanaf dekniveau neergelaten worden tot ca. NAP -36,0 m.

Het gehele samenstel van spudpalen en geleidingen voor de trilnaalden was noodzakelijk om de naalden voldoende



Figuur 6 Aanzicht achterschip en dwarsdoorsnede



Figuur 7 Langsdoorsnede en zijaanzicht

nauwkeurig te positioneren tijdens de beginperiode van het indalen (waarbij de naaldpunten of resonatoren de zeebodem binnendrongen).

In het bedieningshuis was speciale meetapparatuur voor de positiebepaling opgesteld.

### 5.1.3 Gegevens schip (zie figuur 5, 6 en 7)

Hoofdmaten	
Lengte x breedte	= 68,25 x 32,90 m
Breedte middenpontoon	= 18,90 m
Holte	= 5,50 m
Diepgang	= 2,20 m
lengte x breedte x holte	
zijpontoon	= 34,00 x 7,00 x 5,50 m
Beunbreedte x lengte	= 4,90 x 40,30 m
Trilnaald afstand	= 6,50 m
Portaalhoogte	
(dek tot bovenkant bordes)	= 47,60 m
Hoogste punt boven dek	= 60,00 m
Afstand spudpalen hart op hart	= 34,50 m

Zijde van het bedieningshuis was bakboordzijde.

Classificatie: Bureau Veritas

- + Service Côtier-Ponton; T = 3,0 m' (zonder zijpontoon)
- + Service Eaux Abrisées-Ponton; T = 2,5 m'(met zijpontoon)

Het stalen casco werd gebouwd volgens het langsspanstelsysteem met raamspanen op 2,60/3,25 m afstand. Het casco was in dwarsrichting in drieën deelbaar met breedten van respectievelijk 7 m, 18,90 m en 7 m.

De zijpontons waren in verband met de hanteerbaarheid in de lengte in tweeën gedeeld zodat het casco was opgebouwd uit vijf pontons.

### 5.1.4 Hydraulische randvoorwaarden

Het schip werd ontworpen voor de volgende hydraulische condities, zie tabel.

### 5.1.5 Technische specificaties dieselaggregaten, spoelpompen en jetluchtcompressoren

4 Dieselgeneratorsets.

Motor: Stork-Werkspoor Diesel  
Type: 6 FCHD-240  
726 kW-1000 R.P.M.

Generator: Indar  
Type: B20  
900 kVA, 3 x 380 V,  $\cos \Phi = 0,75$ ,  $f = 50$  Hz  
2 Dieselgeneratorsets.

Motor: G.M.  
Type: 4-71  
76 kW-1500 R.P.M.

Generator: Indar  
Type: 280-L  
100 kVA, 390 V, 148 A,  $\cos \Phi = 0,80$

3 Spoelwaterpompsets.

Motor: M.E.Z.  
Type: 1 EC-355  
160 kW, 380 V, 50 Hz, 2900 R.P.M.

Pomp: Nijhuis  
Type: VGT 1-125315  
300 m<sup>3</sup>/hr. -10 bar.

2 Jetlucht compressorsets.

Motor: Asea  
Type: MB 85  
180 kW, 380 V, 50 Hz, 490 R.P.M.

Compressor: Atlas Copco  
Type: ER 618 E  
20 m<sup>3</sup>/min. -12 bar.

## 5.2 De trilnaalden

### 5.2.1 Algemeen

De trilnaalden waren de onderdelen die ervoor zorgden dat de door de vibrator geleverde energie werd overgebracht aan de grond.

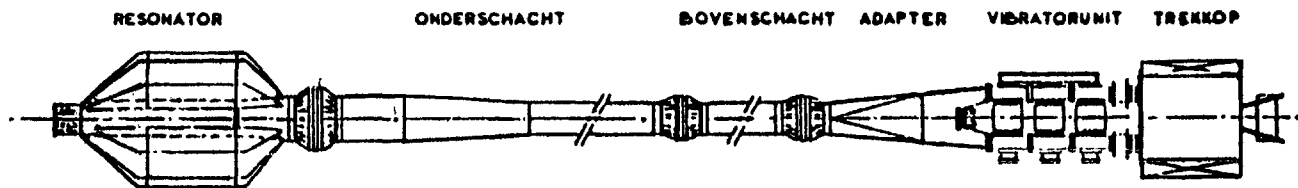
Deze overdracht vond ter plaatse van de naaldpunt plaats (het zogenaamde resonatorgedeelte) als deze was omgeven door grond. Om de grond tot 15 m'onder maaiveld te kunnen verdichten was aan het resonatorgedeelte een schacht ontworpen, zodat de elektrisch aangedreven vibrator zijn energie via deze schacht overdroeg aan de resonator.

Om de vibrator boven water te houden was de schachtlengte vergroot tot 36,7 m'. Dit gedeelte had een ronde doorsnede en was in twee gedeelten geconstrueerd, voorzien van koppelflensen. Ook het resonatorgedeelte was voorzien van een flens zodat de naald snel was te monteren of demonteren.

De trilnaald bestond uit de volgende hoofdonderdelen (zie figuur 8):

- trekkop en vibratorunit
- adapter
- bovenschacht
- onderschacht
- resonator

	Onder werkomstandigheden	Onder stormomstandigheden
significante golfhoogte	0,75 m	2,5 m
gemiddelde golfperiode	4 à 5 sec	5 à 6 sec
max. stroomsnelheid	2,0 m/sec	2,0 m/sec
getijverschil	2 m + tot 2 m -NAP	2 m + tot 2 m -NAP
max. windsnelheid (uurgemiddelde)	15 m/sec	32 m/sec



Figuur 8 Overzicht onderdelen trilnaald

### 5.2.1.1 Vibrator met trekkop en adapter

Voor het opwekken van de verticale beweging, die nodig was om de grond te verdichten, was op de bovenschacht een trilmotor bevestigd.

Om constructieve redenen was een vloeiend verloop van de krachten uit de vierkante vibrator naar de veel kleinere ronde doorsnede van de schacht gemaakt.

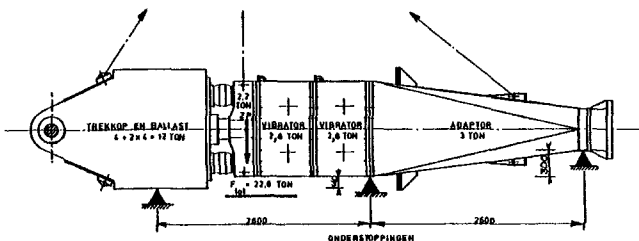
Hiervoor zorgde de zogenaamde "adaptor" met een lengte van 3,0 meter die in feite één geheel vormde met de trilmotoren. Aan deze adaptor bevonden zich tevens de koppelflensen voor aansluiting van de slangenbundel ten behoeve van de water- en luchtvoorziening.

Bovenop de adaptor waren de trilunits bevestigd.

Elke unit bevatte twee motoren en elke naald was uitgerust met twee units (later uitgebreid tot drie).

Aan de trilmotoren bevonden zich tevens de flexibele kabels met contactstoppen voor de aansluiting van de voedingskabels op de hefdraadgeleidewagen. De trilunits waren voorzien van een zogenaamde "trekkop", waarin zich rubberen trillingsdempers bevonden. Deze zorgden voor het absorberen van trillingen die uit de vibrator kwamen en een voorspanning tijdens het trekken van de naald. De trekkop was voorzien van een hijspen die in het hijsrog van de hefdraadgeleider paste. Op deze wijze was de kop van de naald in horizontale zin gefixeerd ten opzichte van het schip.

Adaptor, vibrator en trekkop waren in feite één geheel, samengebouwd met voorspanbouten. In geval van ernstige storingen konden de drie delen vrij eenvoudig gescheiden worden (zie de figuren 9, 10, 11 en 12).



Figuur 9 Trekkop, vibrator en adaptor

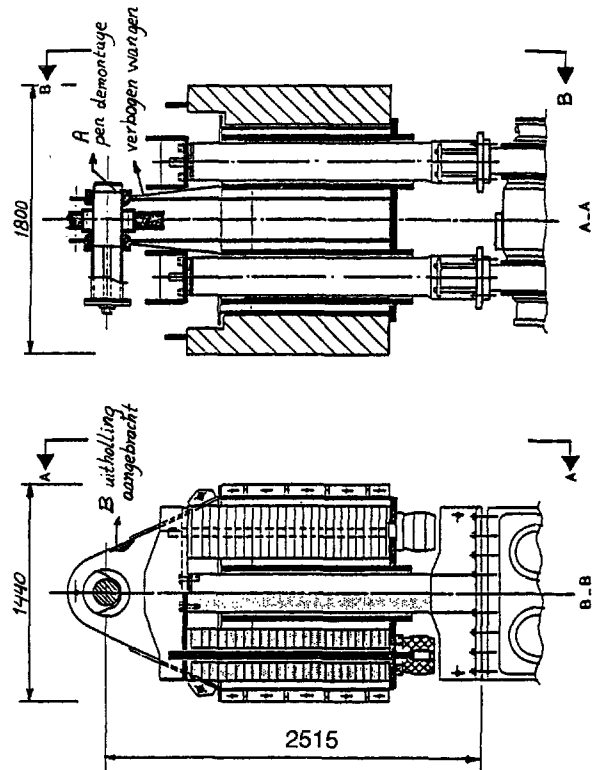
### 5.2.1.2 Onder- en bovenschacht

De onder- en bovenschacht dienden om de opgewekte trillingen naar de resonator door te leiden (zie figuur 13).

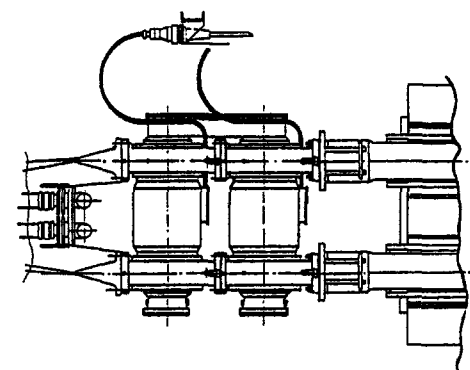
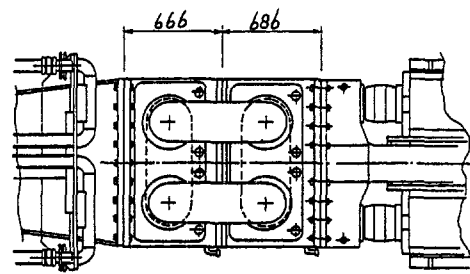
De korte bovenschacht en de lange onderschacht -respectievelijk 10 m en 20 m lang- werden door middel van flenskoppelingen verbonden.

Om voldoende ruimte voor de bovenspoeling te creëren had men de onderschacht aan de onderkant conisch uitgevoerd.

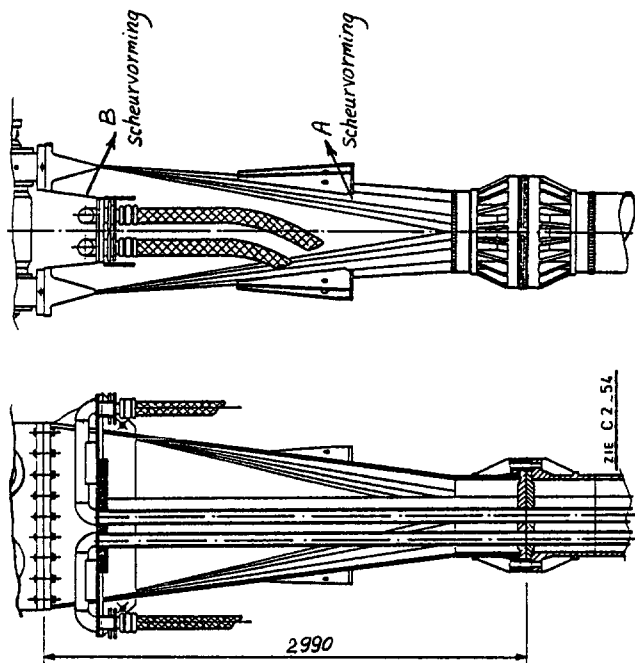
Om de trilnaald van en naar de verschillende ophangpun-



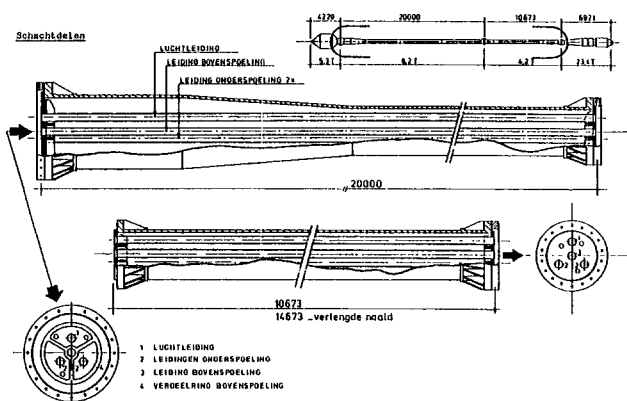
Figuur 10 Trekkop



Figuur 11 Vibrator



Figuur 12 Adaptor



Figuur 13 Onder- en bovenschacht

ten te kunnen transporteren waren er op de bovenschacht stoelen gelast.

In de buisvormige schachten waren de rubberslangen voor de onder- en bovenspoeling ondergebracht.

De met de normale schachtlengten maximaal te bereiken diepte was ca. NAP -36,0 m.

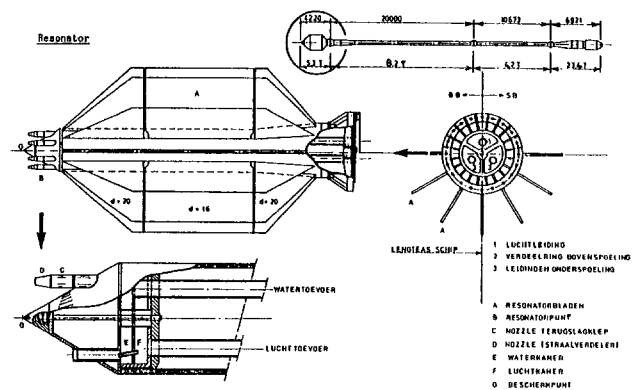
In de Roompot moest tot NAP -40 m worden verdicht, (locaties R6 t/m R14, R16 en R26). Hier werd gebruik gemaakt van een verlenschacht (lengte 4 m).

### 5.2.1.3 Resonator

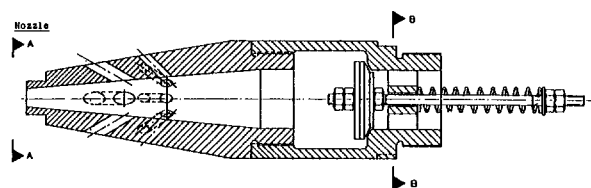
De resonator bestond uit een buis (ø 56 cm) waarbij aan de omtrek twaalf verticale bladen waren gelast (zie figuur 14).

De bladen dienden om de opgewekte trillingen aan de grond door te geven.

Onder aan de resonator bevond zich de verwisselbare resonatorpunt (zie figuur 15) met de mengkamers voor water en lucht en de houders waarin zes spuitmondjes geschroefd konden worden.



Figuur 14 Resonator



Figuur 15 Resonatorpunt

### 5.2.1.4 Trilnaaldspecificaties

Resonatorgedeelte

Lengte: 4,22 m<sup>1</sup>

Gewicht: 5300 kg

Resonatorbladen d=16 mm, boven- en onderbladen d=22 mm

Omgeschreven cirkel resonatorbladen ø 210 cm

Flensdiameter ø 84 cm met 20 bouten M36, voorspankr. 58 ton

Schachtdiameter: ø 56 cm met conus naar ø 76 cm

Onderschacht

Flens onderzijde als resonatorgedeelte

Lengte: 20,00 m<sup>1</sup>

Gewicht: 8200 kg

Flens bovenzijde diameter ø 70 cm met 20 bouten M30, voorspankr. 40 ton

Schachtdiameter: ø 76 cm over 1,4 m<sup>1</sup>; verloop over 2 m<sup>1</sup> naar ø 51 cm

Bovenschacht

Flenzen als onderschacht

Standaardlengte: 10,67 m<sup>1</sup>

Gewicht: 4200 kg

Extra lengte: 14,67 m<sup>1</sup>

Gewicht: 5700 kg

Schachtdiameter ø 51 cm

Nozzles

Openingsdruk op klep ± 2 bar

Slangen in schachten  
 Fabr. Trelleborg  
 Buitendiameter  $\varnothing$  102 mm  
 Binnendiameter  $\varnothing$  76 mm  
 Zowel voor water als voor lucht.

### 5.3 Lieren, geleidebalk en spudpalen

#### 5.3.1 Naaldlieren en deiningscompensatoren (figuur 16 en 17)

Voor de verticale bewegingen van de naalden waren vier naaldlieren geplaatst die zowel synchroon als individueel konden worden bediend. Tevens was de mogelijkheid aanwezig om synchroon te werken met de baklieren erbij. De elektrisch aangedreven naaldlieren waren op het dek opgesteld aan bakboordzijde (dus onder het bedieningshuis). De hijsdraad liep aan de buitenzijde van het portaal omhoog en via geleideschijven bovenop het portaal naar het hijspunt van de naalden. Op dit punt was tevens per naald een verticale deiningscompensator (deico) opgesteld. Deze bestond uit een hydraulische cilinder die door

middel van een gesloten circuit was aangesloten op een drukaccumulator. De drukaccu had een vulling van stikstof. De cilinder was voorzien van twee schijven die als bovenblok van de naaldtakel dienst deed. Het onderblok van deze takel werd gevormd door de twee schijven in de hefdraadgeleider. De hijsdraad werd dan vanaf de 3e geleideschijf (vlak naast het hijspunt) eerst naar de 1e schijf van de hefdraadgeleider gevoerd, daarna over de 1e schijf van de deico en vervolgens naar de 2e schijf hefdraadgeleider en 2e schijf deico. Het dode part werd vlak naast de 3e geleideschijf bovenop de bok vastgezet. Op deze wijze werd de trekkracht van de hijslier 4x vergroot en werden tevens de bewegingen van het schip ten gevolge van golven en wind gecompenseerd.

##### 5.3.1.1 Technische specificatie naaldlieren (vier stuks)

lier	fabr.	: Bodewes
	nom. trekkracht	: 13,5 t (1e laag)
	snelheid	: 0,4 m/sec
	gem. trommel diam.	: 1130 mm
	draad diam.	: 36 mm
	draadberging	: 170 m'(in 1 laag)
t.w.-kast	fabr.	: Dorstener
	overbrengingsverhouding	: 1: 108,4
motor	fabr.	: Indar
	type	: N-280-L-a
	cap.	: 60 kW - 750/1500 R.P.M. 440 V-148 A-40%I
rem	fabr.	: pintsch bamag
	type	: SFB 250

##### 5.3.1.2 Technische specificaties deico's (4 stuks)

hydr. cilinder	fabr.	: Hydrauldyne
	diam.	: 250 mm
	slag	: 4000 mm
	P <sub>max</sub>	: 320 bar
	K <sub>max</sub>	: 122 ton
Accumulatoren	fabr.	: Olaer
	type	: HPB 50 (balg DEV 160)
	cap.	: 50 ltr.
	voervuldrak	: 22,3 bar (30°C)-stikstof

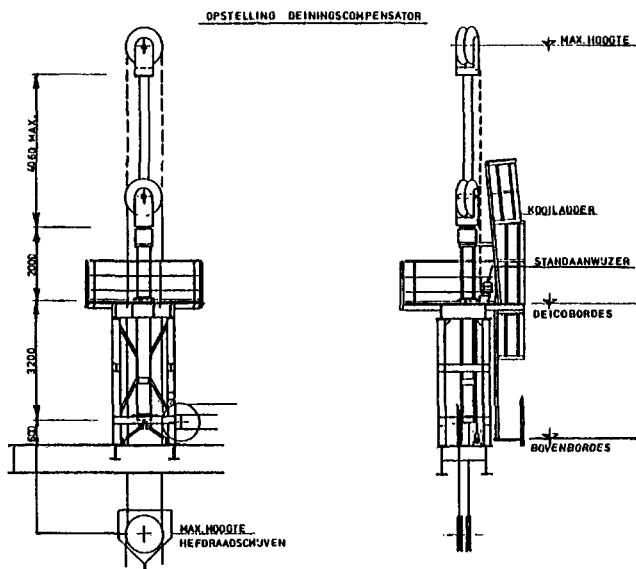
##### 5.3.1.3 Hijsdraad

Verzinkte staalkabel  $\varnothing$  36 mm, constructie 6x36 WS + stalen kern, kruisslag links geslagen gevormd. Treksterkte 200 - 219 kg/mm<sup>2</sup>. Werkelijke breekkracht 94.400 kg. Voorzien van Crosby-socketvoordraad 1 1/4"- 1 3/8"(S-416) met pen (G-416) totale lengte draad 292 meter.

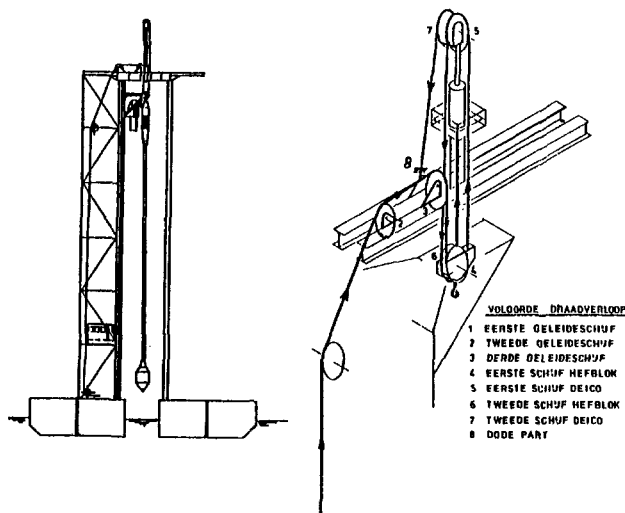
#### 5.3.2 Spudpaal-systeem

##### 5.3.2.1 Beschrijving spudstelsysteem (figuur 18)

De beide spudpalen van de Mytilus waren uitsluitend bedoeld als geleiding van de onderwaterbalk, die op zijn beurt weer de vier trilnaalden geleidde. De spudpalen waren dus niet bedoeld als verankering, zoals bijvoorbeeld bij een cutterzuiger. Om te voorkomen dat de palen horizontale krachten moesten opnemen doordat het schip ver-

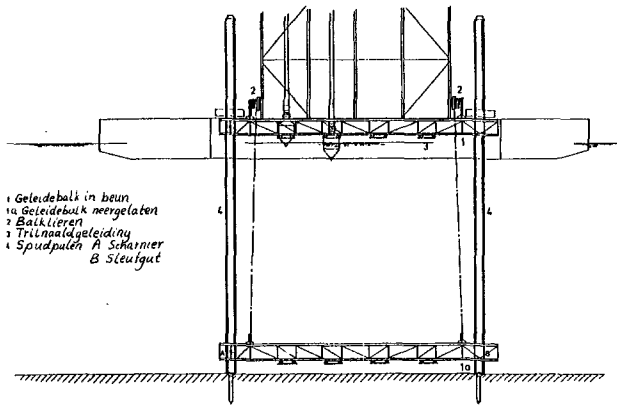


Figuur 16 Deiningscompensator



Figuur 17 Dradenverloop





Figuur 18 Geleide- c.q. onderwaterbalk en spudpaalsysteem

plaatste (schrikken, verzetten, rollen en stampen) konden de spud- en de spudhefinrichting op dekniveau in twee richtingen scharnieren. (Cardan scharnier). Dit scharnier moest alleen werken als de spudpaal op de grond stond. Hing de paal in één van de vangen dan moest het scharnier niet werken omdat anders door de stroom de paal scheef kwam te hangen. Dit werd bereikt door twee buffercilinders, die tussen de bovenkant van de spudhefinrichting en de spud-hulppalen waren aangebracht. Deze buffercilinders hadden twee karakteristieken: "star" als de spud boven de grond hing en "slap" als de spud op de grond stond. De hefinrichting was uitgerust met een klem-kleminstallatie, waarmee de spud zowel naar boven als naar beneden kon worden verplaatst. Om de spud in de bodem te laten dringen was een "vrije val" regeling aanwezig. De spudpalen konden in zowel horizontale als verticale richting worden geborgd.

#### 5.3.2.2 Buffer-systeem

De spud en de spudhefinrichting konden door middel van het cardanscharnier een hoekverdraaiing maken ten opzichte van de ponton. De maximale hoekverdraaiing, waarbij de spud te allen tijde vrij bleef van onderdelen van de bok (trappenhuis, liftkoker), was  $4^\circ$ . Als de paal niet op de grond stond mocht er geen hoekverdraaiing op kunnen treden, omdat anders de paal door stroom of wind een schuine stand kon innemen. Aan de bovenzijde van de spudhefinrichting waren twee hydraulische cilinders horizontaal opgesteld. De afmetingen van deze cilinders waren zodanig gekozen dat de hoekverdraaiing niet groter kon worden dan  $4^\circ$ . De cilinders hadden twee karakteristieken:

##### a. Bufferkarakteristieken

De cilinder was in dit geval in principe een slappe veer. Bij een hoekverdraaiing groter dan  $2^\circ$  ging de kracht van de cilinder toch oplopen tot ongeveer 70 tf bij  $4^\circ$ .

De bedoeling hiervan was dat wanneer de paal niet in de bodem zat en op bufferkarakteristiek was geschakeld, de cilinders niet met een grote klap in hun uiterste stand kwamen. Deze situatie kon zich voordoen bij het uit de grond trekken van de palen.

##### b. Positioneer karakteristiek

De cilinder was star en zorgde ervoor dat de spudpalen in het midden bleven. Dit werd verzorgd door de hydrauliekpompen, die bij een uitwijking uit de middenstand voor een correctie zorgden. Het corrigeren ging door zolang de positioneer karakteristiek was ingeschakeld. Wanneer tijdens het hijsen of zakken van de paal een correctie werd uitgevoerd, werd de hijs/zak-bewe-

ging automatisch onderbroken totdat de correctie was beëindigd.

De regeling voor de beide karakteristieken was als volgt:

1. Als de spud in één van de vangen hing, dus niet op de grond stond, was de positioneer karakteristiek ingeschakeld.
2. Ongeveer twee seconden (instelbaar) na het bedienen van de knop "vrije val" werd er overgeschakeld van positioneer- naar bufferkarakteristiek.
3. Bij spud trekken werd er na de eerste slag van de hef- cilinders overgeschakeld naar de positioneer karakteristiek.
4. Als de spud in de borg aan het bovenbordes werd gehesen moest, voor een goede centrering, de buffer- karakteristiek worden ingeschakeld. Dit gebeurde met de hand op het spudbedieningspaneel in het bedieningshuis.
5. Bij het laten zakken van de spud uit de borg aan het bovenbordes moest in het bedieningshuis weer worden omgeschakeld van bufferkarakteristiek naar automatische bediening "positioneer- bufferkarakteristiek". Dit diende te gebeuren voordat de spudpaal de zoeker verlaten had.

Op de vier buffercilinders waren acoustische afstandmeters gemonteerd, waarmee de lengte van de cilinder werd gemeten. Uit deze lengtes werd door de navigatie-computer de hoek van de spud ten opzichte van de ponton berekend. Het hydraulisch-systeem dat de beide karakteristieken regelde werd gestuurd door deze afstandmeters. Dit wil zeggen dat als de vier afstandmeters niet correct functioneerden, ook de regeling van de karakteristieken niet meer werkte.

#### 5.3.2.3 Ontgroning rondom de spudpalen

Bij het in de bodem zetten van spudpalen, moest worden gecontroleerd hoe ver deze zich in de bodem bevonden (waterdiepte - spudpalendiepte). Door ontgroningen rond de paal zou deze diepte kunnen verminderen. Het constateren van deze eventuele ontgroningen werd slechts proef-gewijs door duikers uitgevoerd. Uit deze duikeronderzoeken bleek dat er van ontgroning nauwelijks sprake was. Wanneer tijdens de uitvoering van het werk gebleken zou zijn dat ontoelaatbare grote ontgroningen waren opgetreden (gelijk aan de indringdiepte van de spudpalen), dan waren ontgrondingsplaten beschikbaar om dit te voorkomen. Deze platen hadden een uitwendige diameter van 4,50 m en inwendig 1,50 m, zodat deze rond de spud pasten.

De platen konden met vier kettingen onder aan de balk worden gehangen. Ten behoeve van de montage waren de platen deelbaar langs een middellijn. Zoals vermeld zijn deze ontgrondingsplaten niet nodig geweest (bij het overstaan van de spuds gedurende een getijperiode bij een maximaal gemiddelde stroomsnelheid van 1,27 m/sec. was rondom de spuds een ontgroning van ca. 0,75 m met korte steile taluds geconstateerd).

#### 5.3.2.4 Technische specificatie spudhefcilinders

fabr. : Hydraudyne  
diam. : 320 mm  
slag : 2250 mm  
Pmax : 200 bar

Technische specificatie spud buffersysteem		
cilinders	fabr.	: Hydraudyne
	diam.	: 320 mm
	diam.stang	: 140 mm
	slag	: 1500 mm
	Pmax	: 200 bar
accumulatoren (per spudpaal)	2 st. fabr.	: Rual
	cap.	: 50 ltr.
	voorvuldruk	: 6 bar-stikstof
	2 st. fabr.	: Hydac (zuigeraccu)
	cap.	: 45 ltr.
	voorvuldruk	: 20 bar (voor bodemzijde)
	2 st. fabr.	: Hydac (zuigeraccu)
	cap.	: 45 ltr.
	voorvuldruk	: 29 bar (voor stang zijde)

### 5.3.3 Geleidebalk en balklieren

Zodra de spudpalen van het schip goed gepositioneerd aan de grond stonden moesten de naalden vanuit de positie in de beun van het schip worden gevierd tot bodemniveau. Om er voor te zorgen dat de naaldpunten in de goede positie op de bodem arriveerden en niet door stromend water ver van de bedoelde positie terecht kwamen, was een geleidebalk ontworpen die door middel van twee balklieren vanuit de beun van het schip tot op de bodem kon worden neergelaten. Deze geleidebalk gleed langs de twee spudpalen vanuit de beun naar beneden zodat een juiste positionering ook hier was gewaarborgd (zie figuur 18).

Om de naalden in de juiste positie te krijgen waren in de balk openingen gespaard waarin de resonatorgedeelten van de naalden pasten. Door nu de naalden gelijktijdig met de balk te vieren (terwijl de resonatoren in de balk bleven), werd een voldoende nauwkeurige positionering van de naaldpunten bereikt.

De balk was uitgevoerd als een ruimtelijke buisconstructie waarin zes geleideconstructies waren opgenomen: twee voor de geleidepalen ("spuds") en vier voor de naalden. De buitenwerkse afmetingen waren: 2,27 m' hoog, 2,92 m' breed en 38,30 m' lang. In neutrale toestand bevond de balk zich in de beun waarbij de spudpalen door de geleideconstructie in de balk staken.

De resonatoren van de naalden konden voor inspectie boven de balk worden gehesen.

De balklieren stonden opgesteld tussen de buitenste naaldposities en de spudposities aan de bakboordzijde van de beun. Aan de bovenzijde van de balk bevonden zich twee enkele schijven, waardoor de hijsdraad werd geschoren. Aan bakboordzijde van de beun bevond zich recht tegenover de balklier een bokje waaraan het part van de hijsdraad was vastgezet. Verder bevonden zich aan de beunwanden verschillende zeevasten en borgingen voor de balk in neutrale positie.

De balklieren werden bediend vanaf de hoofdoperatorslessenaar in het bedieningshuis of vanaf een console op het dek nabij de balklieren. Deze dekbediening moest op de hoofdoperatorslessenaar worden vrijgegeven en beperkte zich tot het halen of vieren van de betrokken balklier. Op de dekbedieningsconsoles bevond zich wel een trekkracht-aanwijzer.

Op de hoofdoperatorslessenaar kon zowel individueel als synchroon worden gewerkt met behulp van de "synchroon controller". In dit laatste geval werkten alleen beide balklie-

ren tegelijkertijd indien de individuele naaldlieren niet op "synchroon" geschakeld waren. Was dit wel het geval dan werden door de synchroon controller ook de vier naaldlieren bediend.

### 5.3.3.1 Technische specificatie balklieren (2 stuks)

lier	fabr.	: Bodewes
	nom. trekkracht	: 13 ton
	snelheid	: 0,2 m/sec
	gem. trommeldiam	: 1000 mm
	draad diam.	: 36 mm
	draadberging	: 80 m'(in 1 laag)
t.w. kast	fabr.	: Indar
	type	: 280 S-i=37,5
motor	fabr.	: Indar
	type	: N 250-1-a
	cap.	: 30 kW-750/1500 RPM
		440 V-76 A- 40% ID
rem	fabr.	: Pintsch Bamag
	type	: SFB 100

### 5.4 Ankerlieren

Ten behoeve van de verankering en positionering was de Mytilus voorzien van twee stuks 80 tons en 29 stuks 55 tons ankerlieren.

Alle lieren waren voorzien van:

- lebus schalen op de trommels
- fleetangle compensator
- draadkracht meting
- 2,2-voudig stilstandskoppel
- 2-voudig toerental bij minder dan 50% nominale belasting
- een "constant tension" regeling van 10-60 % (gestuurd door draadkrachtmeters).

### 5.4.1 Technische specificatie 80 ton-ankerlieren

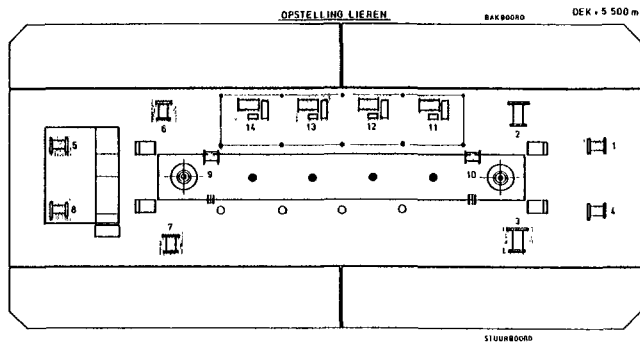
(nr. 2 en 3 van figuur 19)

lier	fabr.	: Bodewes
	nom. trekkracht	: 80 t (op 2e laag)
	snelheid	: 3,6 m/min (max 28,2 m/min)
	stolpunt	: 175 t
	draadberging	: 800 m (in 6 lagen)
	draad diam.	: 60 mm
	houdkracht rem	: 280 t
t.w. kast	fabr.	: Dorstener
	overbr.verh.	: i = 108,4 en 26,7
motor	fabr.	: Indar
	type	: N - 280 - L - a
	cap.	: 60 kW - 750/1500 rpm
		440 V - 148 Amp - 40%ID
	fabr.	: Pintsch Bamag
	type	: SFB 250

### 5.4.2 Technische specificatie 55 ton ankerlieren

(nr. 1-4-5-6-7-8 van figuur 19)

lier	fabr.	: Bodewes
	nom. trekkracht	: 55 t (op 2e laag)
	snelheid	: 3,6 m/min (max 28,2 m/min)
	stolpunt	: 120 t
	draadberging	: 600 m (in 6 lagen)



Figuur 19 Opstelling lieren

	draad diam.	: 48 mm
	houdkracht rem	: 190 t
t.w. kast	fabr.	: Dorstener
	overbr. verh.	: $i = 108,4$ en $27,6$
motor	fabr.	: Indar
	type	: N - 280 - M - a
	cap.	: 40 kW - 750/150 rpm
		440 V - 101 Amp - 40%ID

### 5.5 Reparatievoorzieningen aan boord

Voor het van de werkpositie verwijderen van een naald en het vervangen door een andere (ten behoeve van groot onderhoud of reparatie) waren een aantal hulpconstructies op de Mytilus aangebracht.

Op de hoofdponon aan stuurboordzijde van de beun was een uit vijf zware palen bestaande bokconstructie aanwezig. Elke paal was voorzien van hulpmiddelen ten behoeve van montage en demontage van de naalden.

De twee uiterste palen waren zogenaamde "Parkeerpalen". Deze palen waren voorzien van de nodige middelen om een naald tijdelijk op te slaan (zie figuur 20).

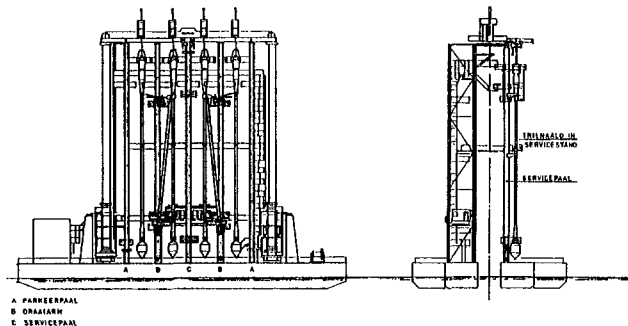
De middelste paal was de zogenaamde "servicepaal" (zie figuur 21). Als een naald hier geplaatst was kon deze volledig worden gedemonteerd met behulp van de boven de servicepaal aanwezige takels, welke de diverse onderdelen tot op het dek konden laten vieren. Om slingeren van de last aan de takel te voorkomen was naast de servicepaal een zogenaamde "geleidepaal" aanwezig.

Tussen de servicepaal en elke parkeerpaal waren aan de tweede en vierde paal de zogenaamde "draaiarmen" gemonteerd. Met behulp van deze draaiarmen kon een naald vanuit de werkpositie zowel naar de servicepaal als een parkeerpaal gebracht worden (zie figuur 22).

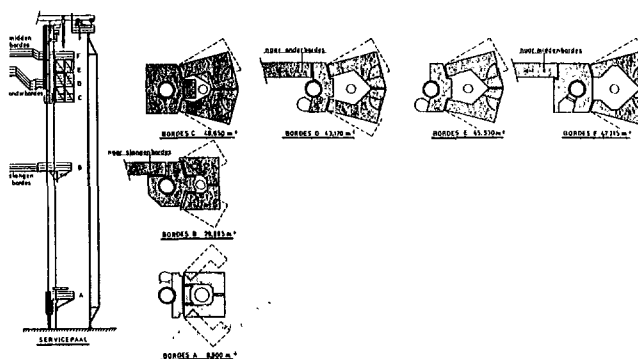
Elke draaiarm kon twee naalden in de werkpositie bereiken evenals het servicepunt en het meest nabijge parkeerpunt.

Een defecte trilnaald die niet binnen redelijke tijd ( $\pm 3$  uur) te repareren was, werd verwisseld door een reservenaald.

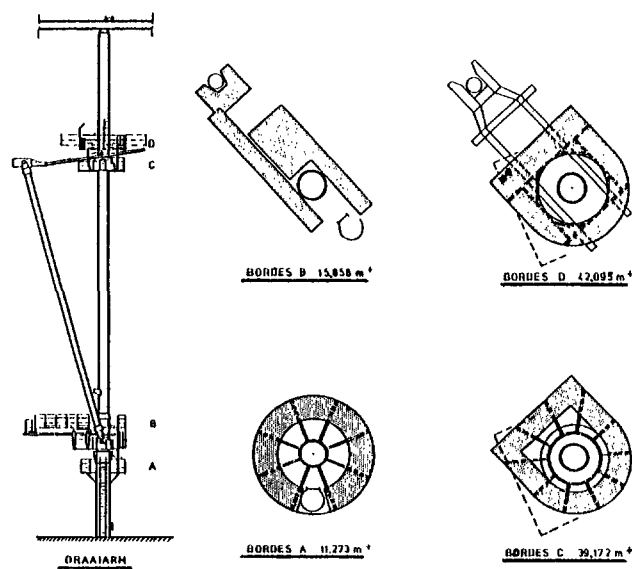
Daarna kon het verdichtingswerk doorgaan en werd de reparatie aan de defecte trilnaald in het servicepunt uitgevoerd. Zo nodig kon de defecte trilnaald in het servicepunt geheel gedemonteerd worden.



Figuur 20 Reparatievoorzieningen trilnaalden



Figuur 21 Servicepaal



Figuur 22 Draaiarm

Voor het verwisselen van de trilnaalden werd gebruik gemaakt van de draaiarmen.

De te volgen werkwijze was dan:

- De reserve naald bevindt zich in het servicepunt.
- De defecte naald wordt uit de bok in het betreffende parkeerpunt geplaatst.
- De reserve naald wordt van het servicepunt in de bok gehangen. Hierna kan het verdichten weer starten.
- De defecte naald wordt van het parkeerpunt naar het servicepunt verplaatst.
- In het servicepunt vindt reparatie of vervanging van defecte naaldonderdelen plaats.

### 5.5.1 Opgetreden moeilijkheden tijdens de bedrijfsvoering

- a. De hydraulische cilinders van de zwaai-bomen zijn diverse malen beschadigd (stangen verbogen). In een bepaalde stand zaten ze in de weg voor de vibratoren.

Door zorgvuldige bediening zijn schades voorkomen.

- b. De verticale hydraulische cilinders bleken te licht uitgevoerd, de naalden waren, mede door de extra aangebrachte vibratorunit en de grotere wanddikte van de schachten zwaarder dan aangenomen.

De zij-cilinders zijn dan ook vervangen door een zwaarder type.

### 5.5.2 Aanvulling c.q. uitbreiding van de voorzieningen

- a. Ten behoeve van de "handling" van de naalden aan boord werd een hulpparkeerpunt aangebracht.
- b. In beide parkeerpunten waren zeevastbordessen aangebracht.
- c. Op het slangenbordessen van het servicepunt was een hydraulische bediende vang aangebracht.
- d. Ten behoeve van de uit te voeren werkzaamheden aan de resonatorpunten en nozzles in het beun, bij het werken met verlengde schachten, waren twee stuks hangende werkbordessen gemaakt.

## 6. Werkwijze verdichten

Zodra het verdichtingsschip was verankerd werd het te verdichten gebied strooksgewijs in stappen verdicht.

Wanneer het schip op de goede positie lag met de spuds aan de grond, werden de vier naalden gelijktijdig in de bodem gebracht tot de gewenste diepte. Tijdens het stapsgewijs naar boven halen van deze naalden werd de grond om de naalden verdicht.

Zodra dit was voltooid werden de naalden weer opgehesen en werd het schip met behulp van de ankerdraden naar de volgende verdichtingspositie veresteld. Zo herhaalde zich de verdichtingscyclus totdat het bestrijkbare gebied op deze ankerpositie volledig was verdicht.

Hierna moest het schip van ankerpositie veranderen, zodat aansluitend op het vorige vak verder kon worden verdicht.

Het te verdichten grondgebied in de as van de sluitgaten had een breedte van 78 m'.

Deze breedte was te bestrijken vanuit één ankerpositie.

In de lengterichting werd deze strook verdeeld in vakken van ± 150 m lengte.

Het verdichtingsschip lag met zijn lengteas loodrecht op de as van de kering.

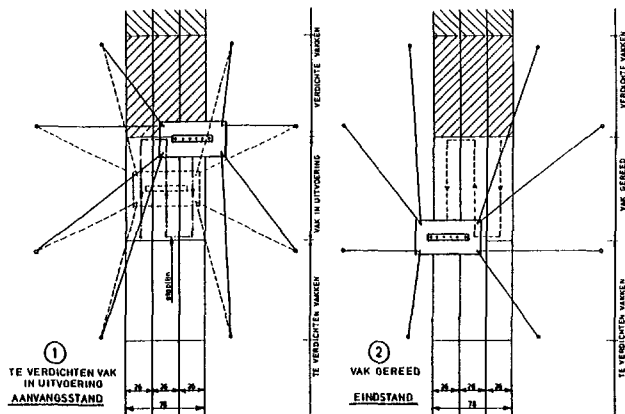
De strook van 78 meter werd verdeeld in drie stroken van 26 meter. De werkvolgorde was dan zodanig dat eerst één strook volledig werd verdicht in stappen van 4 m.

Hierna werd in de lengterichting veresteld naar de volgende strook waarna deze stapsgewijs werd afgewerkt (zie figuur 23 en 24).

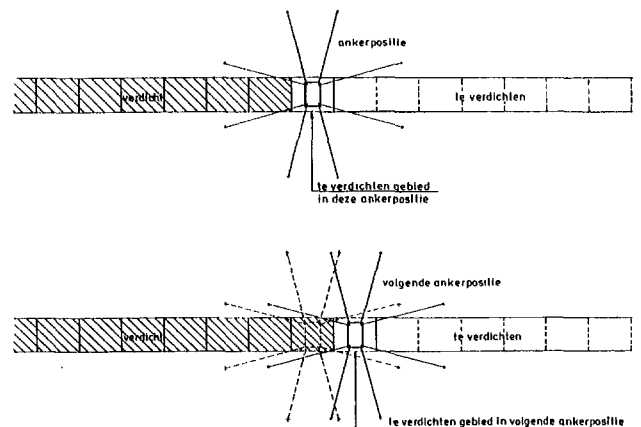
Zo ook de derde strook.

Op deze manier werd een zo groot mogelijk gebied bestreken voordat de ankers (draden) moesten worden verzet.

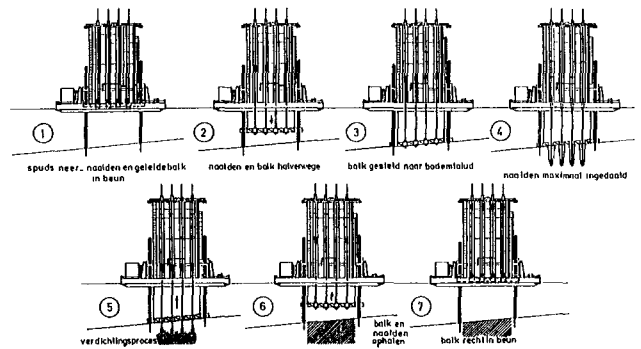
Na een eventuele verdichtingscyclus werd het schip verhaald naar de volgende verdichtingspositie en werden de



Figuur 23 Stapsgewijs verdichten



Figuur 24 Ankerposities



Figuur 25 Verdichtingscyclus

voor het verdichten benodigde systemen gecontroleerd op goede werking.

Zodra het schip gepositioneerd was en de spudpalen aan de grond stonden (bediening vanaf schippers-lessenaar) kon de verdichtingscyclus beginnen (sub 1 van figuur 25).

Voor het beginnen met de verdichtingscyclus werden eerst de waterdiepte, waterstand en te verdichten diepte evenals het bodemprofiel bepaald en ingesteld.

Vanaf de hoofdoperators-lessenaar werden de balk en de vier naalden tegelijkertijd tot op de bodem neergelaten met behulp van de synchroon bediening (sub 2 van figuur 25). Door middel van de individuele balkliërbedieningen kon de balk evenwijdig aan de eventueel hellende bodem worden gesteld (sub 3 van figuur 25).

Vanaf dit punt werd elke naald individueel bediend en begon de werkelijke bodemverdichting (bediening vanaf vier operator lessenaars).

Eerst werden de naalden tot de gewenste diepte de bodem ingetrild met behulp van de water/lucht spuitmonden onderaan de naald (sub 4 van figuur 25). Tijdens het zogenaamd "indalen" stond ook de bovenspoeling aan. Zodra de naald(en) op de juiste diepte was ingedaald werd de onderspoeling uitgezet en begon meteen het verdichten van het grondpakket ter hoogte van de resonator van de naald.

Tijdens het verdichten bleef de bovenspoeling aanstaan om grondtoevoer naar het resonatorgedeelte te verzekeren.

Zodra de verdichting van deze bodemlaag voldoende was gevorderd werd de naald  $\pm$  1 meter omhoog getrokken zodat een gedeelte van de resonator zich in "onverdicht" gebied bevond (sub 5 van figuur 25).

Dit laagsgewijze verdichten en trekken van de naald herhaalde zich in het algemeen totdat de resonator boven de bodem was en zich weer in de balk bevond (sub 6 van figuur 25).

Daarna werden vibrator en bovenspoeling stopgezet.

Tijdens de eigenlijke verdichtingscyclus werden een aantal procesgegevens simultaan geregistreerd op vier 4-kanaals penschrijvers.

Zodra alle vier naalden zich weer in de "balk" bevonden werd de balk met de naalden weer "synchroon" gehesen en eventueel evenwijdig aan het vlak van het schip gebracht totdat de balk zich weer in de beun van het schip bevond en de resonatorgedeelten van de naalden zich ongeveer ter hoogte van het dek bevonden om onder andere controle van de spuitmonden mogelijk te maken (sub 6 van figuur 25). Na het lichten van de spuds kon het schip weer verhaald worden naar een (eventuele) volgende verdichtingspositie of stand-by-positie.

## 7. Overzicht verloop procesvoering

### 7.1 Het verloop van het verdichtingsproces vanaf start as-verdichting

Op 2 april 1980 werd begonnen met het verdichten in de as ter plaatse van pijler H16. Hierbij werden voor de procesvoering de onderstaande regels vastgesteld:

- horizontale stapafstand 5 m
- 2 motorunits per naald; slagkracht vibrator, 1200 kN bij  $f = 25$  Hz
- onderspoeling tijdens indalen: naar behoefte
- bovenspoeling onder 6 à 7 m - mv; ca. 1,5 m<sup>3</sup>/min boven 6 à 7 m - mv: ca. 0,5 m<sup>3</sup>/min
- maximum vermogen voor start trekken: 2 x 90 kW (nominaal vermogen = 60 kW); indien het maximaal vermogen niet bereikt werd een maximum verdichtingstijd van 10 minuten aangehouden
- verticale stapafstand 1 m

Door deze procedure werden de electromotoren veelvuldig overbelast, waardoor thermische uitval optrad. Om het overbelasten van de motoren zoveel mogelijk te beperken werden de naalden zo snel mogelijk over 1 m' getrokken, hetgeen neerkwam op een treksnelheid van ca. 1,2 m/min. Uit de resultaten van het controle-onderzoek bleek dat de verdichting ter plaatse van H16 zowel aan de eerste en tweede verdichtingseis *niet* voldeed. Het na de verdichting uitgevoerde booronderzoek toonde echter aan dat de grondslag ter plaatse van H16 tot de vereiste diepte goed verdichtbaar moest zijn.

Met andere woorden: met de hiervoor genoemde procesvoering kon niet het vereiste verdichtingsresultaat worden bereikt.

Er werd daarom besloten om opnieuw naar de rand van de bodembescherming uit te wijken, om een aanvullend proefprogramma uit te voeren.

De eisen voor de verdichting bij de randen van de bodembescherming waren namelijk minder streng als ter plaatse van de pijlers, zodat de kans op het niet voldoen aan de verdichtingseisen daar veel kleiner was (het proefverdichten zou dan tegelijkertijd "productieverdichten" voor de rand bodembescherming zijn).

### 7.2 Alternierend verdichten

Uit de resultaten van de eerste proefperiode bleek dat de invloed van de trekwijze van de trilnaalden en de grootte van de slagkracht mogelijk van grote betekenis konden zijn op het verdichtingsresultaat.

Ter plaatse van de oostelijke rand van de bodembescherming in de stroomgeul Hammen werden daarom proefvak-

ken ingericht waar de invloed op het verdichtingsresultaat van de volgende procesgrootheden werd onderzocht:

- het langzaam trekken van de trilnaalden over een afstand van 1 m (ten opzichte van snel trekken);
- het in de bovenste 7 m verminderen van de trekafstand tot 0,5 m (in plaats van 1 m);
- het zogenaamd alternerend verdichten;
- het verminderen van de slagkracht van 1200 kN naar 1100 kN om meer tijd te krijgen voor het verdichten.

Hierbij werd nog steeds als vermogensgrens 2 x 90 kW toegepast.

Uit de resultaten van deze aanvullende proefperiode (doc 2) was de verwachting dat alleen met de zogenaamde alternerende verdichtingsmethode aan de voor de pijlers gestelde verdichtingseisen kon worden voldaan.

Hierbij werden -door de gevolgde procedure in de onderste te verdichten grondlagen- de motoren tot ongeveer 120-150% van het nominaal vermogen belast tijdens de verdichtingsfase; tijdens de trekfase was de belasting van de motoren 150-200% van het nominaal vermogen.

Er trad dan ook veelvuldig thermische uitval van de motoren op. De maximaal toepasbare horizontale stapafstand bedroeg 4 m (in relatie tot het halen van de verdichtingseisen).

De methode van het alternerend verdichten ziet er als volgt uit:

#### *Tot 6 m beneden het maaiveld*

- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 2 x 90 kW (150% nominaal) per motor met een minimum van vier minuten. Bij de gestelde minimum tijd werd menig keer een vermogen bereikt van 2 x 100 kW (200% nominaal). Daarna 1 m' trekken.
- Indien het opgegeven vermogen van 2 x 90 kW niet gehaald wordt, dan maximaal tien minuten verdichten. Daarna 1 m' trekken.

#### *Vanaf 6 m beneden het maaiveld*

(het alternerend proces)

##### *1e stap*

- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 2 x 90 kW met een minimum van vier minuten.
- Indien het opgegeven vermogen van 2 x 90 kW niet werd gehaald, werd maximaal zes minuten verdicht.
- Daarna de naald een halve meter laten vieren (combinatie Deico - standaardwijzer). Afhankelijk van diepte en weerstand zakte de naaldpunt 0 - 0,5 m.

##### *2e stap*

- Verdichten tot een opgegeven vermogen van 2 x 90 kW

met een minimumtijd van vier minuten. Omdat na het zakken van de naald het vermogen snel opliep werd meestal een minimumtijd van twee minuten gehanteerd.

- In de bovenste meters (2 meter) werd bij het niet halen van het vermogen maximaal zes minuten verdicht.
- Daarna 1 meter trekken.

Vervolgens herhalen 1e en 2e stap.

Uit de resultaten van de proefperiode bleek verder dat het verkleinen van de verticale stapafstand in de bovenste te verdichten grondlagen van 1,0 m naar 0,5 m geen verbetering in de kwaliteit van de verdichting gaf.

Het langzaam trekken van de trilnaalden in plaats van snel trekken had een positieve invloed op het verdichtingsproces.

Uit het voorafgaande blijkt dat de electromotoren bij toepassing van twee units per vibrator veelvuldig sterk werden overbelast bij de gestelde vermogensgrens, hetgeen een vermindering van de levensduur zou geven.

Voor het bereiken van de verdichtingseisen bij een bepaalde stapafstand is echter een bepaald vermogen nodig.

Bij twee units per vibrator zou dit overbelasting van de motoren tot ver boven het nominale vermogen betekenen. In juni 1980 werd daarom besloten tot de aanschaf van een derde motorunit per naald, waardoor het gevraagde vermogen nu door drie in plaats van door twee units kon worden geleverd.

Op 30 juni 1980 is de Mytilus teruggegaan naar de as van de stroomgeul Hammen.

### 7.3 Verdichting pijlers as stroomgeul Hammen met twee units per vibrator

In afwachting van de levering van de derde motorunit werd in de as van de stroomgeul Hammen met de volgende procesvoering gewerkt:

- horizontale stapafstand 4 m ter plaatse van de pijlers;
- vanaf diepste punt van de verdichting tot ca. 6 à 7 m beneden het maaiveld trilnaalden over 1 m' trekken nadat vermogensgrens was bereikt; vanaf 6 à 7 m beneden het maaiveld alternerend verdichten;
- ten einde aan de verdichtingseisen te kunnen voldoen, lag tijdens de verdichtingsfase de vermogensgrens op ca. 120-125% van het nominaal vermogen (traject beneden 6 à 7 m beneden het maaiveld);
- slagkracht 1100 kN in plaats van 1200 kN.

Met bovenstaande procesvoering werden de pijlers H2 t/m H5 verdicht. Uit het ter plaatse van deze pijlers uitgevoerde controle-onderzoek bleek dat de pijlers H4 en H5 wel, en H2 en H3 niet aan de verdichtingseisen voldeden.

Uit de resultaten van ter plaatse van H2 en H3 uitgevoerde continuboringen bleek dat het niet voldoen aan de verdichtingseisen het gevolg was van een voornamelijk uit kleistukken bestaande, vrijwel niet verdichtbare grondlaag (ca. 1,25 m dikte), die zich op ongeveer 4 à 5 m beneden het niveau onderkant voetplaat pijler bevond (doc. 3).

### 7.4 Horizontale stapafstand bij drie units per vibrator

Op 26 september 1980 werden de eerste twee trilnaalden voorzien van een derde motorunit. Op 10 oktober 1980 gebeurde dit met de andere twee trilnaalden. Op dit tijdstip startte een proefprogramma, om te kunnen nagaan of een grotere horizontale stapafstand dan 4 m zou kunnen wor-

den toegepast (met handhaving van de alternerende verdichtingsmethode).

Doordat er per trilnaald een derde motorunit bijgekomen was, werd het beschikbaar nominaal vermogen vergroot. Bij de drie units per vibrator werd de trilprocedure dan ook zodanig gewijzigd, dat de motoren slechts tot maximaal 15% boven nominaal vermogen werden overbelast, en dan nog gedurende een korte periode.

Hierdoor trad er geen c.q. sporadische thermische uitval van de motoren op. Ten opzichte van twee units per vibrator (met 120-150% belasting ten opzichte van nominaal vermogen tijdens verdichtingsfase) lag het totale toegepaste maximale vermogen van deze drie units per vibrator wat hoger.

Gezien het wat grotere beschikbare en toelaatbare vermogen dat met drie units per vibrator kon worden toegepast, werd de mate van verdichting onderzocht met deze drie units per vibrator bij een horizontale stapafstand van respectievelijk 3,75 m, 4 m en 5 m (doc. 4). Hiertoe werd een drietal proefvakken ingericht, gelegen tussen de pijlers H5/H6 en H6/H7. De resultaten van dit onderzoek waren als volgt:

horizontale stapafstand (m)	gewogen conusweerstand ter plaatse van zwakste punt verdichting (MN/m <sup>2</sup> )
3,75	ca. 22 - 24
4	ca. 14,5
5	ca. 9

Gezien de gewogen waarden bij een horizontale stapafstand van 5 m werd geconcludeerd dat met deze stapafstand bij lange na niet aan de eerste verdichtingseis zou worden voldaan.

De gewogen waarden bij een horizontale stapafstand van 4 m lagen even boven de in de 1e verdichtingseis gestelde grens (13 MN/m<sup>2</sup>). De conclusie was dat ook bij toepassing van drie units per vibrator, om aan de verdichtingseis te kunnen voldoen, de maximale horizontale stapafstand rond de 4 m zou moeten zijn.

### 7.5 Verdichten met drie units per vibrator

Na het gereedkomen van het proefprogramma werd in november 1980 verder gegaan met het verdichten van de pijlervakken.

Hierbij werd de volgende procesvoering aangehouden:

*Tot 6 m maaiveld beneden het maaiveld*

- Verdichten tot een maximum vermogen van 3 x 70 kW (115% nominaal); dit vermogen werd menig keer binnen een halve minuut bereikt.

Daarna 1 m' trekken.

- Indien het maximum vermogen van 3 x 70 kW niet werd gehaald, werd maximaal 10 minuten verdichten.

Daarna 1 m' trekken.

*Vanaf 6 m beneden het maaiveld tot maaiveld*

(alternerend proces)

*1e stap*

- Verdichten tot een maximum vermogen van 3 x 70 kW.
- Indien het maximum vermogen van 3 x 70 kW niet werd gehaald, werd maximaal zes minuten verdicht.



- Daarna naaldpunt een halve meter laten vieren (combinatie Deico - standaardwijzer). Afhankelijk van diepte en weerstand zakte de naaldpunt 0 - 0,5.

#### 2e stap

- Verdichten tot een maximum vermogen van 3 x 70 kW. Omdat na het zakken van de naald het vermogen snel opliep (vooral in de onderste meters) was de minimum verdichtingstijd ongeveer 1/2 minuut.
- Bij het niet halen van het vermogen werd vooral in de bovenste meters maximaal 6 minuten verdicht.

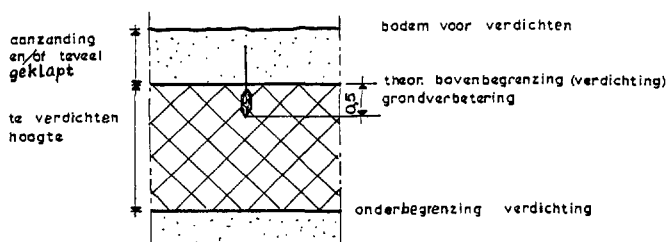
Daarna 1 m<sup>3</sup> trekken.

Vervolgens herhalen 1e en 2e stap.

Met behulp van deze procesvoering zijn achtereenvolgens de pijlvakken H10, H11, half H9, S17, S16, S15, half S14 en S3 verdicht.

### 7.6 Optimalisatie van het kwantitatieve verdichtingsproces

Als eerste optimalisatie werd het invoeren van een bovenbegrenzing voor de verdichting toegepast. Ter plaatse van verschillende pijlvakken trad namelijk aanzanding op, waardoor de bodem boven de theoretische begrenzing van de uitgevulde cunetten kwam te liggen. Deze theoretische bovenbegrenzing van de grondverbetering was gerelateerd aan een aantal uitgangspunten (waaronder inklinking ten gevolge van verdichting en "onverdichtbare" bovenlaag van 1 m dikte (zie figuur 26).



Figuur 26 Doorsnede van te verdichten bodem

Gedurende de laatste verdichtingsstap viel het niveau onderkant resonator niet boven het niveau 0,5 m beneden bovenbegrenzing verdichting. Na deze laatste verdichtingsstap werden de naalden al trillend uit de in feite te veel aanwezige grond getrokken.

### 7.7 Optimalisatie van het verdichtingsproces

De alternerende verdichtingsmethode (van ca. 6 à 7 m beneden het maaiveld) nam veel tijd in beslag, wat resulteerde in lange cyclustijden (ca. 3,5 uur).

Zoals in 7.5 reeds is vermeld werd er alternerend verdicht indien de vermogensgrens niet binnen zes minuten werd bereikt.

In dit geval werden de naaldlieren gevierd totdat de deïningscompensatoren max. 0,5 m waren uitgestuurd.

Deze handeling gebeurde op het oog en was zodoende niet als nauwkeurig te classificeren. Ten gevolge van het vieren van de naaldlieren zakten de trilnaalden weer in de reeds verdichte grond.

De mate van inzakking was afhankelijk van de graad van de reeds bereikte verdichting; na inzakking was niet nauwkeurig te bepalen op welk niveau de naaldpunt zich bevond.

Door deze onnauwkeurige maatvoering is gebleken dat bij verschillende cycli gedurende het alterneertraject teveel verticale stappen zijn gemaakt, mede omdat het verticale stap trekken uitging van het na het alterneren bereikte niveau.

Om de maatvoering tijdens het alterneerproces nauwkeurig te maken, kwamen er eind februari 1981 zogenaamde displays aan boord van de Mytilus, waarop de naaldpunt diepte digitaal (in m ten opzichte van NAP) was af te lezen. Met behulp van deze instrumenten werd het mogelijk gemaakt om tijdens het alterneren vrij nauwkeurig de onderkant van de trilnaald ten opzichte van NAP af te lezen. Tegelijkertijd was het hierdoor mogelijk om in vaste meter stappen ten opzichte van NAP te werken (onafhankelijk van de inzakking tijdens alterneren), waardoor ook de invloed van de waterstanden op de verticale stapgrootte werd geëlimineerd. Op deze wijze konden er niet meer verticale stappen dan strikt noodzakelijk was, worden gemaakt.

Nadat de bovengenoemde displays aan boord waren werd in de laatste week van februari 1981 een proefprogramma uitgevoerd, met als doel een verdere optimalisatie van het verdichtingsproces.

In een drietal proefvakken ter plaatse van S3/S4 werden drie verschillende procesvoeringen onderzocht.

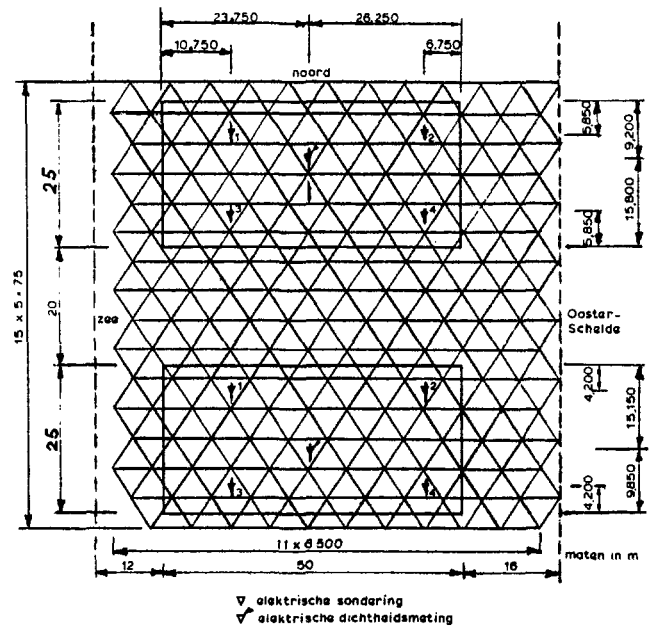
Omdat in de stroomgeul Hammen een andere grondslag aanwezig was, werd besloten dezelfde procedures te herhalen in het gebied tussen de pijlers H13 en H14 om het effect van deze grondslag op het proces te kunnen evalueren.

## 8. Verdichtingscontrole

De verdichtingscontrole werd uitgevoerd met sonderingen (elektrische ingesnoerde conus) en elektrische dichtheidsmetingen. Om een goed beeld te kunnen krijgen (gerelateerd aan de verdichtingseisen) over de mate van verdichting, werden per pijler vier sonderingen en één dichtheidsmeting uitgevoerd. De situering van deze meetpunten is in figuur 27 weergegeven.

De meetpunten waren gesitueerd op het zwaartepunt van een verdichtingsdriehoek. Voor de verdichte grondslag tussen de pijlers (strook van 20 m lengte) werd geen controleonderzoek uitgevoerd, omdat de mate van verdichting hier ter plaatse niet gerelateerd was aan de strenge verdichtingseisen welke golden onder de pijlers. Tussen de pijlers werd hetzelfde verdichtingsstramien toegepast als voor de pijlers zelf, daar kon dus dezelfde mate van verdichting worden verwacht.

Het grondonderzoek vond plaats vanaf de zeebodembodem. Hiertoe werd gebruik gemaakt van een bemande duikerklok, welke vanaf de geoponton Johan V werd gelanceerd (zie deelnota 6).



Figuur 27 Overzicht controle verdichtingsonderzoek

---

## 9. Evaluatie

---

### 9.1 Werktuigkundige problemen en oplossingen

Van de tijdens de bedrijfsvoering opgetreden werktuigbouwkundige problemen kan de volgende onderverdeling worden gemaakt:

- \* trekkoppen
- \* vibratoren
- \* adaptors
- trilnaalden
- \* korte- en lange schachten
- \* resonatoren met punten en nozzles
- \* water- en luchtleidingen
  
- \* geleidebalk en balklieren
- \* spudpalen
- \* ankerlieren
- \* reparatie voorzieningen aan boord

### 9.2 Conclusie

In het algemeen kan worden gesteld dat het verdichtingsschip *Mytilus* redelijk aan de verwachtingen heeft voldaan. Door het werken met de *Mytilus* is het inzicht in de mogelijkheden met het toegepaste verdichtingsstelsel (zowel op het land als te water toepasbaar) vergroot.

Gedurende het eerste jaar van de bedrijfsvoering zijn aanloopmoeilijkheden opgetreden, met name bij de trilnaalden. Gedurende de ontwerpfase was vrij weinig bekend over de levensduur van de verschillende trilnaaldonderdelen, met name het gedrag hiervan onder dynamische belasting.

Gezien de ondervonden moeilijkheden kan daarom worden vastgesteld dat in de ontwerpfase over de levensduur vrij optimistische uitgangspunten zijn gehanteerd.

Met de *Mytilus* is veel nieuwe ervaring en know-how opgedaan:

- \* De ontwikkeling van het trilsysteem voor Oosterschelde-omstandigheden
  - grootschaligheid
  - het tegelijk met vier naalden verdichten
  - de belasting van de naalden bij werken in grote waterdiepten (30 m) en onder getijomstandigheden
  
- \* Inzicht in de slijtage-aspecten van de schachten, resonatoren, adaptors en vibratoren.
  - filosofie met betrekking tot het benodigd aantal reserve-onderdelen als functie van het aantal draaiuren
  - preventieve onderhoud
  - benodigdheden reparatiewerkplaats
  
- \* Wijze waarop moet worden verdicht om een bepaalde verdichtingsgraad te bereiken.
  - toe te passen procesvoering in de verschillende zandsoorten
  - systeem van lucht- en watertoevoer
  - verdichtingsgraad als functie van respectievelijk de horizontale stapafstand, procesvoering en grondsoort (fijn- en grof zand, schelp- en slibhoudend zand).

Onderdeel	Belangrijkste opgetreden problemen	Oplossingen
trekkoppen (hoofdstuk 8.1)	Scheurvorming in de ophangwagen t.p.v. materiaalovergang	Uithollen van de platen t.p.v. materiaalovergang
vibratoren (hoofdstuk 8.2)	Veel thermische uitval t.g.v. overbelasting van de electromotoren (aanvang verdichtingsproces)	Uitbreiding van het vibratorunit aantal van 2 naar 3 stuks en aanpassing van de slagkracht tot 120 tf (i.p.v. 180 tf)
	<i>Electromotoren</i> Het niet tegen de gebruikte olie bestand zijn van het isolatie materiaal om de wikkelingen van de stators	Aanbrengen van een kunstharslaag; hierin traden scheurtjes op waardoor diverse motoren voortijdig moesten worden overhaald
	Kortere levensduur dan verwacht van de hoofdlagers van de vibratorunits	Vernieuwen van de lagers
adaptors (hoofdstuk 8.3)	Scheurvorming in het conische gedeelte	Aanbrengen van flinke afronding aan de onderzijde van de steunnokken
	Scheurvorming in de hoek t.p.v. pijpbevestigingsplaat	Wijziging van de constructie van het bovendeele van de adaptor
schachten (hoofdstuk 8.4)	Scheurvorming t.p.v. de steunnokken	Maken van geleidelijke overgang; toepassen van betere lasmethode
	Scheurvorming in de rondlasnaden	Optimalisatie lasmethode, voor- en nabewerking lassen
resonatoren (hoofdstuk 8.5)	Problemen m.b.t. de water- en luchtpijpen, lucht- en jetpijpjes, paspennen, nozzles	Sterk vereenvoudigde gelaste (gesloten) punt; voor details zie hoofdstuk 8.5)
water- en luchtleidingen (hoofdstuk 8.6)	Losraken van de pijpen t.p.v. de bevestiging in de flensplaten en de rubberen schijven ter fixatie van de pijpen in de schachten	Pijpen vervangen door slangen, waardoor tevens de rubberen schijven vervielen
geleidebalk en balklieren (hoofdstuk 10.2)	Electromotor achterste balklier Zeevasten	Opnieuw gewikkeld Vereenvoudigd door aanbrengen van pneumatische zeevast inrichting
spudpalen (hoofdstuk 10.3)	Het haken van de geleidebalk onder de spuds tijdens het hijsen	2,5 m inkorten van de doorn van de spudpalen
	Haarscheurtjes in de vaste vang van de spudhef installatie	Uitslijpen en lassen
ankerlieren (hoofdstuk 10.4)	Doorgebrande ankerwikkelingen en ingebrande collectoren t.g.v. overbelasting electromotoren	Terugbrengen maximale toerental electromotoren van 1500 naar 1100
	Onvoldoende smering van de hoofdlagers van de lieren	Aanbrengen van aparte eigen aandrijving van de vetsmeerapparatuur
reparatievoorzieningen aan boord (hoofdstuk 10.5)	Het te licht uitgevoerd zijn van de verticale hydraulische cilinders van de zwaai bomen	Vervanging van de cilinders door een zwaarder type

---

## 10. Documentatielijst

---

- Doc. 1 = 24EGRO-M-80142  
Evaluatienota grondverbetering as
- Doc. 2 = 27 Verd-M-81016  
Verlengde aanvangsperiode Mytilus
- Doc. 3 = 27 VERD-N-83002  
Evaluatienota verdichten deelnota 2
- Doc. 4 = 2 PROBU-M-80282  
De invloed van de stapafstand op de te bereiken mate van verdichten

### **Overige documentatie:**

- 27 VERD-N-83001, Evaluatienota verdichten, deelnota 1 (Verdichtingsschip Mytilus)
- 27 VERD-N-83003, Evaluatienota verdichten, deelnota 3 (evaluatie uitvoeringsaspecten)
- 2 ETRI-N-81003, Trilnaalden nota, Polytechnische tijdschriften nr. 5 (1981) en nr. 1 (1984).

---

## Deelnota 8: Dustpanzuigen



# Inhoud

<b>1</b>	<b>Inleiding</b>	<b>200</b>
<b>2</b>	<b>Probleemstelling</b>	<b>201</b>
2.1	Probleemanalyse	
<b>3</b>	<b>Ontwikkeling dustpanzuigmond</b>	<b>202</b>
3.1	Inleiding	
3.2	Onderzoeksfase	
3.2.1	Algemeen	
3.2.2	Randvoorwaarden en criteria	
<b>4</b>	<b>Fysisch modelonderzoek</b>	<b>203</b>
4.1	Algemeen	
4.1.1	Dustpanonderzoek WL de Voorst	
4.1.1.1	Conclusies	
4.1.2	Proeven te Sliedrecht	
4.1.2.1	Dustpankop ("stekend") Cardium	
4.1.2.2	Opschoonkop ("afgesteund") Cardium	
4.1.2.2.1	Zuigproces grof opschonen	
4.1.2.2.2	Zuigproces fijn opschonen	
4.1.2.3	Opschoonkop ("afgesteund") Macoma	
4.1.2.3.1	Zuigproces grof opschonen	
4.1.2.3.2	Zuigproces fijn opschonen	
<b>5</b>	<b>Mathematisch modelonderzoek</b>	<b>208</b>
5.1	Algemeen	
5.2	Mathematisch model van bewegingen Cardium	
5.3	Conclusies	
<b>6</b>	<b>Operationele fase</b>	<b>210</b>
6.1	Algemeen	
6.2	Functionele verbanden	
6.2.1	Relatie mors met produktie en jetimpuls	
6.2.1.1	Conclusie	
6.2.2	Invloed van de jethoek	
6.2.3	Invloed scheepsbewegingen	
6.2.4	Invloed zuigparameters	
<b>7</b>	<b>Conclusies</b>	<b>212</b>
<b>8</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>213</b>



---

# 1. Inleiding

---

Ten behoeve van de opbouw van de fundering en de drempel van de stormvloedkering moesten baggerwerkzaamheden worden verricht, die het vlak en zandvrij opleveren van de verschillende bouwfasen tot doel hadden.

In alle fasen van de fundering- en drempelopbouw was de kans op aanzanding aanwezig.

Bij de voortschrijdende opbouw van de drempel en de voortgang van de totale werkzaamheden (lees: vernauwing doorstroomprofiel), nam de kans op aanzanding echter af.

In een vroeg stadium moest, met het oog op de bouw van de Cardium en de Macoma, onderzoek worden verricht naar de manier waarop zand, binnen zeer nauwe toleranties, kon worden verwijderd. Tevens speelde hierbij de breedte van het op te schonen gebied (tot 44.0 m) een grote rol.

Bij dit onderzoek moest er tevens van worden uitgegaan dat al het zand moest worden verwijderd.

Het meest geëigende materieel daarvoor leek een dustpanzuiger (zie ook deelnota 6B).

Voor wat de dustpanzuiger betreft richtten zich de vragen tijdens dit onderzoek op de problematiek met betrekking tot het opschonen van de fundatielaag voor het leggen van de blokken-tegelmat en het opschonen van de blokken-tegelmat vlak voor het plaatsen van de pijlers. Tevens moest het opschonen van breuksteen worden bekeken (doc. 1).

---

## 2. Probleemstelling

---

De probleemstelling met betrekking tot de inzet van een dustpanzuiger kon voor de hierna volgende werkonderdelen als volgt worden geformuleerd.

Opschonen van de fundatielaag bestaande uit zeegrind:

- Kan met een dustpanzuiger selectief worden gezogen, zodat zand van 100 - 200  $\mu\text{m}$  van materiaal van 2 - 32 mm wordt verwijderd?
- Welke nauwkeurigheid is hierbij te bereiken, rekening houdend met een aanwezige onvlakheid van de fundatielaag?
- Kan door het opschonen de vlakheid van de fundatielaag in gunstige of ongunstige zin worden beïnvloed?

Opschonen van breuksteen:

- Kan met een dustpanzuiger selectief worden gezogen, zodat zand van 100 - 200  $\mu\text{m}$  van materiaal 2 - 200 mm wordt verwijderd?
- Welke nauwkeurigheid is hierbij te bereiken, rekening houdend met de aanwezige onvlakheid van de grove toplaag?
- Kan door het opschonen de vlakheid van de fundatielaag in gunstige of ongunstige zin beïnvloed worden?

Opschonen van een betonblokken-/tegelmat:

- Kan met een dustpanzuiger het bezonken zand van een blokkenmat worden verwijderd?
- Welke nauwkeurigheid is hierbij te bereiken, rekening houdend met een aanwezige onvlakheid van de fundatielaag?

### 2.1 Probleemanalyse

Bij proeven in het verleden is gebleken, dat de productiemogelijkheden met een dustpanzuigkop sterk worden bepaald door:

- breshoogte;
- zuigbaarheid van de grond; bij weinig doorlatend slijmhoudend zand is de dustpan niet bruikbaar.

Deze beide grootheden varieerden tijdens het werk in de Oosterschelde niet of zeer weinig, vanwege de gerealisierde grondverbetering die bestond uit schoon zand, zodat de productie van de dustpanzuiger van de Cardium en de Macoma aan de hand van reeds bekende gegevens kan worden bepaald.

Volgens Amerikaanse gegevens uit 1947 (doc. 2) betreffende de productie van een dustpanzuiger moest de zuigkop aan de volgende eisen voldoen:

- breedte (B): Hoogte (H) = 32 : 1
- jet afstand hart op hart 0,25 m

- nozzle opening ca. 0,03 m
- op beide uiteinden van de zuigkop jets, die een hoek van 90° met de verhaarrichting maakten.

De gegevens betreffende de jetdruk en jetdebiet waren minder duidelijk. Bij proeven van Bos Kalis bleek een snelheid in de zuigmond van ca. 1 m/s optimaal. Volgens de Amerikaanse gegevens was de verhouding van het oppervlak doorsnede zuigbuis: oppervlak doorsnede zuigmond = 1 : 4 optimaal; dus een snelheid in de zuigbuis van ca. 4 m/s.

De vormgeving van de zuigkop was door de Amerikanen ook uitgebreid onderzocht. Aan de hand van bovenstaande gegevens werd eenzelfde zuigkop als die tijdens dit onderzoek is gebruikt, ontworpen. De vormgeving van de zuigkop is geen onderwerp van onderzoek geweest.

Het onderzoek naar de werking van de dustpanzuiger richtte zich op het selectief zuigen van zand vanaf een fundatielaag en het vlakken ervan, waarbij de volgende grootheden varieerden:

- zuigdebiet
- verhaalsnelheid
- stand van de zuigkop
- jetdruk
- jetdiameter
- stand van de jets.

Eén van de belangrijkste factoren in de uiteindelijke nauwkeurigheid van het op te leveren niveau was de beweging van de kop. Deze bewegingen van de zuiger zijn in de operationele fase te beïnvloeden door het werktuigbouwkundig ontwerp, bijvoorbeeld deiningscompensatie of een zuiger op poten of door een beperking van de werkbaarheid (niet werken bij te veel golfslag). Om deze reden werd dit element van beweging van de kop uit de proeven gehouden, aangezien het meenemen van dit element ook proeftechnisch een complicatie betekende. Hetzelfde gold in principe voor de nauwkeurigheid van de positiebepaling van de kop, die in het operationele systeem bepaalde eigenschappen had, afhankelijk van de werktuigbouwkundige uitwerking.

---

## 3. Ontwikkeling dustpanzuigmond

---

### 3.1 Inleiding

Het dustpannen met een 44 m brede zuigmond was nog nooit vertoond.

Gecombineerd met de extreem hoge eisen aangaande de op te leveren vlakheid werd een omvangrijk onderzoek opgestart ten einde in eerste instantie de haalbaarheid en in tweede instantie de dimensioneringen en de techniek te bepalen.

In dit hoofdstuk wordt in chronologische volgorde de kennis van de baggertechniek beschreven tot en met het alleraatste gedustpande bed.

Zie voor een gedetailleerde materieelbeschrijving, bepaalde begrippen en de procesbeschrijvingen, de deelnota's 12 en 14 betreffende de funderingsmattenlegger "Cardium" respectievelijk de afvier- en opschoonponton "Macoma".

### 3.2 Onderzoekfase

#### 3.2.1 Algemeen

Voor de bestudering van de dustpankop is de volgende aanpak gevolgd:

- Bepaling van de beweging van de kop (significante amplitude en periode).
- Deze werden bepaald uit de natuurrandvoorwaarden (golven) via berekende overdrachtsfuncties. Afhankelijk van het systeem speelden de bres- en grondparameters hierin een al dan niet belangrijke rol.
- Inventarisatie van de bresparameters. Hierbij werd zowel de geometrie als de samenstelling van de bres in ogenschouw genomen.
- Analyse zuigproces.  
Voor de beoordeling werd zowel de haalbare productie als de optredende mors beschouwd. Het bewegen van de kop speelde hierin een zekere rol. Tevens moest het ontwerp van de zuigmond constructief haalbaar zijn. De optredende mors was in eerste instantie van minder belang, indien de grof-dustpanfase werd beschouwd. Hierbij ging het meer om de kwantiteit dan om de kwaliteit. Dit in tegenstelling tot de fijn-dustpanfase waarbij én kwantiteit én kwaliteit belangrijk waren.
- Cyclusonderzoek.  
Het cyclusonderzoek leverde criteria voor de beoordeling van het zuigproces, met name op het terrein van de benodigde productie.
- Analyse toleranties.  
De tolerantiebeschuwing leverde eveneens criteria voor de beoordeling van het zuigproces, met name voor de op te leveren vlakheid.

- Inventarisatie van de mogelijke maatregelen.

Indien het zuigproces niet aan de gestelde eisen voldeed, waren maatregelen noodzakelijk. Een inventarisatie van de mogelijke maatregelen was noodzakelijk omdat hiervoor eventueel onderzoek moest worden verricht, voordat de toepasbaarheid vaststond.

#### 3.2.2 Randvoorwaarden en criteria

Onderscheid werd gemaakt in hydraulische- en geometrische randvoorwaarden. De hydraulische randvoorwaarden hebben betrekking op stroom en golven.

Voor het grof dustpannen gold een stroombegrenzing  $u \leq 1,5$  m/sec vanwege de stroombelasting op het systeem.

In verband met ontgrondingen rondom de zuigmond gold in de fijn dustpanfase een stroombegrenzing  $u \leq 0,8$  m/sec.

Als grenswerkbaarheid werd een windgolfspectrum (zee-gang) met  $H_s = 0,75$  m en  $T_p = 5$  sec en een deiningspectrum met  $H_5 = 0,35$  m en  $T_p = 8$  sec gehanteerd ( $H_s$  = significante golfhoogte,  $T_p$  = piekperiode).

De geometrische randvoorwaarden hebben betrekking op de afmetingen en de samenstelling van de te verwerken bres, die in de grof dustpanfase uit zand en zeegrind bestond.

In de fijn dustpanfase (de kwaliteitsslag) bestond de bres voor een deel uit grind, dat als erosiebescherming op de grondverbetering was aangebracht en ten gevolge van het verdichten (*Mytilus*) deels onder het niveau van het funderingsbed kon zijn gezakt (fluïdisatie rondom de naalden).

Daarnaast waren de randen van de ondermatten in de erosiegebieden afgestort met grind, zodat bij het afzinken van de naastliggende ondermat een deel van dit grind voor de zuigmond kon komen. Zodoende kon de bres (gemiddelde hoogte 1,50 m) in de fijn dustpanslag voor circa 40% uit grind bestaan, dat niet gelijkmatig over de zuigmond was verdeeld.

Het zuigproces werd beoordeeld aan de hand van de kwaliteits- en kwantiteitscriteria.

De kwaliteitscriteria hadden betrekking op de (on)vlakheid van het opgeleverde bed. Hierbij was de dwarsscheefstand maatgevend. Hiervoor werd gesteld:

$\sigma_{dwars} = 3,1$  mm/m' (gemiddeld over de breedte).

De kwantiteitscriteria hadden betrekking op de benodigde productie.

Uitgegaan werd van een productie van 8000 m<sup>3</sup>/uur.

## 4. Fysisch modelonderzoek

### 4.1 Algemeen

Het fysisch modelonderzoek bestond - globaal bekeken - uit twee delen, te weten:

- a. dustpanonderzoek in WL de Voorst;
- b. de sluisproeven bij Volker Stevin in Sliedrecht:
  - dustpankop met "bot" mes;
  - dustpankop met "scherp" mes.

Naast dit onderzoeksprogramma werd gebruik gemaakt van de ervaringen met de Sliedrecht 27, tijdens het baggeren ten behoeve van de grondverbetering en van Ballast Nedam, tijdens proeven bij Alkmaar.

Hieruit werd geconcludeerd dat het in principe mogelijk was om een redelijk vlak bed te baggeren. Wegens onvoldoende registratiemogelijkheden werden de diverse procesparameters bepaald door middel van modelproeven.

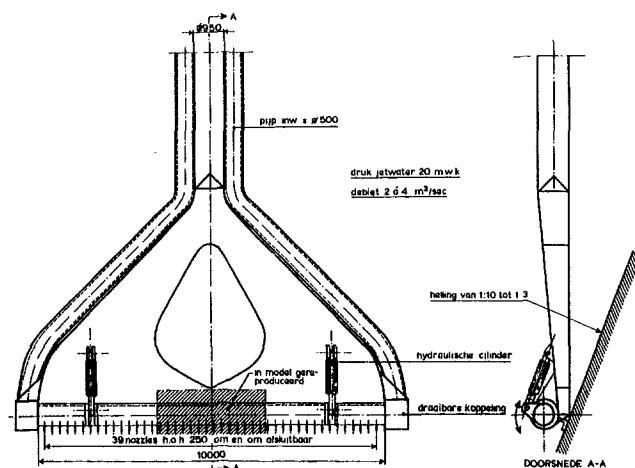
#### 4.1.1 Dustpanonderzoek WL de Voorst

Het onderzoek moest inzicht verschaffen in de werking van de dustpanachtige zuigmond, waarbij de eisen waren:

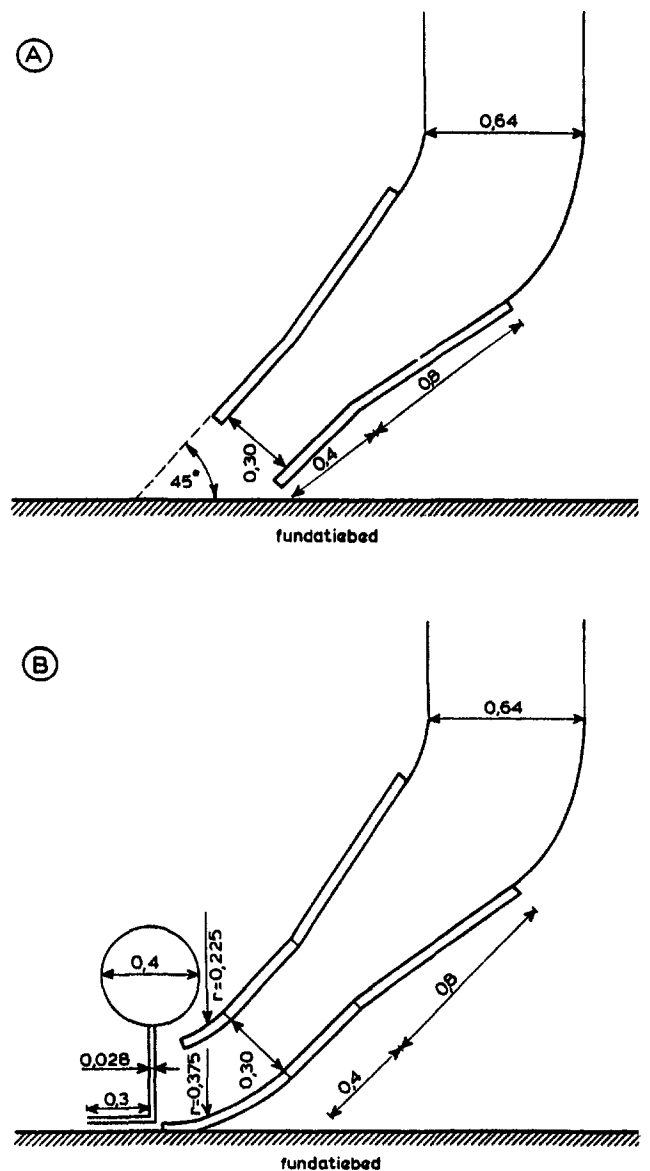
- het kunnen zuigen tot 35 m waterdiepte;
- het opleveren van een vlakke bodem;
- grote zandtransporten kunnen verwerken.

In de proevenseries werden de volgende parameters gevarieerd:

- zuigdebiet;
- verhaalsnelheid;
- stand zuigkop;
- jetdruk;
- jetdiameter;
- stand van de jets.



Figuur 1 Prototype zuigkop dustpan

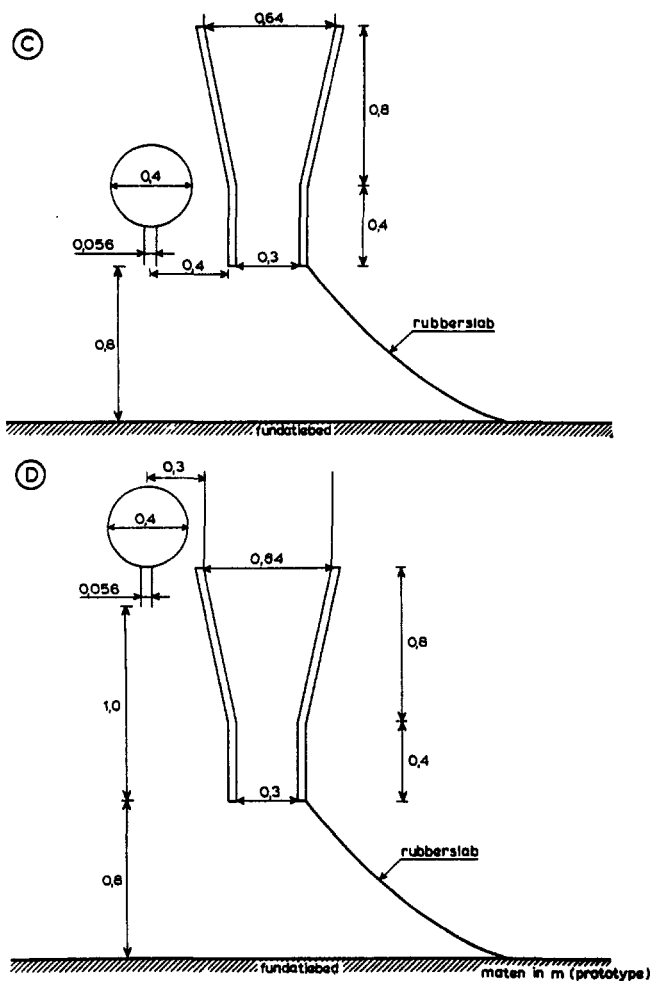


Figuur 2 Dwarsdoorsnede zuigkop type A en B

De proeven werden uitgevoerd bij een zuigdebiet van 4,5 m<sup>3</sup>/sec waarbij werd uitgegaan van een zuigkop met een breedte van 10,0m (zie figuur 1).

De in de praktijk onvermijdelijke bewegingen van de zuigkop werden in de proevenserie niet meegenomen.

Voor de inhoudelijke proeven zie het W.L. rapport (doc 1).



Figuur 3 Dwarsdoorsnede zuigkop type C en D

In deze deelnota wordt volstaan met de volgende (in het rapport opgenomen) eindconclusies, waaruit bleek dat het mogelijk was een vlak funderingsbed op te leveren.

Opschonen fundatielaag bestaande uit zeegrind:

- 1 Tijdens het onderzoek bleek de oorspronkelijk ontworpen zuigkop (fig.2, type A) zowel grind als zand onder de kop weg te zuigen. Gezien de instabiliteit van dit verschijnsel werd het raadzaam geacht de zuigmond aan te passen, waardoor het zuigproces stabiel werd. De aanpassing van de zuigmond bestond uit het verlengen van de onderlip, zodat de zuigopening nagenoeg verticaal kwam te staan (fig. 2, type B). Onder de kop wegzuigen van grind en zand kwam niet meer voor.
- 2 Het was niet mogelijk, zowel met als zonder gebruik van de jets, zand selectief van het fundatiebed van zeegrind af te zuigen.
- 3 Al het zand en grind van het fundatiebed gelegen boven het vlak waarlangs de onderlip van de zuigmond zich voortbewoog, werd opgezogen zonder dat er van jets gebruik werd gemaakt. Het fundatiebed werd schoon en vlak opgeleverd.
- 4 Wanneer het op te zuigen zandpakket erg dik was werd het zuigproces sterk beïnvloed door het trage bressen van het zand (onderdruk ter plaatse van de bres). Er werd dan weer grind onder de zuigkop weggezogen (instabiel zuigproces). Dat was tegen te gaan door het zand los te spuiten met behulp van de jets.
- 5 Het opschonen en vlakken van het fundatiebed kon in

één handeling uitgevoerd worden. De optimale instelling, waarbij al het zand werd weggezogen en het fundatiebed goed vlak werd achtergelaten was als volgt:

- zuigdebiet 4,5 m<sup>3</sup>/s (kopbreedte 10 m)
- jetdebiet 0,45 m<sup>3</sup>/s (kopbreedte 10 m)
- jetafstand h.o.h. 0,25 m
- jetdruk = 20 mwk
- jetdiameter 2,8 cm
- jetstand ten opzichte van horizontaal vlak 20° naar boven gericht
- verhaalsnelheid 3 m/min.

- 6 Het zand dat door de langsstroom (1 m/s) over de zuigkop werd getransporteerd en erachter werd afgezet, bedroeg 3 tot 5% van de totale op te zuigen hoeveelheid.

Opschonen breuksteen

- 1 Het bleek niet mogelijk met een verticaal geplaatste zuigmond en verticaal naar beneden gerichte jets (zie figuur 3, zuigkop type C zowel D) zand selectief van de toplaag van stortsteen te zuigen, zonder deze toplaag te verstoren.
- 2 Het was wel mogelijk het opschonen en het vlakken van de toplaag in één handeling uit te voeren met een onder 45° geplaatste zuigkop.

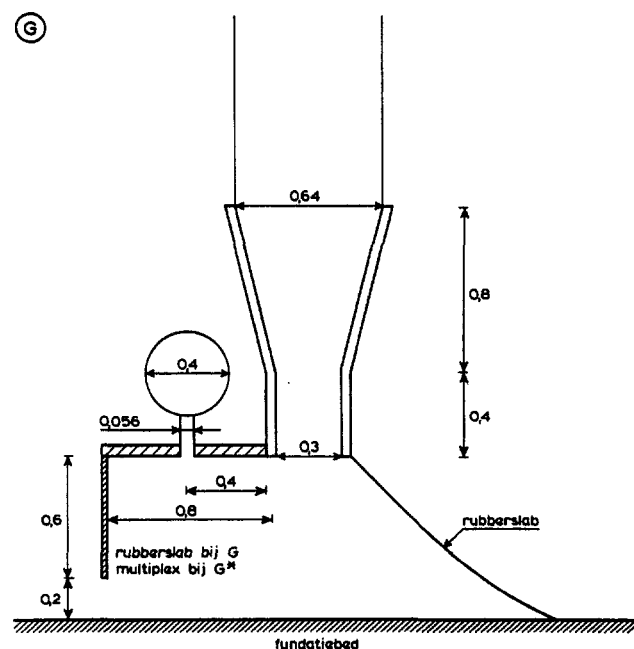
De optimale instelling, waarbij al het zand en grind boven het vlak waarlangs de onderlip van de zuigmond zich voortbewoog werd opgezogen, was:

- zuigdebiet 7,5 m<sup>3</sup>/s (kopbreedte 10m)
- jetdebiet 0,45 m<sup>3</sup>/s
- jetafstand h.o.h. 0,25 m
- jetdruk 20 mwk
- jetdiameter 2,8 cm

jetstand t.o.v. horizontaal vlak 20° naar boven gericht  
verhaalsnelheid 2 m/min.

De toplaag van stortsteen werd na afloop van de proef goed vlak achtergelaten.

- 3 Door de langsstroom (1 m/s) was het verlies aan zand over de zuigkop om en nabij gelijk aan het verlies bij het opschonen van de fundatielaag van zeegrind onder gelijke omstandigheden.



Figuur 4 Dwarsdoorsnede zuigkop type G

## Opschonen betonblokken-/tegelmat

1 Het bleek mogelijk een blokken-/tegelmat met behulp van drijvend materieel op te schonen (zuigmond maximaal tot 0,8m boven de mat).

De optimale instelling waarbij al het zand werd opgezogen was:  
vertikale zuigkop met vertikaal naar beneden gerichte jets (zie figuur 4, type G).

Aan de achterzijde van de zuigkop bevond zich een rubberslab en aan de voorzijde een in horizontale zin stijve constructie.

zuigdebiet	4,5 m <sup>3</sup> /s (kopbreedte 10m)
overdruk op de jets	5,0 mwk
jetdiameter	5,6 cm
jetdebiet	ca 1 m <sup>3</sup> /s
jetafstand h.o.h.	0,25 m
verhaalsnelheid	2 m/min.

2 Het zandverlies over de zuigkop, veroorzaakt door de langsstroom van 1 m/s, bedroeg 3 tot 5% van de totale op te zuigen hoeveelheid.

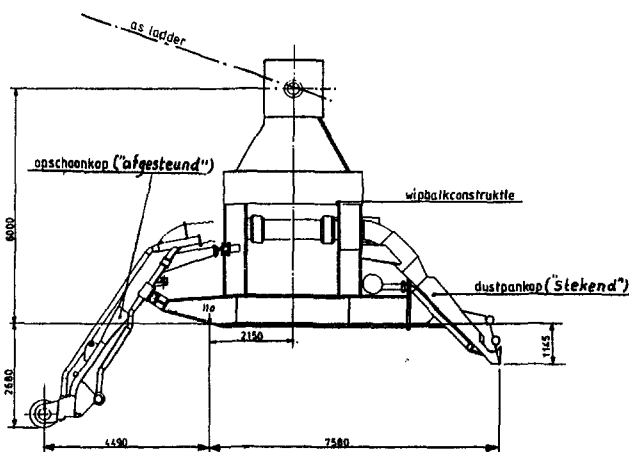
### 4.1.1.1 Conclusies

Uit de verrichte proeven in het Waterloopkundig Laboratorium in de Voorst bleek dat:

- het mogelijk was een vlak funderingsbed op te leveren;
- het niet mogelijk was, zowel met als zonder gebruik van jets, zand selectief van het fundatiebed bestaand uit zeegrond af te zuigen;
- het ook niet mogelijk was zand van breuksteen te verwijderen zonder de toplaag te verstoren;
- het verwijderen van zand van een blokken-/tegelmat mogelijk was, met de zuigmondopening op een afstand van maximaal 0,8 m boven de mat.

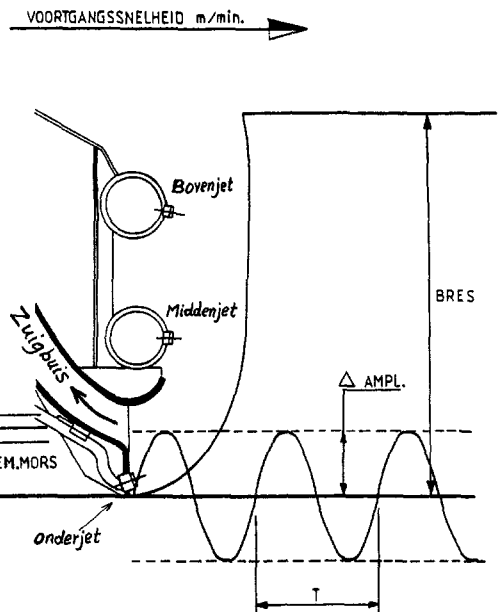
### 4.1.2 Proeven te Sliedrecht

4.1.2.1 Dustpankop ("stekend") Cardium (zie figuur 5 en 6)



Figuur 5 Dwarsdoorsnede wipbalk

Voordat de proeven in het laboratorium van Volker Stevin te Sliedrecht aanvingen waren de praktijkproeven van de Sliedrecht 27 (zie deelnota 6B) en de proeven bij Ballast te Alkmaar beëindigd. Vooral met de Sliedrecht 27 werd uitgebreid onderzoek gedaan.



Figuur 6 Definitie grootheden zuigproces ("stekende" dustpanmond)

Gevarieerd werden:

- jets;
- breshoogte;
- verhaalsnelheid,

en gekeken werd er naar:

- zijbressen;
- voorbres;
- mors;
- lierkrachten;
- productie;
- scheepsbewegingen;
- klei zuigen.

Geconcludeerd werd:

- dustpanproeven haalbaar;
- klei zuigen zeer moeizaam;
- vlakheid opgeleverde bed valt tegen.

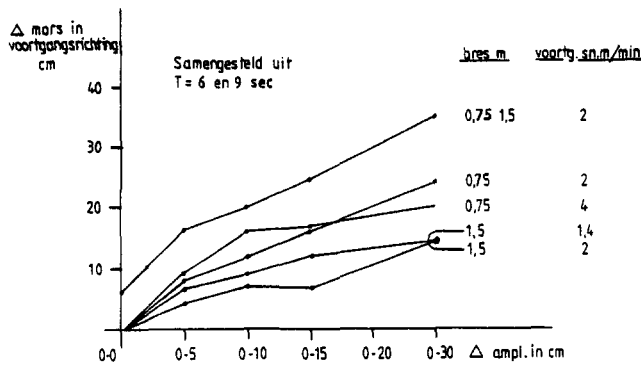
Punten van onderzoek in de serie proeven waren de effecten van bewegingen van de zuigkop (veroorzaakt door de scheepsbewegingen) op het verloop van het zuig- en jetproces, de optredende mors achter de kop en het in de bodem penetreren van het dustpanmes.

Een belangrijke verbetering was het aanbrengen van één of meer bovenjets waarmee het proces zodanig verliep, dat de bres vrijwel volledig in suspensie gebracht werd door jeterosie.

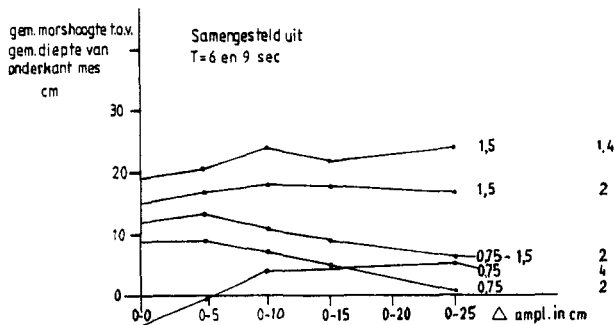
Bij een bepaalde breshoogte behoorde dan een bepaalde bovenjetspositie.

Na optimalisatie van de vorm van het mes werden met het gekozen mes een serie proeven uitgevoerd voor de vaststelling van de invloed van diverse parameters op de optredende mors achter de kop.

De figuren 7 en 8 geven de resultaten van de verwerking van alle proeven. Figuur 7 laat de invloed van de kopamplitude (variërend van ampl. =0 tot een max. waarde) op de mors zien. In de amplitudeband zitten alle bewegingen van 6 en 9seconden. De diverse lijnen zijn getekend voor diverse bres- en voortgangssnelheidswaarden. Figuur 8 geeft de "gemiddelde" morshoogte ten opzichte van de gemiddelde stand van de onderkant van het dustpanmes.



Figuur 7 Invloed beweging mes op mors = (qua benaming, wel andere grafiek)



Figuur 8 Invloed beweging mes op mors

In figuur 6 zijn de gebruikte grootheden nader gedefinieerd.

#### 4.1.2.2 Opschoonkop ("afgesteunde") Cardium (zie figuur 5).

Het mechanica model van de Cardium met afgesteunde kop verschilde weinig van het model met stekende kop (doc. 3).

Er waren in de grofopschoonfase evenwel geen grondreacties zodat de bewegingen van de ponton gelijk waren aan de vrijhangende stekende kop.

Omdat de afgesteunde kop geen verticale bewegingen toeliet, waren de bewegingen van de kop als gevolg van bewegingen van de ponton in het horizontale vlak gelegen (schrikken en gieren).

In X-richting was de significante amplitude 0,20 m (maximaal 0,40 m).

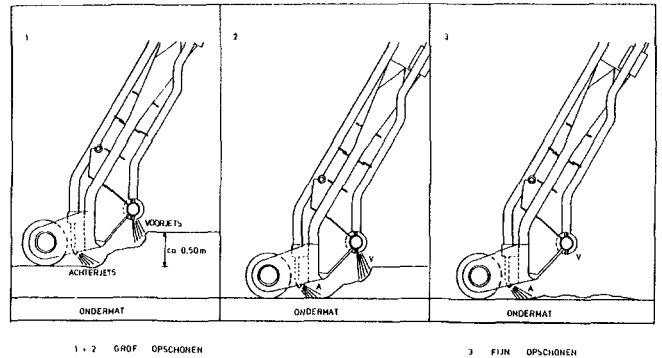
##### 4.1.2.2.1 Zuigproces grofopschonen

Tijdens de proeven werd de voornaamste bewegingscomponent van de koppen (te weten stampen van het schip) gesimuleerd.

Gezien het verloop van het zuig-/jetproces tijdens deze bewegingen mocht worden verwacht dat andere (kleinere) bewegingscomponenten het proces niet wezenlijk zouden beïnvloeden.

De productiecapaciteit bleek in tegenstelling tot de oorspronkelijke verwachting weinig gevoelig te zijn voor bewegingsamplitude (tot 30cm) en frequentie.

De bres van 0,5 à 1 m werd volledig door de voor- en achterjets (zie figuur 9) in suspensie gebracht. Overschrijding



Figuur 9 Jetinstelling Cardium bij opschonen

van de maximaal haalbare voortgangssnelheid betekende dat de kop tegen de bres ging "slaan".

Het uitzakken van de suspensie welke onder de kop met rol door naar achteren verdween leverde dan een bed waarbij een morshoogte ontstond van ongeveer 10 cm, gemeten ten opzichte van de gemiddelde stand van de kop.

Het proces verliep zodanig dat zelfs bij de grootste bewegingsamplituden van de kop ( $\pm 30$  cm) de rol nog nauwelijks de bodem raakte. Hoewel de proefopstelling geen grotere amplituden toeliet dan genoemde 0,3 m, mocht worden verwacht dat grotere amplituden nog steeds werkbaar situaties op zouden leveren, zeker bij extra reductie van de voortgangssnelheid (en dus productie).

De productie kon nog aanzienlijk worden vergroot door een extra rij jets (bovenjets) toe te passen. Dan konden bressen tot circa 1,5m worden verwerkt.

##### 4.1.2.2.2 Zuigproces fijnopschonen

In deze fijnopschoonfase werd alleen de achterjet (zie figuur 9) gebruikt welke dan een verhoogd debiet had in vergelijking met de opschoonfase. Materiaal 0,3 - 32mm werd volledig verwijderd.

Wanneer de afstand kop-mat (standaard 25 cm) werd verhoogd tot 45cm, door bijvoorbeeld een lokale kuil in de mat, werd de 100% opschoonkwaliteit niet meer gehaald en moest, indien niet harder werd gejet, op mors van 1 à 2 cm dik worden gerekend, waarbij voor- en achteruit rollen gunstiger was dan alleen eenparig bewegen.

Materiaal 0,3 - 32 mm werd in deze situatie slecht opgenomen.

De maximaal haalbare rol-amplitude was hierbij 24 cm.

#### Opmerking:

Het proces voor de grof- respectievelijk fijnopschoonfase was in de proeven verschaald door middel van Froude. Dit betekende dat de eroderende werking van de jets te kort was gedaan, ofdat in prototype beter werd geërodeerd.

Het gevolg was een hogere grofopschoon productie en een betere fijnopschoonkwaliteit.

Veiligheidshalve werd hiermee geen rekening gehouden.

##### 4.1.2.3 Opschoonkop ("afgesteund") Macoma (zie figuur 10).

Ten opzichte van het Cardium was het mechanica model van de Macoma aanmerkelijk simpeler omdat hier een grondreactie ontbrak, indien althans werd aangenomen dat de afgesteunde kop de grond niet of nauwelijks raakte (grofopschoonfase).

Het NSP (Nederlands Scheepvaartkundig Proefstation)

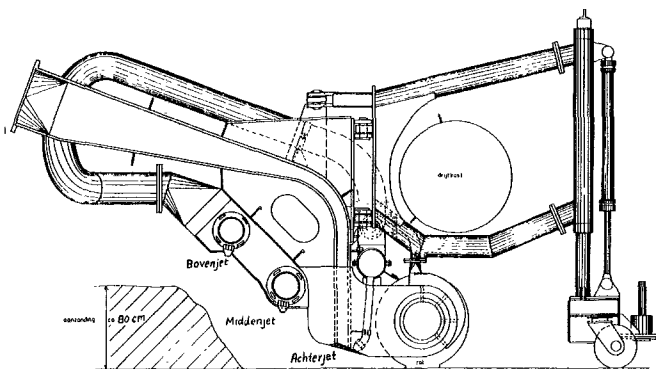
voerde de diffractie berekening uit en stelde de bewegingsvergelijkingen op. De Macoma was hierbij geschematiseerd tot een één-massa veersysteem. Omdat ook hier de afgesteunde kop in de opschoonfase geen verticale bewegingen toeliet waren de bewegingen van de kop, als gevolg van bewegingen van de ponton, in het horizontale vlak gelegen (translaties en rotaties).

#### 4.1.2.3.1 Zuigproces grof-opschonen

Het zuigproces is bestudeerd in de "goot" van Volker Stevin (tweedimensionaal model, breedte 0,60 m, lengteschaal  $n_L = 4$ ). Gekeken werd naar de productiecapaciteit van de Macoma afhankelijk van de bewegingen van de in deze fase niet afgesteunde koppen.

Tijdens de proeven is de voornaamste bewegingscomponent van de koppen (te weten stampen van het schip) gesimuleerd.

Gezien het verloop van het zuig/jet proces tijdens deze beweging werd verwacht dat andere (kleinere) bewegingscomponenten het proces niet wezenlijk zouden beïnvloeden.



Figuur 10 Zij-aanzicht zuigmond Macoma

den.

De productiecapaciteit bleek in tegenstelling tot de oorspronkelijke verwachting weinig gevoelig te zijn voor de bewegingsamplitude (tot 30cm) en de frequentie.

De bres van  $\pm 80$  cm werd volledig door de boven-, midden- en achterjets (zie figuur 10) in suspensie gebracht. Overschrijding van de maximaal haalbare voortgangssnelheid betekende dat de kop tegen de bres ging "slaan". Het uitzakken van de suspensie die onder de kop en de rol door naar achteren verdween, leverde dan een bed op waarbij een morshoogte ontstond van ongeveer 10 cm, gemeten ten opzichte van de gemiddelde stand van de kop.

Het proces verliep zodanig dat zelfs bij de grootste bewegingsamplituden van de kop ( $\pm 30$  cm) de rol nog nauwelijks de bodem raakte.

Hoewel de proefopstelling geen grotere amplituden toeliet dan genoemde 30cm mocht worden verwacht dat grotere amplituden nog steeds werkbaar zouden leveren, zeker bij extra reductie van de voortgangssnelheid (en dus productie).

#### 4.1.2.3.2 Zuigproces fijn-opschonen

Met de proeven is onderzocht of de afgesteunde kop, nu ook vóór- en achteruitrollend over de mat, vergeleken met andere proeven met alleen eenparig snelheid, verlies aan

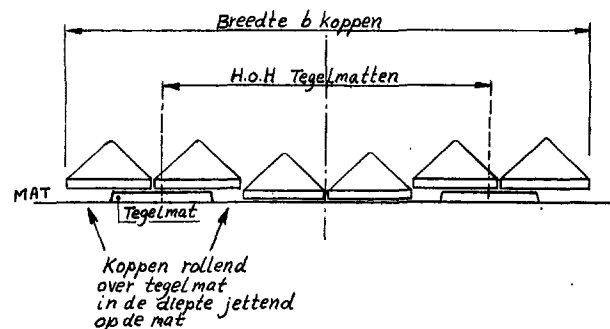
opschoonkwaliteit te zien gaf. Dit was niet het geval; er was sprake van effectiever opschonen bij bewegende kop. In deze fijnopschoonfase werd alleen de achterjet gebruikt, die een verhoogd debiet gaf ten opzichte van de grofopschoonfase. Materiaal 0,3-32 mm werd volledig verwijderd. Wanneer de afstand kop-mat (standaard 17 cm) werd verhoogd tot 30cm, door bijvoorbeeld een lokale kuil in de mat, werd de 100% opschoonkwaliteit niet meer gehaald, en moest, indien niet harder werd gejet, op mors van 1 à 2 cm dik worden gerekend (waarbij voor- en achteruitrollen gunstiger was dan alleen eenparig bewegen). De in verband met constructieve aspecten wenselijk geachte afstand van 20 cm werd nog wel acceptabel geacht. Grind 0,3-32 mm werd in deze situatie (afstand 30 cm) slechts opgenomen. Om in dit geval (kop verhoogd van 17 naar 30cm) dezelfde opschoneffectiviteit van de jets te verkrijgen, moest de druk met een factor 32 worden verhoogd bij dezelfde jet  $\emptyset$ , waaruit blijkt dat de opschoneffectiviteit snel afneemt met de hoogte van de kop boven de mat. De maximaal haalbare rolamplitude in de proef was hierbij 16 cm (prototype waarde).

#### Opmerking:

Het proces voor de grof-, respectievelijk fijn opschoonfase was in de proeven verschaald door middel van Froude (zie ook 4).

#### - Jetten vanaf 80 cm

De configuratie van afgesteunde koppen en bovenmat met tegelmatten was zodanig dat van de 6 afgesteunde koppen de buitenste 4 over een eventueel aanwezige tegelmat van maximaal 60cm hoogte rolden, waarbij deze koppen gedeeltelijk buiten de tegelmatten uitstaken en aldus maximaal 80 cm boven de bovenmat zweefden.



Figuur 11 Zuigmond Macoma bij aanwezigheid van tegelmatten

den (zie figuur 11).

Het ter plaatse aanwezig zand werd niet door de "te hoog staande" zuigmonden verwerkt en moest door middel van jetten worden verwijderd.



## 5. Mathematisch modelonderzoek

### 5.1 Algemeen

Uit het in paragraaf 4 beschreven onderzoek bleek, dat de kwaliteit van het dustpanproces in belangrijke mate werd beïnvloed door de beweging van de zuigkoppen.

Daarnaast waren de bewegingen van de Cardium van essentieel belang voor de bepaling van de grootte van de penetratiekrachten (interactie mes en grond).

Naast de wiskundige studie naar de bewegingen is in het licht van het zuigproces met een samengestelde dustpankop en een niet homogene bressamenstelling nog een studie gemaakt van het zogenaamde parallel zuigen met één pomp en twee dustpankoppen, waarvan de uitkomsten positief waren.

De bewegingen van de Cardium waren niet eerder onderwerp van onderzoek, zodat hiervan slechts een ruwe schatting was te maken aan de hand van ervaringen met materieel van dezelfde soort.

In principe stonden drie wegen open om nadere gegevens van de scheepsbewegingen c.q. bewegingen van de zuigmonden te verkrijgen:

- fysisch schaalmodelonderzoek in een stroom- en golfkooi;
- mathematisch modelonderzoek (berekening)
- combinatie van beide.

Gekozen werd voor mathematisch modelonderzoek waarbij de volgende overwegingen een rol speelden:

- in verband met het niet op schaal beschikbaar hebben van de te onderzoeken ponton, inclusief onderdelen (rol, zuigmond e.d.), werd gevreesd voor niet tijdige toelevering van de gewenste gegevens;
- verschaling van de grondparameters (stekende kop van de Cardium) werd als moeilijk oplosbaar gezien (binnen de beschikbare tijd);
- berekeningen zouden relatief snel kunnen worden opgestart en zouden naar werd verwacht relatief hoge waarden (bovengrenzen) opleveren; aan de hand hiervan kon alsnog worden gezien of nader modelonderzoek wenselijk zou zijn bij tegenvallende resultaten;
- berekeningen maakten tussentijdse wijziging van randvoorwaarden mogelijk terwijl de invloed ervan op inzichtelijke wijze kon worden weergegeven.

### 5.2 Mathematisch model van bewegingen Cardium

In principe moesten de overdrachtsfuncties voor verticale bewegingen van de zuigmond op de golfexcitatiekrachten worden bepaald. Daartoe werden verschillende werkzaamheden verricht. In de eerste plaats bepaalde het NSP (Nederlands Scheepvaartkundig Proefstation) aan de hand van diffractieberekeningen hoe groot de hydrodynamische

coëfficiënten en bijbehorende golfexcitatiekrachten en -momenten waren voor de drie onderdelen: ponton, rol en ladder.

Daarnaast werd op het LGM (Laboratorium voor Grondmechanica), door middel van proeven, bepaald van welke orde de grondreacties waren ten gevolge van het penetreren van de bewegende stekende kop in de grond.

Gelijktijdig werd bij de Hollandse Beton Groep gewerkt aan de opstelling en rekenkundige gereedmaking van de bewegingsvergelijkingen voor een twee-dimensionaal model (gebaseerd op een arbeidsbeschouwing).

In figuur 12 is ter illustratie het model weergegeven.

De bewegingen werden bij een dergelijk proces beïnvloed door de wijze, waarop de grond als parameter werd ingevoerd.

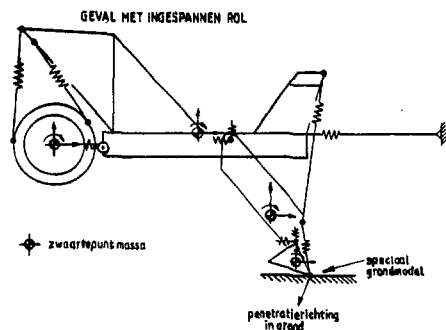
Hieruit blijkt dat het onderzoek reflexief is geweest: grondparameters en bewegingen geven penetratiekrachten, die op hun beurt de bewegingen reduceren.

### 5.3 Conclusies

Voor wat betreft de invloed van de verschillende parameters op de morsfenomenologie wordt verwezen naar het overzicht in tabel 1. De gevonden instelwaarden worden weergegeven in tabel 2. Uit de theoretisch verkregen grenswerkbaarheidscriteria blijkt dat de maximale amplitude 15 cm kon bedragen.

Pomp nr.	breshoogte	gemiddelde mors alle proeven
2	150 cm	29 cm
3	150 cm	25 cm
4	150 cm	24 cm
5	150 cm	21 cm
gemiddelde mors		25 cm

Tabel 1 Overzicht mors



Figuur 12 Mathematisch model Cardium

	Cardium instelwaarden	Proeven vertaald naar prototype
proeven vertaald naar prototype Bres 1,5 m, $V_{voort} = 2$ m/min onder-, bovenjet	<b>onderjet:</b> $\varnothing$ 24 mm HOH 25 cm $V_{netto}$ ; 22,4 m/sec Hheader (netto $\mu = 1$ ) = 25,57 mwk Hheader ( $\mu = 0,98$ ) = 26,5 mwk $Q/m = 0,041$ m <sup>3</sup> /sec/mkop geeft $Q = 1,73$ m <sup>3</sup> /sec/42mkop	<b>onderjet:</b> $\varnothing$ 24,6 HOH 25 cm 20,38 m/sec 21,1 mwk 22 " 0,039 m <sup>3</sup> /sec/mkop 1,64 m <sup>3</sup> /sec/42 mkop
of Bres 0,75m, $V_{voort} = 4$ m/min onder-, middenjet (middenjet = bovenjet in middenpositie)	<b>bovenjet:</b> $\varnothing$ 14 mm HOH 25 cm $V_{netto} = 22,4$ m/sec Hheader (netto $\mu = 1$ ) = 25,57 mwk Hheader ( $\mu = 0,98$ ) = 26,5 mwk $Q/m = 0,0137$ m <sup>3</sup> /sec/mkop geeft $Q = 0,58$ m <sup>3</sup> /sec/42 m kop	<b>bovenjet:</b> $\varnothing$ 14,2 mm HOH 25 cm 20,38 m/sec 21,1 mwk 22 mwk 0,131 m <sup>3</sup> /sec/mkop 0,55 m <sup>3</sup> /sec/42mkop

Opm: in de proef is met deze instelling in het model gewerkt bij een bres 0,75 m; de maximale haalbare voortgangssnelheid was 6,5 m/min dus ruim voldoende (> 4 m/min.)

Tabel 2. Instelwaarden Cardium "stekende" kop.

	Onderzoekperiode	Proefperiode	Hammen	Begin Schaar
Bressamenstelling	Grind aanwezigheid reduceert mors	Door gebrek aan gedetailleerde gegevens niet onderzocht	Invloed niet bekend door ontbreken exacte gegeven over grondsaamenstelling	Idem voorgaande periode
Breshoogte	Gemiddelde mors evenredig met breshoogte (zand)	Bij $V = 2$ m/minuut mors: breshoogte = 17%	Geen aanvullende informatie; morsvariatie is redelijk groot	Bij kleine jethoek en/of beweging zuigmond ontstaat proportionele mors
Bewegingen zuigmond	Gemiddelde mors relatief ongevoelig voor amplitude en frequentie van de zuigmondbewegingen; alleen mors als zuigmond beweegt	Geen belangrijke zuigmondbewegingen gehad (goed weer)	Geen verband bepaald	Voor normale jetparameters geldt morsvariatie: (beweging zuigmond) gemiddelde mors: beweging zuigmond
Verhaalsnelheid	Morsvariatie is omgekeerd evenredig met produktie	Bij te grote verhaalsnelheden wordt de kop tegen de bres getrokken, hetgeen grote krachten oproept	Bij geringe breshoogte en grote verhaalsnelheid werd een zeer vlak bed opgeleverd. In zijn algemeenheid geldt mors: $1/V$	Grotere verhaalsnelheid geeft minder mors en zeker minder morsvariatie
Zuigdebiet	Mits voldoende is er geen invloed	Invloed niet gemerkt	Geen invloed; zelfs niet na installatie "boompipe"	Heeft nauwelijks invloed op het optreden van mors
Jet impuls	Alleen geoptimaliseerd voor aanval bres	Meeste proeven met maximaal jetdebiet Proef met verhaalsnelheid 1,6m/minuut en half jetdebiet gaf zeer vlak resultaat	Invloed niet expliciet bepaald	In samenhang met verhaalsnelheid, jethoek en breshoogte grote invloed op mors (onderste jet)
Jethoek	20°: geen mors 20°: mors en bij zuigmondbewegingen penetratiekrachten	Slecht onderzoek	Niet verder onderzocht	Vergroting jethoek leidt tot aanzienlijke vermindering van gemiddelde mors

Tabel 3. Invloed parameters op mors.

## 6. Operationele fase

### 6.1 Algemeen

Hoewel de kennis omtrent het dustspannen in de Hammen omvangrijk was, is naar aanleiding van vooral de zeer grote en niet verklaarbare variaties in mors, de instelling van enkele instelparameters nogal gevarieerd geweest. Dit kwam omdat, ondanks het feit dat al snel bleek dat de opgeleverde vlakheid ver binnen de beschikbare tolerantieband bleef, door de beslissing "niet standaard tegelmatten toepassen" opeens een veel zwaardere kwaliteitseis aan het baggerproduct werd gesteld.

Immers, in de nieuwe filosofie werd de toepassing van een tegelmat bij tegenvallende vlakheid als een schadepost ervaren.

Kortom, angst alom en veel geëxperimenteer.

Door de nieuwe filosofie diende de gemiddelde mors zeer goed ingeschat te worden (geen correctiemogelijkheid meer; Z-tolerantie erg nauw bij onverhoopte toepassing van een tegelmat) en de variatie in de mors diende tot een minimum te worden beperkt. In zoverre zijn deze twee fenomenen baggertechnisch belangrijk. De "macro langsscheefstand van het gebaggerde vlak:  $\emptyset y$ " (hoewel belangrijk) en de produktie konden, gegeven de installatie, niet veel worden beïnvloed.

Het fenomeen "macro dwarsscheefstand van het gebaggerde vlak:  $\emptyset x$ " is in zekere zin wel door bijvoorbeeld een systematische scheefstand te compenseren door het schip te ballasten.

### 6.2 Functionele verbanden

Zoals reeds vermeld kwam de kwaliteit van het dustspanproces onder een grote druk te staan door de veranderde filosofie. De oorspronkelijke belangrijke fenomenen "gemiddelde mors" en "variatie mors" werden uitgebreid met:

- variatie mors dwars macro ( $\emptyset x$ );
- variatie mors langs macro ( $\emptyset y$ );
- variatie mors micro.

Een inzicht in de microvariatie was vereist omdat door de afkerigheid van de toepassing van de tegelmat gevaar voor "pons" om de hoek kwam kijken bij de nogal scherp afgetekende hobbels. De parameters, die de moeite waard gevonden werden om te variëren en/of sowieso varieerden waren:

- bressamenstelling;
- breshoogte;
- beweging zuigmond;
- verhaalsnelheid;

- zuigparameters;
- jetimpuls;
- jethoek.

De feitelijke kennis laat zich vanaf de onderzoeksfase tot einde zomer 1983 in tabel 3 samenvatten.

Gesteld kan worden dat de baggerstrategie steeds gebaseerd is geweest op deze kennis waarbij opgemerkt moet worden, dat de gemiddelde mors redelijk goed op grond van ervaring was gekwantificeerd.

Als aanvulling op tabel 3 zijn twee zaken van belang voor een beter begrip van het baggerproces:

- a) Tijdens dustspannen ontstaat er een soort slurry van zand en water voor de kop.
- b) Deze slurry kan zich in dwarsrichting vrij snel verplaatsen of liever gezegd: bij oneffenheden in het baggerproces komt alle mors als dichtheidsstroom onder de kop door en wel met vrij grote snelheden.

#### 6.2.1 Relatie mors tot produktie en jetimpuls

De jefunctie was in principe tweeledig:

1. Eroderende functie waarvoor de impuls een maat was;
2. Suspenderende functie waarvoor de impuls onder andere een maat was.

ad 1)

Bekend was dat de jetstraal zich onder een bundelhoek van 1:7 verspreidt. Dit geldt voor een jet in water.

Uit literatuur was bekend, dat de dichtheid van een mengsel grote invloed heeft op de turbulentiegraad van dat mengsel.

Een maat voor turbulentie was de sterke toename van impulsietransport ten opzichte van moleculair transport.

In dit geval was het impulsietransport op de hoofdrichting van belang. Doordat de jets horizontaal stonden en de verticale bewegingen van vloeistofpakketten interessant waren voor het onder de kop spuiten van de jet, was er bijvoorbeeld bij dichtheidsverschillen sprake van een situatie waarin arbeid verricht moest worden indien er netto transport plaatsvond.

Naarmate de dichtheidsgradiënt toenam werd de turbulentie minder.

##### 6.2.1.1 Conclusie

Turbulentie-intensiteit en dus de kans dat de onderjet onder de kop spuit is bij een constant jetdebiet omgekeerd evenredig met de breshoogte.

Vanzelfsprekend is de P-mengsel een functie van breshoogte, voortgangssnelheid en jetimpuls.

ad 2)

Bij een groot jetdebiet en kleine produktie -waarbij vooral werd gedacht aan een lage bres- werd de bres als het ware kapot gespoten en ontstond er een grote suspensiewolk van geringe dichtheid voor de kop. De P-mengsel verschilde dan niet veel van P-water.

In ieder geval zou door de spreiding van het materiaal geen groot dichtheidsverschil over de kop heersen.

Bij een grote produktie zou de jetimpuls meer moeite hebben het materiaal in suspensie te houden. In feite kon de dichtheid dan een vrij grote waarde bereiken.

Resumerend kan worden gesteld dat een kleine produktie en een groot jetdebiet een kleine gemiddelde mors geeft met grote kans op flinke morsvariëaties ten gevolge van stroomsnelheden onder de kop.

Aan de andere kant gaf de combinatie "grote produktie en groot jetdebiet" een vrij forse gemiddelde mors (met name bij zuigmondbewegingen) en een met de produktie proportionele mors door de openingen tussen de zuigmond. In dit geval konden lokale morsuitschieters als zeldzaamheid worden beschouwd.

### 6.2.2 Invloed van de jethoek

Zoals reeds uit het modelonderzoek bleek is de invloed van de jethoek zeer groot. Er kan bijna worden gesteld dat, indien de jethoek 20° is ten opzichte van de horizontaal er geen mors onder de kop doorkomt mits er geen al te grote zuigmondbewegingen zijn. Bij 10° daarentegen kan er zonder meer vanuit worden gegaan dat er altijd mors onder de kop doorkomt.

Er is een complexe samenhang met de jetimpuls.

Vóór september 1983 bevonden zich tussen de koppen vrij grote openingen die een zekere mors opleverde ongeacht de jethoek of jetimpuls.

Bovenop deze initiële openingen werd de kans op een opening onder de kop groter naarmate de jetimpuls toenam.

Bij jethoeken van 20° en groter was de grootte van de jetimpuls niet belangrijk meer.

In dat geval bleef alleen de initiële opening over.

### 6.2.3 Invloed scheepsbewegingen

Zoals reeds uit de proefperiode bekend was, trad er een met de produktie proportionele mors op bij redelijke zuigmondbewegingen. De slurry werd als het ware onder de kop door gepompt. Deze mors was vrij regelmatig.

Dit in tegenstelling tot het geval waarin sprake was van zeer kleine zuigmondbewegingen. Een ontstane opening - door wat voor reden dan ook- bleef lokaal in stand door de relatief grote snelheden als gevolg van de dichtheidsverschillen voor en achter de kop.

De enige kans op het tot staan brengen van deze totale mors was bij een vrij grote zuigmondbeweging naar beneden (afsluiten kanaal). Gezien de in het interessante gebied -bijna- lineariteit tussen zuigmondbeweging enerzijds en golfhoogte en periode anderzijds kan worden gesteld dat:

- gemiddelde mors evenredig is met de golfhoogte en golfperiode bij gelijkblijvende overige parameters;
- morsvariëatie omgekeerd evenredig is met de golfhoogte en golfperiode.

### 6.2.4 Invloed zuigparameters

Uit de baggerslagen met verstopte kop bleek dat een dramatisch zuigcapaciteitsverlies niet behoefde te leiden tot belangrijke onvlakheden. Dit klopte met het zogenaamde slurry-model.

Conclusies aangaande de theoretische verbanden.

De in dit hoofdstuk besproken theorie over de vorming van mors is het resultaat van een mengeling van waarnemingen en theorie. Gesteld kan worden dat gedurende de gehele produktieperiode uiterst verrassende resultaten werden behaald die niet of nauwelijks konden worden verklaard. De hier gepresenteerde morshypothese is dan veel meer een minimalisatie van de onwetendheid dan een maximalisatie van de kennis.

Samengevat luidt de hypothese:

Gemiddelde mors

is evenredig met:

- jethoek (positief is naar beneden)
- jetimpuls (onder kop jetten)
- verhaalsnelheid
- breshoogte
- golfhoogte
- golfperiode

en omgekeerd evenredig met:

- jetimpuls (alleen bij lage bres of lage verhaalsnelheid)
- verhaalsnelheid
- breshoogte (onderdrukt onder de kop jetten).

Gelet op bovenstaande is het voor wat betreft produktie en jetimpuls de vraag welke invloed sterker is!

- Morsvariëatie

is evenredig met

- jethoek
  - jetimpuls
  - verhaalsnelheid
- en omgekeerd evenredig met
- jethoek
  - jetimpuls
  - verhaalsnelheid
  - golfhoogte
  - golfperiode.

---

## 7. Conclusies

---

Het zuigproces van de afgesteunde Macoma-kop was in grote lijnen analoog aan dat van de afgesteunde kop van de Cardium. Het verschil bestond voornamelijk uit het feit, dat de ondergrond tijdens het zuigen met de Macoma kop door eventuele aanwezigheid van tegelmatten niet vlak was. Daarbij moest rekening worden gehouden met een maximale afstand van circa 0,80 m tussen de onderkant van de zuigmond en de bovenmat. Zand dat ter plaatse in suspensie was gebracht werd derhalve niet meer opgezogen. Dit zand kon alleen verwijderd worden door met extra vermogen te jetten, waarbij eventueel (à la de Jan Heijmans) lucht aan de waterstralen werd toegevoegd. Bij voorkeur moest dit voorstrooms plaatsvinden bij redelijke stroomsnelheden, zodat het zand door de stroom werd afgevoerd. Of dit mogelijk was werd bepaald door de cyclus. Eventueel aanwezige steen 40-200 mm (negatieve overlap) moest vooraf verwijderd worden, omdat de Macoma-kop dit materiaal niet kon opzuigen en de aanwezigheid van dit materiaal onder de pijler niet gewenst was. Bovendien kon de aanwezigheid van een breuksteen 40-200 mm beschadiging aan de Macoma-kop en/of de bovenmat veroorzaken.

Net als in het geval van de afgesteunde Cardium-kop werd zand, dat lokaal in kuilen aanwezig was, zonder harder te jetten, niet volledig verwijderd (mors enige cm's). De grof opschoonfase was wederom maatgevend voor de productie.

Ook hier geldt evenals bij het dustpannen, dat het modelonderzoek bij zulk soort ingewikkelde installaties altijd geld (tijdwinst) oplevert. Dit geldt nu zitten in praktijkproeven en aanpassingen van de koppen (modificeren).

---

## 8. Documentatielijst

---

Doc 1 = 349 OPS-M-80041, W.L. rapport M 1558 november 1978, "het onderzoek van een dustpanzuigmond"

Doc 2 = "Model study of suction head, dredge Jodwin"

Doc 3 = 349 OPS-N-81006, Nota stand van zaken analyse  
34 FUND-N-81057, opschoonprocessen (16-2-1981)

### **Overige documentatie:**

34 FUND-N-85002, CARJANKWA-N-85003, Evaluatienota  
Funderingsbed, RKB 3426  
Operatieplan plaatsen pijlers  
Operatieplan funderingsbed  
346 KWA-N-83260, Kwaliteitsbewaking en procesanalyse  
funderingsbedbedrijf in de Hammen



---

## Deelnota 9: Blokkenmatten en tegelmatten





# Inhoud

<b>1</b>	<b>Betonblokken matten</b>	<b>218</b>
1.1	Algemeen	
1.2	Ontwerpeisen	
1.3	Probleemstelling	
1.4	Productieproces	
1.5	Installaties/materieel	
	1.5.1 Blokkenmatfabriek	
	1.5.2 Blokkenmatlegponton DOS I	
	1.5.3 Blokkenmat(transport-)rol DOS II en III	
1.6	Transport en leggen betonblokkenmatten	
<b>2</b>	<b>Tegelmatten</b>	<b>223</b>
2.1	Algemeen	
2.2	Ontwerpuitgangspunten	
2.3	Matconstructie	
	2.3.1 Belastingssituaties	
2.4	Productieproces	
2.5	Installaties/materieel	
	2.5.1 Tegelmattfabriek	
	2.5.2 Tegelmattlegponton DONAX I	
	2.5.3 Tegelmatt(transport-)rol DONAX II	
2.6	Rolbehandeling	
2.7	Legproces tegelmatten	
	2.7.1 Algemeen	
	2.7.2 Uitgangspunten	
	2.7.3 Activiteiten	
	2.7.3.1 Invaren matten(transport-)rol	
	2.7.3.2 Koppelen draden en voorbereiding afzinkprocedure	
	2.7.3.3 Afzinken mat eerste fase	
	2.7.3.4 Positionering kopbalk en keuring	
	2.7.3.5 Afzinken mat tweede fase	
	2.7.3.6 Lossen en terugwinnen staart- en kopbalk	
	2.7.3.7 Uitvaren tegelmatt(transport-)rol	
2.8	Conclusies	
	2.8.1 Loswal	
	2.8.2 Materialen	
	2.8.3 Legproces	
<b>3</b>	<b>Documentatielijst</b>	<b>233</b>

# 1. Betonblokkenmatten

## 1.1 Algemeen

Eeuwenlang zijn zinkstukken van rijshout en riet toegepast om instabiele bodems en oevers te beschermen tegen erosie als gevolg van stromend water en golfaanval. Naarmate de waterbouwkundige werken omvangrijker werden, kwamen de beperkingen en tekortkomingen van de klassieke bodem- en oeverbeschermingsconstructies steeds duidelijker naar voren.

De nadelen van genoemde constructies waren in het kort:

- bijzonder arbeidsintensief en daardoor kostbaar;
- toenemend tekort aan vakbekwame rijswerkers;
- onvoldoende rijshout;
- aantasting door micro-organismen.

Om aan voornoemde nadelen het hoofd te bieden is op het gebied van de toepassing van dwarse bodembeschermingsconstructies veel onderzoek verricht. Nieuwe ontwikkelingen, voortbordurend op klassieke materialen, rekenen hiermee niet af.

Met behoud van waterdoorlatendheid, zanddichtheid en stabiliteit werd een onderzoek gestart waarbij ervan werd uitgegaan een zinkkraagstuk te ontwikkelen van andersoortig materiaal met vaste ballast.

## 1.2 Ontwerpeisen

De aan de nieuw te ontwikkelen kraag- en zinkstukken te stellen eisen waren:

- voldoende waterdoorlatend en zanddicht;
- geen aantasting door chemische en/of biologische invloeden (waaronder de paalworm);
- bestand zijn tegen sterke stroming en golfaanval;
- flexibel zijn in verband met het volgen van talud en bodem/maaiveld;
- de ballastlaag vast aan de constructie, zodat deze bij steile taluds niet kan afschuiven.

Het resultaat van deze ontwikkeling is geweest, dat naast de steenasfaltmat (zie deelnota 10) de zogenaamde "blokkenmat", opgebouwd uit een filterdoek van polypropeen met daarop bevestigd betonblokken, is ontstaan (zie ook boek 2, deelnota 9).

## 1.3 Probleemstelling

Nadat was besloten een deel van de bodembescherming te laten bestaan uit deze betonblokkenmatten, moest de fabricage van de mat en het systeem van afzinken verder worden ontwikkeld.

Binnen een tijdsbestek van één jaar moesten de schetsplannen zijn omgezet in een definitief ontwerp, inhoudend de bouw van:

- een fabriek waarin de matten op mechanische wijze en grotendeels geautomatiseerd vervaardigd moesten kunnen worden (zie foto 1);

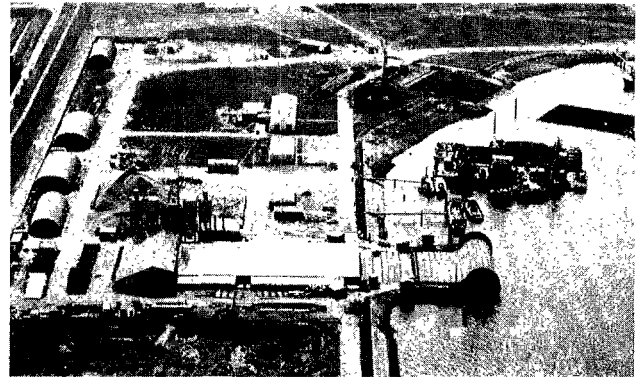


Foto 1 Blokkenmatfabriek aan de Sophiahaven bij Kamperland

- drijvende stalen cilinders waarop de matten vanuit de fabriek naar de plaats van bestemming zouden moeten worden vervoerd (zie foto's 7 en 8);
- een afzinkponton, uitgerust met lieren en navigatiemiddelen, voor het uitrollen van de matten op de bodem (zie foto's 9 en 10);
- een meetsysteem voor de plaatsbepaling tijdens het afzinken.

De capaciteit van de fabriek moest zijn gebaseerd op de fabricage van drie matten (met afmetingen van 30 m breed en 200 m lang) per week.

Aanvankelijk werd nog gedacht aan een drijvende fabrieksinstallatie, maar hieraan waren grote bezwaren verbonden, zoals hoge investeringen, weergevoelig (bij slecht weer zou zelfs het gehele bedrijf stil komen te liggen) alsmede de onmogelijkheid om matten in voorraad te maken en op te slaan. Daarom is gekozen voor een fabriek in de nabijheid van het werk en op de vaste wal.

## 1.4 Productieproces

Aan het begin van de fabriek werden zes rollen geotextiel naast elkaar opgesteld waarvan de banen na het binnenkomen in de fabriek, automatisch aan elkaar werden genaaid, zodat een matbreedte van 30m ontstond (zie foto's 2 en 3). Aansluitend werden volautomatisch kunststofnagels van onderaf in een bepaald patroon door het doek gestoken. Per blokkenmat, met een oppervlak van 30 x 200 m<sup>2</sup>, werden zo 72.000 nagels aangebracht (zie foto 4). In

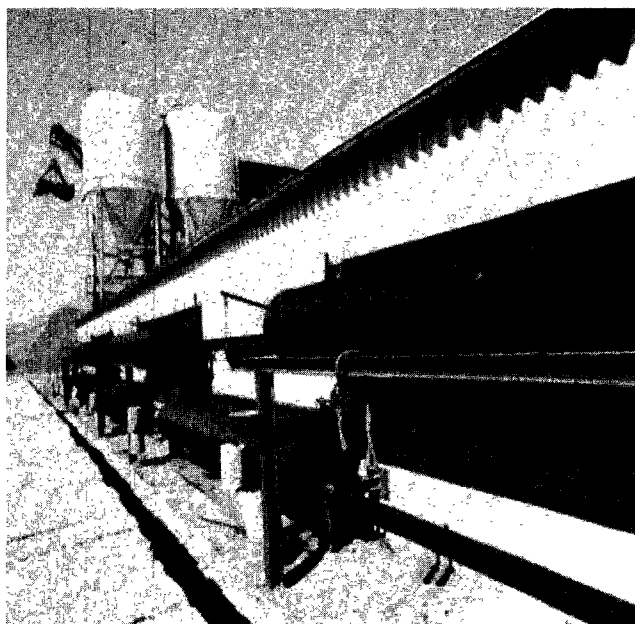


Foto 2 Fabricage blokkenmat

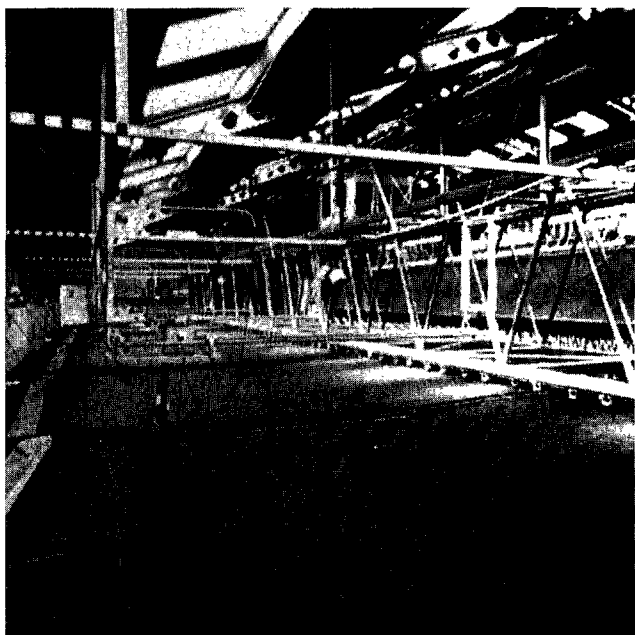


Foto 3 Fabricage blokkenmat

de volgende bewerkingsfase werd beton gestort, in stalen mallen, door een machine die in dwarsrichting over de dan stilliggende mat reed (zie foto 5 en 6).

Tijdens het storten zorgde een computer-gestuurde menginstallatie ervoor dat de stortmachine regelmatig werd bijgeladen. Direct na het storten van de betonspecie werd deze in de mallen getrild door hoogfrequente vibratoren om de vereiste verdichting te verkrijgen. In de teruggaande beweging werden de mallen door de stortmachine nog nagevuld.

Vóór het storten van het beton werden houten pallets als een bewegende en steunende vloer onder de mat gebracht. Deze pallets droegen de mat tijdens het transport door de geconditioneerde ruimte, waarin deze, schoksgewe-

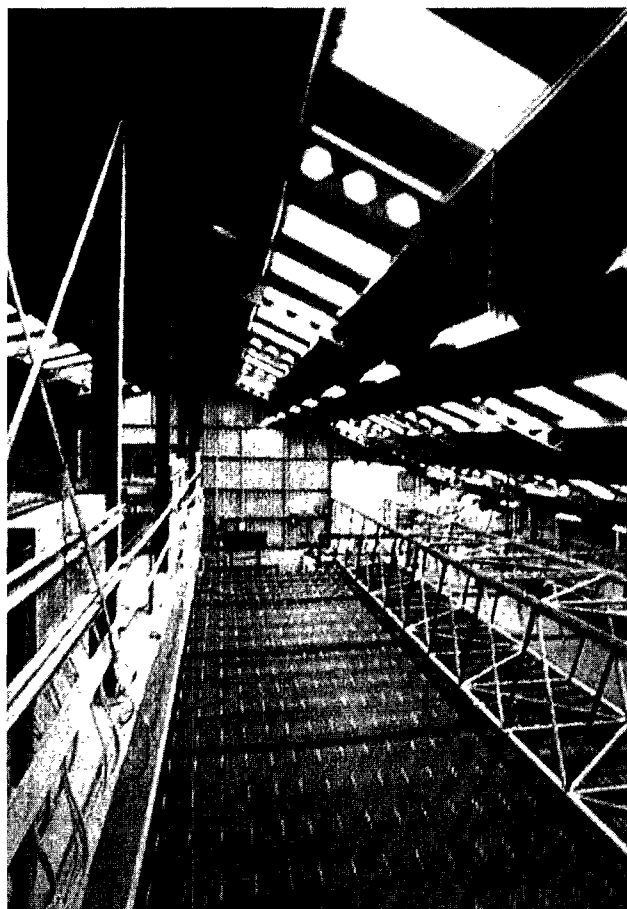


Foto 4 Fabricage blokkenmat

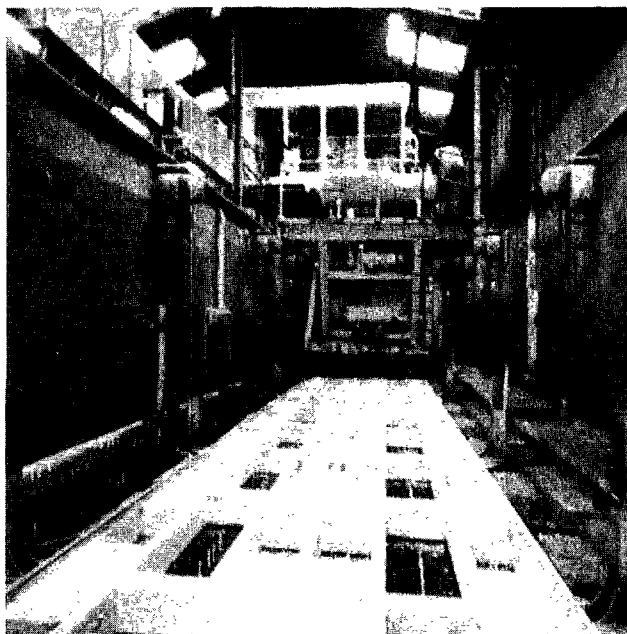


Foto 5 Fabricage blokkenmat

wijs voortschuivend, ongeveer vier uur verbleef. Er heerste hier een temperatuur van circa 60°C bij een hoge luchtvochtigheid. Omdat aan de betonspecie, naast aanmaakwater, stoom van circa 120°C werd toegevoegd werd aan