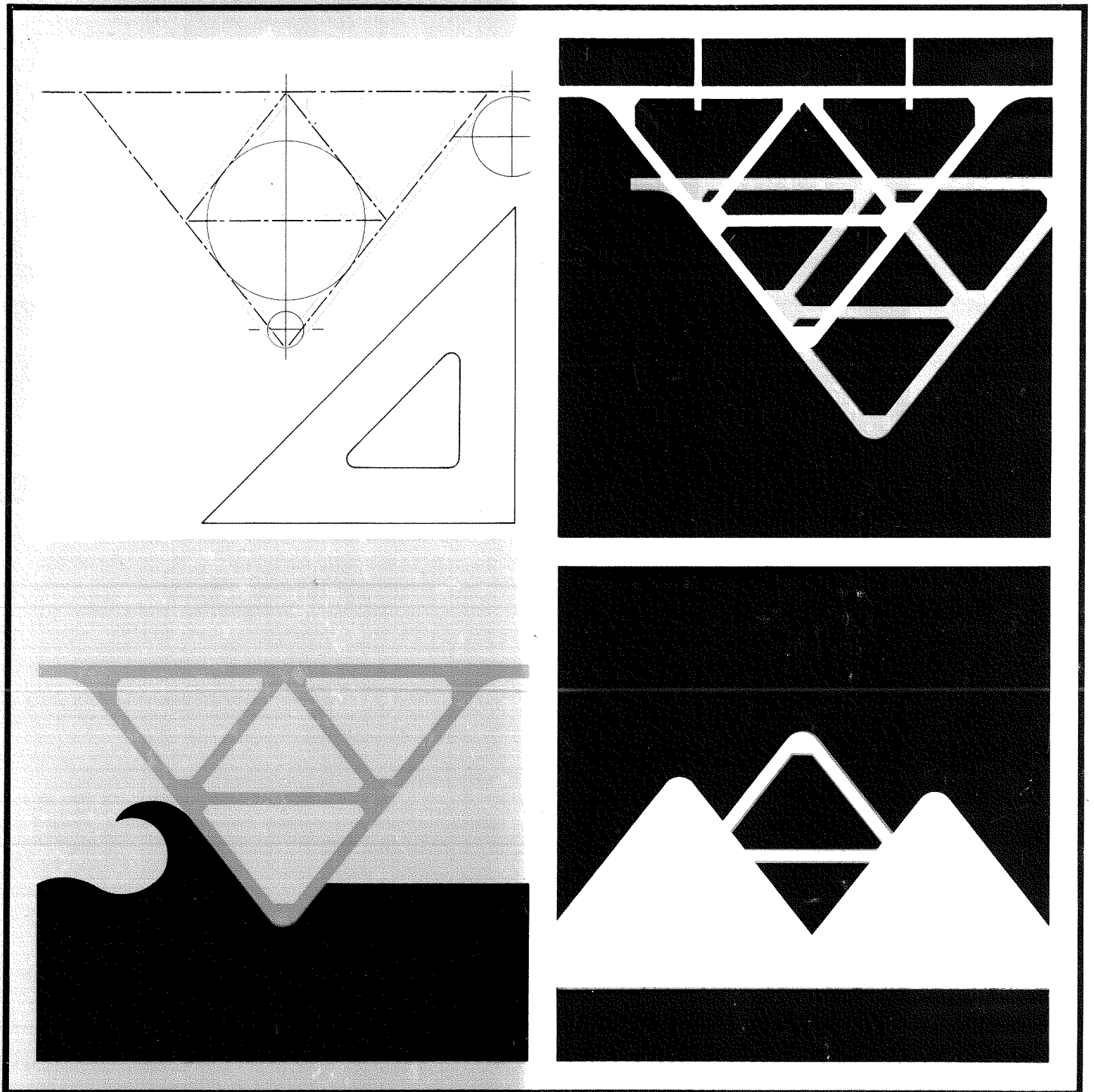


het totaal overziende



TPN uitgegeven ter gelegenheid van het emeritaat
van professor ir. j.f. Agema
Delft, 28 september 1984

84-06

het totaal overziende

Technische Universiteit Delft
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek
(Bezoekadres Stevinweg 1)
Postbus 5048
2600 GA DELFT

TPN
84-06
WW
R2 D
~~Het / balie~~

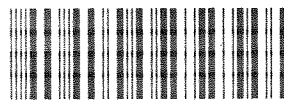
uitgegeven naar aanleiding
van het emeritaat van
prof. ir. J.F. Agema, september 1984

tevens inleiding op alle colleges verzorgd door de vakgroep Waterbouwkunde

redactie ir. J. Stuij,
medewerker vakgroep Waterbouwkunde,
Afdeling der Civiele Techniek,
Technische Hogeschool Delft.

Deze uitgave is tot stand gekomen met de medewerking van de Deltadienst, het redactie bureau van de "Rijkswaterstaat Serie"
en bijdragen van het bedrijfsleven.

Bibliotheek TU Delft/CT



C

2107605

Inhoud

Voorwoord

prof. ir. H. Wiggerts, hoogleraar civiele planologie

1. Het totaal overziende

ir. drs. J.K. Vrijling, project-ingenieur Deltadienst, deeltijd medewerker vakgroep Waterbouwkunde.

2. Afsluiting Zuiderzee

ir. H. Verkerk, civiel ingenieur, deeltijd medewerker vakgroep Waterbouwkunde.

3. Dijkherstel Oostelijk Zuid-Beveland

prof. ir. J.F. Agema, hoogleraar Waterbouwkunde

4. Aanleg nieuwe havenmond Hoek van Holland

ir. A.L.Ph. Estourgie, project-ingenieur Deltadienst

5. Bijzonder materieel bij de uitvoering van de stormvloedkering in de Oosterschelde

ir. G. Verbeek, project-ingenieur Deltadienst

6. Optimalisatie van het ontwerp van de Compartimenteringsdammen in de Oosterschelde

ir. P. Struik, project-ingenieur Deltadienst

7. Alternatieven en keuze voor koelwatersysteem, Madras, India

ir. H. Altink, project-ingenieur Delta Marine Consultants

Voorwoord

Technische Universiteit Delft
Bibliotheek Faculteit der Civiele Techniek
(Bazookadres Stevinweg 1)
Postbus 5048
2600 GA DELFT

Jan Agema, de waterbouwkundige. Zo kent men hem, kort en duidelijk, het kan niet meer Nederlands. Hij en wij kunnen er trots op zijn.

Agema heeft een gevarieerde loopbaan. Hij is klein begonnen en heeft vrijwel alle rangen van de Rijkswaterstaat doorlopen. Dat levert een heel bijzondere ervaring op; gebouwd op elk schaalniveau van waterstaatkundig werk.

In zijn opeenvolgende functies heeft Agema steeds een goed evenwicht gevonden tussen geaccumuleerde ervaring en wetenschappelijke instelling.

Daarnaast kent iedereen hem als een harde werker, enthousiast voor zijn zaken, altijd openstaand voor dialoog en terugkoppeling; een loopbaan van leren en controleren!

De afdeling der Civiele Techniek van de Technische Hogeschool Delft was gelukkig toen Jan Agema als hoogleraar in de Waterbouwkunde kon aantreden en ziet hem node eerder vertrekken dan destijds was voorzien.

Oud-leerlingen en medewerkers van Agema namen het initiatief om zijn inzichten met betrekking tot het waterbouwkundig ontwerpen te bundelen. Het is een poging om de — nimmer gepubliceerde — „Agema-filosofie” op te schrijven. De verschillende bijdragen zijn in historisch perspectief geplaatst om na te gaan in hoeverre Agema's gedachten passen in, dan wel gevolg zijn van, de uitgevoerde grote waterbouwkundige werken. De beschrijving van deze werken is in het kader van deze bundel dan ook opgezet aan de hand van een aantal trefwoorden waarmee de Agema-filosofie in het eerste hoofdstuk wordt gekenschetst.

Ik acht het een voorrecht het voorwoord bij deze bundel te mogen schrijven. Dat is allereerst omdat ik Jan Agema hoogacht als collega, als hoogleraar van de afdeling der Civiele Techniek, docent voor één der meest essentiële en meest Nederlandse vakgebieden die aan deze afdeling worden beoefend.

Ook schrijf ik dit voorwoord graag, voor mijn oud-collega bij de Rijkswaterstaat; ruim 20 jaar geleden zaten wij samen op een kamer en werkten samen aan het „Eindplan 1963” voor de Nieuwe Havenmond van Hoek van Holland (zie bundel).

Ten derde — en niet ten minste — acht ik het een voorrecht om Jan Agema hier te kunnen noemen als drager van één der best Nederlandse tradities; de „Agema-filosofie” bouwt voort op de inzet en toewijding van vele generaties waterbouwkundigen. Eén naam wil ik hier noemen en daarmee eren, die van de waterbouwkundig D.J. Blom. Agema werkte met hem samen in Kruiningen (zie de bundel) en voor mij was hij de eerste praktijk-leermeester bij de Delta-werken. In „Het Verjaagde Water” — epos van de drooglegging van Walcheren — wordt Blom door de schrijver Den Doolaard vermeld als een rustige en uiterst deskundige waterbouwkundige, „Opzichter Rossiger, een man die zich nooit haast”. Blom had een hoge dunk van Agema als iemand die praktijk en theorie wist samen te brengen in een optimale probleemoplossing. En hij heeft gelijk gehad. Ik hoop dat Jan Agema deze gave, ook al verlaat hij nu de T.H., nog vele jaren zal kunnen gebruiken.

Han Wiggerts,
(hoogleraar Civiele Planologie).

Delft, juli 1984.

Fotoverantwoording

Hfdst. 1	1.2	C. Schippers
Hfdst. 2		Rijkswaterstaat
	2.11	Aerocarto, KLM
	2.13	M.L.D.
Hfdst. 3	3.4	Aerocarto, KLM
	3.5	Aerocarto, KLM
	3.7	Aerocarto, KLM
	3.8	H.J. Stuvet, Voorburg
Hfdst. 4	4.1	Rijkswaterstaat
	4.8	Aerocamera Bart Hofmeester
	4.13	Rijkswaterstaat
Hfdst. 5		Rijkswaterstaat
Hfdst. 6		Rijkswaterstaat

Kaftontwerp: Cees Chamuleau

1.1. Inleiding.

In deze bijdrage wordt de filosofie die prof.ir. J.F. Agema hanteert bij de realisatie van waterbouwkundige projecten beschreven.

De filosofie kenmerkt zich door een grote breedte en een hoge mate van integratie van alle facetten van de techniek van de bouw en het gebruik van waterbouwkundige kunstwerken.

Door de grote breedte is de filosofie op tal van wijzen over te dragen.

Prof.ir. J.F. Agema vertelt zelf bij voorkeur over zijn wijze van werken aan de hand van praktijkvoorbeelden, die gegroepeerd zijn rond een aantal kernwoorden als:

- Integratie van ontwerp, uitvoering, beheer en onderhoud, alsmede milieu en landschap.
- Flexibel, aanpasbaar bouwen.
- De natuur als fysisch model.
- Bouwen tegen minimale kosten.
- Simulatie van de uitvoering.
- Technisch wetenschappelijke begeleiding van de uitvoering.
- Kwaliteitscontrole.
- Risico-analyse.

Die wijze van behandeling is in deze publicatie gevolgd door een aantal projecten te kiezen, waarin bepaalde aspecten van de filosofie goed naar voren komen.

In het tweede hoofdstuk wordt gewezen op de natuur-wetenschappelijke inbreng van prof.dr. H.A. Lorentz bij de afsluiting van de Zuiderzee. Daarnaast krijgt de toepassing van speciaal materieel en materiaal aandacht alsmede de werkwijze „van klein naar groot“.

In het derde hoofdstuk komt de door Agema zelf geleide sluiting bij Kruiningen na de stormramp van 1953 aan de orde.

Ook daar werden reeds risico-analyse en simulatie van de uitvoering toegepast, zij het op een andere manier uitgewerkt dan tegenwoordig.

Europoort en de daarbij gebruikte ontwerpprincipes komen in het vierde hoofdstuk ter sprake, evenals kwaliteitscontrole, flexibel bouwen, beheer en onderhoud. De Stormvloedkering Oosterschelde en het daarvoor speciaal ontworpen materieel krijgt aandacht in het vijfde hoofdstuk, naast de elektronische simulatie van het matenleggen.

In het zesde hoofdstuk wordt de systematische risico-analyse van het ontwerp en de uitvoering van de compartimenteringsdammen in de Oosterschelde behandeld. Tevens is daar een voorbeeld van kosten optimalisatie gegeven.

Tot slot wordt in hoofdstuk zeven aan de hand van een buitenlands

project het genereren van ontwerpalternatieven getoond. Het kiezen uit de alternatieven met behulp van multicriteria tabellen komt ook aan de orde.

In het eerste hoofdstuk, dat nu voor u ligt, is een poging gewaagd de ontwerpfilosofie van prof.ir. J.F. Agema te ontleden en systematisch te beschrijven.

De gekozen invalshoek is de levensloop van een waterbouwkundig kunstwerk, dat in zijn totaliteit moet worden gezien.

1.2. De levensstadia van een bouwproject.

Het leven van een kunstwerk doorloopt een aantal fasen, gaande van de ontwerpfase tot de afbraak- of hergebruiksfasen (zie fig 1.1). Traditioneel wordt in de ontwerpfase bijzonder veel aandacht geschonken aan de gebruiksfase, die vaak tekenend als „eind,-fase wordt aangeduid.

Daarbij krijgt de tussenliggende uitvoerings- of bouwphase weinig aandacht, alsof het hier om een ander vakgebied gaat.

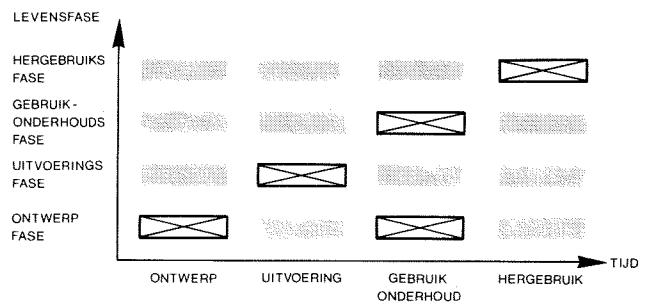


fig 1.1
De levensstadia van een kunstwerk

1.3. De samenhang van alle aspecten in het ontwerp.

Een goed ontwerp begint met een diepgaande analyse van de functies die het kunstwerk moet vervullen.

De resultaten van de functie-analyse worden vastgelegd en dienen later als toetsingscriteria.

Tevens is een grondige studie van de randvoorwaarden in het te bebouwen gebied nodig. Daaronder moet men niet alleen de hydraulische randvoorwaarden zoals golven, waterstanden, stroomsnelheden en hun samenhang verstaan, maar ook de morfologische evenwichtssituatie en de grondmechanische gesteldheid. Evenals het natuurlijke milieu, dat als een randvoorwaarde geldt bij het streven naar een goede inpassing van het ontwerp in het landschap.

In veel organisaties wordt de uitvoering ook inderdaad afzonderlijk gezien.

De wijze van uitvoeren dient om tal van redenen deel uit te maken van het ontwerp.

Hoewel men tijdens de ontwerpfase steeds nadenkt over de gebruiksfase van het kunstwerk en streeft naar een zo goed mogelijke functionering van het eindproduct, blijven meestal een tweetal belangrijke facetten van het gebruik nl. **onderhoud en aanpassing** onderbelicht.

Vooraf het onderhoud is gedurende de levensduur van de constructie een steeds wederkerende taak. De omvang van de taak wordt in feite vastgelegd in de ontwerpfase en zou derhalve daar een punt van overweging moeten vormen.

Dat een toekomstige aanpassing of verbouwing (i.v.m. hergebruik) van het nog te realiseren kunstwerk geen aandacht krijgt is goed te begrijpen. Het nadenken over de eerste gebruiksfase is al complex genoeg.

Een visie op het hergebruik kan echter goede aanknopingspunten bieden bij de keuze tussen ontwerpvarianten en dient daarom reeds in de ontwerpfase ontwikkeld te worden.

Nadat de gegevens zijn verzameld kan het ontwerpproces beginnen.

Er worden alternatieve oplossingen gegenereerd. De oplossingen worden getoetst en verworpen of verder uitgewerkt.

Meer informatie is nodig om de voorlopig gekozen alternatieven verder uit te werken. Volgens een iteratief proces, dat elders is beschreven (1), komt zo voor het meest veelbelovende alternatief het ontwerp tot stand, dat kan worden getoetst aan uitgangspunten en criteria. Tot slot wordt het ontwerp vastgelegd in een bestek.

Deze gang van het ontwerpproces is uitstekend en verdient te worden nagevolgd. Toch bestaat de kans, dat de breedte van de overwegingen beperkt is.

In de inleiding is er al op gewezen dat in het algemeen slechts het functioneren van het kunstwerk in de eindfase aan de orde komt alsmede de vraag of het in die situatie de uitwendige belastingen kan weerstaan.

Bij een goed ontwerp dienen echter ook de andere levensfasen van de constructie aan de orde te komen.

De uitvoeringsfase moet men om een aantal redenen in het ontwerp opnemen.

Ten eerste ondervindt ook de constructie in aanbouw uitwendige belastingen.

Het feit, dat vrij veel bezwijkgevallen in de bouwfase optreden, zou kunnen wijzen op een te geringe aandacht voor dit aspect.

Ten tweede vereist een waterbouwkundig werk vaak grote hoeveelheden bouwmaterialen.

Door in het ontwerp uit te gaan van lokaal beschikbare materialen zijn soms grote besparingen te bereiken.

Zo zou de Afsluitdijk veel duurder geworden zijn, indien men buitenlandse stortsteen had toegepast bij de sluitingen in plaats van het lokaal aanwezige keileem.

Ten derde dient gestreefd te worden naar een optimale aansluiting tussen het constructief ontwerp en de uitvoeringsmethode. Afhankelijk van de lokale omstandigheden kan gekozen worden voor een arbeidsintensieve of een kapitaalintensieve uitvoeringsmethode. Elk van beide uitersten zal zijn eigen constructieve oplossingen eisen.

In het eerste geval speelt de beperking van de menselijke maat. Bij een kapitaalintensieve uitvoering verdient het aanbeveling de keuze van het materieel, het ontwerp van uitvoering, methode en constructie, gelijktijdig aan te pakken.

Soms kan door het geïntegreerd ontwerp van uitvoeringsmaterieel en constructie een kostenvoordeel worden behaald ondanks het feit dat het materieel volledig op het werk moet worden afgeschreven.

Zo konden bij de bouw van de havendam van Hoek van Holland de kosten van de speciale blokkenvaartuigen ruim worden gecompenseerd door materiaalbesparing, die met deze bouwwijze (zie hoofdstuk 4) werd behaald.

In Bangladesh is een dergelijk kapitaalintensieve uitvoeringstechniek onbetaalbaar. Daar sluit men getijgeulen af met kleizakken en met klei gevulde „worsten” van palmbladeren, rijststroo en bamboe, die door grote aantallen mensen in het water worden geworpen (fig.1.2) Een arbeidsintensieve methode zoals u die terug zult vinden bij de sluiting van de polder Waarde in 1953. (hoofdstuk 3)

fig. 1.2

Afsluiting van een getijgeul, Bangladesh



Een gebrek aan breedte in de ontwerpbeschuwing neemt men ook waar bij het verblind kijken naar de „eind"- fase. De ontwerper ziet de nieuwe constructie staan te midden van golven, stroom, gebruiksverkeer etc.

Doch een nieuwe constructie blijft niet nieuw en onderhoud is onvermijdelijk. De mate van onderhoud en het gemak waarmee het kan worden uitgevoerd zijn vastgelegd door het ontwerp veelal zonder dat het een punt van overweging vormde.

Het onderhoud kan dan een uiterst kostbare verrassing zijn voor de gebruiker. Bij elk goed alternatief ontwerp behoort daarom een onderhoudsfilosofie te worden opgesteld. Vooral omdat alternatieven vaak een keuze zijn tussen investeren nu en onderhouden straks.

Het economisch optimum zou bij onderhouden kunnen liggen, doch de som van onderhouds- en investeringskosten van goedkope constructies kan ook te hoog zijn.

Het spreekt vanzelf dat bij een goed ontworpen kunstwerk een onderhoudsplan dient te worden geleverd. Dit moge in de waterbouwkunde een revolutionair idee zijn in de industrie is het reeds jaren een goed gebruik.

Ook de laatste fase in het (eerste) leven van de constructie, de hergebruiks- of aanpassingsfase, behoort een plaats te hebben in een breed opgezette ontwerpbeschuwing.

Het leven van elk kunstwerk is eindig, vaak niet zozeer door technische slijtage als wel gezien vanuit maatschappelijk economisch oogpunt. De techniek gaat vooruit, de maatschappelijke eisen van het kunstwerk wijzigen en beide beïnvloeden de economische levensduur.

De mate en de richting van de wijzigingen is in de ontwerpfasen vaak moeilijk te voorzien. Doch indien de technische levensduur de economische voorspelbaar overtreft zijn argumenten aanwezig voor flexibele oplossingen.

Daarbij wordt gedacht aan de keuze voor constructies in grond boven constructies in beton of staal, omdat grond eenvoudig kan worden verwijderd indien een aanpassing nodig is.

Een voorbeeld van een dergelijke oplossing is de als grindstrand uitgevoerde Zuidwal in Hoek van Holland. (zie hoofdstuk 4)

De havenmond is daardoor eenvoudig aan te passen, indien de eisen wijzigen. Een ander idee is de „oprijfbare sluis". Indien de sluis niet langer aan de eisen voldoet kan hij als dok worden opgedreven. Dezelfde sluis is dan elders opnieuw te gebruiken. Dit zou wellicht voor de Hartel-sluizen een goede oplossing zijn geweest.

1.4. Keuzeprincipes.

Om tot een keuze te komen uit diverse alternatieve ontwerpen zou een kosten-baten analyse moeten worden uitgevoerd voor elk der varianten. De variant met het grootste batige saldo verdient de voorkeur.

Doch meestal is het vaststellen van de baten van waterbouwkundige kunstwerken een moeilijke en min of meer arbitraire zaak. Zeker als het gaat om het vaststellen van verschillen tussen min of meer gelijkwaardige alternatieven.

Een benadering kan zijn de varianten te toetsen aan de functie-eisen. Bij een goed opgesteld eisenpakket is de uitslag van de toetsing een graadmeter voor de maatschappelijke baten.

Aan de kosten-zijde van de afweging is het probleem iets eenvoudiger ook al bestaan de maatschappelijke kosten uit een weegbaar en een onweegbaar deel.

Onder de onweegbare kosten worden o.a. milieu-effecten en mo-

gelijke calamiteiten, die mensenlevens eisen gevat. De weegbare kosten zijn de som van de investeringskosten van het kunstwerk, de gekapitaliseerde onderhoudskosten en het gekapitaliseerde risico.

$$k = I + \sum_{n=1}^N \frac{\text{onderhoud}}{(1+r)^n} + \sum_{n=1}^N \frac{P_f \cdot S}{(1+r)^n} + \frac{\text{aanpassing}}{(1+r)^n}$$

Eventueel kan aan het bedrag de contante waarde van de kosten van aanpassing van de constructie voor hergebruik worden toegevoegd. Met behulp van deze totale kostenopstelling kan per variant een economisch optimum worden bereikt door kostenminimalisatie, onder de veronderstelling dat deze kleine wijzigingen de functievulling (d.w.z. de baten-zijde) vrijwel niet beïnvloeden.

Een toepassing van het kostenminimalisatie principe is te vinden in het Delta-rapport. Prof. Van Danzig stelt daarin langs deze weg de optimale dijkhoogte voor Centraal Holland vast. (2)

Voor de definitieve keuze tussen varianten is het beschouwen van de kosten onvoldoende. Hiervoor dient de totale kosten-baten opstelling inclusief de onweegbare elementen in ogenschouw te worden genomen.

Multicriteria methoden zijn hierbij een goed hulpmiddel.

Bij de beoordeling van alternatieven voor de koelwaterinlaat van de electriciteitscentrale van Madras (hoofdstuk 7) is van een dergelijke methode gebruik gemaakt.

1.5. Voorspellen en besluiten.

Een aspect van de ontwerpactiviteit is besluitvorming onder onzekerheid omtrent de functievulling, de kosten en baten en de neveneffecten.

Men ontwerpt een kunstwerk voor een gebruik dat strikt genomen nog niet bestaat. Het toekomstig gedrag van de constructie moet voorspeld worden. De uitvoering van het werk ligt in het verschiep. De precieze omstandigheden, de financiële toestand van aanne-mer en opdrachtgever, de beschikbaarheid van materiaal en mate-riël, zijn onzeker en onbekend.

De tegenstelling tussen een zeker verleden en een onzekere toekomst is aan te geven in het systeem van fig 1.3.

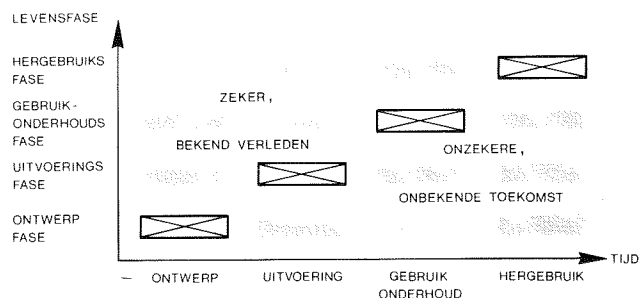


fig 1.3 De tegenstelling tussen zekerheid en onzekerheid in het realisatieproces van een kunstwerk

In de ontwerpfasen is de onzekerheid het grootst en fundamenteel. Het voorspellen van het verwachte gedrag van de toekomstige bouw- en eindfase moet met de grootste zorg geschieden.

Daartoe is allereerst een goede analyse vereist van de verschijnselen die het verwachte gedrag bepalen. Vervolgens moet het probleem met technisch wetenschappelijke methoden worden opgelost.

Het instrumentarium, dat de ontwerper daarbij ter beschikking staat is omvangrijk.

Het gedrag kan voorspeld worden met mathematische modellen waarbij de omvang van het model dankzij de moderne computers

geen belemmering meer vormt. De tweedimensionale getijmodellen zijn een indrukwekkend voorbeeld.

Indien de vergelijkingen te complex zijn maar de fysische principes van het gedrag wel bekend kan een fysisch schaalmodel een goed hulpmiddel zijn.

Doch men dient zich er steeds van bewust te zijn, dat de modelvoorspellingen niet beter zijn dan de diepgang van de probleemanalyse en de daaruit voortvloeiende modelschematisatie.

Recente ervaringen met grote golfbrekers zijn in dit opzicht een les.

Goede ervaringen met modelproeven in het verleden leidden ertoe dat de gigantische golfbrekers van Sines en Bilbao in golfgoten werden beproefd. De verschaling vond plaats volgens Froude omdat de stabiliteit van de deklaag moest worden aangetoond. In werkelijkheid bezweken de grote golfbrekers echter omdat de elementen (dolosse) van de deklaag braken o.i.v. de golfaanval.

In de golfgoot was de sterkte van de elementen niet op schaal evenmin als de grondmechanische eigenschappen van de kern.

Een meer omstreden model is het prototype zelf. Het prototype heeft het voordeel, dat, afgezien van de beperkingen van meetmethoden, van schematisatie geen sprake is. Voor het vastleggen en begrijpen van de beginsituatie en de natuurlijke veranderingen daarin, zijn natuurmetingen onontbeerlijk.

Doch als voorspellend model heeft het prototype een aantal ernstige nadelen.

Ten eerste heeft men de natuurrandvoorwaarden als stroom, wind en golven niet in de hand zodat ceteris paribus experimenten niet wel mogelijk zijn.

Een tweede nadeel is, dat toekomstige bouwfasen niet bestudeerd kunnen worden omdat zij nog gerealiseerd moeten worden.

Ten derde hebben schaalproeven vaak een destructief karakter. Het belasten van het prototype tot bezwijken zou de kosten ontoelaatbaar doen stijgen.

Afgezien van de toetsing van de voorspellingen van schaal- en wiskundige modellen waarop nog wordt teruggekomen kan het prototype toch goede diensten bewijzen. Met name in gevallen waar verschaling moeilijk is (b.v. morfologie) en daar waar een terugkoppeling tussen het bereikte resultaat en de uitvoeringswijze (of zelfs ontwerp) mogelijk is.

De uitbouw van de zanddam in Hoek van Holland (zie hoofdstuk 4) is een voorbeeld. In werkelijkheid bleek men de dam veel verder in zand te kunnen uitbouwen dan de berekeningen deden vermoeden.

Bij het nadenken over ontwerpproblemen en de bijbehorende wetenschappelijke oplosmethoden is men licht geneigd de toepassing te beperken tot de „eind"-fase van het kunstwerk.

Doch de kracht van de technisch wetenschappelijke denkmethoden dient ook te worden aangewend bij het ontwerpen van de uitvoering. Dit gebeurt voor een deel door de toepassing van moderne planningsmethoden maar er is meer mogelijk. Ter voorbereiding van de sluiting in Kruiningen in 1953 werd de hele operatie met uitvoerders geoefend in een droog schaalmodel (zie hoofdstuk 3).

En bij de bouw van de Stormvloedkering in de Oosterschelde werd elke funderingsmat eerst een aantal malen gelegd op een elektronische simulator. Pas daarna vond de echte operatie met de Cardium plaats.

Bovenstaande opmerkingen gelden ook voor het gedrag van de gebruikers van de constructie in de eindfase.

Vaak loont het de moeite het gedrag te simuleren en de constructie

eraan te toetsen. De bepaling van de breedte van een vaargeul met een vaarsimulator is een sprekend voorbeeld.

Doch ook beïnvloeding van het gedrag van de toekomstige gebruiker door hem een technisch economisch optimale handelwijze voor te houden is mogelijk. Zo is het vaargeuldiepte probleem van Rotterdam ten dele opgelost.

De havenontwerper toonde d.m.v. scheepsbouwkundig onderzoek aan, dat restricted draught tankers een economische oplossing voor scheepseigenaren waren. Toen dit advies werd opgevolgd was de geuldiepte, die op hetzelfde onderzoek was gebaseerd, voldoende.

De voorspellingen, die gedaan worden omtrent het toekomstig gedrag van constructie en omgeving, hebben geen absolute juistheid. Het resultaat kan hoogstens gekarakteriseerd worden als de meest waarschijnlijke waarde of een verwacht verloop.

Rond deze waarde of dit verloop is een spreiding, een onzekerheidsmarge aanwezig.

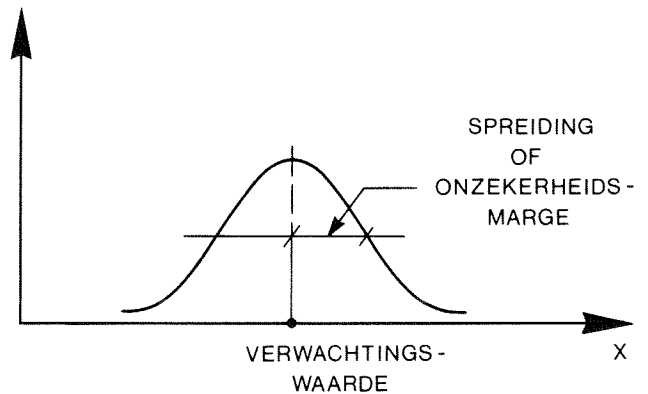


fig 1.4

De onzekerheidsmarge rond een met behulp van modellen voorspeld verloop.

Deze onzekerheid behoort bij het ontwerpprobleem en dient als een volwaardig aspect te worden meegenomen. Vroeger geschiedde het aftasten van de invloed van onzekerheidsmarges op het eindresultaat door gevoeligheidsstudies.

Tegenwoordig staan de methodieken van het probabilistisch ontwerpen ter beschikking daarvan zijn de probabilistische nivo-II berekeningen bij uitstek geschikt om zowel de verwachtingswaarde van de uitkomst als de onzekerheid ervan in de berekening te betrekken. De nivo-II berekeningen kunnen worden opgevat als een gewogen gevoeligheidsanalyse.

De gevoeligheid van de eindwaarde voor kleine variaties in de ontwerpvariabele vindt plaats door partiële differentiatie daarna volgt een weging met de spreiding van elke variabele. De bijdrage van elke variabele aan de totale onzekerheidsmarge van het ontwerpprobleem staat daardoor vast.

Daarnaast kunnen de gevolgen van het falen van onderdelen en het verband ertussen systematisch worden geanalyseerd met de fouten-boom techniek.

Het spreekt vanzelf, dat deze beoordeling van de onzekerheden niet beperkt moet blijven tot de constructie in de eindfase.

De probabilistische methoden zijn ook geschikt om de onzekerheden tijdens de uitvoering zowel constructief als planningstechnisch te behandelen.

Zo zijn er simulatieprogramma's beschikbaar waarmee het verloop van de uitvoering statistisch kan worden berekend.

Het eindresultaat is een verwachtingswaarde en een spreiding van de einddatum.

De aanpak van de sluitingen van de Compartimenteringsdammen laat zien (hoofdstuk 6) hoe constructieve en planningstechnische aspecten te verenigen zijn in één risicobeschoouwing.

Met bovenstaande beschouwingen over spreidingen en verwachtingswaarden die het resultaat zijn van de modernste ontwerpberekeningen, is duidelijk gemaakt dat ontwerpen voor een belangrijk deel uit „besluitvorming onder onzekerheid” bestaat.

De ontwerper moet immers ondanks alle onzekerheidsmarges een keuze maken. Hier is de toepassing van de mathematische beslissingstheorie de aangewezen weg. De afweging tussen een investering in een grotere veiligheid of de acceptatie van een hoger risico wordt dan rationeel gemaakt.

Naast de reeds genoemde optimalisatie van de dijkhoogte door prof. Van Danzig, bevat ook het hoofdstuk 6 over de Compartimenteringsdammen een goede illustratie van een mathematisch economische afweging.

Bij de afsluiting van Kruiningen in 1953 leidde de risico-analyse tot het besluit noodplannen en voorraden gereed te houden. De praktijk bewees dat dit een goede investering was.

Er is echter ook een geval bekend van een kunstmatig eiland, waarbij een risico-analyse uitwees, dat bepaalde onderdelen een verhoogd risico met zich brachten. Het advies om een noodvoorraad damwandplanken en zwaar weefsel aan te leggen sloeg men evenwel in de wind.

Tijdens de bouw van het eiland werd het risico operationeel en het eiland kon slechts tegen hoge kosten behouden worden.

1.6. Leren en controleren.

Gedurende het realisatieproces van een kunstwerk gaan de onzekerere voorspellingen over in zekere resultaten. (zie fig. 1.5).

Tijdens de bouw blijkt of het uitvoeringsproces volgens verwachtingen verloopt en of aan de ontwerpspecificaties kan worden voldaan.

De mate, waarin het kunstwerk zijn geplande functie vervult, kan in de gebruiksfase worden vastgesteld.

Dan blijkt ook in hoeverre het voorspelde onderhoud noodzakelijk is.

De ideeën, die het ontwerp flexibel maakten worden pas in de hergebruiksfase getest.

De vraag of aan de ontwerpspecificaties wordt voldaan moet geïnstitutionaliseerd zijn in een goede kwaliteitscontrole. De voordelen zijn drieërlei.

De kwaliteitscontrole stelt d.m.v. metingen aan proces en/of eindproduct vast in hoeverre voldaan wordt aan de ontwerpgedachten.

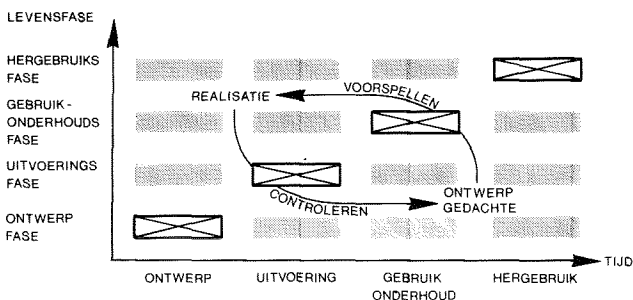


fig 1.5
De overgang van onzekere tijdsvoorspellingen in zekere realisaties tijdens het leven van de constructie.

Een interessant voorbeeld van kwaliteitscontrole via metingen aan het proces is het strooien van het grindfilter als fundering voor de havendam van Hoek van Holland.

Ook bij het mattenleggen met de Cardium lag het zwaartepunt bij de procesbewaking. De ligging van de mat kwam pas exact boven water nadat de pijler was geplaatst.

Indien onverhoopt bij de kwaliteitscontrole blijkt dat de ontwerp-specificaties niet worden gehaald kan op grond van de oorspronkelijke ontwerpoverwegingen worden nagegaan of er zinvolle aanpassingen in de ontwerp-eisen of de uitvoeringsmethoden mogelijk zijn. Ongecontroleerde improvisaties worden daardoor zoveel mogelijk voorkomen.

Tot slot vindt er d.m.v. de kwaliteitscontrole een leerproces plaats, omdat de ontwerpvoorspellingen systematisch worden getoetst aan de realisaties.

Voor een goede afronding van het leerproces is het nodig dat de opgedane ervaring tezamen met een evaluatie van de ontwerpgedachten schriftelijk wordt vastgelegd.

Dit laatste gebeurt echter vrijwel niet. En het is dan ook bedroevend om b.v. het gebrek aan kennis omtrent de taluds van zand onder water te zien als men weet hoeveel m³ zand er door Nederlanders gespoten en geklapt zijn.

Het leerproces wordt verder bijzonder gediend, indien men d.m.v. een meetcampagne aan de voltooide constructie en haar omgeving, het gedrag van beiden vaststelt.

Een vergelijking van de meetresultaten met de in de ontwerp-fase gedane modelmatige voorspellingen, leidt tot een vergroting van de wetenschappelijke kennis.

Deze kennis kan onmiddellijk benut worden bij de sturing van de noodzakelijke onderhoudsinspanning. Alhoewel soms voor een goede sturing van het onderhoud een meer permanente meting in de vorm van een conditiebewaking wenselijk is.

Bij de Stormvloedkering in de Oosterschelde is deze laatste vorm voor een aantal zwaar belaste pijlers gekozen.

Daarnaast vormt de in prototype verworven wetenschappelijke kennis de basis voor nieuwe technische vooruitgang. Daarom werd bij de afsluiting van de Zuiderzee en bij het Deltaplan een werkwijze voorgesteld, waarbij men begon met de kleine sluitgaten om te eindigen met de grote.

Doch deze stelregel, dat men eerst op kleine schaal ervaring moet opdoen (Amsteldiep) om vervolgens op grote schaal (Vlieter) te kunnen bouwen, geldt alleen als men zijn ervaring zorgvuldig vastlegt en analyseert in het licht van de gebruikte ontwerpoverwegingen en de geldende fysische wetten.

Alleen begrepen ervaring is nuttig.

Het beschikbaar zijn van opgedane ervaring kan ook een gevaar in zich houden: de „ontwerpgeest” is geblokkeerd, de ontwerper maakt geen goede functie-analyse, ontwikkelt geen alternatieven op het unieke probleem (hetgeen waterbouwkundige problemen doorgaans zijn), hij begint te ver in de ontwerp-cyclus met een te snel gekozen oplossing.

Uiteraard werpt het monitoren van de voltooide constructie ook zijn vruchten af, als aanpassingen in het gebruik van de constructie nodig of wenselijk zijn.

Literatuur:

- (1) J. Stuij et al. Flexibele constructies collegedictaat f13a, Delft 1980
- (2) D. van Danzig. Het economisch beslissingsprobleem inzake de beveiliging van Nederland tegen stormvloed, Delta-rapport deel 3, Den Haag 1960

Kenmerken

eerste aanzet tot wetenschappelijke begeleiding van klein naar groot, inzet speciaal materieel, voorzichtige schaalvergroting

2.1. Inleiding

De plannen tot afsluiting en inpoldering van de Zuiderzee dateren van de 19e eeuw. Het waren plannen van zowel amateurs als technici. De Staat nam weinig initiatief, maar had wel te kennen gegeven dat deze zoveel omvattende nationale onderneming aan haar voorbehouden moest worden.

Om orde te scheppen in de grote hoeveelheid plannen werd in 1886 de Zuiderzeevereniging opgericht. Het doel van deze vereniging was om voorstellen aan de regering te doen.

Zij nam ir. C. Lely in dienst die een onderzoek deed en 8 nota's uitbracht. Deze nota's waren aanleiding om in 1894 een Staatscommissie in te stellen. Tot een westvoorstel kwam het echter niet. In de loop van de daaropvolgende jaren werden initiatieven tot wetontwerpen genomen en weer verlaten. Pas op 14 juni 1918 werd de wet op afsluiting en gedeeltelijke droogmaking aangenomen.

Voordat men met de afsluiting kon beginnen moest nog heel wat werk verzet worden om de ontbrekende gegevens te verzamelen. De kennis van de beweging van water en het gedrag van grond was grotendeels gebaseerd op ervaring. Dat was wel voldoende voor het ontwerpen en uitvoeren van een bouwwerk dat niet veel afwijkt van constructies die vroeger waren gemaakt maar niet voor een werk met zoveel nieuwe aspecten als de afsluiting en droogmaking van de Zuiderzee.

Een van de amendementen die dan ook bij de wet werd aangenomen was, dat een Staatscommissie ingesteld zou worden die de stormvloedstanden en de golfoploop welke na de afsluiting zouden ontstaan moest berekenen: de commissie Lorentz.

Op grond van ervaring koos men in eerste instantie voor een rijzenddam als afsluiting. Een dergelijke constructie had Lely in zijn nota's ook voorgesteld. Later is dit ontwerp gewijzigd en zou klei toegepast moeten worden in de dijk. Klei was in grote hoeveelheden in de omgeving te vinden en ontwikkelingen in het materieel maakten het mogelijk dat deze klei op eenvoudige wijze in het werk kon worden gebracht.

Na de ontdekking van keileem is tenslotte in het ontwerp de klei vervangen door keileem.

De afsluitdijk bestaat in feite uit 3 gedeelten. Van west naar oost eerst de dijk door het Amsteldiep ter lengte van 2,5 km vervolgens het eiland Wieringen en tenslotte de dijk naar Friesland van 30 km lang.

Als eerste werd het dijkgedeelte tussen Noord-Holland en Wieringen gebouwd. Dit was een geplande vooroefening voor de grote sprong naar Friesland. Hier kon schaal 1:1 materiaal en materieel uitgeprobeerd worden. Men begon met de aanleg van de Amsteldiepdijk in 1921 en voltooide deze in 1924.

In 1927 werd begonnen met het tweede gedeelte van de afsluitdijk welke op 28 mei 1932 werd gesloten.

2.2 De stand van zaken bij het begin van het werk

Om zich een indruk te vormen over de omstandigheden waaronder het ontwerp en de uitvoering tot stand zijn gekomen is het zinvol om na te gaan wat er aan materiaal, ervaring, kennis en gegevens aanwezig was toen de Zuiderzeewet (1918) werd aangenomen.

Materieel

Ten tijde van Lely's ontwerp stond het baggerbedrijf nog in de kinderschoenen. In 1870 waren er al wel baggermolens van behoorlijk formaat, van transport van klei en zand op grote schaal was evenwel geen sprake.

In 1918 was de techniek een stuk verder. Er waren zandzuigers met een behoorlijke capaciteit en er waren onderlossers en elevatorbakken voor zand en klei (fig. 2.1).

Klei werd niet meer alleen met kruiwagens in het werk gebracht. Er waren nu kipkarren rijdend op smalspoor, voortbewogen door stoomlocomotieven.

Sleepboot en motorpeilvlet hadden hun intrede gedaan. Peilen gebeurde nog steeds met peilstok en dieplood, echolood was uiteraard niet bekend.

Ervaring

Men had ervaring met het maken van rijzendammen. Het Kreekrak en Sloe (1867-1871) waren op deze wijze afgesloten. De rijzenddam bestaat uit zinkstukken die laag voor laag op elkaar afgezonken worden. Bij de afsluiting van Kreekrak en Sloe waren deze zinkstukken nog ingevaren met roei- en zeilboten.

Verder had men veel ervaring op het gebied van dijkbekledingen. Eind 19e eeuw had het gewapend beton zijn intrede gedaan. Men had nog niet zoveel ervaring met deze vorm van construeren. Er waren al wel betonnen caissons toegepast bij de bouw van kademuren in de haven van Rotterdam. Dit nieuwe constructiemateriaal was voor de Zuiderzeecommissie aanleiding om in 1909 een gewapend betoncommissie in het leven te roepen, die moest onderzoeken in hoeverre dit materiaal bij de afsluitdijk gebruikt zou kunnen worden.

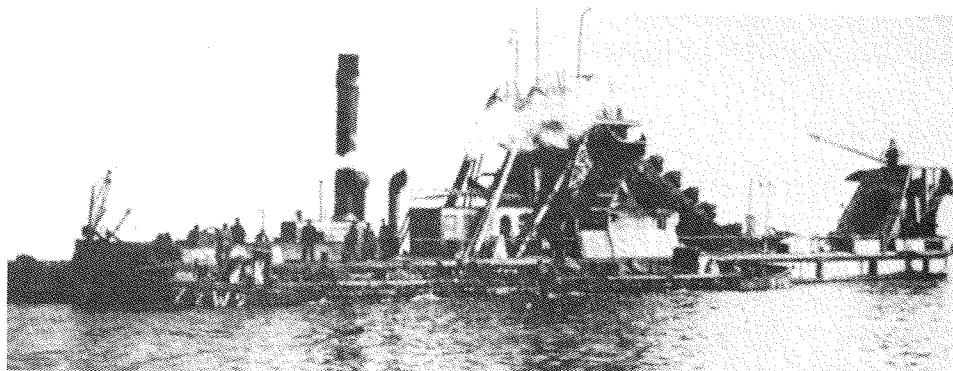
Kennis

Van de vloeistofmechanica was alleen de permanente stroming goed bekend. Men had ook kennis van lange golven zij het slechts op diep water. Van windgolven wist men nauwelijks iets. Ook was er weinig kennis over waterstromingen en bijbehorende ontgroningen.

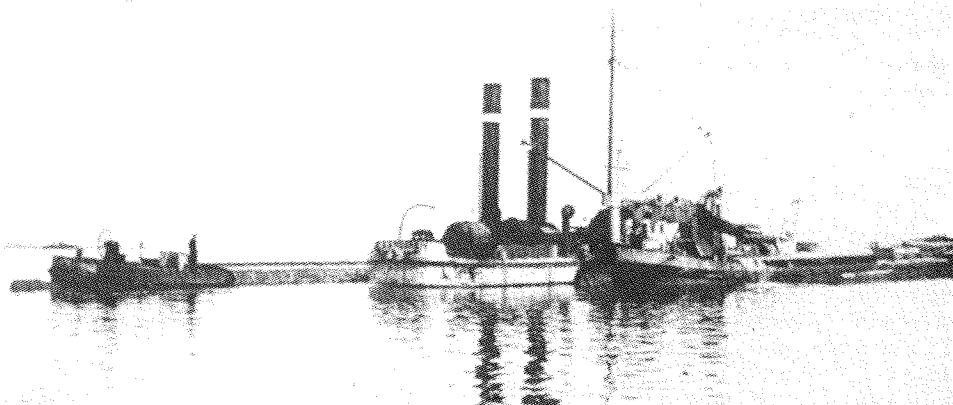
Grondmechanica was onbekend. Klink kon men niet berekenen. Men wist wel dat grond af kon schuiven (treinongeval bij Weesp) maar men wist niet onder welke omstandigheden.

Hydraulisch modelonderzoek was nog niet bekend. Pas in 1922 tijdens een bezoek van prof. Rehbock van het Wasserbaulaboratorium in Karlsruhe kwam men hiermee in aanraking.

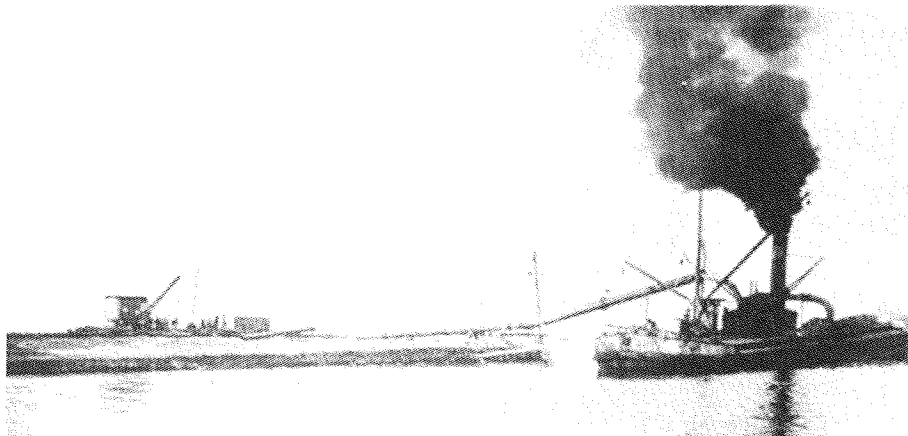
Emmerbaggermolen met
onderlossers langzij



Zuiger vult een bak



Perszuiger



Leegzuigen van een bak

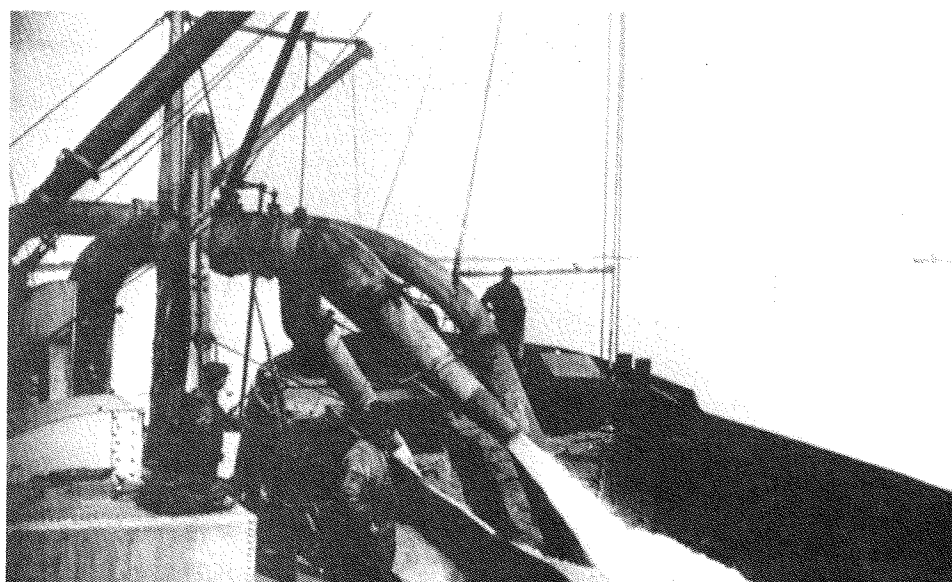


Fig. 2.1
Materieel bij de aanvang
van de Zuiderzeewerken

Gegevens

Men wist al vrij veel over de diepte van de Zuiderzee en ook de zee-
gaten tussen de Waddeneilanden waren opgemeten omdat men
verwachtte dat hier door de afsluiting veranderingen zouden optre-
den.

Er was nog weinig onderzoek verricht naar de vindplaatsen van
zand en klei.

Getijgegevens had men alleen van de kust van de Zuiderzee, niet
midden op zee en ook niet in de zee-
gaten.

Over menging van zoet en zout in de Zuiderzee was nauwelijks iets
bekend.

Men had wel windgegevens maar geen golfgegevens.

Ook over grondwaterstanden was weinig bekend.

Al met al moest er nog heel wat werk verricht worden. Toch heeft
men niet alle kennis en gegevens die nodig waren kunnen verza-
melen en heeft men zich moeten behelpen. Hier en daar is dus fei-
telijk met grote risico's gewerkt.

2.3 Wetenschappelijke begeleiding: Commissie Lorentz

Zoals gezegd was er nog weinig kennis op het gebied van de hy-
draulica en zeker niet wat betreft de waterbeweging in en rond de

Zuiderzee. De grootte van de stormvloedshoogte ten gevolge
van de afsluiting kon men derhalve niet bepalen. Men beschikte
wel over veel waarnemingen en probeerde door logische redene-
ringen tot voorspellingen te komen.

Staatscommissie Lorentz luidde een nieuw tijdperk in. Ze heeft als
eerste de waterbouwkundige problematiek wetenschappelijk aan-
gepakt.

Lorentz begon met de normale getijden welke door Kelvin (1885)
voor diepe wateren door middel van de harmonische methode be-
naderd was. Hij leidde hieruit een methode af om de getijden in de
ondiepe Zuiderzee met zijn geulen te berekenen (fig. 2.2). Hij deed
dit onder andere door als eerste in de bewegingsvergelijking de
wrijvingsterm te lineariseren. Bij controle van de waterstanden die
optraden na afsluiting van het Amsteldiep bleek dat deze methode
goed voldeed.

Uit de getijberekeningen werden stormvloedstanden berekend.
Het bleek dat men zou moeten rekenen op stormvloedverhogingen
van meer dan een meter langs de Afsluitdijk, veel hoger dan eerder
was aangenomen. Ook langs de Noord-Hollandse en Friese kust
zouden stormvloedverhogingen optreden.

Uit de getijberekeningen bleek verder dat de stroming in de zee-
gaten 25% zou toenemen.

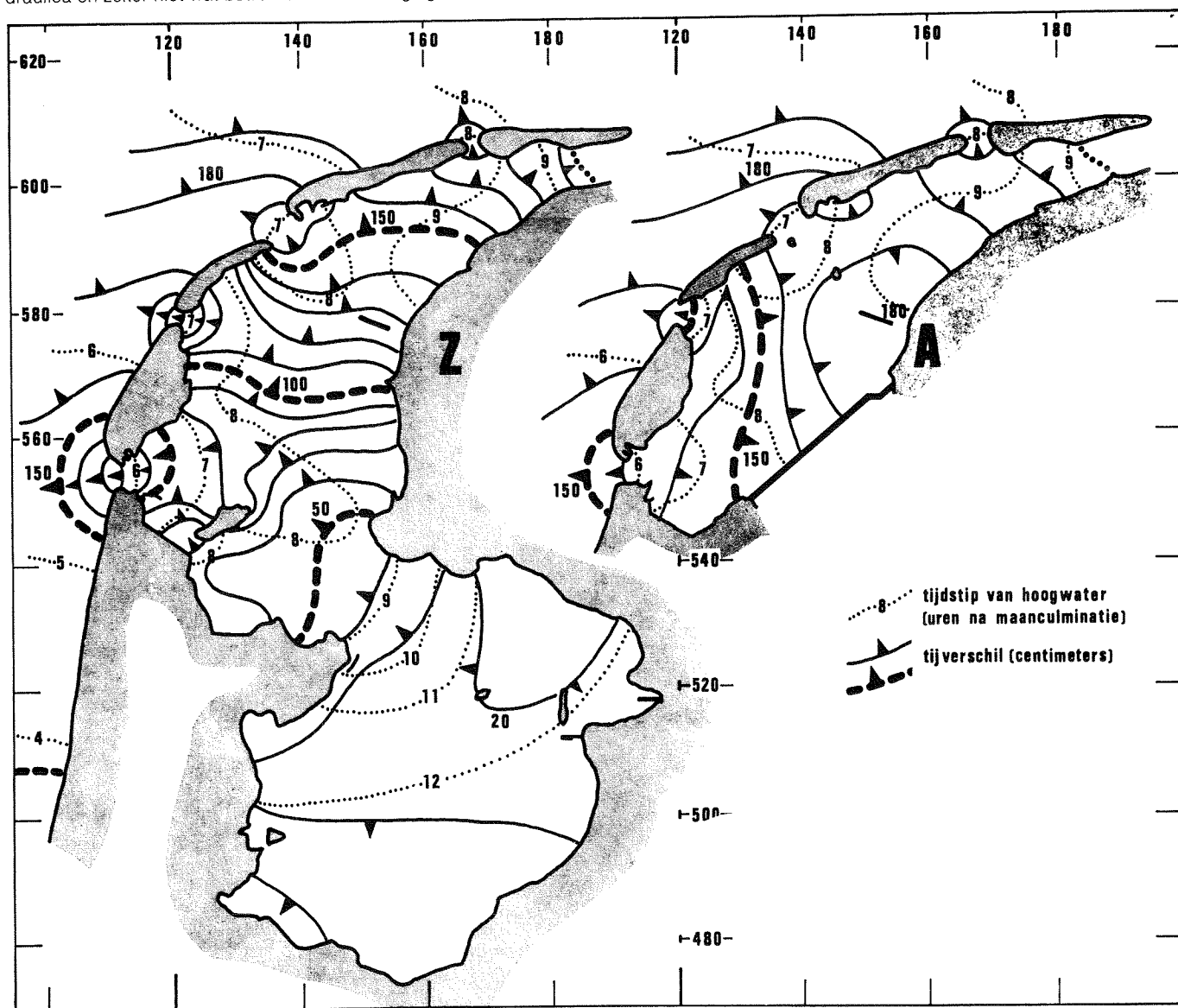


fig. 2.2 Het getij vóór en na de afsluiting van de Zuiderzee.

Wat betreft de golfloop heeft de commissie slechts een beperkt onderzoek uitgevoerd. Men deed dit onder andere in een 15 meter lange bak waar door middel van een handbewogen schot golven werden opgewekt. Aan de andere zijde konden taluds onder verschillende hellingen worden aangebracht.

Men heeft slechts gekeken naar de invloed van de waterdiepte op de golfloop en niet naar bijvoorbeeld strijklengte en richting van de golven. Toch heeft men redelijke schattingen kunnen maken.

2.4 Van klein naar groot: De dijk door het Amsteldiep

Zoals gezegd bestonden de eerste plannen voor de Afsluitdijk uit een rijzendam over 29 km. In een sluitgat van 15 km lengte zou de geleidelijke (verticale) sluiting plaatsvinden.

Dit ontwerp werd gewijzigd toen was gebleken dat bij dijkdoorbraken in Noord-Holland (1916) de klei in de dijk grote weerstand tegen stroming had. Men besloot daarom de dam op te trekken in klei, mede omdat er grote kleivelden in de omgeving waren gevonden en er materieel van voldoende capaciteit bestond.

Een ander punt was de veiligheid, een kleidam zou bij doorbraak evenveel, zo niet meer weerstand bieden tegen stroming als een rijzendam. De dichting van het sluitgat zou evenwel nog met behulp van een rijzendam gerealiseerd worden.

Tijdens het onderzoek naar kleivelden ontdekte men de keileem welke nog beter dan klei bestand is tegen sterke stromen.

Al gauw werd het bestek gewijzigd en moest keileem in de dijk toegepast worden. Met dit materiaal deed men zulke goede ervaringen op dat men het aandurfde om ook de sluiting in keileem te realiseren.

Bij de bouw van de Amsteldiepdijk deed men de volgende ervaring op:

- Aan de Noord-Hollandse zijde heeft men veel last gehad van verzakkingen, reden om in de lijn van de Afsluitdijk de grond beter te onderzoeken dan tot dan toe gebeurd was.
 - Men deed ervaring op met nieuw materiaal en nieuw materieel. Hieruit kwam men tot een opzet van het werk welke tot het einde van het werk is aangehouden (zie 2.5).
 - Tijdens de sluiting maakte men voor de eerste keer kennis met het zogenaamde „koeffect” een verschijnsel dat optreedt waar de stroom om de kop van het reeds gemaakte werk heen trekt (fig. 2.3). Er ontstaan snel ronddraaiende verticale werveltjes op de grens van de hoofdstroom en de langzaam ronddraaiende neer.
- Deze werveltjes kunnen de bodem opwoelen, grote stenen verplaatsen en kuilen vormen.
- De beste verdediging bleek een snelle voortgang van het werk, zodat dit effect niet al te lang op dezelfde plaats zijn invloed blijft uitoefenen. Door inzet van voldoende materieel kan dit gerealiseerd worden.
- Bij de afsluiting van het Amsteldiep was het mogelijk de getijberekeningen van Lorentz te controleren. De berekening bleek goed overeen te komen met de gemeten waarden.

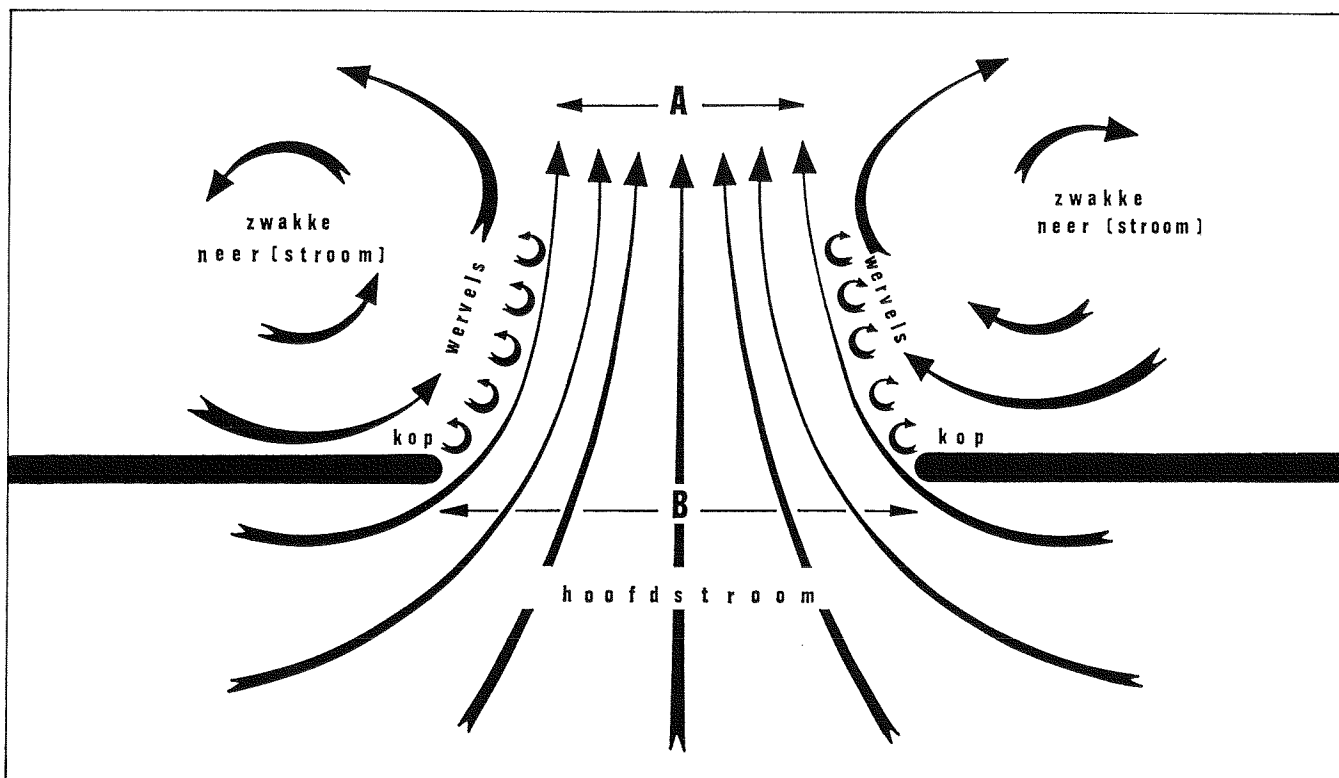
Het blijkt een goede gedachte te zijn geweest om bij het Amsteldiep materiaal en materieel te testen en tevens de nieuwe wijze van bouwen. Hiermee werden de meeste verrassingen uitgeschakeld.

2.5 Plannen voor de constructie van de Afsluitdijk

Uit ervaringen opgedaan tijdens de bouw van de Amsteldiepdijk kwam men voor de Afsluitdijk tot het volgende ontwerp:

De dijk zou eerst op de platen opgebouwd worden en er zouden zogenaamde betugelingsdammen in de geulen worden gelegd. Ter plaatse van deze betugelingsdammen zou de uiteindelijke sluiting plaatsvinden (fig. 2.4).

fig. 2.3
Het koeffect



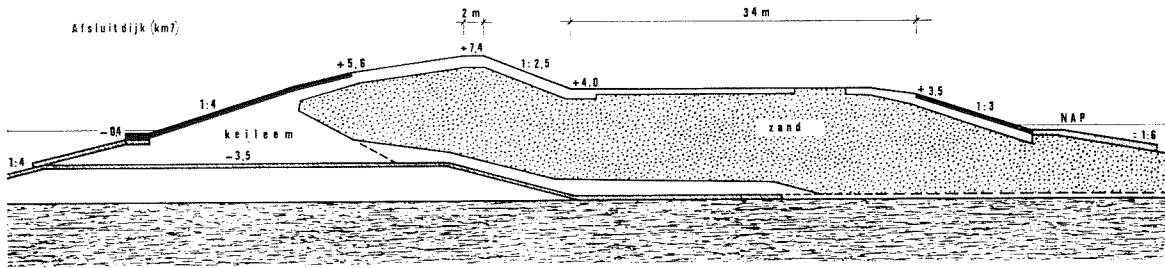


Fig. 2.4
De Afsluitdijk zoals deze is uitgevoerd

Wat betreft deze sluiting zijn in de loop van de jaren verschillende ideeën binnengekomen:

Ir. den Tex kwam met het idee om de sluiting uit te voeren met jutezakken die met zand gevuld zijn. Een ander idee was de sluiting uit te voeren door middel van een blokkendam.

De gewapend betoncommissie heeft het idee om het sluitgat door pijlers in kleine openingen te verdelen en deze openingen door middel van schuiven af te sluiten. Dit kan zowel in horizontale als verticale richting gebeuren.

Ideeën van anderen waren een variatie op de vorm van pijlers. Dr. Sanders stelt pijlers voor in de vorm van putten. De irs. de Booy en Gilles stellen pijlers voor in de vorm van wanden onderling verbonden door een grondplaat. Tenslotte was er ook een idee om de pijlers uit te voeren als stalen jukken bestaande uit 4 samengebonden schroefpalen.

Voor de Afsluitdijk zelf waren ook vele ideeën van amateurs en technici binnengekomen.

Iemand uit Duitsland schreef: Rust alle schepen in Nederland uit met kranen en ga in de Sargassozeë zeevier halen, daarmee kan op eenvoudige wijze de Afsluitdijk gebouwd worden. Zeewier was vroeger het materiaal waar dijken uit opgebouwd werden.

Andere ideeën waren onder andere die van Ten Bokkel-Huinink en die van J. van Leeuwen.

Op 15 september 1923 wendde S. ten Bokkel-Huinink, ontwerper en aannemer zich tot de minister met een geheel nieuwe methode. Deze bestond uit „een reeks aaneengesloten caissons van gewapend beton in welke later te dichten-doorlaten zijn aangebracht om tijdens de dambouw het binnen- en buitenwater vrijelijk te doen circuleren” (fig. 2.5).

De minister antwoordde uiteindelijk dat het gebruik van caissons „nog wel niet mogelijk was”.

J. van Leeuwen, fabrikant te Delft, wendde zich tot de Dienst der Zuiderzeewerken met het volgende plan:

Stapel vierkante buizen op elkaar die aan de voor- en achterzijde voorzien zijn van schuiven. Door het gelijktijdig sluiten van de schuiven wordt de afsluiting voltooid (fig. 2.6).

Ondanks deze ideeën is de dijk toch gebouwd volgens de methode die in het Amsteldiep ontwikkeld was. Argumenten waren o.a.:

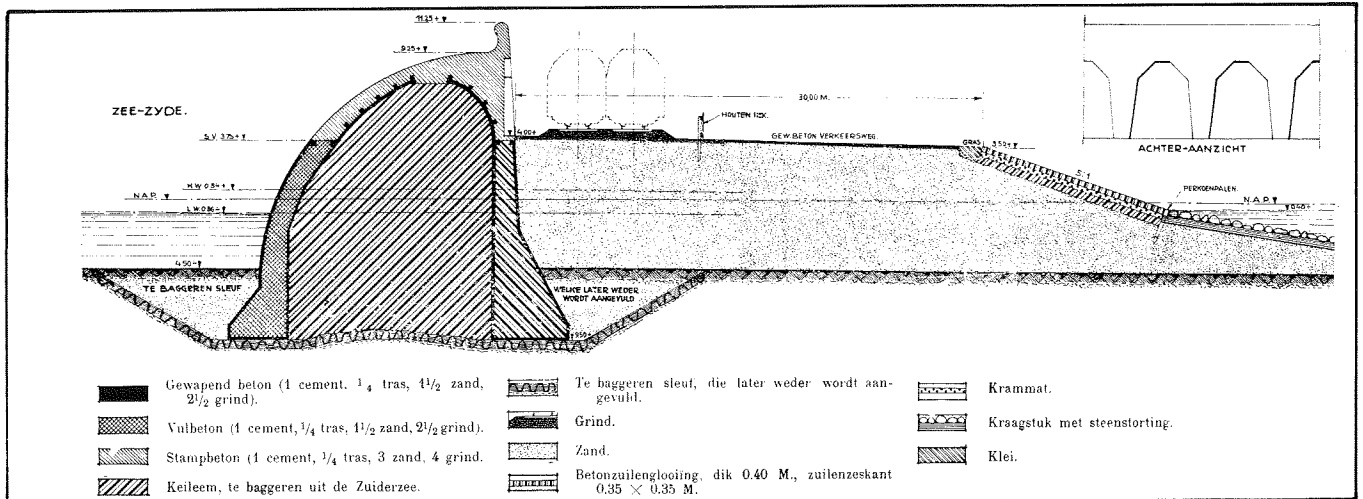
- de hoge kosten van een betonconstructie
- bij een plotselinge sluiting is het gedrag van geulen niet voorspelbaar, bijstellen is dan niet meer mogelijk
- de constructie moet direct een groot waterstandsverschil keuren en men had de middelen nog niet om te kunnen berekenen of de ondergrond deze (dynamische) belasting aan zou kunnen.

De Dienst der Zuiderzeewerken heeft zich steeds vrij behoudend opgesteld. Met voorzichtige schreden werden nieuwe paden ingeslagen. Men wees op de gevaren van nieuwigheden. Bij een dergelijk groot werk was experimenteren niet op zijn plaats. Het gebruik van keileem in het Amsteldiep was goed bevallen (en op zich al een grote stap voorwaarts). Hier had men kunnen experimenteren. Opnieuw gaan experimenteren vond men niet verstandig.

Nu hebben we misschien kritiek op deze gang van zaken, met al onze wetenschappelijke ondersteuning. De keuze voor een beproefde methode is een keuze uit angst zeggen we nu.

We moeten ons echter steeds realiseren dat men moest werken met gebrekkige gegevens en dat risico's ingeschat moesten worden met de toen beschikbare kennis.

Fig. 2.5
Plan van Ten Bokkel-Huinink



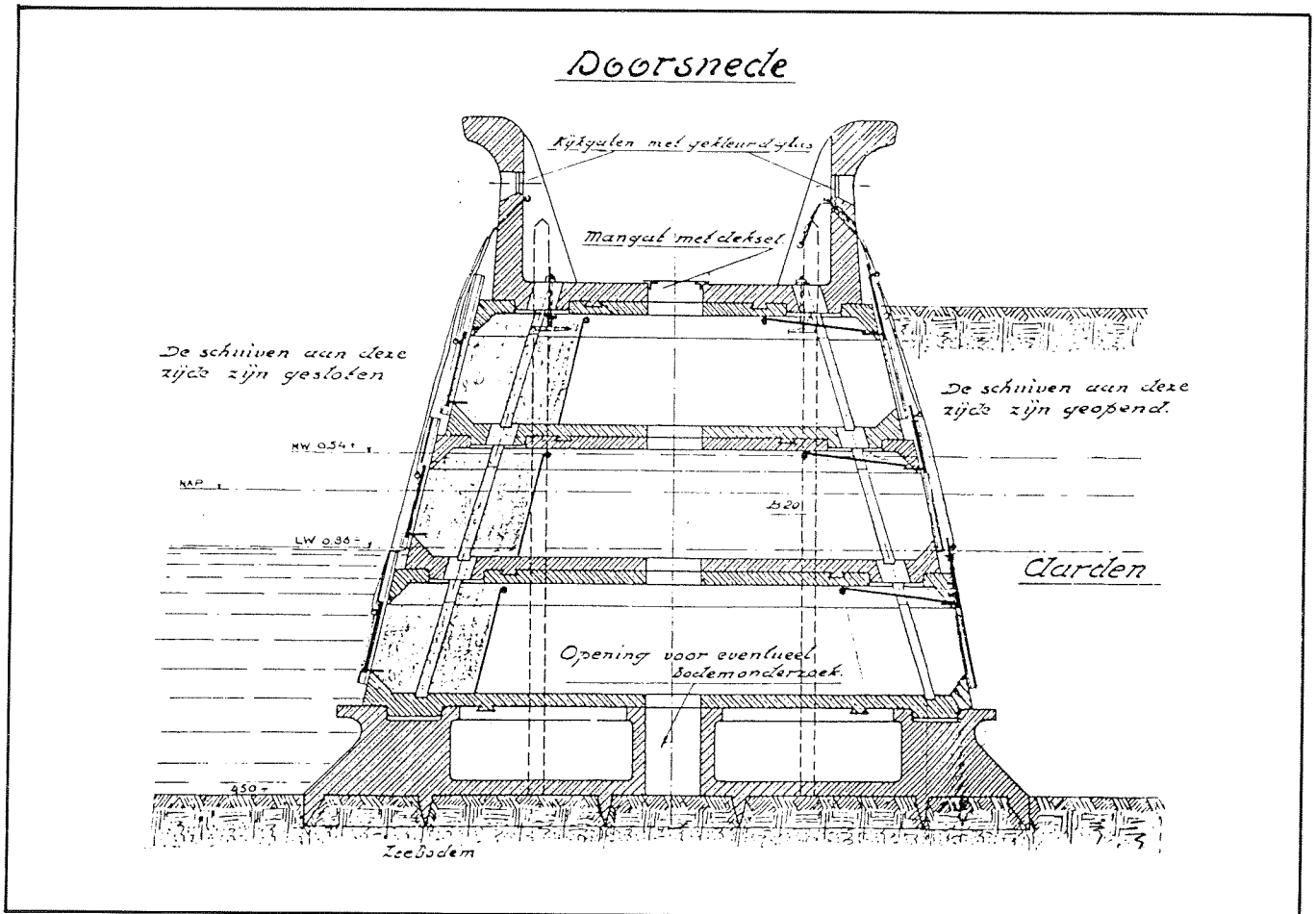


Fig. 2.6
Plan van J. van Leeuwen

2.6 Speciaal materieel, de werkwijze

De plannen voor de te volgen werkwijze in het Amsteldiep waren als volgt:

Tot L.W. wordt de dam opgetrokken met behulp van onderlossers. Boven water wordt de keileemdams verder op hoogte gebracht door elevators uitgerust met een transportband. De verbreding van de keileemdams zou een gedeelte met kipkaren en anderdeels uit de hand, dat wil zeggen met kruiwagens, geschieden.

Als de keileemdams gereed is wordt aan de Zuiderzezijde een zanddam aangebracht. Eerst door zand te klappen en vervolgens zand te spuiten. Tenslotte wordt de bekleding aangebracht. Bovengenoemde technieken waren bekend maar nog niet bij een dergelijk groot werk toegepast.

Deze werkwijze is grotendeels gevolgd. Een belangrijke wijziging die veel invloed uitgeoefend heeft op de verdere gang van zaken zijn twee drijvende havenkranen geweest. Door de aannemer werden deze kranen -die bedoeld waren voor kolenoverslag- in Rotterdam gehuurd. Ze kwamen in de plaats van de elevators (fig. 2.7).

Verder bleek dat de bestaande onderlossers voor het storten van klei en zand slecht voldeden bij het storten van keileem.

De keileem bleef in de bakken hangen en kon slechts met een krachtige waterstraal gelost worden.

Bij wijze van proef zijn 3 onderlossers gebouwd, speciaal voor het storten van keileem. Ze kregen verticale wanden.

De kleppen zijn breder dan die van de normale onderlosser, zodat deze na opening ver onder de bodem uitsteken. Met het oog daarop werd de zogenaamde oplosser gebouwd met klepscharnieren hoog tegen de zijwand van het laadruim. Hierdoor was een geringe diepgang mogelijk (fig. 2.8).

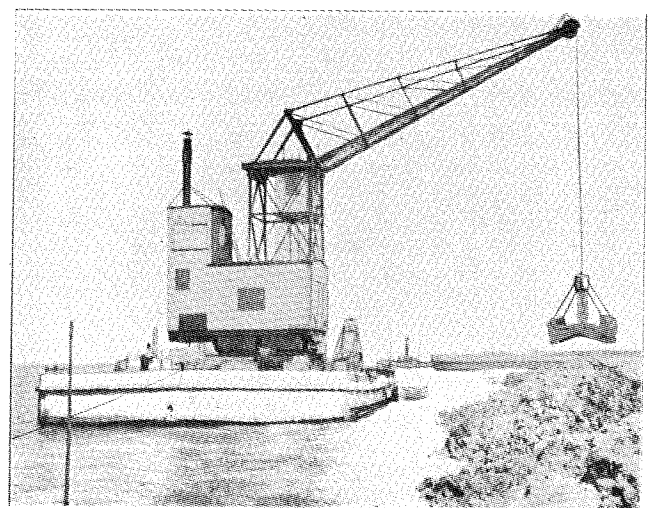


Fig. 2.7
Een van de gehuurde stoomkranen

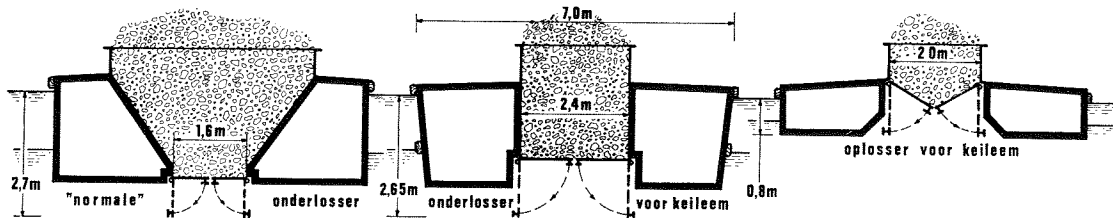


Fig. 2.8 Dwarsdoorsneden van onderlossers en oplossers.

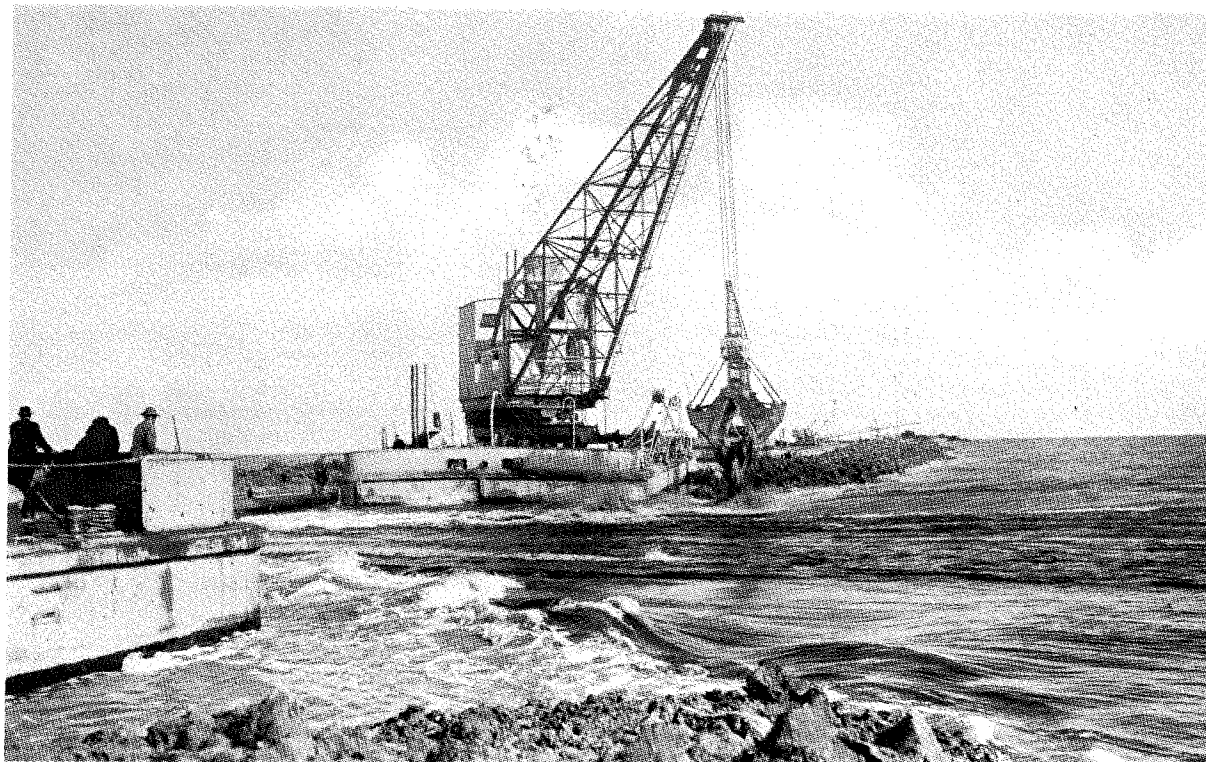
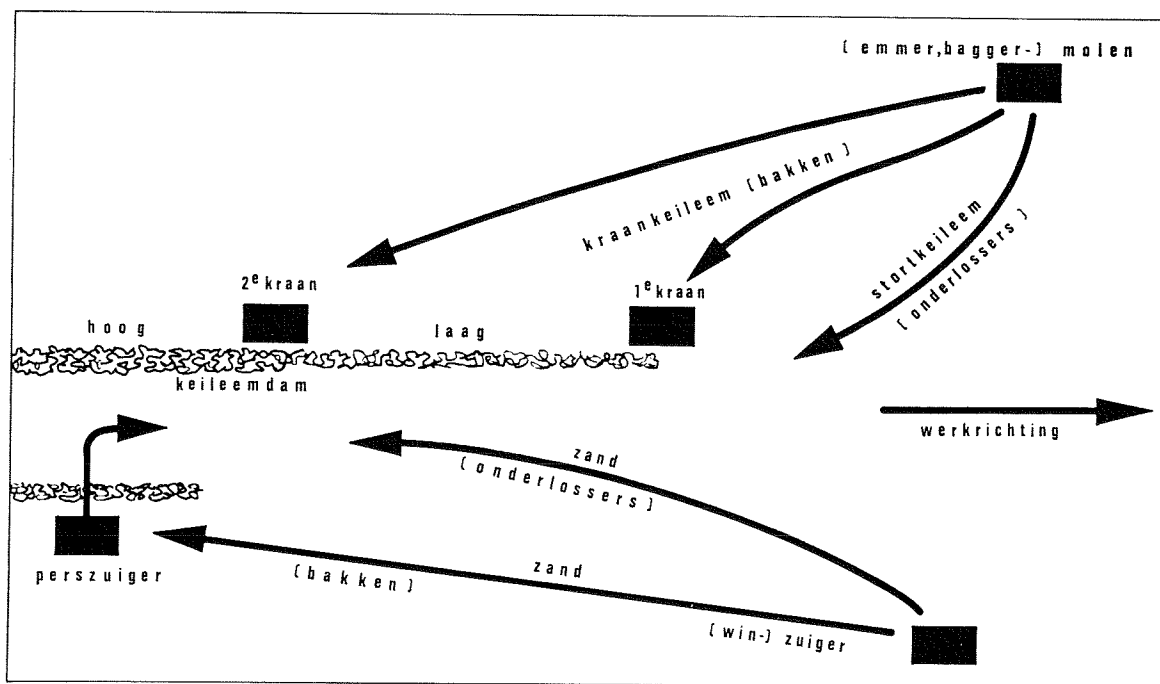


Fig. 2.9 Een van de speciaal gebouwde kranen

Fig. 2.10 De gevolgde werkwijze bij de bouw van de Afsluitdijk



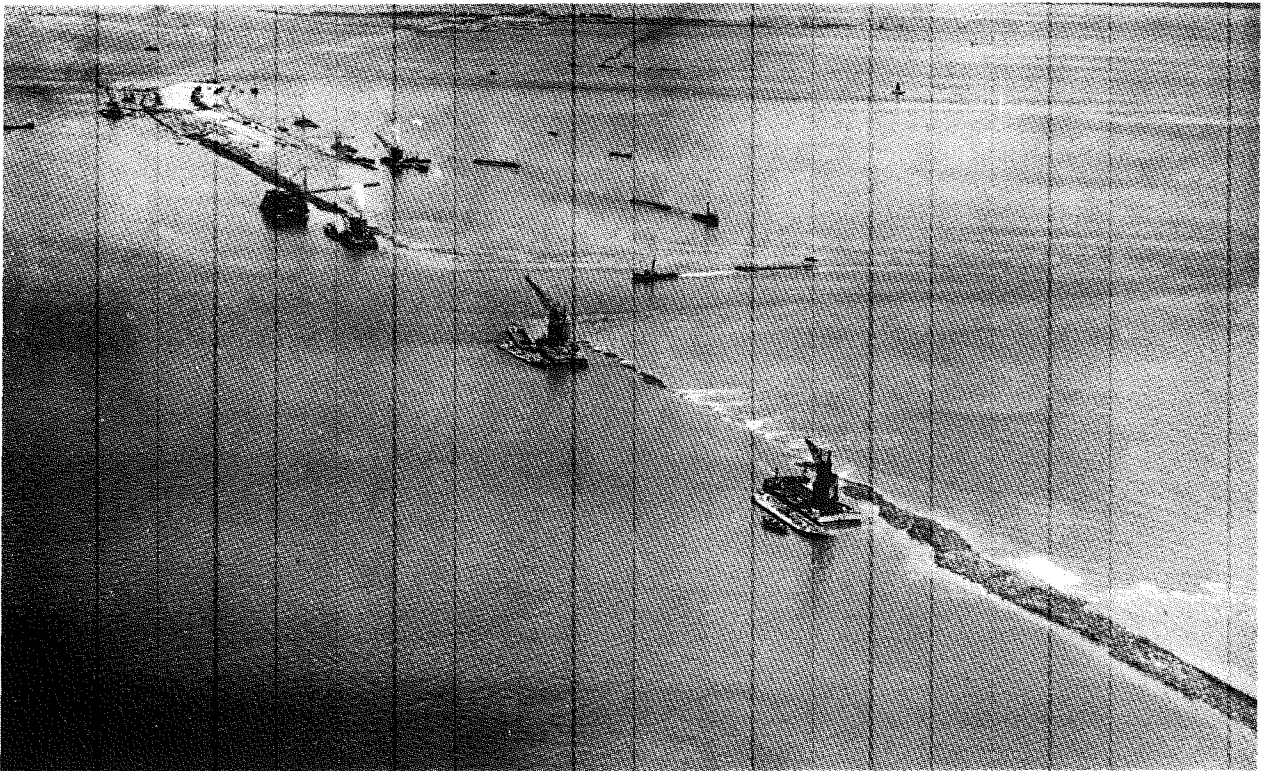


Fig. 2.11 Het vooruitbouwen van de keileemdam

Het bleek dat verticale wanden ook niet geheel voldeden, het los-
sen ging te snel. Door proeven te nemen met losse verstelbare
houten schotten is men uiteindelijk tot een constructie gekomen
die voor het storten van keileem uitstekend geschikt was.

Bij de bouw van de Afsluitdijk is deze werkwijze geperfectioneerd.
Het werken met kranen was zo goed bevallen dat 6 kranen speciaal
voor dit werk gebouwd werden (fig. 2.9).

Op het bouwfront liep het werk nu als volgt:

De eerste kraan bracht de dam tot net boven H.W., de tweede
bouwde het dammetje verder uit tot een behoorlijke waterkering
(fig. 2.10 en 2.11).

Bij de bouw van de Afsluitdijk werden ook vele onder- en oplossers
van het nieuwe type ingezet. Tevens zijn kleitransporteurs voor dit
werk gebouwd en gebruikt.

Uit bovenstaande blijkt wel dat men het speciale materieel vaak
proberenderwijs en soms zelfs bij toeval tot ontwikkeling heeft ge-
bracht. Dit gebeurde tijdens het werk en niet zoals bij de Ooster-
scheldewerken daarvóór.

Door dit nieuwe materieel was het mogelijk om tot een economische
en procesmatige opzet van het werk te komen.

2.7 Wetenschappelijke begeleiding: Modelonderzoek

Uit diverse metingen, onder andere bij de afsluiting van het Amstel-
diep, was gebleken dat de getijberekeningen van Lorentz betrouwbaar
waren. Deze commissie had diverse situaties geanalyseerd, ze had zich
echter niet bezig gehouden met diverse tussenfasen. Toch was het van
groot belang van tevoren te weten welke situatie aan het eind van elk
werkseizoen zou worden bereikt, opdat men steeds veilig kon overwinteren.
Het ging vooral om het verval wat

bij stormvloeden in de sluitgaten op zou kunnen treden met de
daarmee gepaard gaande stroomsnelheden.

Er werden sluitgatberekeningen uitgevoerd. Ter aanvulling waren
echter modelproeven nodig. Deze werden gedaan in het W.L. te
Karlsruhe.

Gezien de grote snelheden die over de betegelingsdam in de sluit-
gaten en daarachter zouden optreden ontwikkelde men zinkstuk-
ken met zogenaamde „dikke wiepen" welke de stortsteen beter op
het stuk houden. Deze wiepen hebben een grotere doorsnede dan
de normale en worden samengebonden door middel van gegalva-
niseerd draad.

Door het in 1929 gestichte Delftse W.L. werd een controleproef op
ware grootte uitgevoerd in de stortkom van de Maasstuw te Roer-
mond.

Door berekeningen en modelproeven kwam men tot de conclusie
dat met een sluitgatbreedte van 4 à 4,5 km goed te overwinteren
was.

Men had in eerste instantie 6 km nodig geacht. Langs wetenschap-
pelijke weg werd dus een besparing op zinkwerken verkregen van
ettelijke miljoenen guldens.

2.8 De grote sprong

Met de aanleg werd in 1927 begonnen op 3 bouwfronten zodat snel
gewerkt kon worden. Deze fronten lagen bij de kusten van Wierin-
gen en Friesland. Op een ondiepe plaat, het Breezand, werd een
dijkseiland met werkeiland boven water gebracht, dat in beide rich-
tingen werd uitgebouwd. Intussen werden in de geulen Middelgronden
en Vlieter- ter plaatse van de toekomstige sluiting betege-
lingsdammen aangelegd (fig. 2.12).

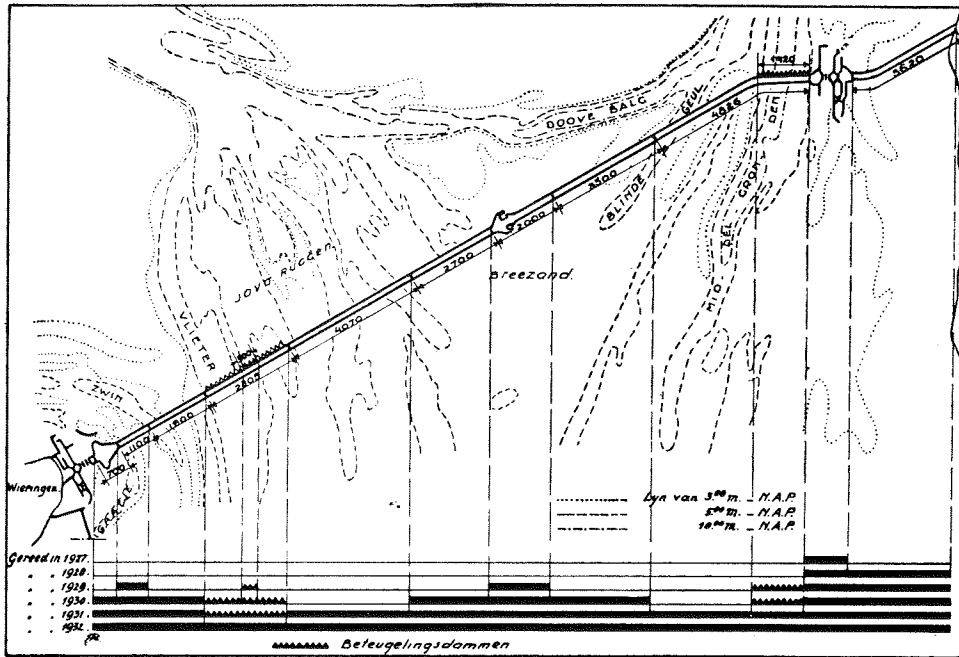


Fig. 2.12
De bouwperioden van de Afsluitdijk in de jaren 1927/1932

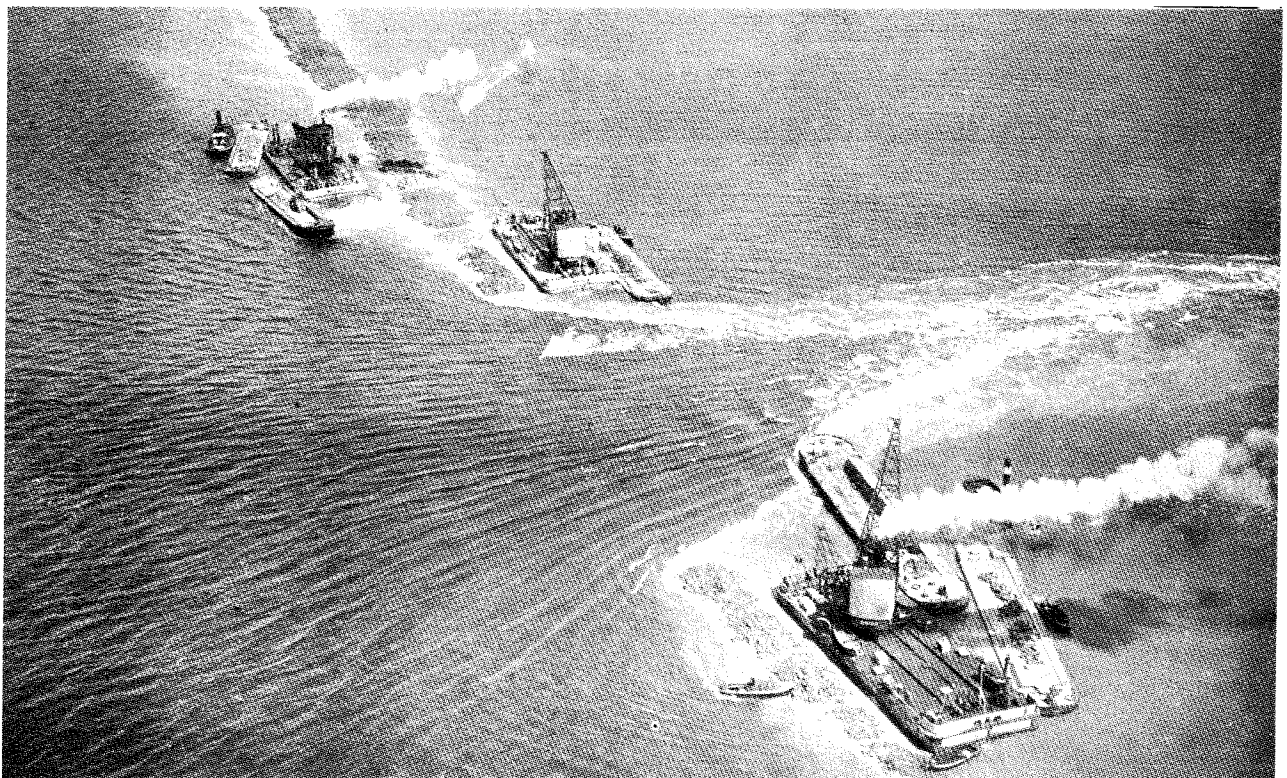
Na een aantal jaren van goede voortgang bleek in mei 1930 dat de zinkwerken in de Middelgronden aangetast waren door paalworm. Men was op het idee gekomen om deze werken te controleren omdat in enkele steigerpalen paalworm geconstateerd was. In 1931 bleek dat de aantasting zich had uitgebreid en ook in de Vlieter werd een begin van aantasting geconstateerd.

Verder bleek dat het gegalvaniseerde draad waarmee de „dikke wiepen” samengebonden waren, was aangevreten door zeewater. Het was de bedoeling om met deze sluitgaten te overwinteren, ze waren samen 4,4 km lang, deze lengte was berekend (zie 2.7).

De beteugelingsdammen liepen nu echter gevaar om tijdens een stormvloed vernield te worden en men besloot om de Middelgronden datzelfde najaar nog te sluiten. Het sluitgat in de Vlieter (2,8 km) zou dan alleen nog open liggen. Gelukkig was de conditie van de beteugelingswerken hier veel beter dan die in de Middelgronden. De bezinking in de Vlieter werd uitgebreid en men begon met de sluiting van de Middelgronden.

Midden in het sluitgat werd over 500 meter de bezinking verzwaard met oude ankerkettingen. Door ontgrondingen traden bij de sluiting herhaaldelijk verzakkingen op. Deze waren onder andere te wijten aan een te klein oppervlak aan zinkwerk in de omgeving van de beteugelingsdam. Op 22 november werd het laatste gat gedicht.

Fig. 2.13 Het sluitgat de Vlieter



2.9 De organisatie (MUZ)

De eerste Zuiderzeewerken zijn op de gebruikelijke wijze aanbesteed. Om verschillende redenen heeft men dit aloude pad verlaten bij het maken van de Afsluitwerken.

In 1932 werd de Vlieter gesloten (fig. 2:13). Door ervaring bij de Middelgronden had men de grondbezinking van de beteugelingsdam uitgebreid. Door deze voorzorgsmaatregelen bleven verzakkingen uit en het op 1 april begonnen werk resulteerde in de sluiting op 28 mei.

Het blijkt wel dat men de kracht van het water hier en daar onderschat heeft. Dit moet grotendeels toegeschreven worden aan het gebrek aan kennis. Pas bij de Vlieter blijkt, door ervaring geleerd, de grondbezinking voldoende te zijn om zonder problemen de afsluiting te voltooien.

Deze redenen zijn:

- het werk was niet geschikt om als één geheel te worden uitgevoerd. Men wist in het begin zelfs nog niet hoe de sluitgaten gedicht moesten worden.
- bij de beteugeling van het Amsteldiep was gebleken dat voor een economische en doelmatige uitvoering materieel nodig was dat speciaal voor de Zuiderzeewerken zou moeten worden gemaakt. Slechts de afsluitdijk als geheel was groot genoeg om dit materieel af te kunnen schrijven.
- Hoe verder men zou vorderen met de afsluitwerken, hoe moeilijker het werk zou worden. De ervaring die opgebouwd is kan alleen behouden worden als de continuïteit van de aannemers gewaarborgd is.

Hierop is het MUZ-contract bedacht. Vier grote Nederlandse aannemingsmaatschappijen richtten de Maatschappij tot uitvoering van de Zuiderzeewerken op (MUZ).

Het materieel wat speciaal gebouwd is:

- 6 drijvende grijperkranen
- speciale onder- en oplossers voor het storten van keileem
- 2 drijvende transporteurs voor het aanbrengen van bekledingsgrond e.d.

Literatuur

- (1) Berichten betreffende de Zuiderzeewerken. Driemaandelijkse uitgave 1920-1933. Uitgegeven door het Ministerie van Waterstaat.
- (2) Rapporten en Mededelingen betreffende de Zuiderzeewerken no.'s 1-4. Uitgegeven door het Ministerie van Waterstaat, 's-Gravenhage, Algemene Landsdrukkerij 1923-1932.
- (3) Verslag Staatscommissie Zuiderzee 1918-1926. 's-Gravenhage, Algemene Landsdrukkerij 1926.
- (4) Artiklen uit „De Ingenieur”, no.39, 1916; no.4, 5, 6, 34, 42, 1923; no.20, 1924.
- (5) Stuvcl, H.J. Het eerste offensief, 25 jaar Afsluitdijk, Staatsuitgeverij, 's-Gravenhage, 1957.
- (6) Thijsse, J. Th. Een halve eeuw Zuiderzeewerken, Tjeenk Willink, Groningen, 1972.
- (7) Cleintuar, G.L. Wisselend getij, geschiedenis van de Zuiderzeevereniging 1886-1949, De Walburgpers, 1982.

Kenmerken:

extreem snel handelen - geen tijd voor onderzoek - gebruik maken van bestaande kennis, ervaring, materieel en materiaal, arbeidsintensieve uitvoering - risico analyse.

3.1. Inleiding

Tijdens de ramp van 1953 werden waterbouwkundigen voor de opgave gesteld stroomgaten te sluiten, beschadigde dijken en de daarin gelegen kunstwerken in een zo kort mogelijke tijd te herstellen.

Als voorbeeld van zo'n situatie zal oostelijk Zuid Beveland (fig.3.1.) dienen waar de Westerscheldedijk op drie plaatsen doorbrak, waardoor ontstonden het Westgat nabij de haven van Hansweert, het Oostgat nabij Waarde en daartussen het Gat van de Veerhaven (van Kruiningen). Door deze gaten, waarvan de Veerhaven de belangrijkste was, inundeerde de polder Kruiningen (1400 ha), waarmee op 13 plaatsen stroomgaten ontstonden in de binnendijk met de polder Waarde (800 ha), zodat ook deze overstromde en dagelijks aan het getij werd blootgesteld.

3.2. Organisatie, materialen en materieel

Organisatie

Door de plotseling ontstane situatie met omvangrijke en desastreuze gevolgen waren de plaatselijke waterstaatkundige autoriteiten niet in staat het herstel ter hand te nemen. Reeds enkele dagen na de ramp werden door de Directeur-Generaal van de Rijkswaterstaat terzake deskundige medewerkers van zijn dienst aangewezen voor de leiding van het herstel op verschillende plaatsen in het rampgebied in de provincie Zeeland. Daarnaast werden op deze plaatsen aannemers toegewezen. Voor oostelijk Zuid-Beveland was dit een combinatie van Boskalis, Breejenbout en Dirk Verstoep.

De plaatselijke Rijkswaterstaatsleiding kreeg een grote mate van vrijheid m.b.t.:

- technische oplossingen
- financiële zaken
- organisatorische zaken

Zo werd het ontwerpende en bij de uitvoering supervisie houdende apparaat zelf opgebouwd met medewerkers van waterstaatsdiensten, waterschappen en daarbuiten.

Het apparaat had een hiërarchische structuur en werd gekenmerkt door slagvaardigheid en duidelijke leiding op grond van vastgestelde uitgangspunten m.b.t. de ontwerp- en uitvoeringsvisie. Deze kwam tot stand in nauw overleg met de leiding van de aannemerscombinatie en de medewerkers van het directie-apparaat. Waardevolle suggesties werden gestimuleerd en ter harte genomen.

Bij de aannemerscombinatie berustte de eindverantwoordelijkheid bij de directeur-hoofduitvoerder.

De vestiging naast elkaar in de onmiddellijke omgeving van het werk op een strategische plaats (Hansweert) heeft ook bijgedragen tot deze slagvaardigheid.

In het bijzonder moeten genoemd worden de ondersteunende diensten, zoals de peil- en meetactiviteiten, de materialenvoorziening e.d., welke onder de directe leiding stonden van het directie-

apparaat en ook daarbij gehuisvest waren. Zodoende kon in alle opzichten „on line” gewerkt worden.

Aangezien het werken in de polder, zoals voor het herstel van de binnendijk alleen met relatief veel mankracht kan geschieden was een regeling getroffen met de arbeidsreserve van de Dienst Uitvoering Werken, zodat in voorkomende gevallen een beroep kon worden gedaan op grote aantallen werkers.

Tenslotte wordt nog opgemerkt dat wat de deskundigheid m.b.t. de sluiting van stroomgaten voor een deel kon worden teruggevallen op de ervaringen verkregen tijdens het oorlogsdijkherstel op Walcheren, de Zuiderzeewerken, de afsluiting in het Brielsche Gat e.d.

Materialen en materieel

a. Materialen

Gelet op de nodige snelle levering van grote hoeveelheden materialen moest gebruik worden gemaakt van winplaatsen zo dicht mogelijk bij het werk.

Zand kon ontleend worden aan de Westerschelde in de nabijheid van het werk.

Klei met een relatief grote weerstand tegen erosie werd gebag- gerd van de Scheldebodem bij Antwerpen (Boomse klei).

Voor bekleding van dijken werd Nederlandse rivierklei gebruikt. Natuursteen werd aangevoerd uit groeven in België en rijnshout uit de bekende gebieden in Nederland. Voorts kon rekening ge- houden worden met de aanvoer van gewapend betonnen cais- sons van het type AX en BX, overgebleven uit de Tweede We- reldoorlog (landing Normandië) en gestationeerd in Engeland. Daarnaast kon worden beschikt over een z.g. eenheidselement waarmee caissons van verschillende lengte (n x 11 m) konden worden samengesteld.

Voorts waren beschikbaar kleinere stalen pontons welke als caisson gebruikt konden worden. Daarnaast speelden allerlei andere materialen een rol bij de sluitingen, zoals zandzakken, houten palen, balken enz.

b. Materieel

Het natte materieel als grondzuigers, baggermolens, drijvende kranen uit de havens van Rotterdam en Amsterdam, kantelbak- ken, onderlossers, bakken, sleepboten enz. Daarnaast het no- dige „droge” materieel.

3.3. Hoofdpijnen van het ontwerp en de uitvoering

Algemeen

Het eerste ontwerpgesprek bestond uit het bepalen van de sluitings- methodiek en het tracé van de sluiting van de drie hoofd- stroomgaten. Als uitgangspunt golden de beschikbare materialen, mankracht en materieel. Van groot belang was het ontwerp en de uitvoering in een zo kort mogelijke tijd te realiseren. Zodoende was er nauwelijks tijd voor modelonderzoek. In principe kwam het er op

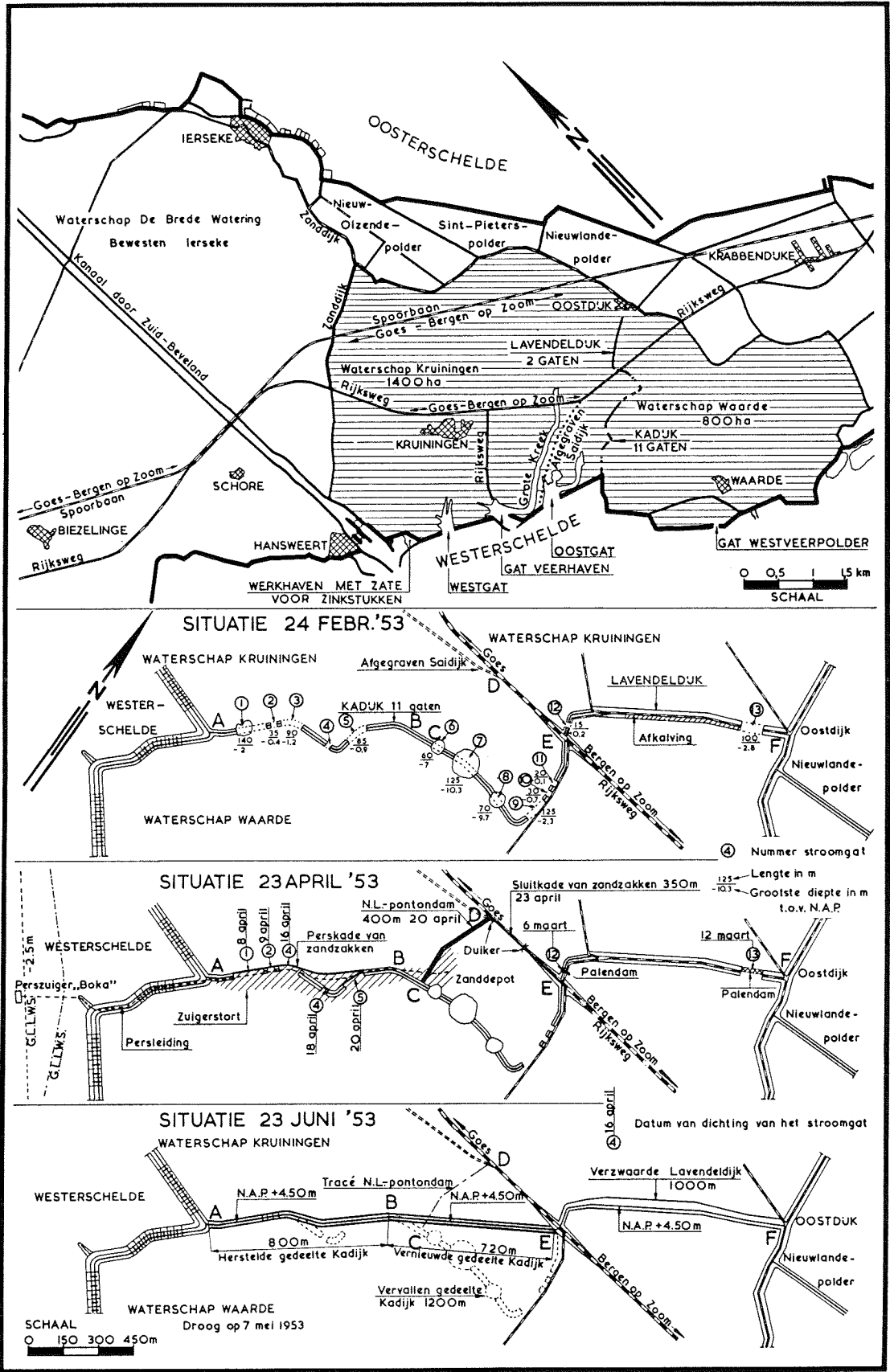


Fig.3.1. Situatie Waterschap Kruingen en Waarde.

neer dat het ontwerp met behulp van de op dat moment beschikbare kennis en ervaring van ontwerpers en uitvoerders gemaakt moest worden.

Het eerste ontwerpwerk bestond uit het bepalen van de sluitingsmethodiek en het tracé van de sluiting van de drie hoofdstroomgaten en de volgorden waarin met name in welk stroomgat de uiteindelijke sluiting zou plaatsvinden.

In principe was er keuze uit:

- geleidelijke sluiting in horizontale zin (over de kop);
- geleidelijke sluiting in verticale zin (opstorten);
- doorlaatcaissons;
- blokkering met caissons.

Voor het tracé kwamen in aanmerking:

- buitenom (buitendijks)
- in het oorspronkelijke dijkstracé
- binnendoor (maaiVELDSLUITING in de polder).

Sluiting van de stroomgaten in de zeedijk

Na afweging van alternatieven werd gekozen voor:

- a. Als eerste werd het Westgat gesloten; de uitschuring van het gat werd vertraagd door een stroombestendige veenlaag, die op den duur toch zou weg slijten; snelheid van handelen was hier geboden; daarom werd een caissonblokkering op de relatief hoog gelegen drempel toegepast en wel in het tracé van de dijk (fig. 3.2);

- b. In het Oostgat werd een z.g. maaiVELDSLUITING toegepast in de vorm van een ringdijk aan de polderzijde van de zeedijk; het herstel van de dijk zou dan later in het oorspronkelijke tracé plaatsvinden (fig. 3.3 en 3.4.);
- c. In de Veerhaven werd als definitieve sluiting een blokkering met caissons dwars door de haven toegepast op een relatief diepe drempel; eerst werd een verticale oever geformeerd als oplegging voor de te plaatsen caissons, er werd een caissonpijler in het midden geplaatst, waarna tenslotte twee afsluitcaissons werden afgezonken; de dijk rond de toekomstige nieuwe Veerhaven zou daarna worden aangelegd via een nieuw tracé aan de polderzijde. Een bijzonderheid van deze sluiting was, dat de afsluitmiddelen na gereedkomen van de dijk, op eenvoudige en snelle wijze verwijderd moesten worden. Dit om de Veerhaven zo spoedig mogelijk in gebruik te kunnen nemen (fig. 3.5., 3.6. en 3.7.).

Sluiting stroomgaten in de binnendijk

Tegelijkertijd speelde de vraag naar de wenselijkheid de kleinere stroomgaten in de binnendijk zo spoedig mogelijk te sluiten, waarmee twee belangrijke voordelen zouden kunnen worden verkregen:

- I. de polder Waarde zou enkele maanden eerder droog kunnen vallen, zodat het herstelwerk eerder kon worden gestart;
- II. t.g.v. een verkleining van het kombergingsgebied zouden de debieten door de hoofdstreamgaten enigermate worden gereduceerd, hetgeen ten goede van de werken voor de sluitingen zou komen.



Fig.3.2.

Blokkering Westgat, Kruiningen in 1953.

Fig. 3.4
De maaield sluiting in het oostgat, Waterschap Kruiningen, 1953



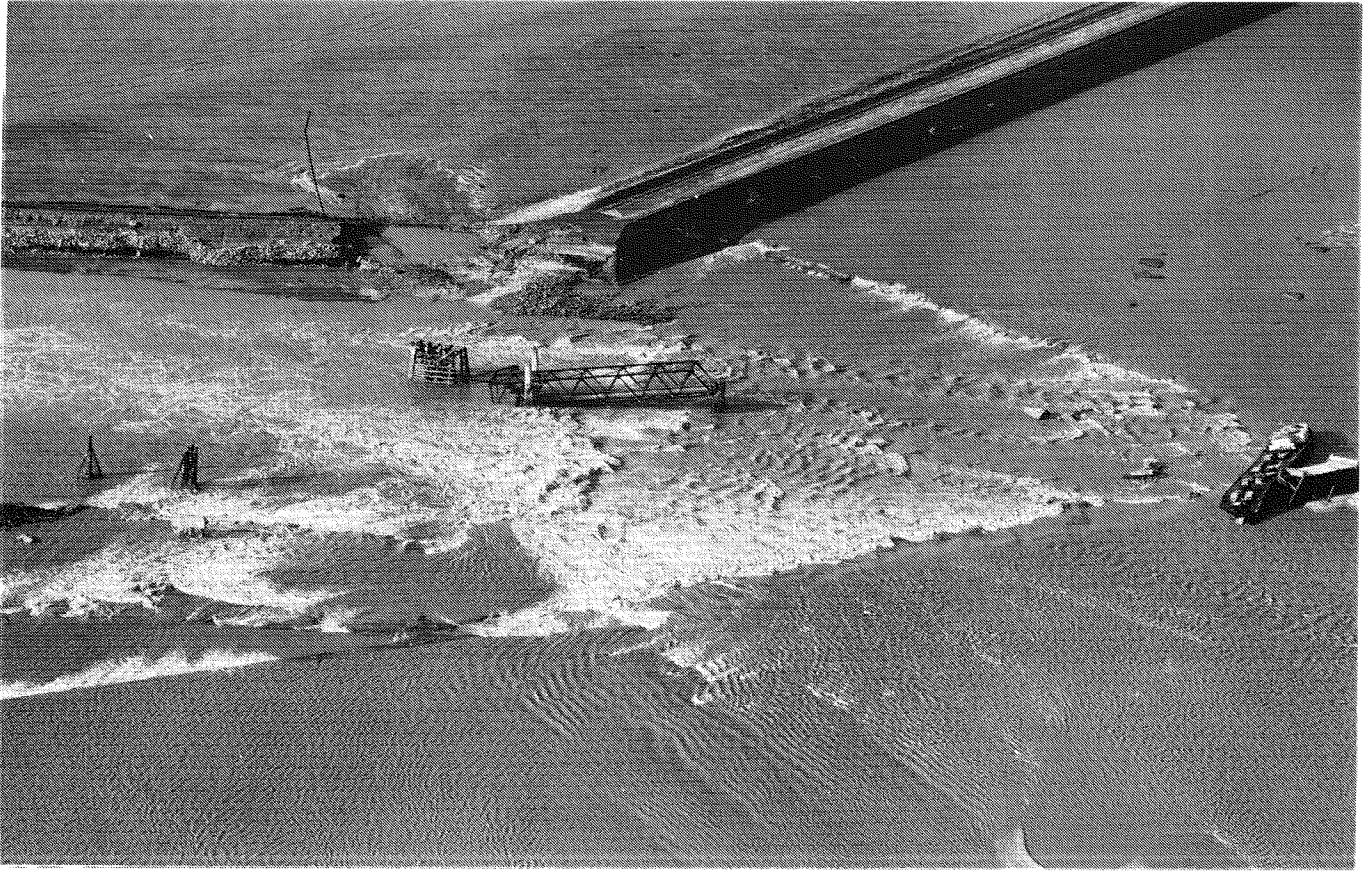


Fig. 3.5
Doorbraak Veerhaven Kruijningen, 2 februari 1953.

Fig. 3.7
Blokking van Veerhaven Kruijningen met laatste caisson, 1953



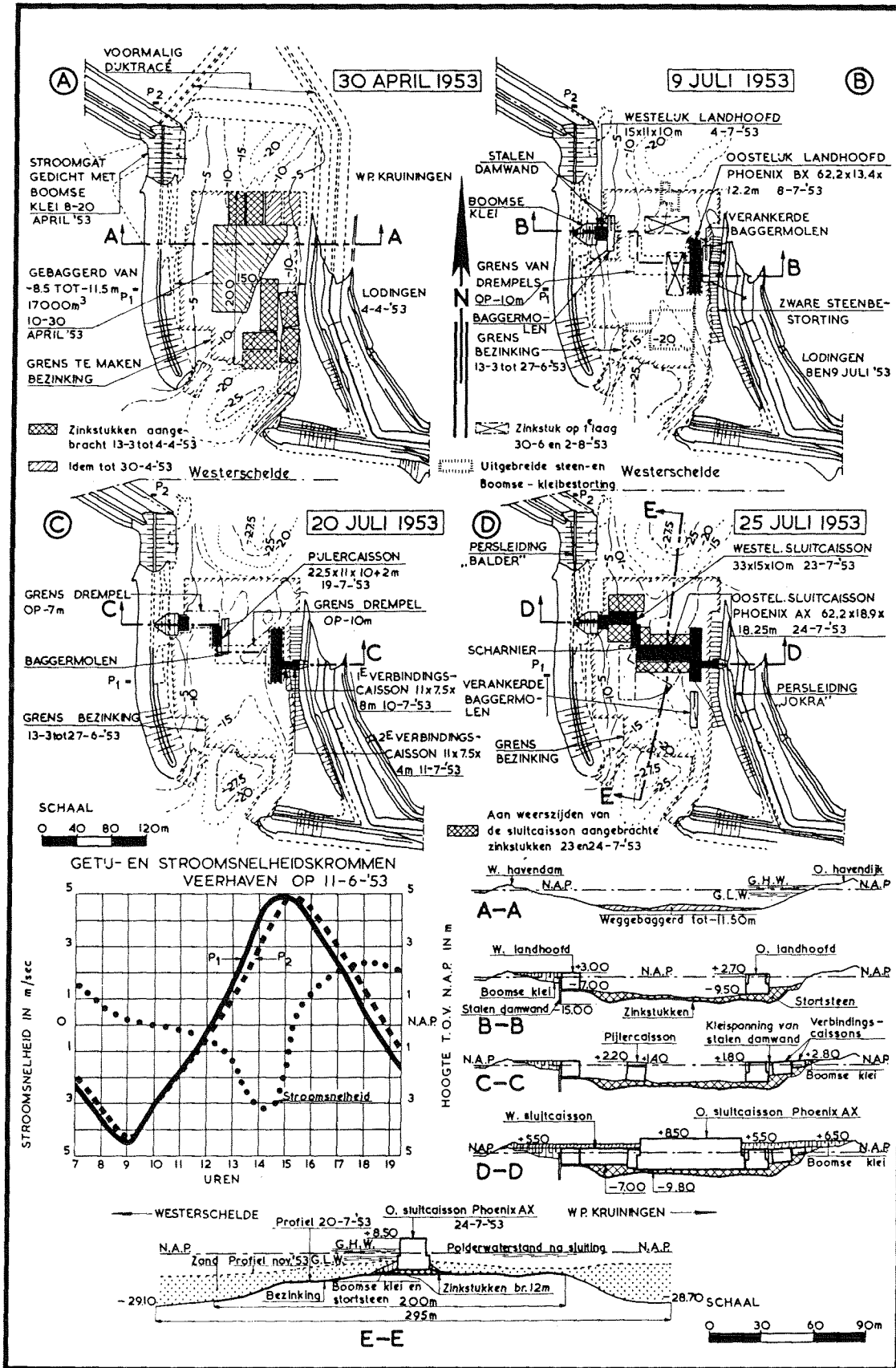


Fig. 3.6 Waterschap Kruijngen, blokkering gat in de Veerhaven in 1953

Aangezien de werkzaamheden aan de binnendijk onafhankelijk en zonder capaciteitsreductie van die van het herstel van de stroomgaten in de zeedijk konden plaatsvinden, werd besloten de binnendijk zo spoedig mogelijk weer waterkerend te maken. Ook het sluitingsplan van de stroomgaten in deze dijk werd opgesteld, waarbij de uiteindelijke sluiting zou plaatsvinden op de rijksweg Bergen op Zoom - Middelburg. De sluiting zou plaatsvinden door de opbouw van een kade van zandzakken in een periode van doortij van LW tot HW.

Het zal duidelijk zijn dat in het ontwerp de uitvoeringsmethode volledig werd geïntegreerd, waarbij rekening werd gehouden met de beschikbaarheid van blokkeringsmiddelen als caissons en andere materialen, mankracht en materieel.

Vooraf de wijze van transport en verwerking van de materialen op de bouwplaats speelden een rol van betekenis. De logistiek was een punt van zorg.

3.4. Uitvoeringsplanning

De planning in de tijd en het bijstellen ervan was belangrijk voor het welslagen van zo'n werk, temeer als men bedenkt dat het opnieuw waterkerend maken van de binnendijk was gepland op eind april 1953 en de sluiting van de stroomgaten in de zeedijk eind juli 1953, dat is 3 resp. 5 maanden na de inundatie.

Behalve een overall planning waren er detailplanningen voor de verschillende sluitingen. In het bijzonder moeten worden genoemd de gedetailleerde planning van activiteiten voor een blokkering, waarbij de tijdseenheid in verschillende gevallen één minuut bedroeg.

3.5. Sluitingsoperaties, gebruik van een maquette

Sluitingsoperaties kenmerken zich doordat in een relatief korte tijd (½ à 1 dag) een groot aantal handelingen moeten plaatsvinden met verschillende stukken materieel (baggermolens, zuigers, bakken, sleepboten, meetvaartuigen), blokkeringsmiddelen als caissons, steen, klei, stalen netten, enz.

Vereiste is dat op grond van het ontwerp een draaiboek van het uitvoeringsplan wordt opgesteld. Hiertoe werd gebruik gemaakt van een droog schaalmodel (maquette) van het sluitgat (gemaakt door de plaatselijke scheepswerf te Hansweert) met het materieel. Deze maquette was ondergebracht in een tent. Verschillende onderdelen van deze maquette waren uitneembaar als drempels, caissons, e.d.

Het uitvoeringsplan werd uitgedacht door de ontwerpers in overleg met uitvoerders en bazen. Het 1e concept werd dan met de verantwoordelijken voor de uitvoering gesimuleerd in de maquette. Waar nodig werd het uitvoeringsplan bijgesteld totdat de beste werkwijze was gevonden. Dit werd vastgelegd in een draaiboek met tijdschema.

De dag voordat de blokkering zou plaatsvinden werd de maquette gebruikt voor de generale repetitie: de simulatie van de uiteindelijke sluitingsoperatie. De hiermee verkregen resultaten waren verbluffend: het draaiboek was opgeslagen in de hoofden van de uitvoerenden en manifesteerde zich bij de verschillende handelingen, telkens ingezet door een kort fluitsignaal van de hoofdvoerder.

3.6. Risico-analyses

Algemeen

Door het vereiste hoge tempo van de uitvoering was de voorbereiding ervan, met name de ontwerptijd, zeer kort. Zo kon slechts in beperkte mate hydraulisch modelonderzoek plaatsvinden dat zich concentreerde rond de definitieve sluiting in de Veerhaven. Waterbeweging door de sluitgaten, met name bij de verschillende bouw-

fasen, werd door berekeningen bepaald en geverifieerd met metingen in de natuur. Het werd gekenmerkt door een relatief groot getijverschil (3.75 m bij springtij) en hoge snelheden; in de Veerhaven tot rond 5 m/sec.

De bodemsamenstelling en grondeigenschappen werden in hoofdzaak ontleend aan een beperkt aantal bestaande gegevens. In het algemeen bestond deze uit fijn zand, afgedekt met een laag zavelachtige grond. Het geheel was zeer erosiegevoelig.

Voor het welslagen van de afsluitingswerken was het vereist elke potentiële ongewenste gebeurtenis te voorkomen. Op grond van risico-analyses werden deze bepaald. Dit heeft ertoe geleid, dat:

- directe preventieve maatregelen zijn genomen en
- voor de meest bedreigde onderdelen bij begin van bezwijken de methodiek en het daarvoor nodige materieel en materialen gereed lag (calamiteiten voorraad). De zeggenschap over deze laatste was voorbehouden aan enkele daartoe aangewezen personen van de werkleiding.

Zo lagen in de haven van Hansweert: onderlossers met Boomse klei, bakken met stortsteen en een rijshouten zinkstuk.

Sluitgat Veerhaven

Een van de meest bedreigde onderdelen was de bodemverdediging, bestaande uit rijshouten zinkstukken met natuursteen ballast. Eén van de meest essentiële zaken hierbij is de detectie van het begin van bezwijken. Indien dit n.l. niet gebeurt, ontstaat veelal grote schade en sterke vertraging in de uitvoering. Dit betekent, dat frequent moet worden gepeild. Met het oog op de hoge stroomsnelheden kon dit slechts rond de kentering van het getij plaatsvinden. De procedure was zodanig, dat bij constatering van verdiepingen op de analoge registratie van het echolood dit „on line” moest worden doorgegeven.

Bij de bodemverdediging van de Veerhaven is zo'n begin van bezwijken geconstateerd, n.l. in de buurt van de naad van twee stukken een verdieping tot 6 m over relatief grote lengte. Deze ontwikkeling kon met succes op zeer korte termijn worden bestreden met Boomse klei en steen dat alléén bestemd was voor dit soort gebeurtenissen.

Een ander zeer kritisch onderdeel is de naad tussen de stenen drempel en de daarop afgezonken sluitcaisson. Hierbij moet bedacht worden dat de plaatsing geschiedt bij de LW-kentering, zodat bij het eerstvolgende HW een aanzienlijk verval gekeerd moet worden (ongeveer 3m).

De afdichting geschiedt in eerste instantie met het storten van Boomse klei met kantelbakken en het storten van steen van zijlossers aan de zeezijde van de caissonwand.

Voor geval de naad (plaatselijk) te grote afmetingen voor deze materialen zou hebben, werden getwiste stalen netten en rijshouten zinkstukken achter de hand gehouden, welke als drager dienden voor steen en klei.

Niet onvermeld mag blijven dat op het kritieke moment van de voorzieningen m.b.t. de naad de bemanning van de genoemde kantelbakken gingen staken en (opnieuw) een hogere gevarenpremie eisten. Deze ongewenste gebeurtenis is opgevangen door deze bakken te bemannen met leidinggevende medewerkers van directie en aannemer.

Sluiting Oostgat

Bij de maaiveldsluiting in het oostgat met behulp van betonnen manchetten (caissons zonder bodem), gevuld met Boomse klei, direct op zavel/klei-achtige polderbodem, werd de erosie rond de manchetten bestreden met Boomse klei, aangebracht met grijperkranen. Deze erosie was soms zo ernstig dat manchetten met kleivulling verzakten (fig. 3.8). De hiervoor nodige extra hoeveelheden klei moesten soms ontleend worden aan de calamiteitenvoorraad.

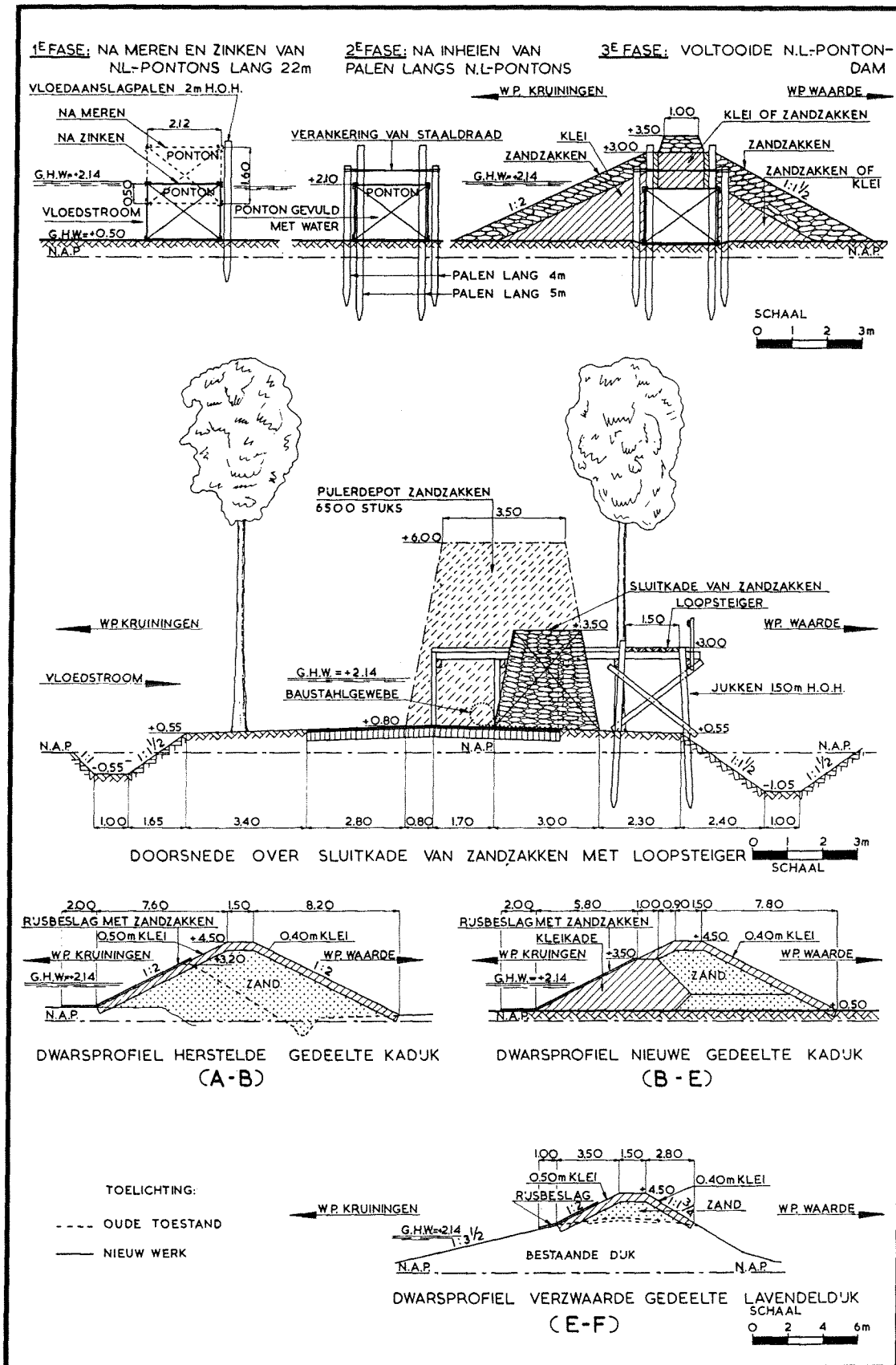


Fig. 3.9
 Waterschappen Kruijningen en Waarde, aanleg N.L.-pontondam en sluiting Kadijk in 1953

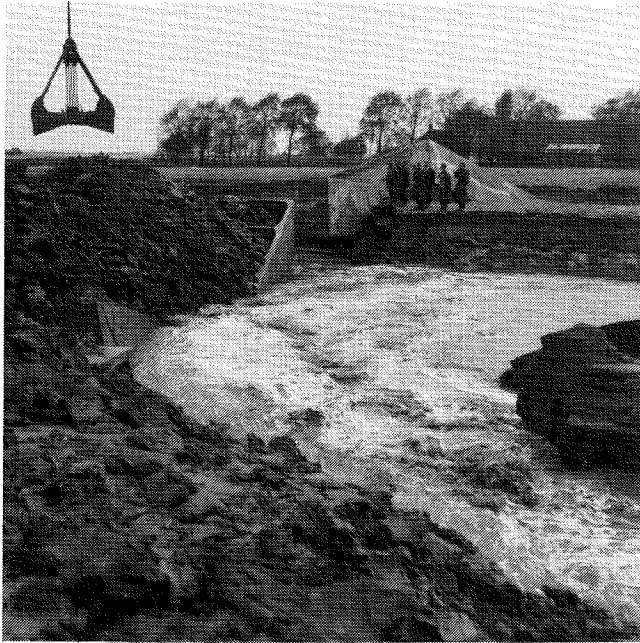


Fig. 3.8
Erosie onder betonnen manchetten,
maaijeld sluiting oostgat waterschap Kruijningen, 1953



Fig. 3.10
Rollen staaldraadgaas ter voorkoming van wegspoelen zandzakken,
sluiting op de Rijksweg polderwaarde 1953

Sluiting op Rijksweg

Op de ongewenste gebeurtenissen bij sluiting van de stroomgaten in de binnendijk zal hier niet worden ingegaan. Ze konden telkens worden bestreden. Wel wordt hier vermeld dat een enkele ongewenste gebeurtenis werd veroorzaakt door onverschilligheid op zondag. Om de arbeidscapaciteit op peil te houden bleken overdag 2 x zoveel mensen uit de arbeidsreserve nodig te zijn dan vast aannemerspersoneel en 's nachts moest een faktor 3 worden gehanteerd. Wel zal in het kader van het opnieuw waterkerend maken van de binnendijk worden ingegaan op de uiteindelijke sluiting op de Rijksweg Goes - Middelburg.

Deze was ontworpen als een sluitkade op te bouwen met zandzakken (fig. 3.9). Hiertoe werden deze in depots op de Rijksweg opgebouwd. Rond deze depots en langs het tracé van de sluitkade werden houten steigers gebouwd tot boven HW.

In de depots was de sluitkade reeds ingebouwd. De openingen tussen deze depots zouden dan door mankracht worden afgesloten door het aanvankelijk storten en later stapelen van zandzakken uit de depots.

De Rijksweg was mede gekozen omdat het wegdek als een betrouwbare bodemverdediging kon fungeren. Daarnaast leverden de bomen nog een bijdrage tot de stabiliteit van de steiger. Het gevaar dat de zandzakken, welke op het door algen glad geworden wegdek werden gestort, zouden wegglijden (door de stroom), werd voorkomen door een kering in de vorm van een rol van staaldraadgaas, welke aan het wegdek was verankerd. De stroom kon nagenoeg ongehinderd deze rol passeren.

De opbouw van de kade door rond 3000 man, verdeeld over twee ploegen per opening, vond probleemloos plaats. Mits goed georga-

niseerd kan met mankracht flexibel en een hoge capaciteit worden bereikt. Het voordeel m.b.t. risico is dat niet geblokkeerd wordt met één (groot) afsluitmiddel (caisson), maar met vele vorm aanpasbare (kleine) elementen (zandzakken). De kade-afsluiting wordt in zodanig tempo opgebouwd, dat de kruin de getijrijzing voorblijft.

7. Conclusies

- Een slagvaardig en terzake deskundig ontwerpapparaat van relatief kleine omvang en dat hiërarchisch is gestructureerd, kan gebaseerd op analyses in korte tijd een goed ontwerp leveren en het werk technisch wetenschappelijk begeleiden.
- Volledige integratie met de uitvoering, daarbij rekening houdend met beschikbare materialen, materieel en mankracht, is noodzakelijk.
- Overleg met betrokkenen en stimuleren van ideeën bij de medewerkers levert een zeer waardevolle bijdrage.
- De „on line” werkwijze van peilingen en andere metingen (monitoring) van het reeds gemaakte werk en de omgeving daarvan zijn essentieel. Hierbij is de plaatsing van het ondersteunde apparaat direct onder de projectleiding van belang.
- Het bepalen van de uitvoeringswijze van gecompliceerde handelingen bij sluitingen met behulp van een maquette bleek een goed hulpmiddel te zijn. De resultaten van de generale repetitie t.b.v. de werkelijke uitvoering waren zeer succesvol.
- Het toepassen van een consequente risico-analyse heeft geleid tot het beter onderkennen van potentiële bezwijkmechanismen. Hierdoor konden preventieve maatregelen worden genomen. Voor de meest bedreigende ongewenste gebeurtenissen werden materialen en materieel vastgelegd. Hiervan is in een aantal gevallen gebruikgemaakt.

Kenmerken

Kosten optimalisatie, Flexibel ontwerpen, Beheer en onderhoud, Kwaliteitsbewaking.

4.1. Inleiding

„Waterweg van Rotterdam naar zee; 31 oktober 1866. De Prins wierp daarin drie spaden aarde” zo luidde het opschrift op de aan de Prins van Oranje aangeboden kruiwagen bij gelegenheid van het graven van de Nieuwe Waterweg, naar idee van de in Breda opgeleide ingenieur Pieter Caland.

Honderd jaar later is de haven Rotterdam aan uitbreiding toe en het ontwerp „Nieuwe havenmond Hoek van Holland” krijgt langzaam vorm. Het is een goed voorbeeld van de ontwikkeling in de ontwerpfilosofie voor waterbouwkundige constructies. Wat vandaag de dag, bij een goed ontwerp, als vanzelfsprekend wordt ervaren was toen vernieuwend.

4.2. Het ontwerp

In de jaren '50 ontstond behoefte aan uitbreiding van de havenmond Rotterdam, als gevolg van de steeds groter en moeilijker bestuurbaar wordende schepen en de toenemende intensiteit van het scheepvaartverkeer.

Het creëren van havenuitbreiding voor Rotterdam, het bereikbaar maken van de haven voor de grootste schepen en het aanleggen van een afzonderlijke toegang voor olietankers vormden de doelstelling van het in 1963 gereedgekomen ontwerp.

De functionele ontwerpeisen waaraan voldaan moest worden waren stroomgeleiding in en naar de haven, golfdemping in de buitenhaven en golfkering voor de Maasvlakte. Heel globaal ziet de ontstaansgeschiedenis van de nieuwe havenmond Hoek van Holland er als volgt uit:

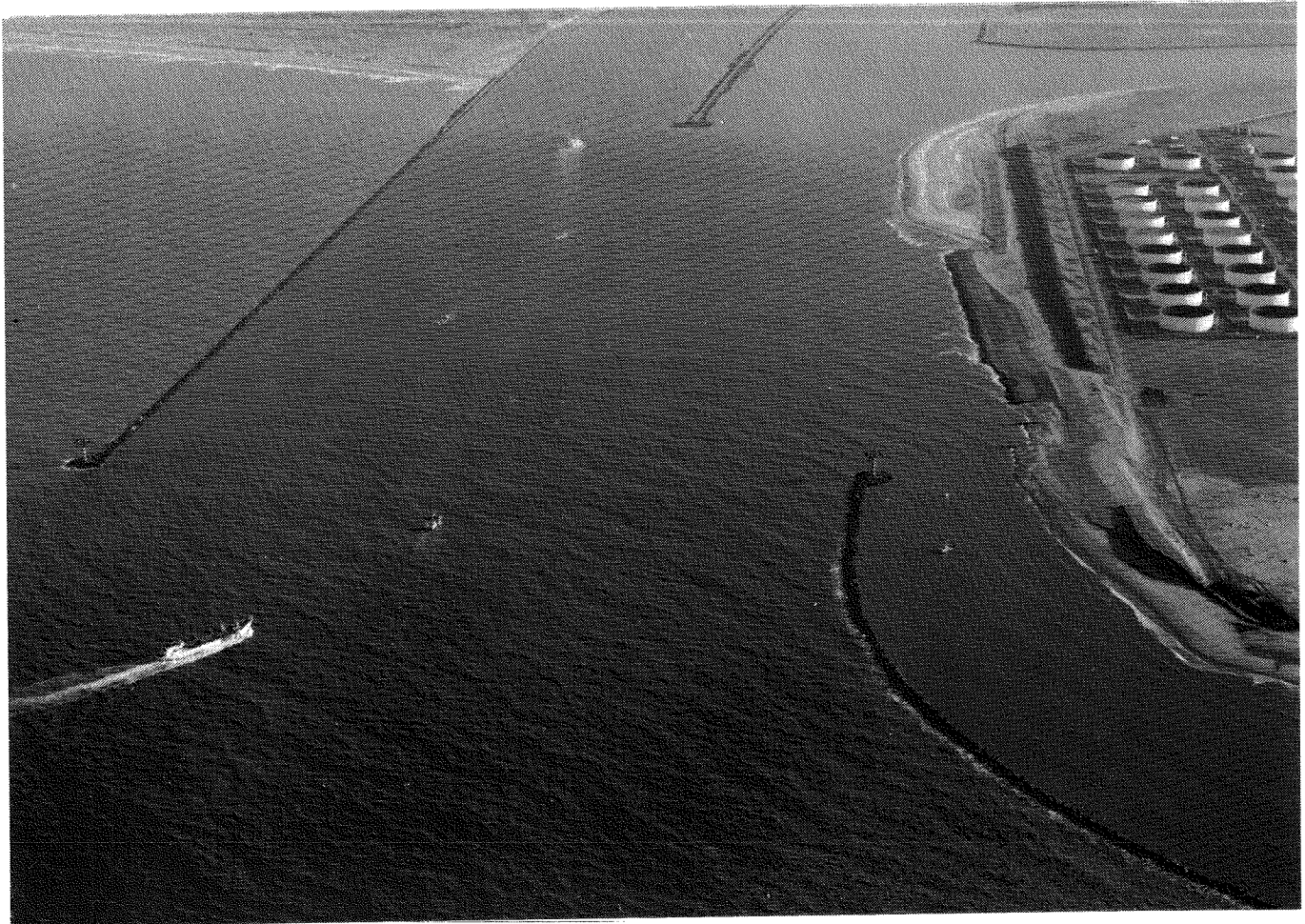


Fig. 4.1
Nieuwe havenmond Hoek van Holland

- 1945 - 1950 Ontwikkeling van scheepvaart en industrie.
- 1956 Behoeftte aan uitbreiding van de havenmond.
- 1958 Plan 1958 is in ontwerp gereed. (Figuur 4.2.)
- 1958 - 1961 Nieuwe ideeën en ontwerpen.
- 1963 Eindplan 1963 (57 ft. plan) gereed. (Figuur 4.3)
- 1966 - 1967 Start van de uitvoering op basis van eindplan 1963.
- 1970 - 1971 Nieuwe inzichten in de schaalvergroting van de scheepvaart (restricted draught tankers) uit fysisch modelonderzoek.
- 1971 Gemodificeerd plan (65 ft-plan) wordt vigerend.
- 1976 Oplevering van het werk met 68 ft. vaargeul.

De hoofdonderdelen van het vigerende 65 ft-plan (zie fig. 4.4) zijn de haventoeegang (zanddam, stenen dam en zuidwal), de definitieve toegang tot Europoort en Maasvlakte, de vaargeul en aanloop in zee, de nautische uitrusting en de aanpassingswerken, zoals maatregelen in verband met verzilting en strandaccumulaties.

Enkele opmerkelijke aspecten van dit 65ft-plan die hier aan de orde zullen komen zijn het afwegen van alternatieven o.a. met behulp van kosten optimalisatie, de uitbouw van de zanddam, de dimensionering van de zuidwal, de filteropbouw, het plaatsen van betonblokken, het beheer en onderhoud en de aanpassing van het ontwerp aan schaalvergroting in de scheepvaart. Verder kunnen nog

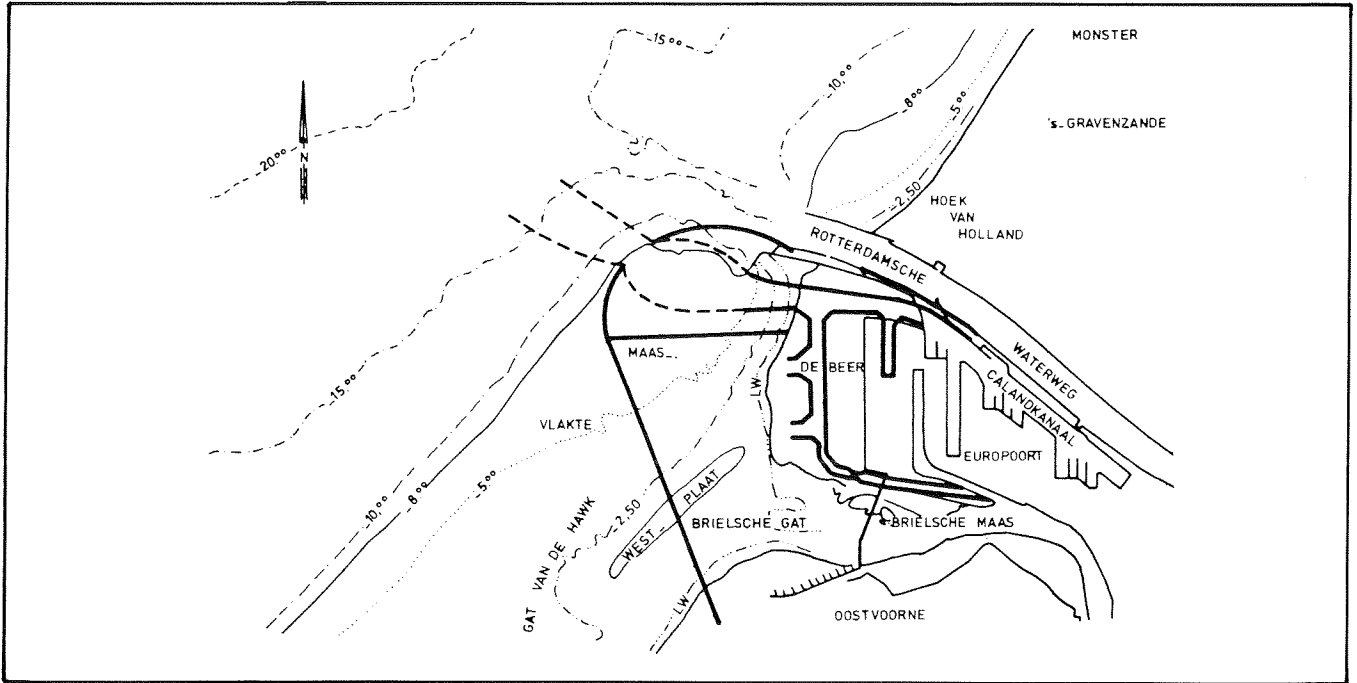
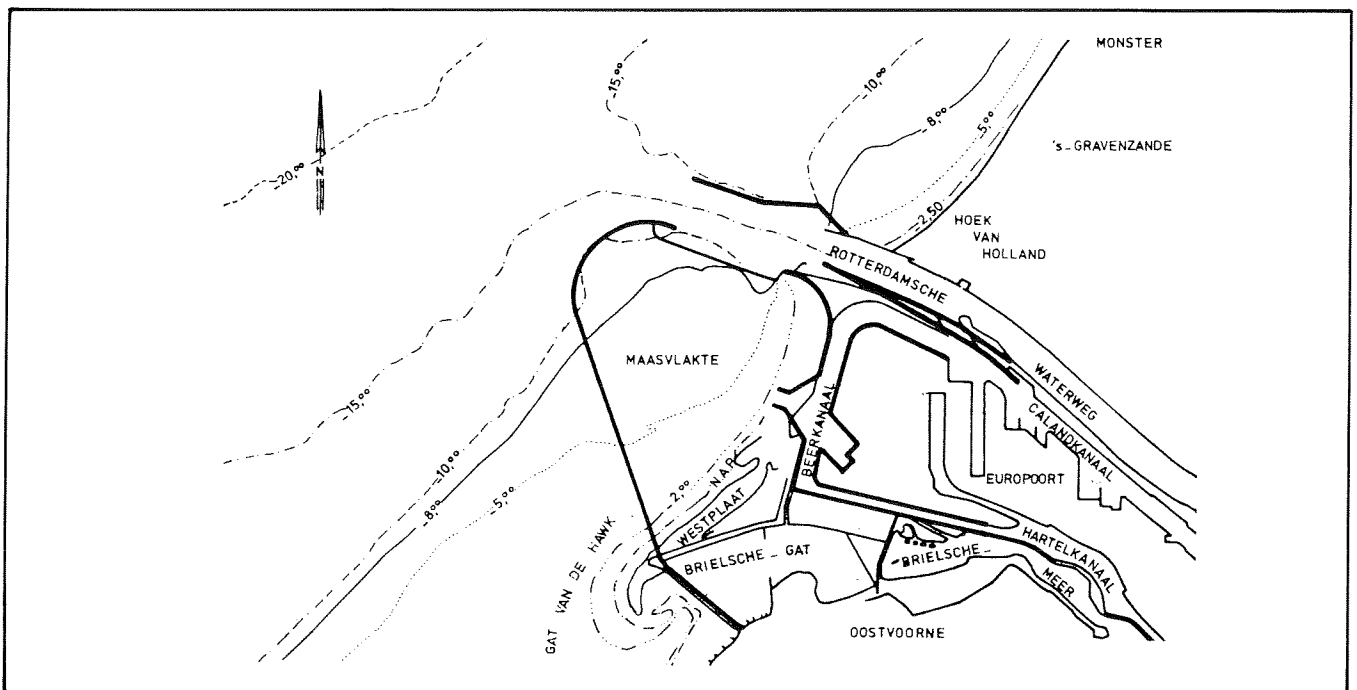


Fig. 4.2
Plan 1958

Fig. 4.3
Plan 1963



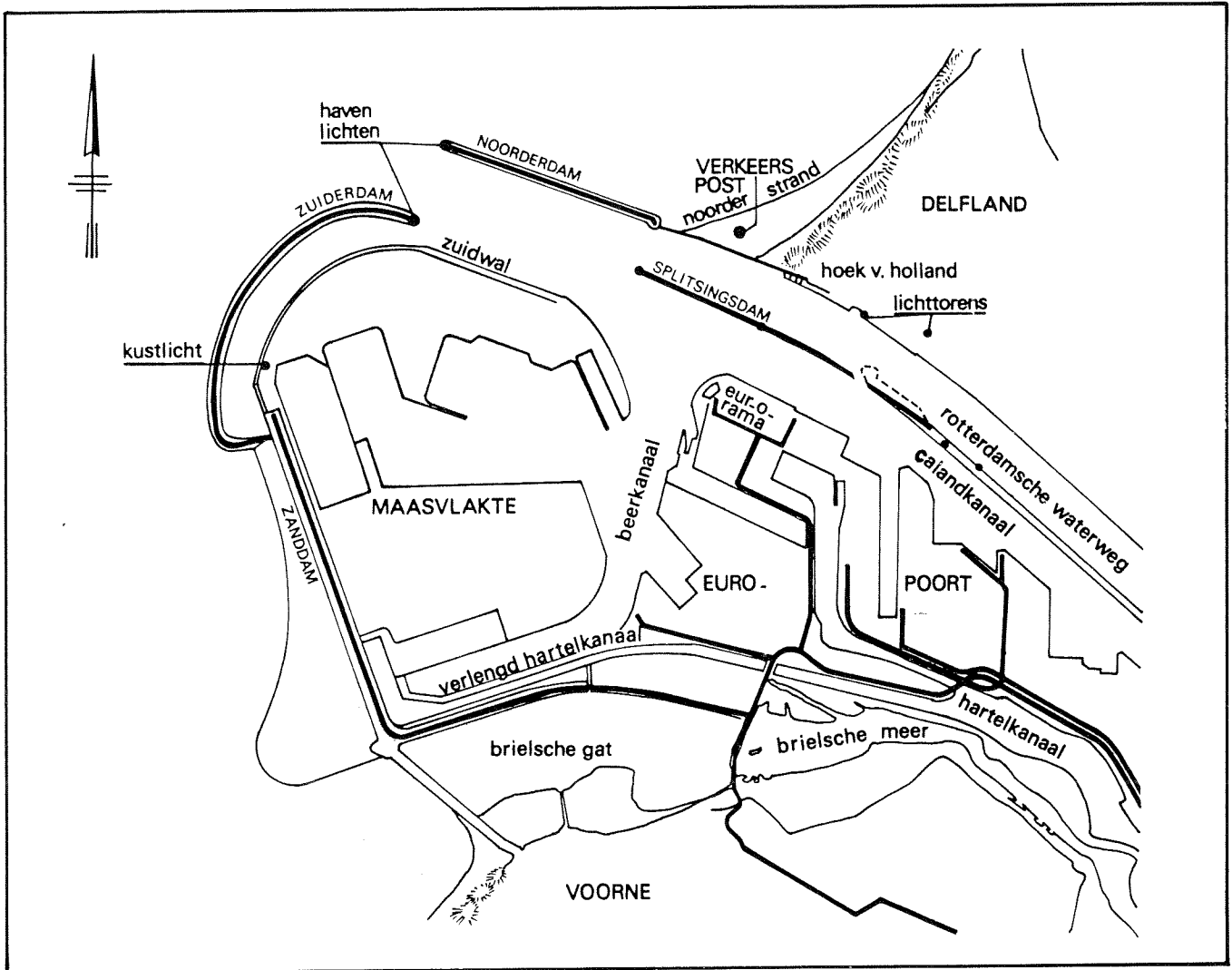


Fig. 4.4
Het 65 ft-plan

genoemd worden het fysisch modelonderzoek naar o.a. diepgang van groter wordende schepen, het bouwen van speciaal materieel voor de uitvoering, de waterloopkundige begeleiding van de uitvoering m.b.v. een fysisch model voornamelijk t.b.v. loodsing van het scheepvaartverkeer tijdens de bouw, de keuze voor de kubusvorm voor de 43 tons-betonblokken in de afdeklag van de dammen in tegenstelling tot in het buitenland toegepaste tetrapodes of akmons en de winning van zeegrond voor de kust van Engeland. In de volgende paragrafen zullen de eerstgenoemde aspecten beschreven worden.

4.3. Afweging van alternatieven voor de havendammen

Een belangrijke fase in het begin van het ontwerpproces is, na het formuleren van de eisen, het genereren van alternatieven. Belangrijk is het onbevooroordeeld de verschillende varianten schetsmatig op papier te zetten en daarna pas te waarderen zodat de voor en nadelen objectief naar voren komen. Zodra van enkele varianten een zekere mate van kennis aanwezig is kan overgegaan worden tot een economische afweging: „het kosten-optimalisatie plan”.

Voor het ontwerp van de havenmond is dit in de periode 1960-1962 gebeurd (zie figuur 4.5).

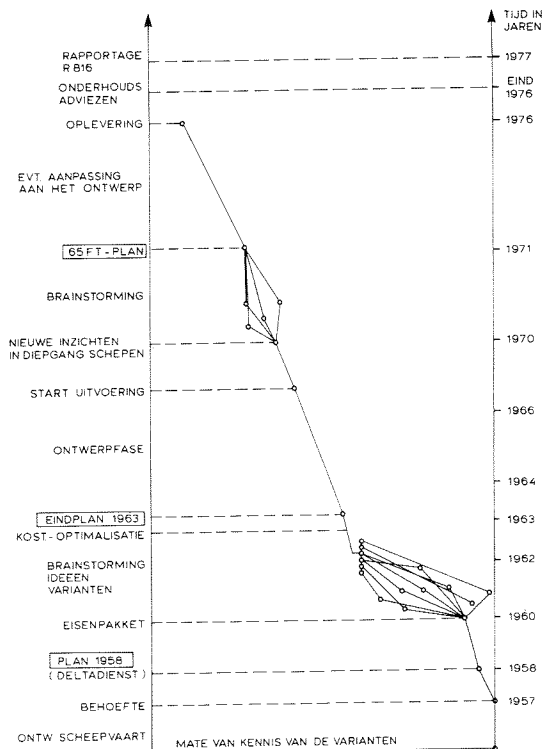


Fig. 4.5
Ontwerpproces „Nieuwe Havenmond Hoek van Holland,„

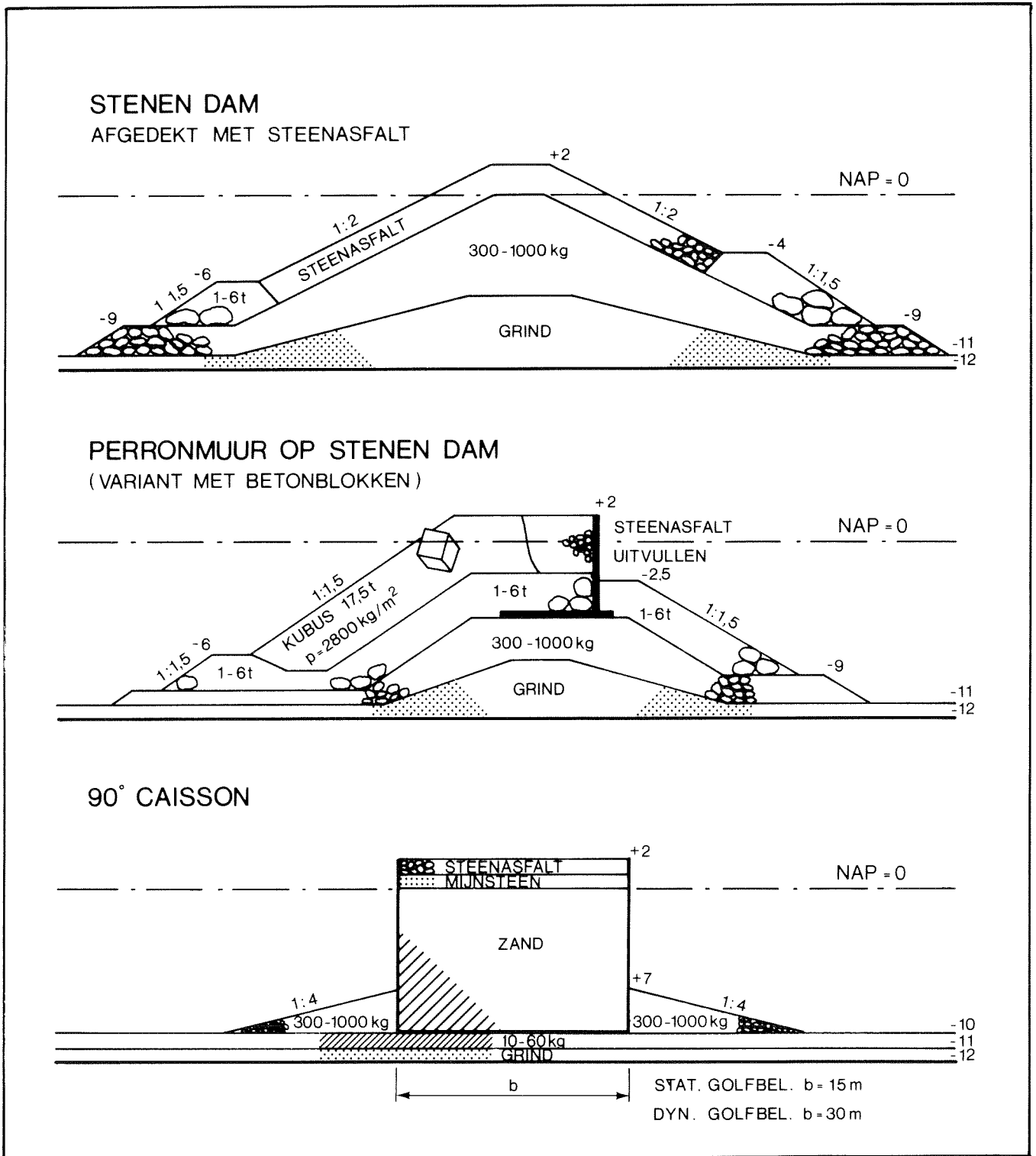


Fig. 4.6
Varianten Noorderdam

Voor de Noorder en Zuiderdam zijn zo 29 alternatieven onderzocht, waarvan enkelen te zien zijn in figuur 4.6.

De varianten zijn onder te verdelen in monolietconstructies, dammen opgebouwd uit stortmaterialen en combinaties van beiden. Elk van deze varianten is op een systematische wijze onderzocht, zodat een goede vergelijking mogelijk werd.

De uiteindelijke keuze was een havendam opgebouwd uit grind, breuksteen en betonnen kubussen (zie figuur 4.7).

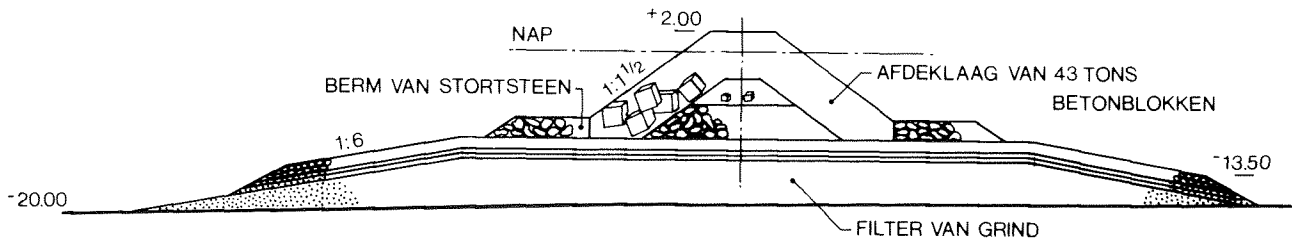


Fig. 4.7
Definitieve ontwerp voor de noorderdam

Met speciaal voor dit werk gebouwd materieel is de uitvoering hiervan gerealiseerd (zie figuur 4.8 en 4.9).

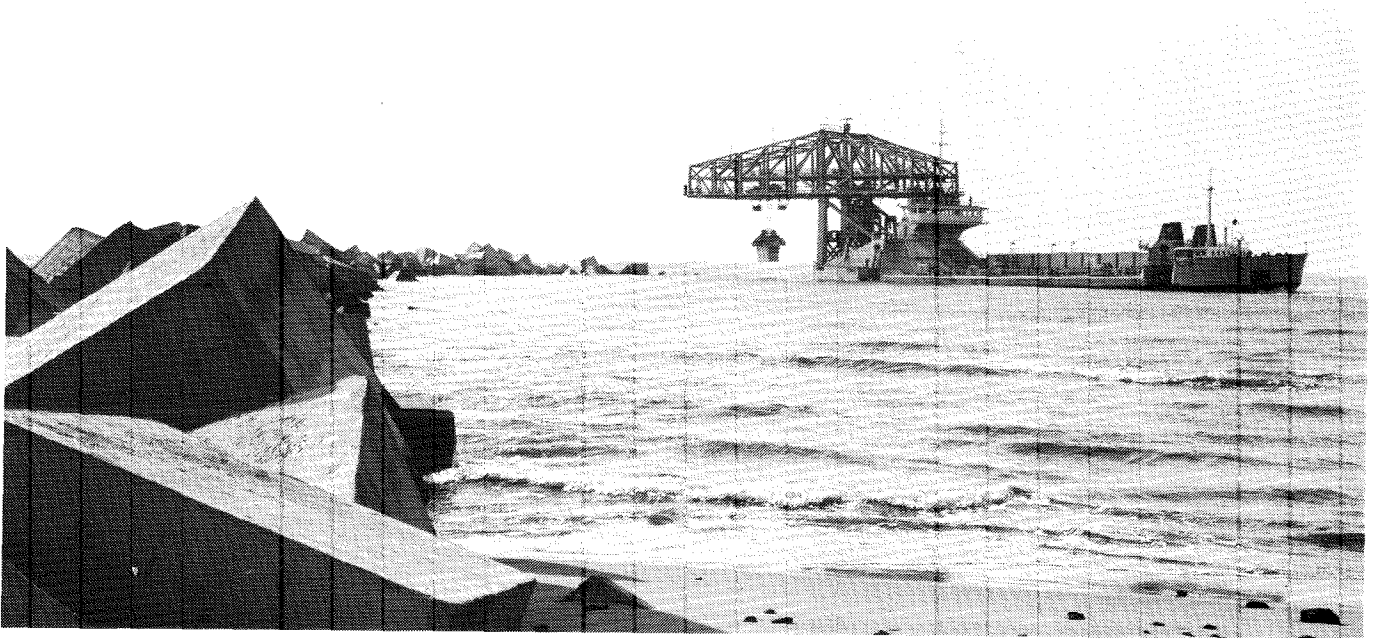


Fig. 4.8
Blokkenplaatser Norma

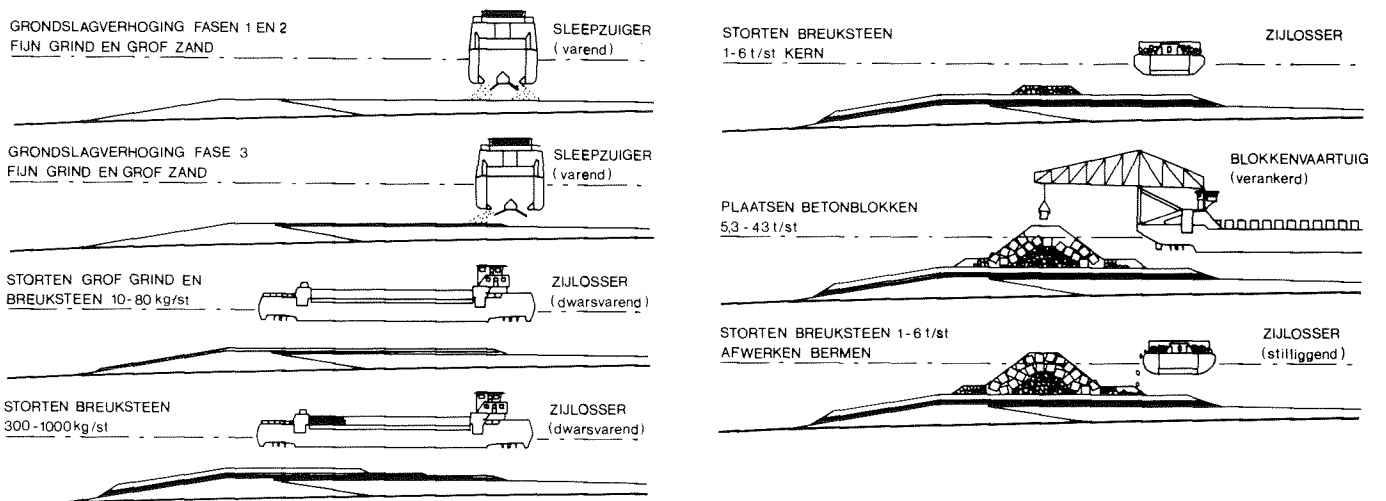


Fig. 4.9
Opbouwfasen Noorderdam

4.4. Kosten-optimalisatie zoals toegepast bij het ontwerp Hoek van Holland voor Noorder en Zuiderdam.

Het principe van kosten-optimalisatie leert het volgende: Bij iedere constructie hoort een belasting waarbij schade optreedt. De faalkans dient zo gekozen te worden dat de som van aanlegkosten en gekapitaliseerde schadeverwachting minimaal is. (zie figuur 4.10)

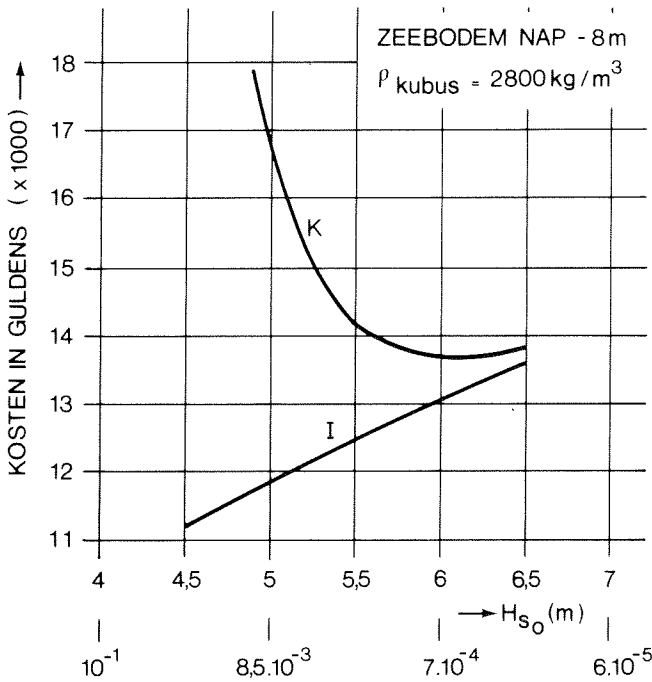


Fig. 4.10 Kosten als functie van H_{s0}
 H_s = significante golfhoogte
 H_{s0} = ontwerp golfhoogte

De volgende factoren zijn hierbij van belang:

- De natuurrandvoorwaarden (golven en waterstanden)
- Het verband tussen natuurrandvoorwaarden en het gedrag van de constructie. (zie figuur 4.11)

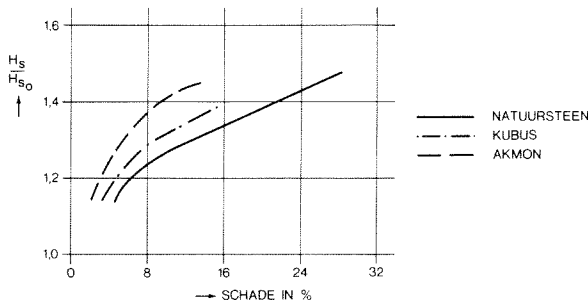


Fig. 4.11 Schade als functie van H_s/H_{s0}
 H_s = significante golfhoogte
 H_{s0} = ontwerp golfhoogte

- Het verband tussen de ontwerpbelasting en de aanlegkosten. De aanlegkosten (I) zijn een functie van de ontwerpbelasting (H_{s0}). De grootte van de aanlegkosten werden geschat uit de afmetingen van de constructie.
- Het verband tussen natuurrandvoorwaarden, ontwerpbelasting en schadeverwachting. Voor stortstenen dammen werd de schadeverwachting per jaar als volgt bepaald. Een zekere schade kan worden gekoppeld aan het voorkomen van een zekere H_s . De waarschijnlijkheidsfunctie van H_s kan worden verdeeld in intervallen ΔH_s waarbinnen het redelijk is een constant schadebedrag ΔW te veronderstellen. Zij Δp het aan-

tal malen per jaar dat H_s in het interval ΔH_s voorkomt, dan is de bijdrage van dit interval tot de totale schadeverwachting per jaar $\Delta p \times \Delta W$

De totale schadeverwachting bedraagt $s = \sum \Delta p \times \Delta W$. In de factor W dienen ook de economische verliezen t.g.v. schade aan de dam te worden opgenomen. Is de levensduur van de constructie 100 jaar dan is de gekapitaliseerde waarde S van de som van de jaarpremie bij benadering $S = \frac{100 \cdot s}{\delta}$ waarin δ de rentevoet in % per jaar is.

De totale kosten van de constructie (K) zijn gedefinieerd als de som van de aanlegkosten I en gekapitaliseerde schadeverwachting S . Dus $K = I + S = f(H_{s0}) + \frac{100}{\delta} \sum \Delta p \cdot \Delta W$.

Voor iedere variant voor de Noorder en Zuiderdam is deze functie berekend en getekend in een grafiek als figuur 4.10. Op basis hiervan én op basis van verschillen in uitvoeringsmethode is een keus gemaakt voor het uiteindelijke ontwerp.

4.5. Flexibel ontwerpen

Een ontwerp dient zodanig „flexibel”, in de zin van aanpasbaar, te zijn, dat tijdens en evt. na de uitvoering veranderingen erin aangebracht kunnen worden die in het eindresultaat een technische dan wel economische verbetering opleveren. Drie voorbeelden hiervan worden beschreven.

Het totaal-plan

Omdat in de ontwerpfase (jaren '60) nog niet geheel bekend was wat precies de diepgang en breedte van de grootste schepen die de haven in de toekomst moesten kunnen bereiken zou zijn, moest een ontwerp gemaakt worden waarbij de mogelijkheid open bleef de diepte van de geul te vergroten. Dat dit uiteindelijk gebeurd is is te zien op figuur 4.5; het 57 ft-plan werd hier vervangen door het 65 ft-plan. Een modelonderzoek naar schaalvergroting in de scheepvaart toonde aan dat grotere schepen met een beperkte diepgang (restricted draught-72 ft.) technisch een goede oplossing vormden. Hierdoor kon de uiteindelijke geuldiepte van de haven beperkt blijven. Dit model-onderzoek trachtte zodoende verandering te brengen in de uitspraak „Havens passen zich aan aan schepen”.

Uitbouw van de zanddam

De uitbouw lengte van de zanddam dat wil zeggen de afstand tot aan het stenen gedeelte van de zuiderdam, (zie figuur 4.4) werd o.a. door het volgende bepaald:

„De zanddam diende niet verder te worden uitgebouwd dan het punt waar de aanlegkosten per strekkende meter dam van de zanddam die van een stenen dam zouden overtreffen”.

Noodzakelijk voor deze eis is natuurlijk dat onderdelen van het ontwerp zodanig flexibel zijn dat bij een nog onbekende lengte van de zanddam de aansluiting zanddam-stenendam te realiseren is.

Teneinde de zandverliezen zoveel mogelijk te beperken verdiende een snelle uitbouw, dus grote capaciteit, de voorkeur. Om deze reden stelde men voor, het werk uit te voeren met twee grote bodemzuigers, ieder met een uurcapaciteit van 1000 m³. Er werd gewerkt in twee ploegen. Indien de verliezen groot bleken te zijn kon alsnog worden overwogen om in continuïdient te gaan werken.

Bij de bouw van de zanddam werd aanvankelijk uitgegaan van een uitbouw lengte van ca. 3000 m. De uitbouw in de jaren 1968-'69 verliep zo voorspoedig dat men in de loop van 1969 besloot de zanddam tot een lengte van 4500 m uit te bouwen: flexibiliteit in het ontwerp met als gevolg kostenbesparing in de uitvoering!

Dimensionering van de zuidwal

De zuidwal diende te voldoen aan de eisen voor stroomgeleiding, visuele geleiding en golfdemping in de buitenhaven en golfkering

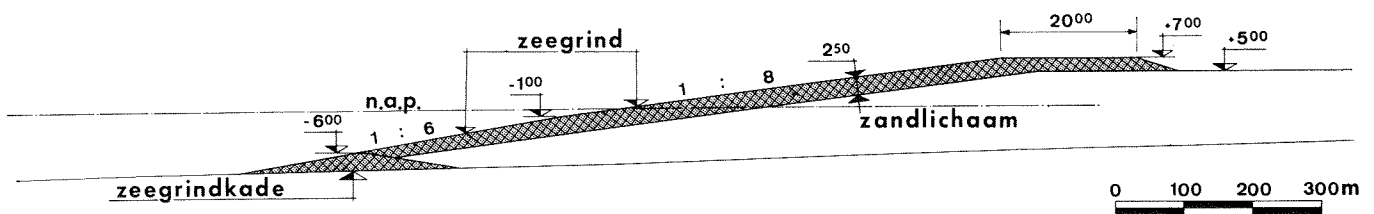


fig. 4.12
Dwarsprofiel Zuidwal

voor de Maasvlakte. In het najaar van 1970 is over 1200 m in zand en 500 m in zeegrind de zuidwal opgebouwd (figuur 4.12).

Na een periode van een jaar van blootstelling aan de natuurrandvoorwaarden zou, afhankelijk van de ervaringen, verdere uitbouw in zeegrind dan wel in zwaarder materiaal plaats hebben. De ervaringen met de zuidwal sinds 1970 zijn de volgende:

- 1971 Eerste fase gereed (1200 m in zand en 500 m in grind).
 - 1972 Tweede fase gereed (850 m in grind).
 - 1974 Derde fase gereed (1050 m in grind).
 - 1976 Damwandschermen met paalrijen geplaatst.
 - 1977 Zandsuppletie aan de westzijde van de zuidwal en een bezinking rond de koppen van de vier oostelijke schermen aangebracht.
 - 1979 Bekleding met basalt aan oostzijde (zie figuur 4.13).
 - 1983 Aanvullende bekleding met basalt.
- Toekomst Volledige basalt bekleding?

Aanpassing van het flexibele ontwerp vindt dus nog steeds plaats.

4.6. Kwaliteitsconstrôle

De kwaliteit van onderdelen van een ontwerp kan op verschillende manieren gegarandeerd worden. Allereerst door constrôle achteraf; bijvoorbeeld het aanbrenge van een proefbelasting op een ligger van beton of het loden van een bodembescherming. Tijdens de uitvoering dient vaak ook constrôle plaats te vinden omdat ná voltooiing van het werk de verschillende onderdelen (zoals de fundering) moeilijk te onderzoeken zijn.

Een minder gebruikelijke manier van constrôleren is de constrôle alvorens de uitvoering te starten. Dit kan d.m.v. b.v. fysisch modelonderzoek waarmee simulaties gemaakt kunnen worden. Deze manier van constrôleren kan veel voordelen bieden b.v.

- noodzakelijk doordat achteraf constrôleren onmogelijk is.
 - economisch aantrekkelijk.
 - verkrijgen van inzicht in uitvoeringsproblemen.
 - evt. kan constrôle achteraf hierdoor overbodig blijken (tijdwinst).
- Op deze wijze wordt d.m.v. procesconstrôle constrôle op het produkt verkregen.

Fig. 4.13
Situatie Zuidwal juni 1980

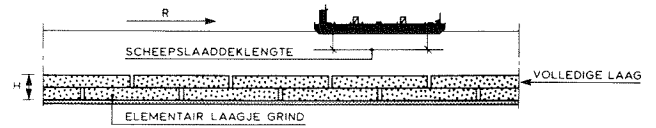


Bij het ontwerp Hoek van Holland heeft deze laatste vorm van kwaliteitscontrole een belangrijke rol gespeeld. Hoe deze kwaliteitscontrole bij de filteropbouw en het blokkenplaatsen is gerealiseerd wordt in het volgende uiteengezet.

Filteropbouw - controle d.m.v. mathematisch model

In figuur 4.7 is te zien dat een onderdeel van de fundering van de dammen gevormd wordt door een filter bestaande uit grind. Om een goed functioneren van de fundering te waarborgen is het noodzaak dat dit filter overal met een minimale dikte aanwezig is. M.a.w. de dikte van het filter dient gewaarborgd te worden. Door een speciale uitvoeringsmethodiek toe te passen is dit te bereiken zonder dat controle achteraf nodig is. Deze uitvoeringsmethodiek gaat van de gedachte uit dat bij het herhaaldelijk storten van kleine „elementaire“ laagjes grind de kans dat ergens de minimale dikte niet aanwezig is aanvaardbaar klein is.

Met een mathematisch model is de grootte van deze kans onderzocht. Indien het vaarpatroon volgens fig. 4.14 gevolgd wordt dan is de totale dikte van het filter een stochastische variabele met een zekere spreiding.



$$C_{\text{laagdikte}} = \text{spreiding van de laagdikte} = \frac{H}{\sqrt{N}} \sqrt{R(1-R)}$$

N = aantal volledige lagen (opgebouwd uit elementaire laagjes)
H = totale laagdikte
R = lokatie op het te storten gedeelte

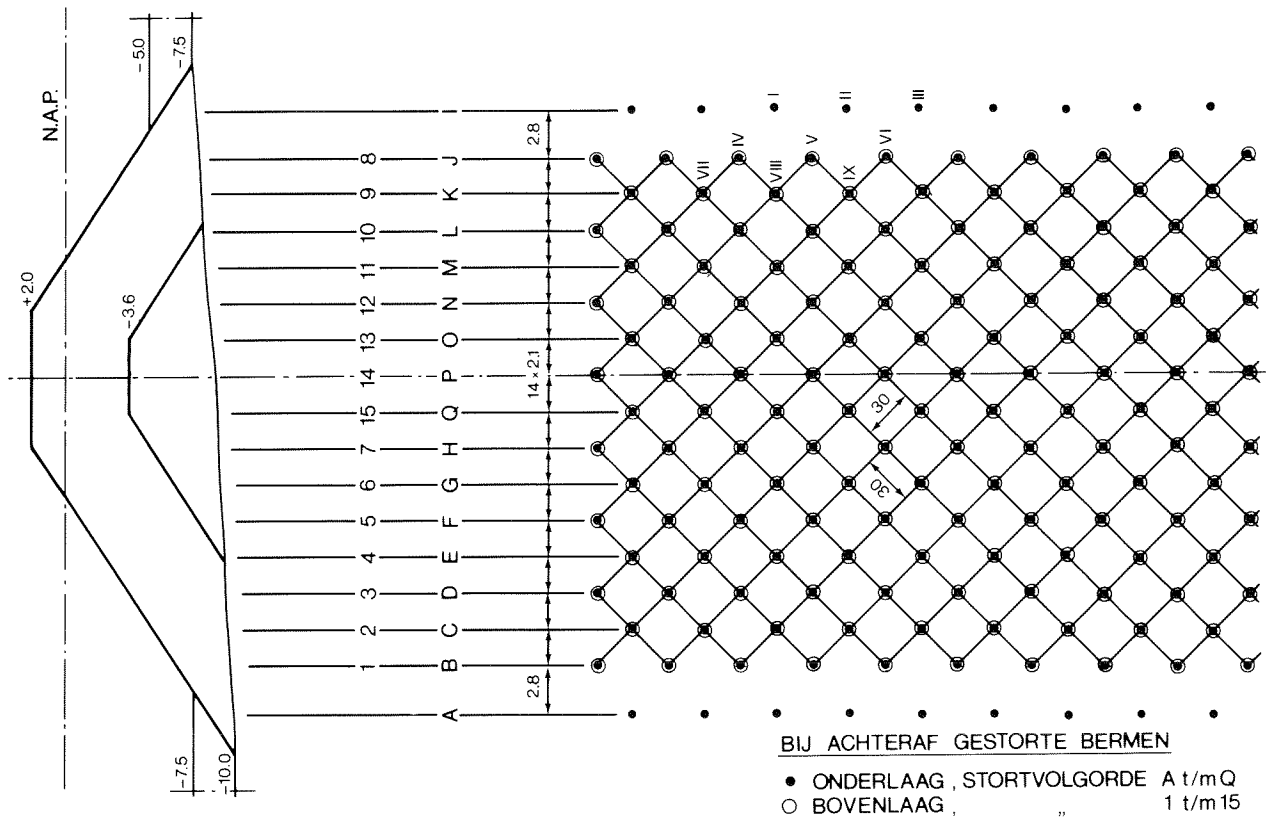
Fig. 4.14
Vaarpatroon

Deze spreiding is afhankelijk van o.a. het aantal elementaire laagjes. Het blijkt dat indien H groter wordt de spreiding kleiner wordt, dus de optimale dikte van het filter met een grotere mate van waarschijnlijkheid benaderd wordt. Bij deze beschouwing wordt uiteraard een zekere nauwkeurigheid van de plaatsbepaling van het schip vereist; een nauwkeurig plaatsbepalingssysteem is dan noodzaak geworden.

Het plaatsen van betonblokken - controle d.m.v. fysisch model

Om de kwaliteit van het te bouwen profiel van betonblokken (fig. 4.7) te garanderen is in een waterloopkundig model onderzocht bij welke methode van blokkenplaatsen het profiel het best opgebouwd kon worden. Dit onderzoek heeft geresulteerd in een „stortstelsel“ (zie fig. 4.15) voor de grote kubussen.

Fig. 4.15
Stortstelsel voor betonkubussen



Door nu tijdens de uitvoering volgens het stortstelsel te werken wordt met een grote mate van waarschijnlijkheid het ontwerp-profiel gerealiseerd. Het stortstelsel moest voldoen aan de eis dat een stabiele opbouw van de afdeklaag verkregen werd en dat op ieder gewenst moment de uitvoering moest kunnen worden onderbroken zonder schade op te lopen. Als variabelen in het fysisch model van het stortstelsel zijn onderzocht het damprofiel, de stortafstand en de stortrichting van de blokken en de opbouwvolg-orde van de berm resp. de afdeklaag.

Het stortstelsel geeft de plaatsingsvolg-orde weer van kubussen in de onderlaag en in de bovenlaag. Tijdens de uitvoering is dit systeem aangepast aan de opgedane praktische ervaringen nadat dit wederom in het fysisch model beproefd was. Dit betrof de volg-orde in opbouw van berm en afdekblokken. Bij het begin van de uit-voering werd eerst de berm gestort, daarna werden de afdekblok-ken geplaatst. Uiteindelijk werden eerst de afdekblokken, daarna de berm gestort. Zoals bij de filteropbouw een mathematisch mo-del gebruikt werd, zo is een fysisch model bij het blokkenplaatsen gebruikt om de kwaliteit van het produkt te bewaken.

4.7. Beheer en onderhoud

Voor het onderhoud, gebruik en evt. hergebruik zijn tekeningen van het uiteindelijk gerealiseerde werk noodzakelijk.

De verschillen tussen het ontworpen project, op papier, en het uit-gevoerde werk, in werkelijkheid, zijn vaak groot. Dit betekent dat tijdens en na de uitvoering uitgebreid aandacht dient te worden ge-schonken aan rapportage van elke fase in de uitvoering. Alle ver-anderingen t.a.v. het ontwerp worden op die manier duidelijk weer-gegeven. Bij de meeste projecten is daar nauwelijks tijd en geld voor, reden waarom hier reeds tijdens het ontwerp in de organisa-tie rekening mee dient te worden gehouden.

Voorbeelden van rapportage bij het ontwerp Hoek van Holland zijn:

- Onderhoudsadviezen. Hierin wordt getracht, mede aan de hand van ervaringen tijdens de bouw, een indruk te geven van de omvang van het onderhoud, alsmede de wijze waarop on-derhoud kan worden uitgevoerd. Een voorbeeld van zo'n advies is de methode om elk jaar via stereo-luchtfotografie hoogtelij-nen van de Noorder en Zuiderdam te maken om aan de hand daarvan te beoordelen waar extra kubussen geplaatst dienen te worden.
- Rapportage van het gerealiseerde werk door het Waterloop-kundig laboratorium e.a. (R 816). Dit betreft „de volledige tech-nische verslaggeving m.b.t. de vormgeving, realisatie en uit-voering van de nieuwe havenmond”.
- Halfjaarlijkse voortgangsrapportages, waarin de vorderingen van het werk werden besproken.
- Artikelen in tijdschriften.

4.8. Slotbeschouwing

Het voorgaande bevat slechts een beperkt aantal aspecten van het ontwerp Hoek van Holland. Voor een meer volledig overzicht wordt verwezen naar onderstaande literatuur.

4.9. Literatuur

- (1) Onderhoudsadviezen havenmond Hoek van Holland - RWS afd. Havenmonden 1976.
- (2) W.L. rapport-R 816 Eindrapportage werken havenmond Hoek van Holland - W.L. Delft 1977.
- (3) Steenstorten in diepwater - Mathematisch Centrum Amster-dam 1966
- (4) W.L. rapport- M 856 Stortsystemen blokkentransport vaartui- gen - W.L. Delft 1969.

Bijzonder materieel bij de uitvoering van de stormvloedkering in de Oosterschelde

Kenmerken

Kapitaal intensieve constructie- en uitvoeringsmethode, speciaal materieel en elektronische simulatie.

5.1. Inleiding

De Stormvloedkering in de Oosterschelde is een sprekend voorbeeld van een ontwerp waarbij in hoge mate rekening is gehouden met omstandigheden zowel tijdens de uitvoering als in de gebruiksfase. De geïntegreerde aanpak van lokatieomstandigheden, functionele en milieu-eisen heeft van een conventionele, dichte dam geleid tot een geheel andere constructie:

een stormvloedkering die onder normale omstandigheden het zoute getijmilieu op de Oosterschelde in grote mate handhaaft en die tijdens stormvloeden gesloten kan worden. In dit hoofdstuk zal ingegaan worden op de samenhang tussen ontwerp en uitvoering. Eerst zal het ontwikkelingsproces geschetst worden vanaf het eerste ontwerp tot de keuze van de geavanceerde constructie, die dwong tot de bouw van speciaal ontworpen uitvoeringsmaterieel. Daarna zal dit materieel besproken worden.

5.2. Historie

De Stormvloedkering in de Oosterschelde vormt het laatste en tevens moeilijkste onderdeel van het Deltaplan. Dit plan voorziet in de beveiliging van Nederland tegen stormvloeden met een frequentie van optreden - voor zuidwest Nederland - van $2,5 \times 10^{-4}$ per jaar. De sluiting van het Oosterscheldebekken zou oorspronkelijk plaatsvinden d.m.v. een conventionele dam die in 1978 voltooid

moest zijn. Evaluatie van milieuaspecten en visserijbelangen leidden echter tot een heroverweging van het sluitingsontwerp. Na een periode van politieke en (milieu)technische discussies besloot de regering in juni 1976 tot de bouw van een zgn. stormstuwcaissondam. Een groot aantal ontwerpen werd geëvalueerd met als gemeenschappelijk uitgangspunt dat de bouw van de kering zou moeten plaatsvinden in de getijgeulen Roompot, Schaar en Hammen (zie fig. 5.1).

Bouw in een beschermde tijdelijke bouwput was niet mogelijk, omdat in dat geval tijdens de bouw de ecologische en morfologische omstandigheden te zeer en onvoorspelbaar zouden veranderen. Behalve met de politieke eisen t.a.v. tijd (vóór 1985 gereed) en geld (niet meer dan 2 miljard gulden duurder dan het oorspronkelijke plan) diende men bij het ontwerp rekening te houden met de volgende groepen randvoorwaarden:

- a. veiligheid tijdens de bouwperiode
- b. eisen t.a.v. het milieu
- c. scheepvaartisen
- d. natuurrandvoorwaarden.

ad a. *Veiligheid tijdens de bouwperiode*

Aangezien de kering later gereed is dan was beloofd (1985 i.p.v. 1978) dient tijdens de bouw ervan de veiligheid van Zeeland gegarandeerd te zijn. De dijken rond de

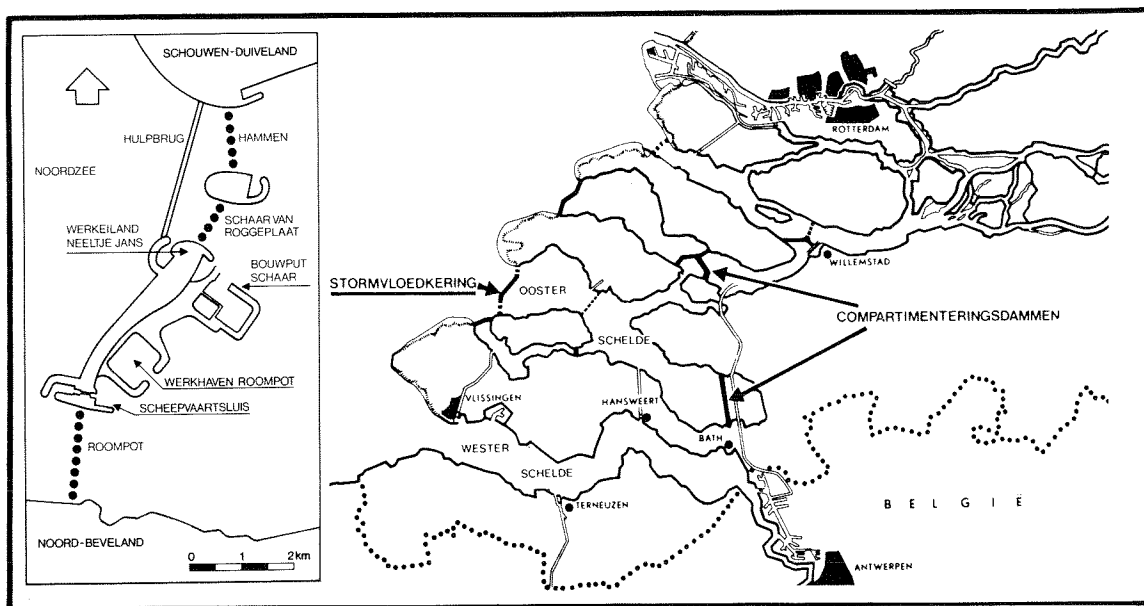
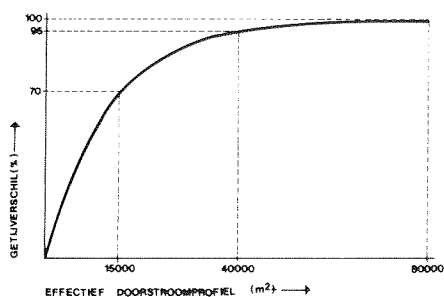


Fig.5.1. Overzicht Oosterscheldewerken met in detail het mondingsgebied



	variant $\mu A = 11500$	variant $\mu A = 14000$	variant $\mu A = 2000$	huidige situatie
gemiddeld getij te Yerseke	2,30 m	2,700 m	3,10 m	3,50 m
getijreductie	35 %	25 %	10 %	—
gemiddeld getijvolume	1350 mln m ³	1600 mln m ³	1850 mln m ³	2500 mln m ³
getijvolume reductie	45 %	35 %	25 %	—
max. snelheid door kering bij gemiddeld getij	5m/ sec	4,5m/sec	4m/sec	1,3 à 1,5m/sec

μA = effectief doorstroomprofiel (m²)

Fig.5.2.

Relatie effectief doorstroomprofiel en getijverschil.

Oosterschelde werden daartoe versterkt: partiële dijkverhoging (herhalingsperiode ontwerpwaterstand 2×10^{-3} per jaar).

ad b. *Eisen t.a.v. het milieu*

Uitgangspunt was dat de milieumomstandigheden zoveel mogelijk bewaard dienden te blijven, maar men had slechts een beperkte hoeveelheid geld beschikbaar voor de grootte van het effectieve doorstroomprofiel dat bepalend is voor het getijdverschil op het bekken (zie fig. 5.2.). Uiteindelijk is gekozen voor een netto doorstroomoppervlak van 14.000 m². Het uitgangspunt houdt tevens in dat de oorspronkelijke verdeling van het debiet door de drie sluitgaten ook tijdens de bouw en na voltooiing zo veel mogelijk gehandhaafd dient te blijven. Dit betekent eenzelfde procentuele verkleining van de drie doorstroomoppervlakten én gelijktijdig bouwen in de drie sluitgaten. Deze laatste bouwphase-eis is minder hard, omdat deze fase kort duurt. Om tegemoet te komen aan zowel veiligheids- als milieu-eisen dient de kering ook gesloten te kunnen worden in stromend water (vrijheid van beheer).

ad c. *Scheepvaartseisen*

De scheepvaart door de Oosterscheldemonde is beperkt tot coasters, visserschepen en jachten. Er behoeft geen rekening gehouden te worden met grote zeeschepen, zodat de doorvaartafmetingen van bijv. een schutsluis beperkt kunnen blijven.

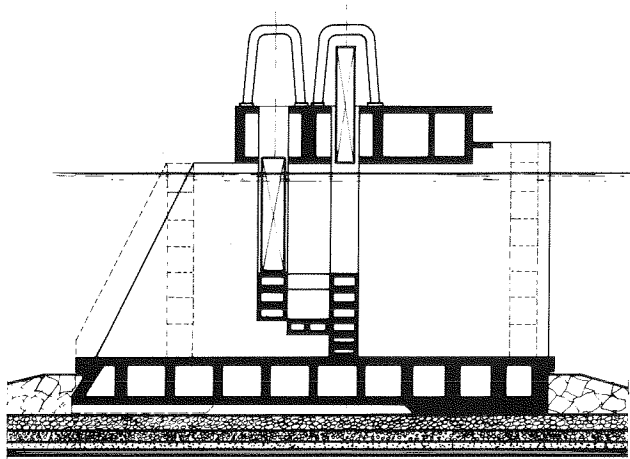


Fig.5.3

Caissons op staal

ad d. *Natuurrandvoorwaarden*

Bij een gesloten kering dient men rekening te houden met vrij forse golven, terwijl er bij een open kering t.g.v. de eben vloedbeweging hoge stroomsnelheden optreden. De bodem ter plaatse van de kering bestaat uit losgepakt alluviaal zand. De dieper gelegen pleistocene zandlagen bevatten klei, slib en veen. Om zo min mogelijk op, in en onder water te hoeven werken werd uiteindelijk gekozen voor een uitvoeringsmethode waarbij fabricage van kritieke onderdelen zoveel mogelijk onder geconditioneerde en te controleren omstandigheden zou plaatsvinden (prefabricage).

5.3. **Ontwerpproces.**

Gezien de grondslag heeft de wijze van belastingafvoer een overheersende rol gespeeld bij de keuze van het funderingstype. Diverse alternatieven werden bestudeerd (zie fig. 5.3, 5.4, en 5.5).

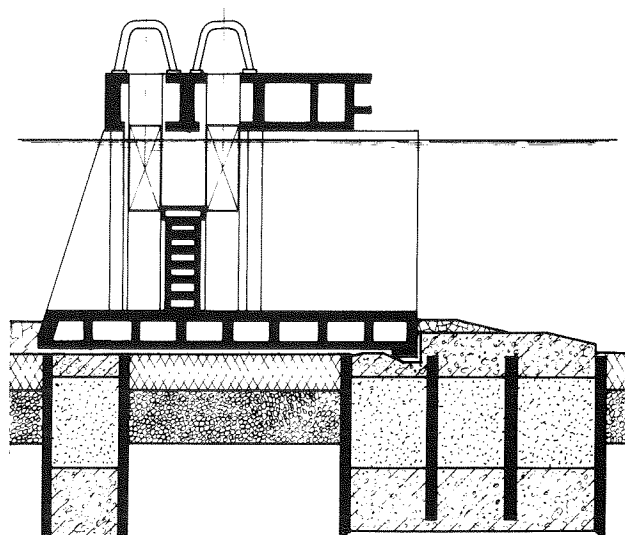


Fig.5.4

Caissons op putten

Hoewel het alternatief „pijlers op putten” het beste leek, kleefde er toch een groot bezwaar aan nl. het gedurende ca. 3 maanden in bijna open zee moeten werken voor het maken van één complete puttpijler combinatie. Een logische stap was dan ook de put-pijler constructie als een monoliet pijler te prefabriceren op een niet stormgevoelige bouwplaats. Het aanvoeren en plaatsen van een pijler vergt slechts 1 à 2 dagen. E.e.a. heeft tenslotte geleid tot het

huidige, in uitvoering zijnde ontwerp (zie fig. 5.6). Uitgaande van de verschillende onderdelen van het ontwerp zullen in het hiernavolgende de belangrijkste werkschepen besproken worden, die benodigd zijn voor de uitvoering van de kering.

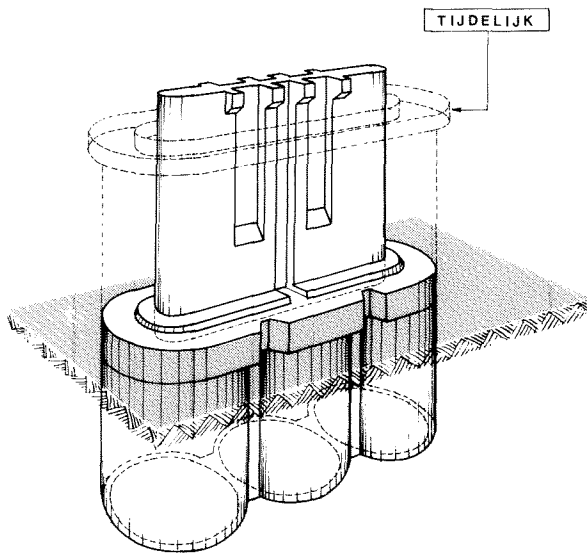


Fig.5.5
Pijlers op putten.

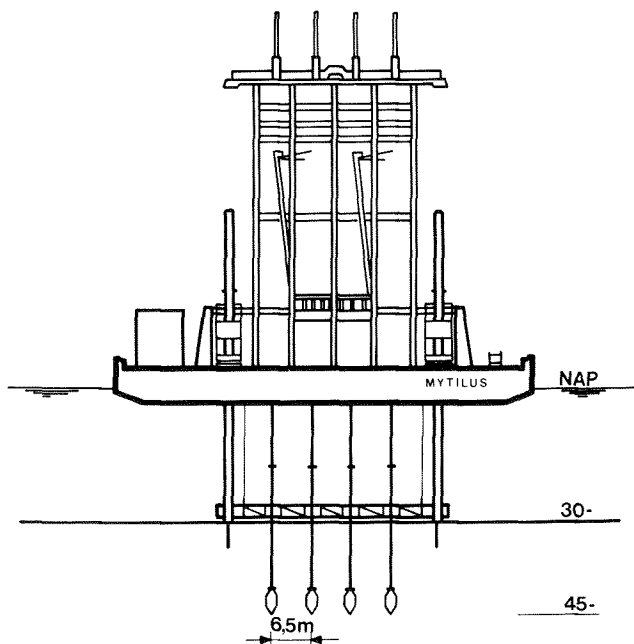


Fig.5.7
Het verdichtingsschip Mytilus.

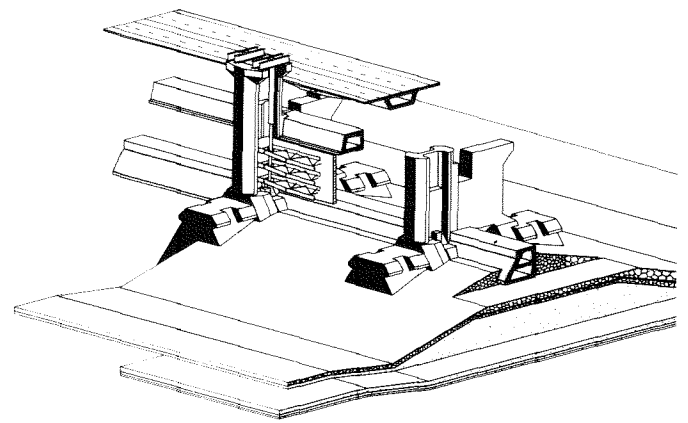


Fig.5.6
Principeschets van het ontwerp van de Stormvloedkering in de Oosterschelde.

5.4. Speciaal materieel.

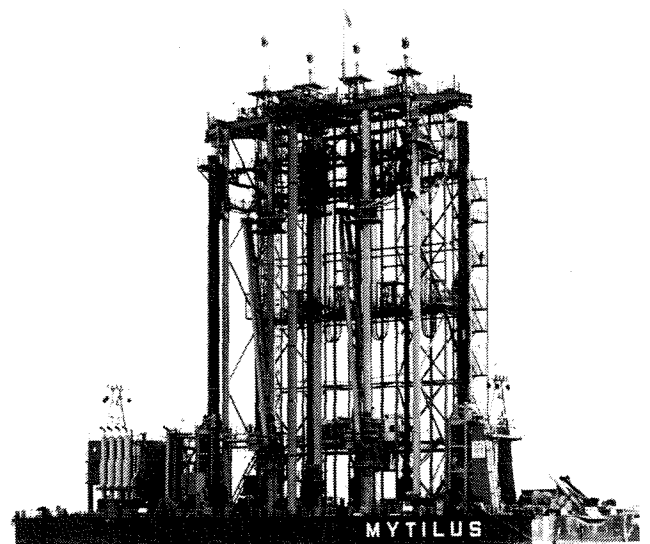
Verdichtingsschip „Mytilus”

Uit grondonderzoek bleek - ook na het aanbrengen van een nieuwe grondslag - de bodem i.h.a. een poriëngehalte te hebben van 41 à 43%.

Een dergelijk poriëngehalte heeft een overheersende invloed op de opbouw van wateroverspanning in de ondergrond indien de pijlers belast worden met een cyclische(golf)belasting. Dit kan leiden tot verweking van de grondslag met grote onacceptabele zettingen als gevolg.

Besloten werd het zand kunstmatig te verdichten tot een poriëngehalte waar beneden dit verschijnsel niet kan optreden. Gekozen werd voor een verdichtingsmethode waarbij trilnaalden vanaf een drijvend ponton in de bodem worden gebracht.

Voor dit doel werd het verdichtingsschip „Mytilus” gebouwd (zie fig. 5.7). Het schip is samengesteld uit enkele pontons. Op het hoofdponton is een portaalconstructie aangebracht waarin 4 trilnaalden in één lijn zijn opgehangen.



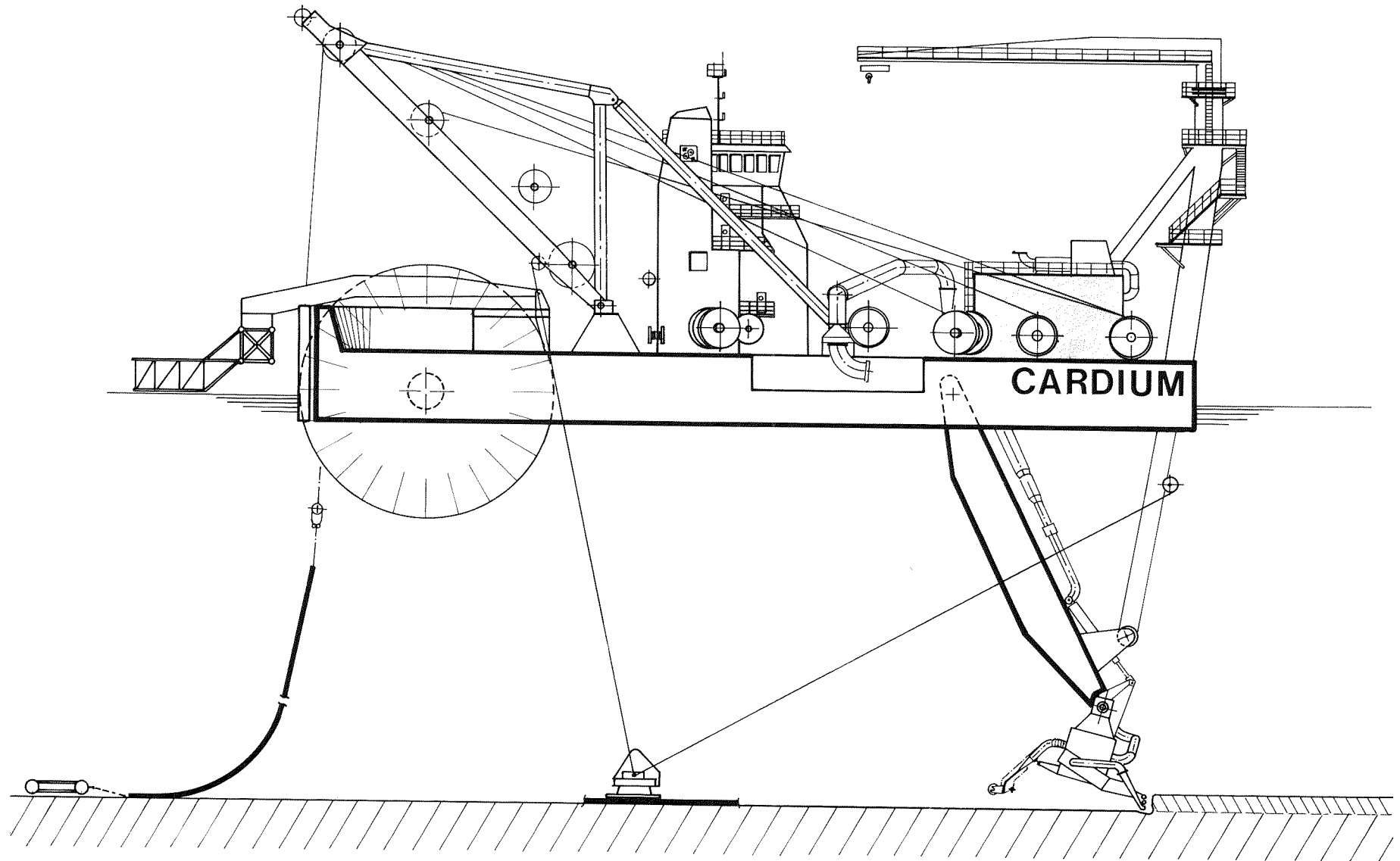


Fig.5.8
De mattenlegger Cardium



Mattenlegger „Cardium”

Het funderingsbed van de pijlers dient zowel in de bouw- als in de eindfase te voldoen aan een aantal grondmechanische en hydraulische functies.

In de eindfase is een voldoende schuifweerstand vereist om in gesloten toestand van de kering de grote horizontale krachten te kunnen overbrengen naar de ondergrond. Daarbij moeten tevens de vervormingen klein blijven. De belangrijkste hydraulische functie van het bed is het vasthouden van het onderliggende Oosterschelde-zand bij de grote statische en dynamische verhangen die in de eindfase optreden. Aan de bovenzijde dient het bed filtertechnisch aan te sluiten aan de onderste drempellaag; aan de onderzijde dient het bed ondoordringbaar te zijn voor het Oosterschelde-zand. Deze eisen hebben geleid tot een funderingsbed in de vorm van een filter. De bouwfase-eis is dat het filter tij-

dens het aanbrengen niet wordt verstoord en niet wegspoelt o.i.v. de getijstroom.

Daarom is besloten deze filterconstructie te verpakken in matten van ca. 42 x 200 m. De matten worden geprefabriceerd in een fabriek op het werkeiland Neeltje Jans, daarna op een rol gewikkeld en drijvend versleept naar het afzinkponton „Cardium” (zie fig. 5.8). De Cardium is tevens uitgerust met zuigkoppen (breedte 44 m), waarmee de bodem nauwkeurig op diepte gebracht en vlak gemaakt wordt. Om te voorkomen dat het opgeschoonde gedeelte van de bodem weer aanzandt, dient het afrollen van de mat en het opschonen gelijktijdig plaats te vinden.

De Cardium beweegt zich daarbij met behulp van lieren langs een denkbeeldige rechte lijn. Aan het eind van dit hoofdstuk zal aandacht besteed worden aan de elektronische simulatie van deze operatie.

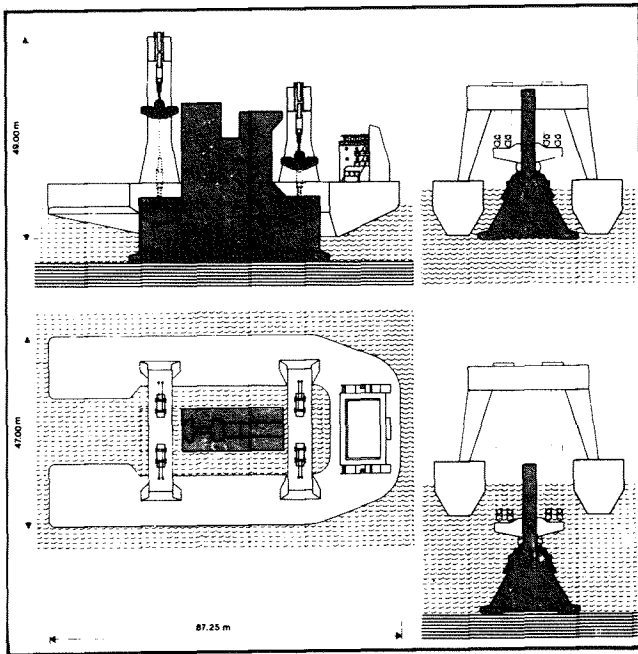


Fig.5.9
Het hefschip Ostrea

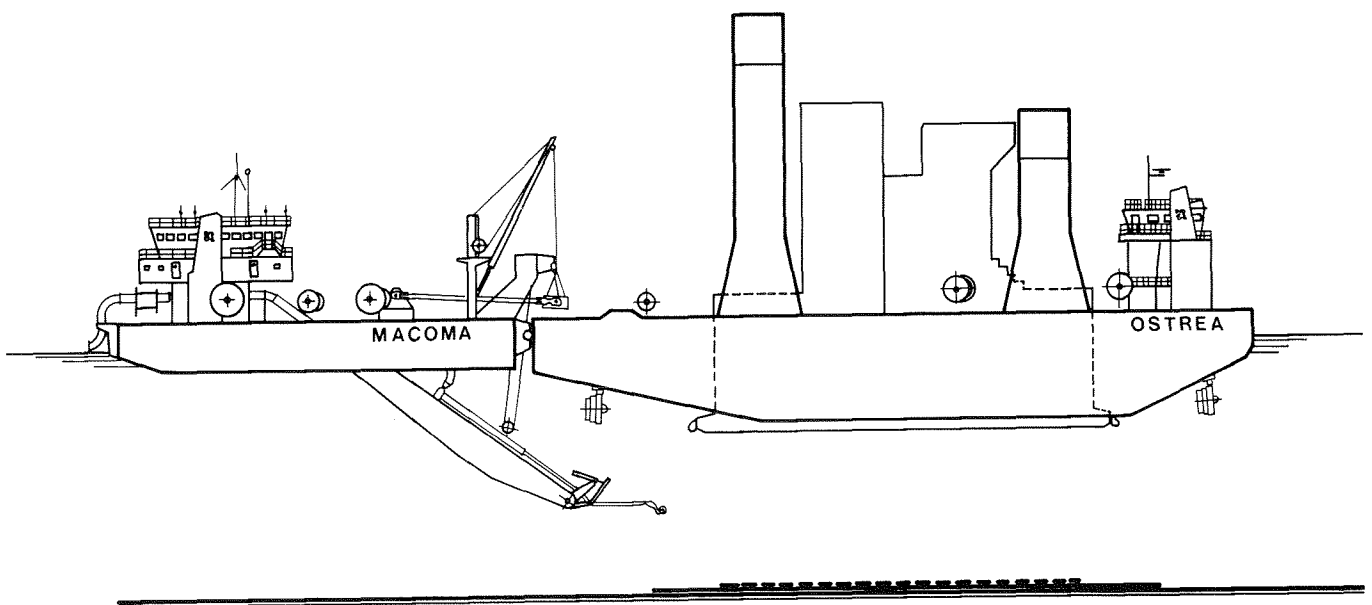
Hefschip „Ostrea” en afmeerponton „Macoma”

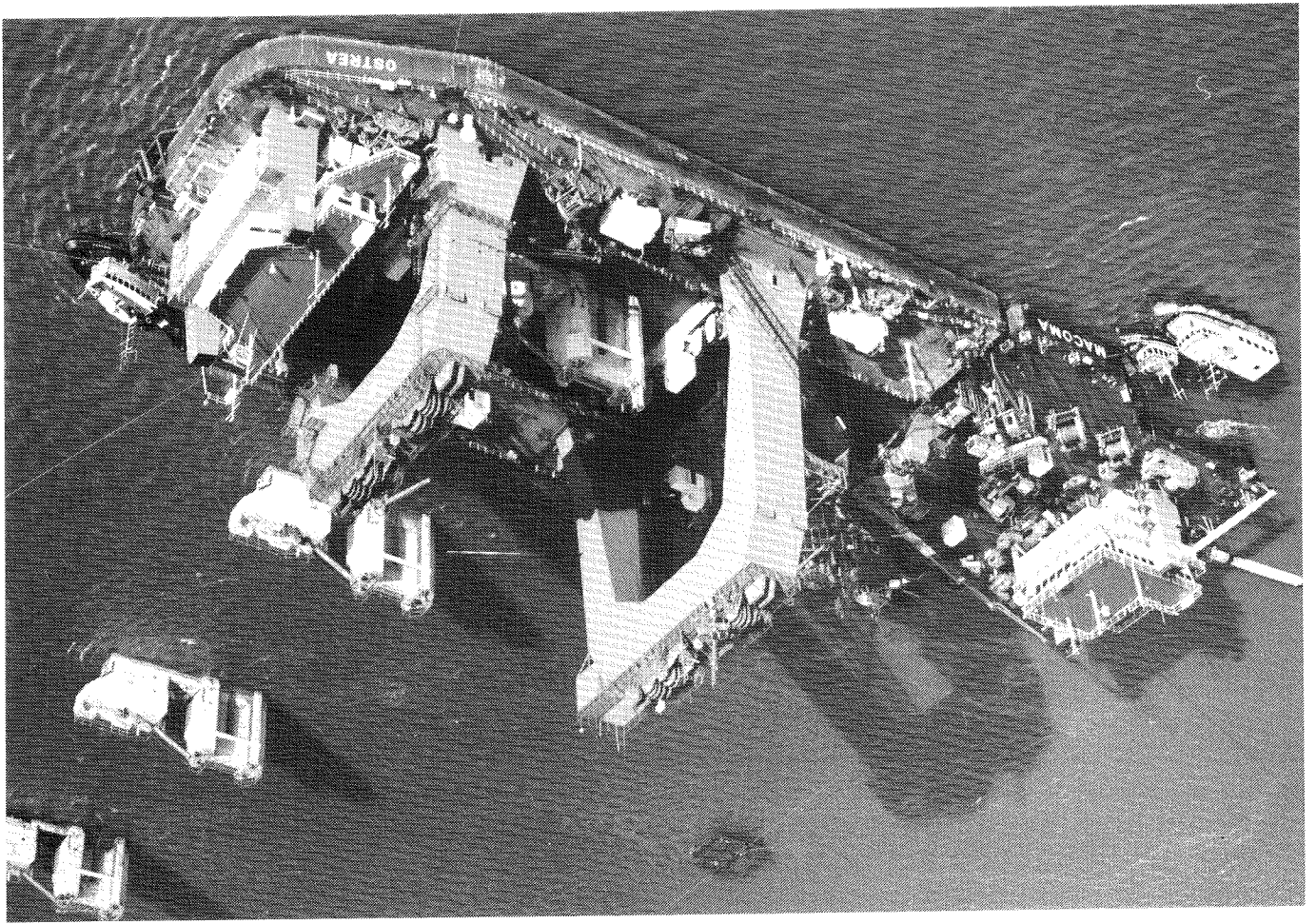
De kering is opgebouwd uit 65 pijlers die geprefabriceerd zijn in een bouwdok op het werkeiland Neeltje Jans. Dit bouwdok is in een drietal compartimenten verdeeld om reeds met het plaatsen van de eerste pijlers te kunnen beginnen voordat de laatste pijler is afgebouwd. Als alle pijlers in een compartiment gereed zijn wordt het compartiment onder water gezet en kan de ringdijk doorgebaggerd worden. Het hefschip „Ostrea” kan dan binnenvaren om de pijlers één voor één op te tillen, te vervoeren en binnen zeer geringe toleranties op hun definitieve lokatie te plaatsen; 45 m h.o.h. naast de vorige pijler (zie fig. 5.9).

De Ostrea bestaat uit een U-vormig ponton met daarop twee portalen uitgerust met hijsapparatuur. Het heeft een hefvermogen van 10.000 ton, voldoende om de zwaarste pijler van 18.000 ton in gedeeltelijk ondergedompelde toestand te transporteren. Om de plaatsingsoperatie op open water zo kortstondig mogelijk te houden, wordt gebruik gemaakt van een afmeerponton, de „Macoma”. Dit ponton wordt enige uren voor het plaatsen van een pijler zeer nauwkeurig op de juiste plaats verankerd.

De Macoma is tevens voorzien van zuigmonden om vlak voor het plaatsen van een pijler de bovenmat geheel zandvrij te maken. De Ostrea meert af aan de Macoma, waarna de plaatsing van de pijler rond kentering kan plaatsvinden (zie fig. 5.10). Ook het plaatsingsproces met de Macoma- Ostrea combinatie is met een simulator nagebootst.

Fig. 5.10
De Macoma-Ostrea combinatie





Toplaagstorter met ponton

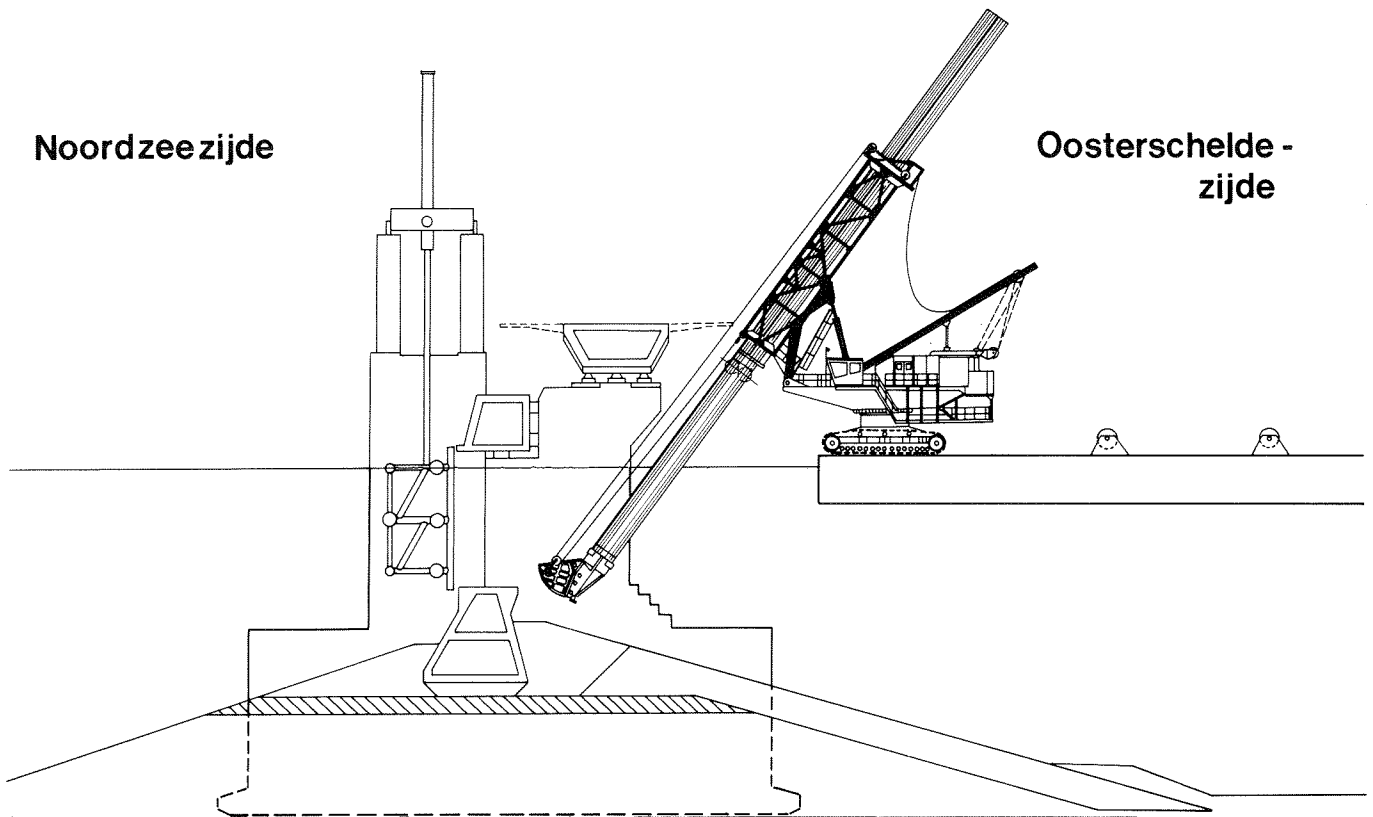
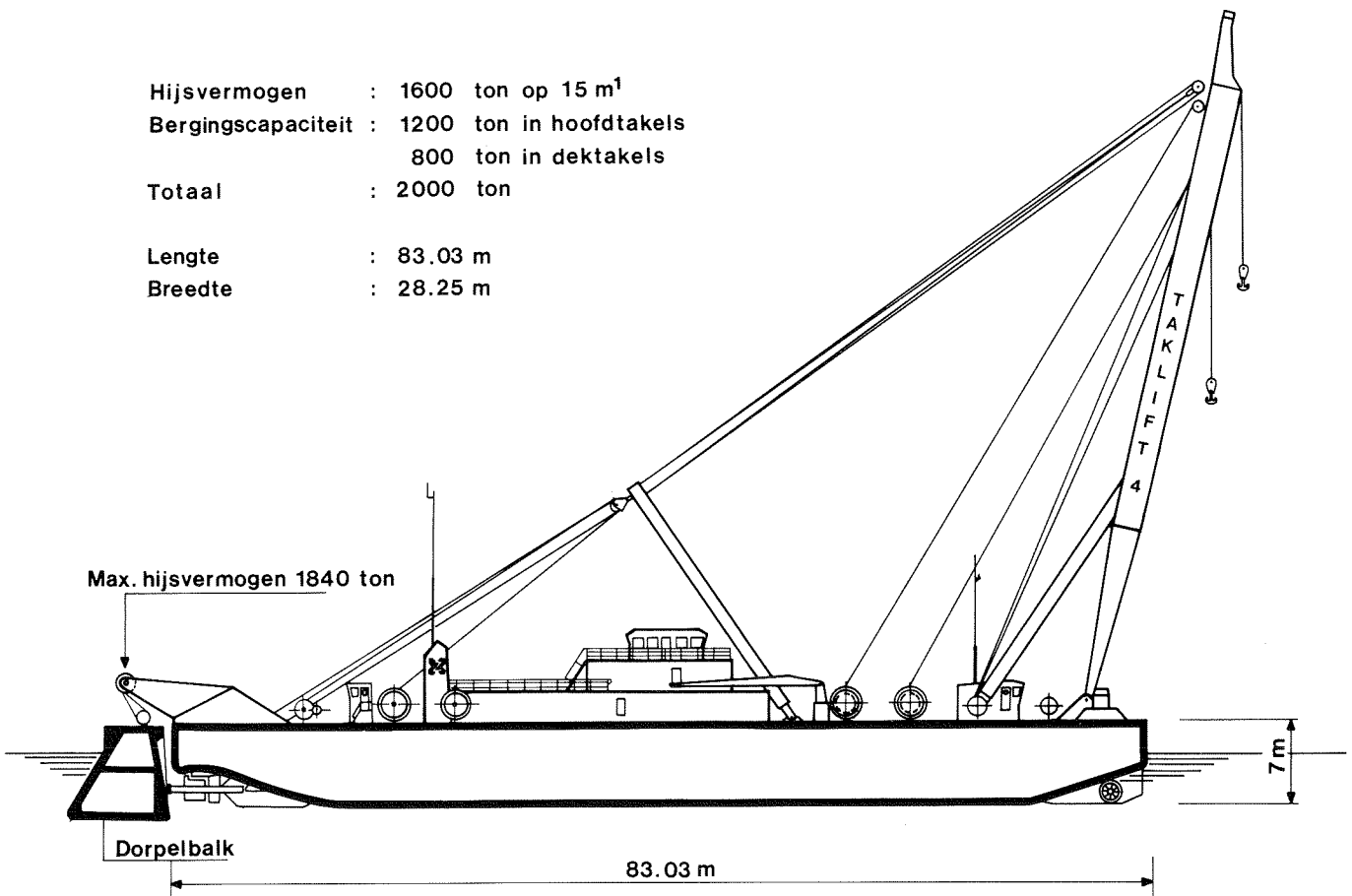


Fig. 5.11
De toplaagstorter ↑

Fig. 5.12
De Taklift IV ↓

Hijsvermogen : 1600 ton op 15 m¹
 Bergingscapaciteit : 1200 ton in hoofdtakels
 800 ton in dektakels
 Totaal : 2000 ton

 Lengte : 83.03 m
 Breedte : 28.25 m



De toplaagstorter

De drempel tussen de pijlers bestaat uit een aantal steenachtige materialen, laagsgewijs naar boven toenemend in grootte. Als maatgevende ontwerpeis voor de bovenste laag (toplaag) geldt dat deze stabiel moet zijn wanneer één van de schuiven weigert te sluiten. Deze toplaaag bestaat derhalve uit zware stenen. Om beschadigingen aan de pijlers te voorkomen en om deze grote stenen zo nauwkeurig mogelijk te positioneren, kunnen deze stenen niet vanaf de waterlijn gestort worden. Ze worden daarom aangebracht met de zgn. „toplaagstorter” (zie fig. 5.11). Deze toplaagstorter bestaat uit een ponton met daarop een kraan die beschikt over een uitschuifbare „lepel”. Met deze lepel worden de stenen op de juiste plaats aangebracht. Nadat de dorpelbalken zijn geplaatst komt de toplaagstorter nogmaals in actie voor het aanbrengen van de dorpelbalkaanstortingen. De stroomsnelheden zijn dan inmiddels fors opgelopen, zodat de toplaagstorter op sommige lokaties in minder dan de helft van de beschikbare tijd kan werken.

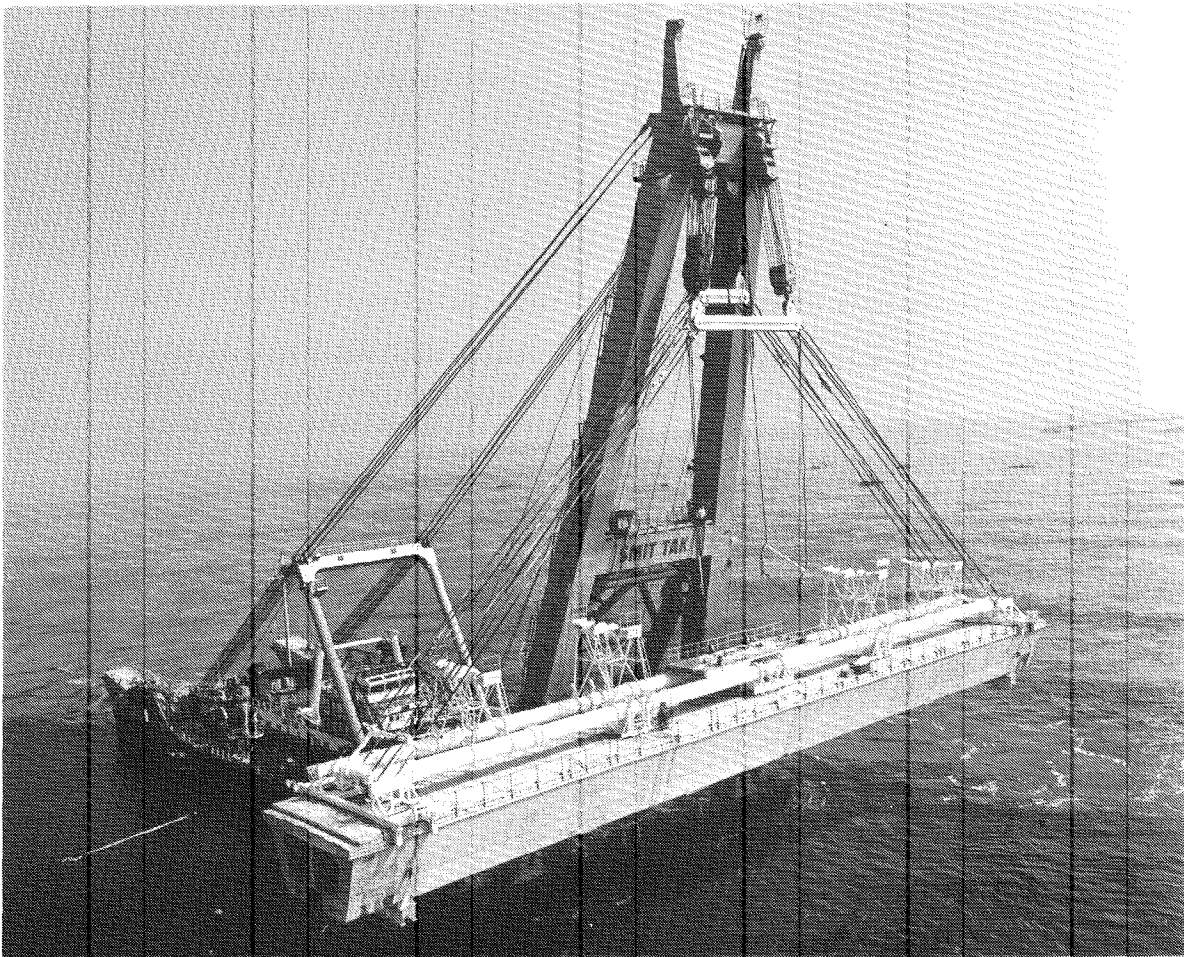
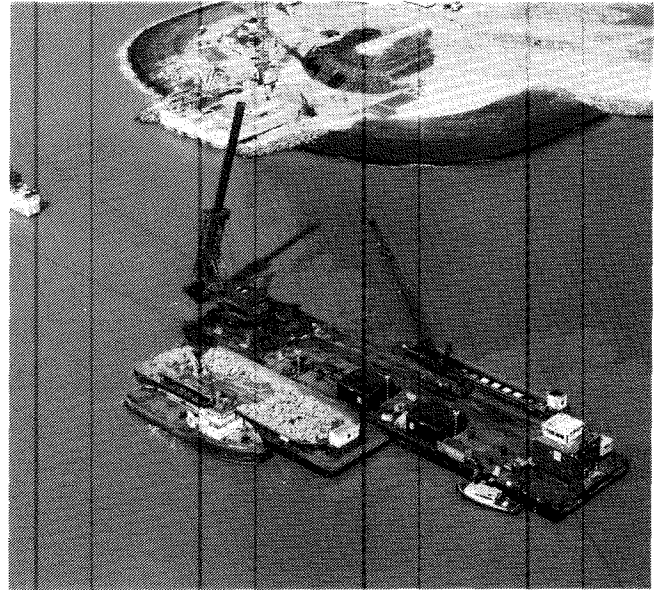
Drijvende bok „Taklift IV”

Nadat het steenstortbedrijf de drempel voor een groot deel heeft opgebouwd, kunnen de verkeerskokers op de pijlers geplaatst worden.

Deze voorgespannen betonnen kokers worden op een ponton naar de kering gebracht, waarna de drijvende bok „Taklift IV” de kokers op de pijlers plaatst (zie fig. 5.12). Na gereedkomen van de drempel worden de pijlers nauwkeurig t.o.v. elkaar ingemeten, zodat dorpelbalken, bovenbalken en schuiven precies op maat afge maakt kunnen worden. Deze elementen worden eveneens met de Taklift IV aangebracht, te beginnen met de schuiven (overspanning 41,3 m, in hoogte variërend van 5,9 tot 11,9 m)

De dorpelbalken worden vanuit het bouwdok op Neeltje Jans door de Taklift IV drijvend naar de kering vervoerd, zodat het benodigde hefvermogen van de op de achterzijde van het schip geplaatste hijs-oren gereduceerd wordt van 2500 ton (het maximale droge gewicht) tot 1500 ton.

Door de aanwezigheid van de pijlers en de drempel zijn de stroomsnelheden opgelopen tot 4 m/s en is de kenteringsduur waarbinnen de dorpelbalken geplaatst kunnen worden beperkt tot ca. 1 uur.



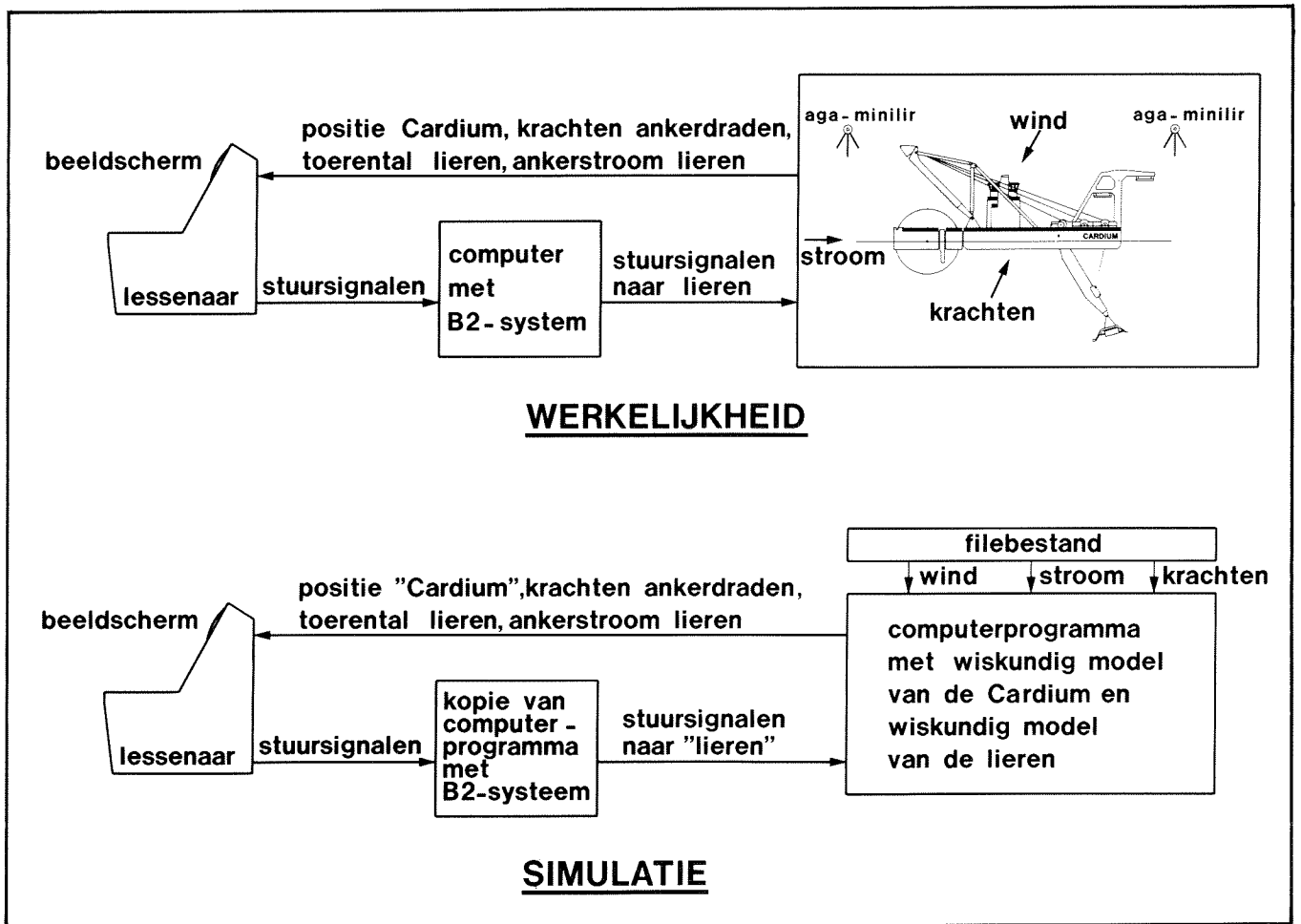


Fig. 5.13
De Cardium simulator

5.5 Simulatie

De complexe en risicovolle handelingen en de korte proefperiode van de Cardium en de Macoma-Ostrea combinatie noopten tot de ontwikkeling van elektrische simulatoren. In de eerste plaats kon daarmee het bedieningspersoneel getraind worden. In de tweede plaats maakten de simulatoren het mogelijk om t.b.v. de uitvoering te onderzoeken op welke wijze bepaalde handelingen het beste konden plaatsvinden. Fig. 5.13 toont de werkelijke en de gesimuleerde procesgang van de Cardium.

Het controlepaneel is een vrijwel volledig nagemaakt copie van het echte paneel (zie fig. 5.14). Alle van belang zijnde informatie krijgt de operator van het controle-paneel. De signalen van de operator worden in de simulator verwerkt door een computer met mathematische modellen van het ponton en het lierensysteem.



Fig. 5.14
Controlepaneel van de Cardium simulator

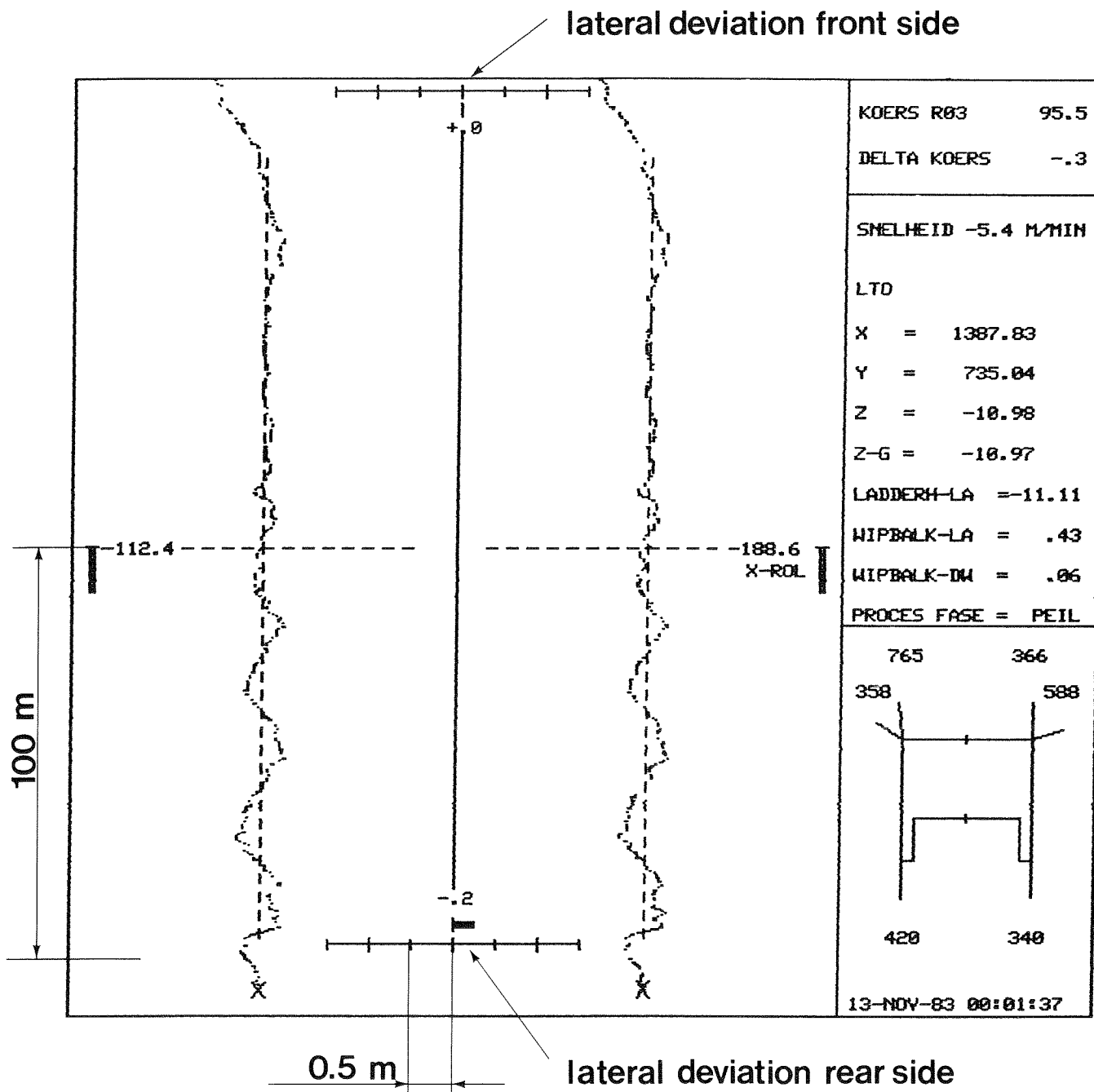


Fig. 5.15
Beeldscherm van de Cardium simulator

De aldus verwerkte gegevens worden op een beeldscherm weergegeven (zie fig. 5.15): de positie van de voor- en achterzijde van het schip t.o.v. de denkbeeldige rechte lijn en het verloop van de bewegingen in de tijd. In de rechter bovenhoek van het beeldscherm verschijnt informatie over de snelheden en de bewegingsrichtingen, terwijl rechtsonder de richtingen en de grootte van de ankerkrachten worden gegeven.

Geeft de verkregen informatie daartoe aanleiding dan kan zonodig met behulp van de lieren (simulatie) de positie van het schip gecorrigeerd worden. Door het gebruik van deze simulator zijn de risico's gedurende de complexe handelingen aanzienlijk verkleind.

5.6. Slot

Bovenstaande poogt niet meer dan een indruk te geven van de gecompliceerde ontwerp- en uitvoeringsaspecten van de Stormvloedkering in de Oosterschelde.

Veel bleef onbesproken zoals planningsfacetten, risico-analyse, de probabilistische ontwerpmethodiek en een aantal werkschepen (o.a. het onderwaterinspectievaartuig „Portunus” en het asfalt-schip de „Jan Heymans”). Hiervoor wordt verwezen naar onderstaande (zeer beperkte) literatuurlijst.

5.7. Literatuur

- (1) Foundation aspects of coastal structures; International Symposium on Soil Mechanics Research and Foundation Design of the Oosterschelde Storm Surge Barrier (Volume 1,2,3); Delft, October 9-12- 1978.
- (2) Hydraulic Aspects of Coastal Structures; Developments in Hydraulic Engineering, related to the design of the Oosterschelde Storm Surge Barrier in the Netherlands (part 1,2); Delft University Press, 1980.
- (3) The third International Conference of Marine Simulation; Marsijm 1984, Rotterdam 19-22 June 1984.
- (4) Cement nr. 12 (1979), Themanummer Stormvloedkering Oosterschelde.
- (5) Cement nr. 11 (1982), Themanummer Stormvloedkering Oosterschelde.

Kenmerken
 formele risico-analyse, optimalisatie van ontwerp en uitvoering

6.1 Inleiding

In het oostelijk deel van de Oosterschelde worden de Compartimenteringsdammen Philipsdam en Oesterdam aangelegd. Het doel van deze dammen is het handhaven van een voldoende zout getijde milieu op de Oosterschelde na gereedkomen van de stormvloedkering, het getijvrij maken van de Schelde-Rijn verbinding en het creëren van een randmeer met zoet water voor Noord-Brabant. Fig. 6.1 illustreert de toekomstige situatie en de locatie van de compartimenteringsdammen en -sluitgaten.

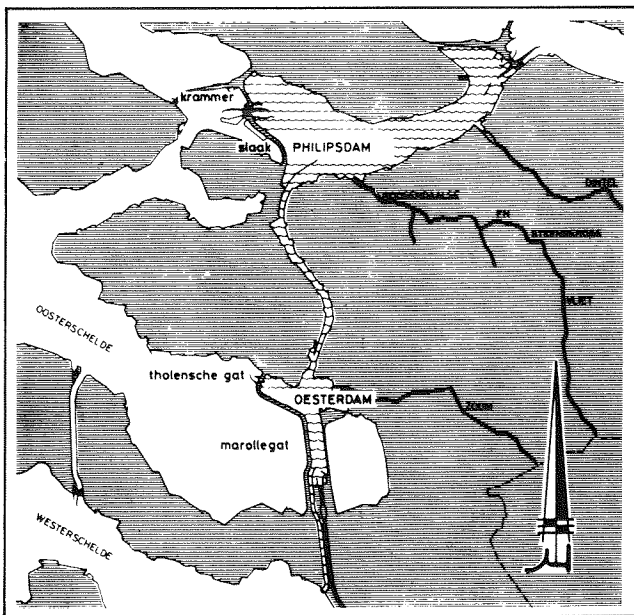


Fig. 6.1
 Overzicht compartimenteringswerken

Recentelijk zijn de sluitingen van de betreffende getijgeulen onderwerp van studie geweest. Hierbij zijn voor alle sluitgaten (2 secundaire-, t.w. Marollegat in de Oesterdam en Slaak in de Philipsdam, en 2 primaire-, respectievelijk Tholense Gat en Krammer) zandsluitingen ontworpen en voor het Tholense Gat tevens een steensluiting.

Voor deze sluitingen heeft de risico-analyse een integraal onderdeel van het ontwerpproces gevormd. De analyse heeft niet alleen kwalitatief en gevoelsmatig plaatsgevonden maar ook kwantitatief en formeel.

De intentie van dit hoofdstuk is een beeld te geven van de uitgevoerde risico-analyse. Als voorbeeld wordt de sluiting van het Tholense Gat opgevoerd, omdat dit zowel een steen- als een zandsluiting betrof. De volgende paragraaf gaat in op de algemene aspecten van de risico-analyse van de sluitingen terwijl in de paragrafen 6.3 en 6.4 respectievelijk de analyse van de steen- en zandsluiting aan de orde komen. Paragraaf 6.5 geeft tenslotte de conclusies van de uitgevoerde risico-analyse weer.

6.2 Risico-analyse algemeen.

De risico-analyse heeft tot doel de kans op het optreden van een ongewenste topgebeurtenis in een systeem na te gaan. Hierbij wordt het duidelijk welke onderdelen of activiteiten een grote bijdrage aan die kans hebben en dus extra aandacht verdienen.

Voor een risico-analyse dient allereerst de ongewenste topgebeurtenis gedefinieerd te worden. Bij de sluitingsoperaties werd al snel gedacht aan het overschrijden van geplande kosten of uitvoeringstijd. Daar de vertaling van faalmechanismen in geld vaak lastig is werd voor de ongewenste topgebeurtenis een overschrijding van de geplande uitvoeringstijd, met 2 weken of meer, aangenomen. De periode van 2 weken is arbitrair en duidt gelijk op een zwakte van de gehanteerde analyse; het aangeven van een overgangsgedrag tussen „functioneren” en „niet functioneren” is nauwelijks mogelijk.

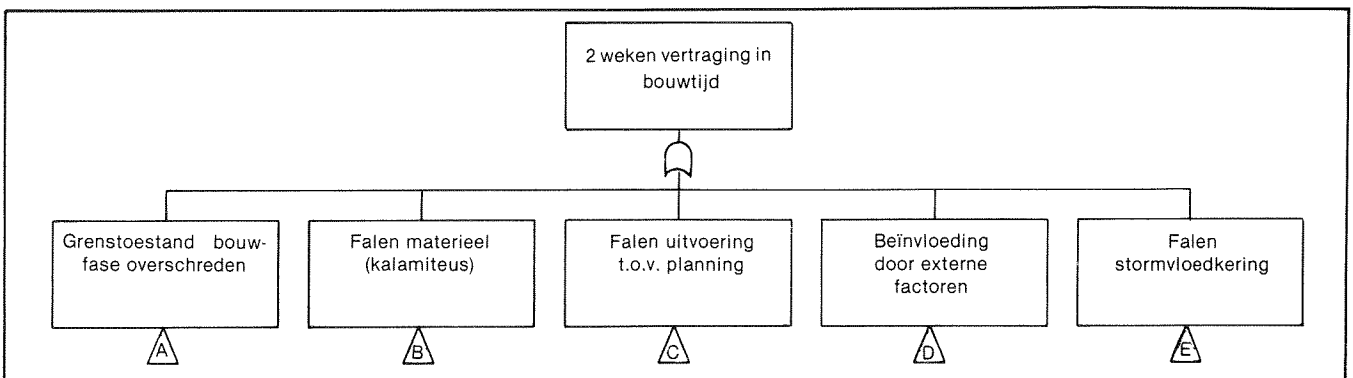


Fig. 6.2
 Hoofd-foutenboom (zand-)sluiting Tholensche Gat

Het hanteren van bovenstaande formulering voor de topgebeurtenis biedt de mogelijkheid alle faaloorzaken te onderscheiden in konstruktieve mechanismen, uitvoeringsaspecten en externe factoren, parallel in de analyse te betrekken. De gebeurtenissen en omstandigheden die kunnen leiden tot het optreden van de ongewenste topgebeurtenis worden door het opstellen van foutenboomen systematisch opgespoord en weergegeven. Fig. 6.2 geeft de hoofd-foutenboom voor de (zand-)sluiting van het Tholense Gat.

In de eerste plaats kan de konstruktie tijdens een bouwfase bezwijken. Ten tweede is het mogelijk dat het gebruikte materieel zodanig beschadigd raakt dat een vertraging van 2 weken onvermijdelijk is. Verder kan een samenloop van meerdere ongunstige omstandigheden en (op zich) kleine tegenvallers tot gevolg hebben dat de geplande totale bouwduur sterk overschreden wordt. Ook is het mogelijk dat het werk door externe factoren, zoals staking en milieu-akties beïnvloed wordt. Deze laatste gebeurtenissen vallen

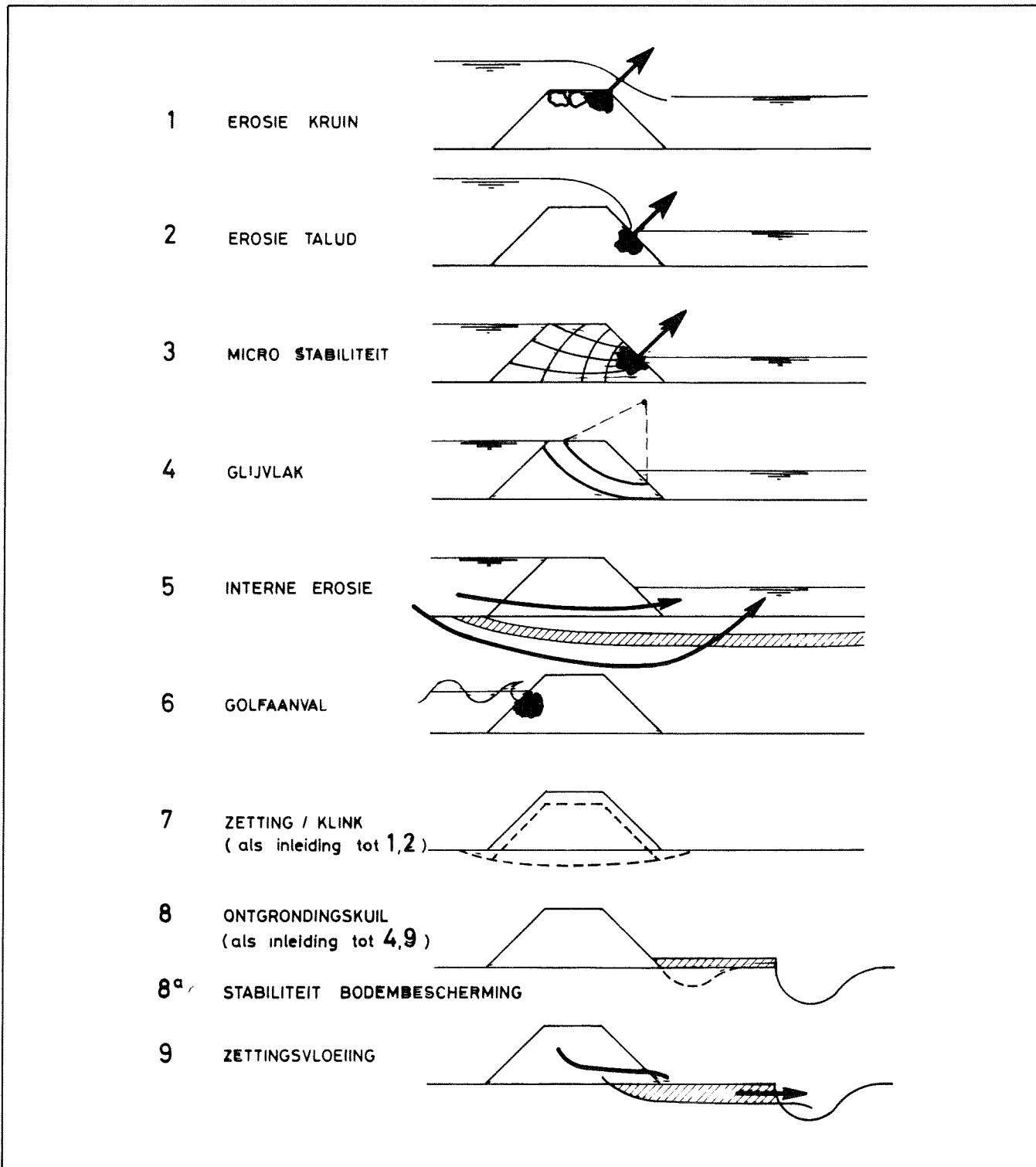


Fig. 6.3
Bezwijkmechanismen bouwfases sluitkade

echter buiten de invloedssfeer en verantwoordelijkheid van de technische ontwerper; er zal in dit verband niet verder op ingegaan worden. Tenslotte kan, bij zandsluiting van Krammer en Tholense Gat, het falen van de stormvloedkering de topgebeurtenis tot gevolg hebben. In de volgende paragrafen wordt de verdere uitwerking van de foutenbomen (aangegeven door het -symbool) gepresenteerd.

De volgende stap in de analyse is het bepalen van de optredens-kansen van de verschillende ongewenste gebeurtenissen gedurende de betreffende bouwfase. Voor wat betreft het konstruktieve deel (het optreden van grenstoestanden) kan dit veelal geschieden met behulp van probabilistische sterkteberekeningen. Voor de kwantificering van de gebeurtenissen die de uitvoering beïnvloeden wordt geput uit databanken (veelal incidentele gebeurtenissen) en uit gegevens omtrent de producties en/of capaciteit van de diverse soorten materieel (voor de situatie waarbij het werk uitloopt als gevolg van veel kleine tegenvallers).

Nadat de foutenboom of een deel daarvan gekwantificeerd is kan het resultaat leiden tot een aanpassing in de konstruktie of de uit-

voeringsmethode. Deze aanpassingen, die meestal vanuit een economisch oogpunt ontstaan, zijn b.v. uitvoerbaar voor de kruin-hoogte en de taludhelling van de afsluitdam, maar kunnen ook de inzet van extra materieel betreffen.

6.3 Steensluiting.

Bij de verdere uitwerking van de foutenboom voor de steensluiting van het Tholense Gat wordt eerst gekeken naar het overschrijden van een grenstoestand. Opgemerkt zij dat hierbij de gehele omgeving (oever) en alle constructie-onderdelen (damaanzetten, bouwfront, sluitkadedoorsnede) in de beschouwing betrokken dienen te worden en op bezwijkans geanalyseerd. In dit kader zal de analyse van het overschrijden van een grenstoestand geïllustreerd worden met een beschouwing van de stabiliteit van een doorsnede van de breuksteenkade. Om hiervoor een deelfoutenboom op te stellen inventariseren we de mogelijke bezwijkmechanismen van de constructie (zie fig.6.3).

Fig. 6.4 geeft de uitwerking van de bezwijkmechanismen in een deelfoutenboom.

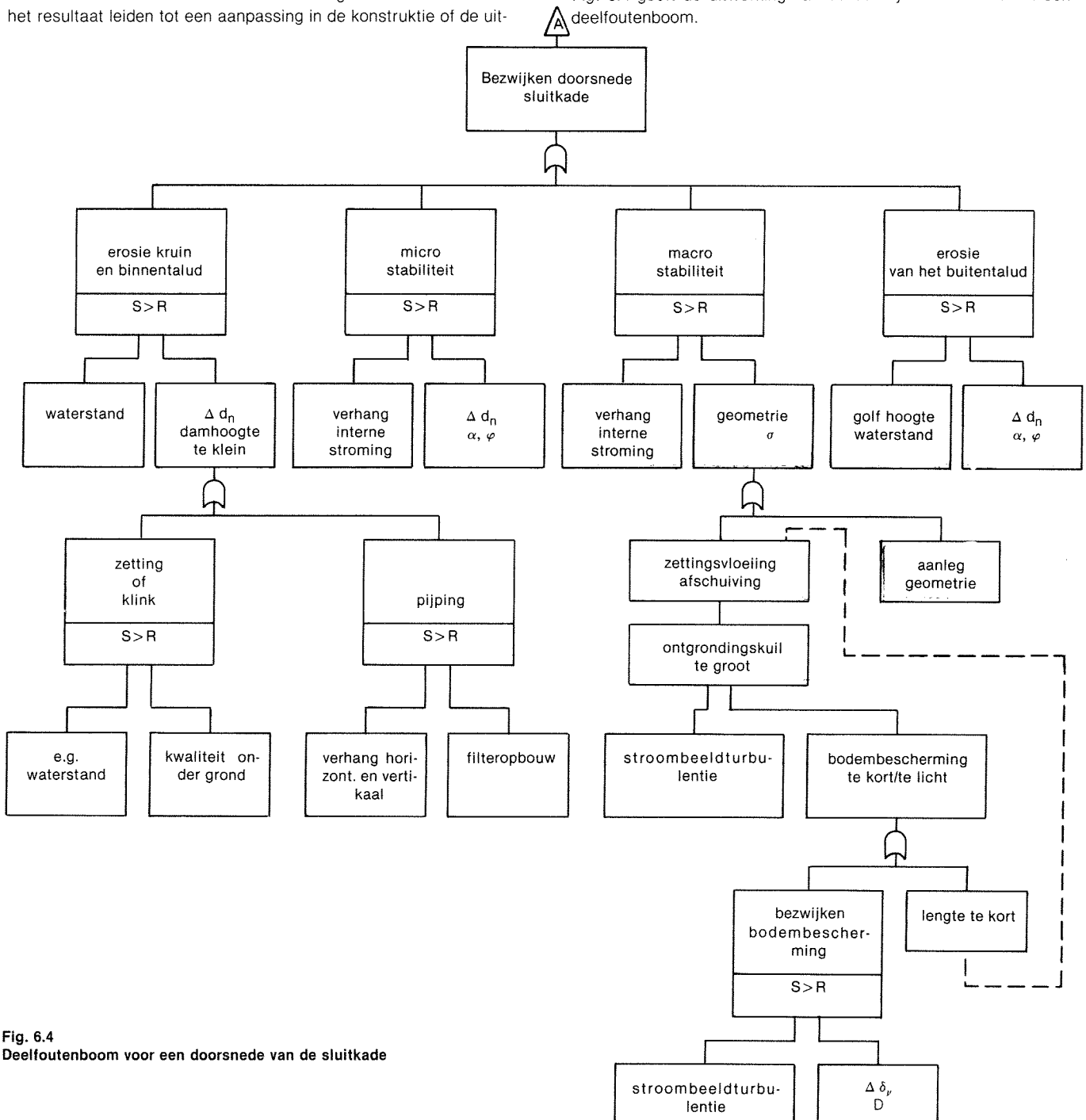


Fig. 6.4 Deelfoutenboom voor een doorsnede van de sluitkade

Hierin geeft de ongelijkheid $S > R$ aan dat de belasting op de constructie (S) groter is dan de sterkte (R) en dat dus de grenstoestand overschreden wordt. De parameters en omstandigheden die de belasting en sterkte beïnvloeden zijn in de foutenboom weergegeven onder de letter „S” respectievelijk „R”. Kwantificeren van deze gebeurtenissen is mogelijk met behulp van probabilistische berekeningen, waarbij, uitgaande van de kansdichtheidsfuncties van de sterkte- en belasting-parameters, via een wiskundige beschrijving van de grenstoestand de bezwijkkans bepaald wordt.

Met name deze beschouwing van de stabiliteit van de werkonderdelen heeft geleid tot een ontwerpaanpassing. De hoogte van de sluitkade is van NAP + 2,5m verhoogt tot NAP + 3m, omdat de faalkans van de kadedoorsnede, met als gevolg een ernstige bedreiging van de stabiliteit van de hoogwaterkering van Tholen, te groot werd geacht.

Bovendien kan, met behulp van de probabilistische berekeningen, het overgangsniveau van een lichtere steensortering (nog te gebruiken in een lagere opbouwphase met geringe stroomaanval) op een zwaardere steensortering economisch geoptimaliseerd worden; hierbij wordt de meerinvestering voor het gebruik van de zwaardere sortering afgewogen tegen de toenemende schadeverwachting.

Het principe van de optimalisatie van de overgangsniveaus wordt geïllustreerd aan de overgang van fosforslakken op breuksteen. Eerst wordt, met behulp van probabilistische berekeningen, de faalkans van een kade van fosforslakken bepaald bij verschillende kruinniveaus. Fig.6.5 geeft hiervan het resultaat. De schadeverwachting is nu gelijk aan de faalkans, vermenigvuldigd met het schadebedrag.

Vervolgens dient het effect van een aanpassing van het overgangsniveau op de investering nagegaan te worden; hoe hoger met behulp van de goedkopere slakken opgebouwd kan worden, hoe lager de totale investering. Fig. 6.6 illustreert de situatie.

De investeringsafname, bij toenemend overgangsniveau, is getoetst in fig. 6.7. Tenslotte kan nu bij elk overgangsniveau het totaal van investering en schadeverwachting bepaald worden; wanneer deze totaal verwachte kosten minimaal zijn, is het overgangsniveau optimaal, zie ook fig.6.7.

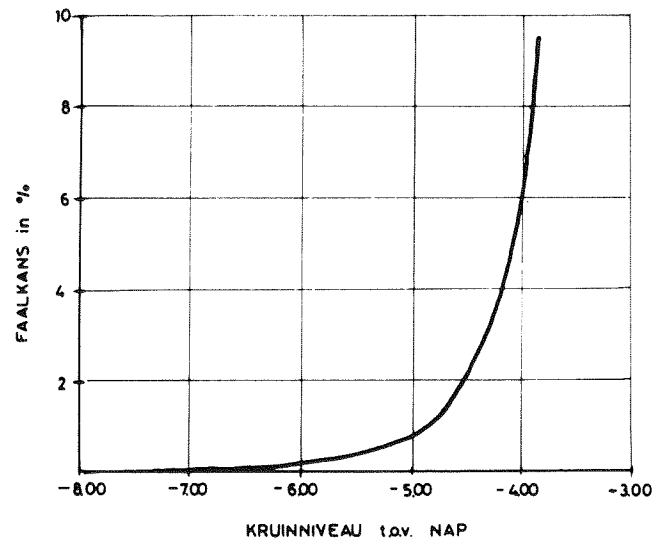


Fig. 6.5
Faalkans fosforslakken als functie van het kruinniveau

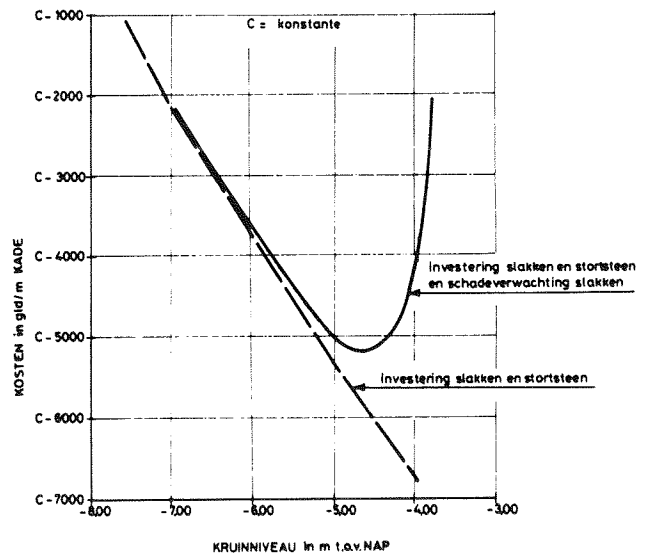


Fig. 6.7
Kostenoptimalisatie overgangsniveau fosforslakken-breuksteen

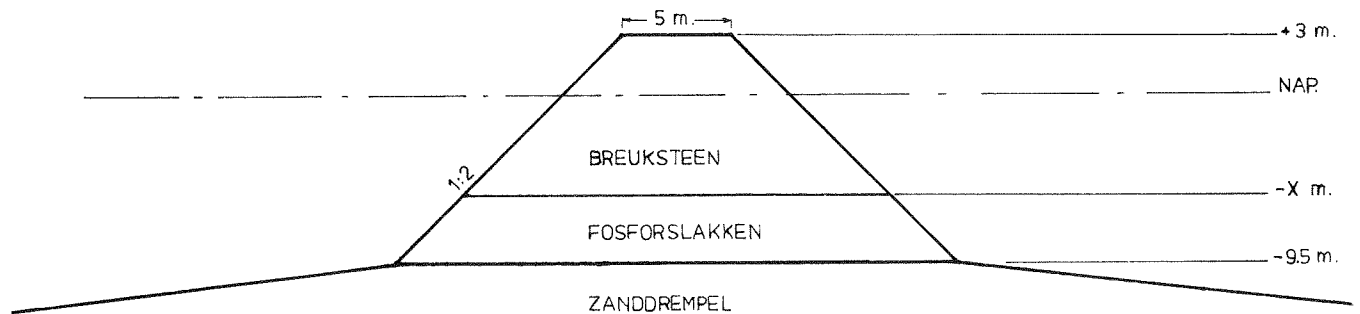
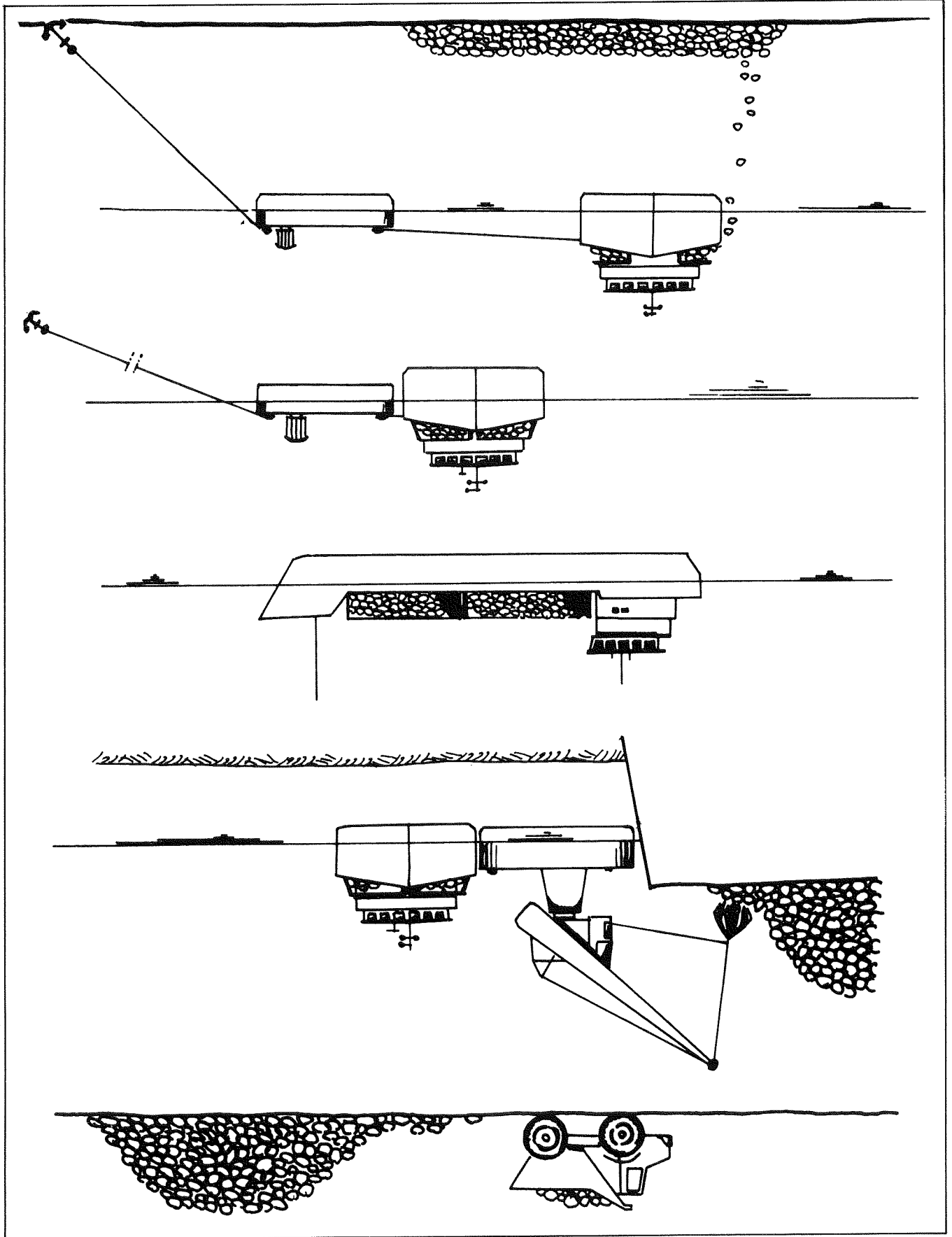


Fig. 6.6
Definitieschets investeringskosten

Fig. 6.8
Steenstorbedrijf



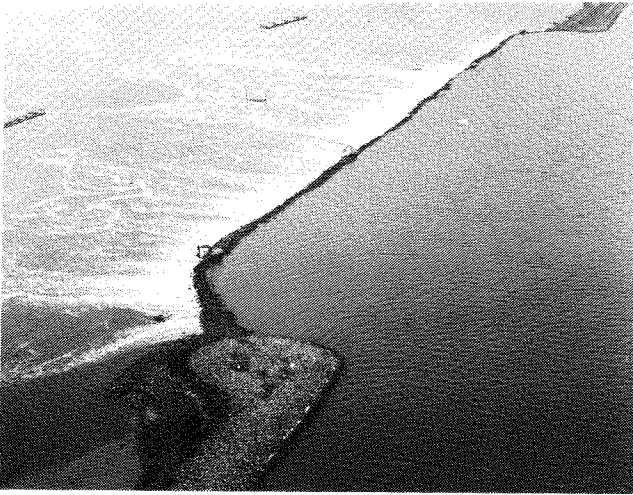


Fig. 6.9
Overzicht van de sluitkade met hydraulische kranen

Voor de analyse van de mogelijkheid van een calamiteit bij de uitvoering van het werk zijn drie significante en relatief gevoelige bouwfases geselecteerd, t.w. het steenstortbedrijf bij een relatief hoge opbouwfase (fig. 6.8), het optrekken van steen op de kade m.b.v. hydraulische kranen (fig. 6.9) en het met dumpers uitrijden van steen bij een relatief lage kade (fig. 6.10).

Onderstaande figuur 6.11 brengt het systeem van de opbouw van de kade met een steenstort-bedrijf in beeld.

Door de verschillende onderdelen van het bedrijf te beschouwen en faaloorzaken te inventariseren kan een foutenboom voor de uitvoeringsfase opgesteld worden (zie fig.6.12).

Kwantificering van deze foutenboom is mogelijk door schattingen van experts (best guess, optimistic en pessimistic guess), door gebruik te maken van databanken (alhoewel de praktische bruikbaarheid voor dit soort systemen, die niet tot in detail geanalyseerd kunnen worden, niet groot is) en het op intensieve wijze gebruik maken van anderszins verzamelde statistische informatie (brand en explosie bij binnenvaartschepen, fout aanlopen van een haven e.d.).

Op het falen van het uitvoeringssysteem ten gevolge van een aantal, op zich kleine tegenvallers, zal hier niet verder worden ingegaan; de methode wordt geïllustreerd aan de hand van het zandsluitingsbedrijf, in de volgende paragraaf.

6.4 Zandsluiting

De foutenboom voor het overschrijden van een grenstoestand in een bouwphase bij een zandsluiting is niet fundamenteel anders dan die voor een steensluiting. Doordat het succes van de zandsluiting bijna volledig wordt bepaald door de voortgang van het zandstort in het sluitgat, is de analyse van het uitvoeringssysteem primair hierop gericht. Er wordt, evenals bij de steensluiting, onderscheid gemaakt tussen een calamiteit en een samenloop van kleinere tegenvallers.

Het uitvoeringssysteem bestaat in hoofdzaak uit een zandzuiger (zie fig.6.13), met als belangrijkste onderdelen motor, pomp, zuigleiding en verankeringsstelsel, en het persleidingstelsel dat de mengselstroom naar het stort voert.



Fig. 6.10
Uitrijden van de kade met dumpers



Fig. 6.11
Uitvoeringsbedrijf met steenstort

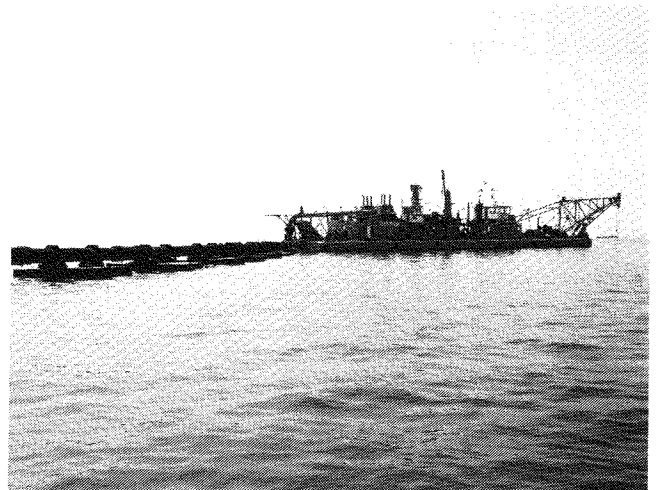
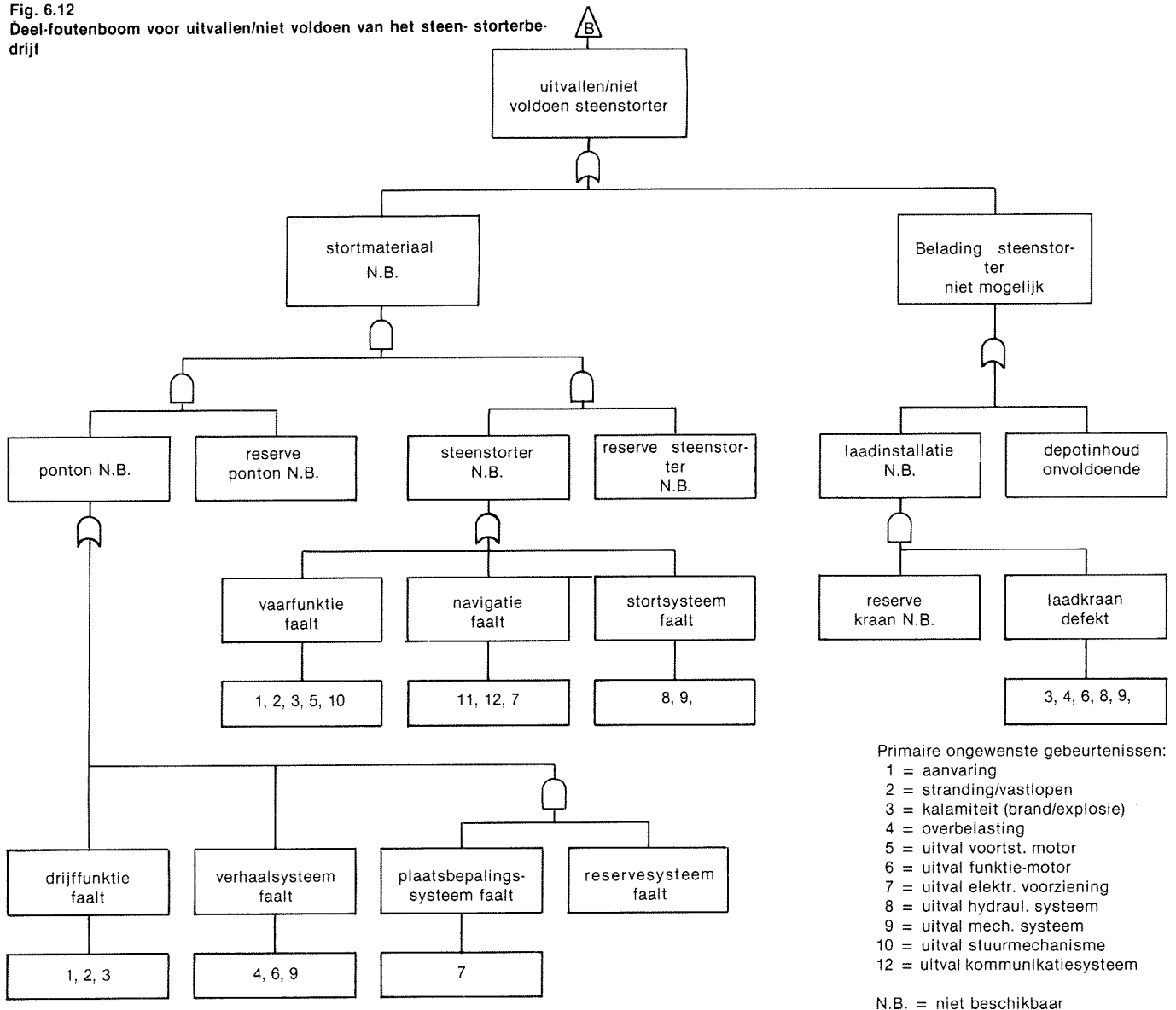


Fig. 6.13
Zandzuiger met drijvende leiding

Fig. 6.12
Deel-foutenboom voor uitvallen/niet voldoen van het steen- storterbedrijf



Van dit leidingstelsel is alleen de zinker, benodigd bij kruising van een scheepvaartroute, in de foutenboom opgenomen; wanneer een drijvende- of landleiding faalt zal dit op korte termijn verholpen kunnen worden en dus niet leiden tot de topgebeurtenis. Fig.6.14 geeft de foutenboom voor het zandbedrijf.

Fig. 6.14
Foutenboom voor een kalamiteit in het zandbedrijf

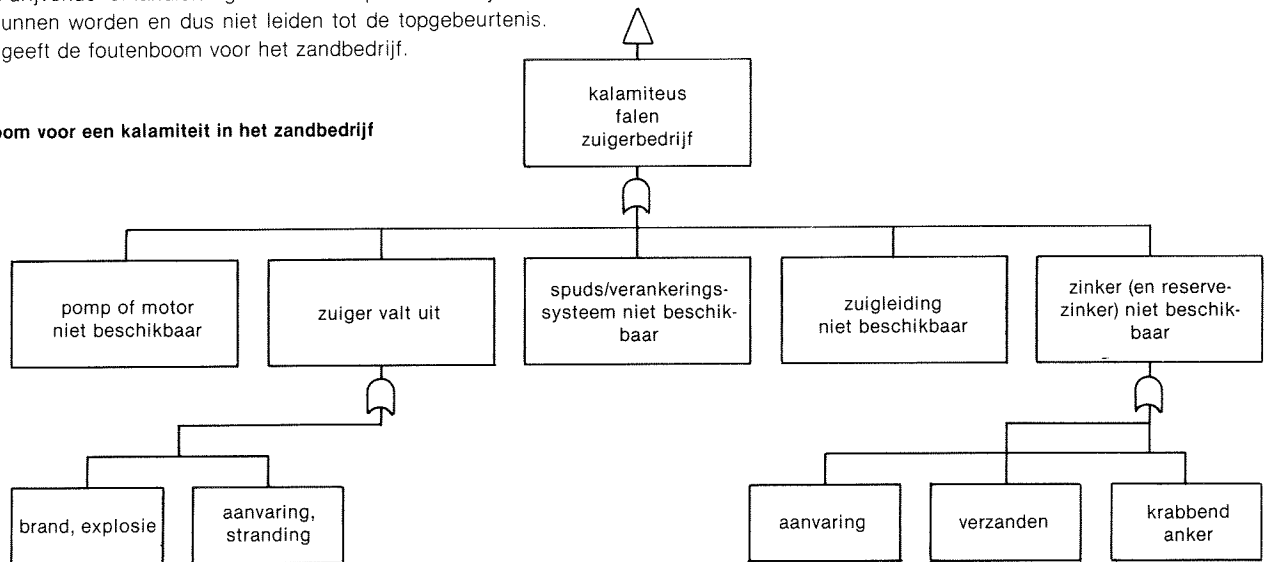
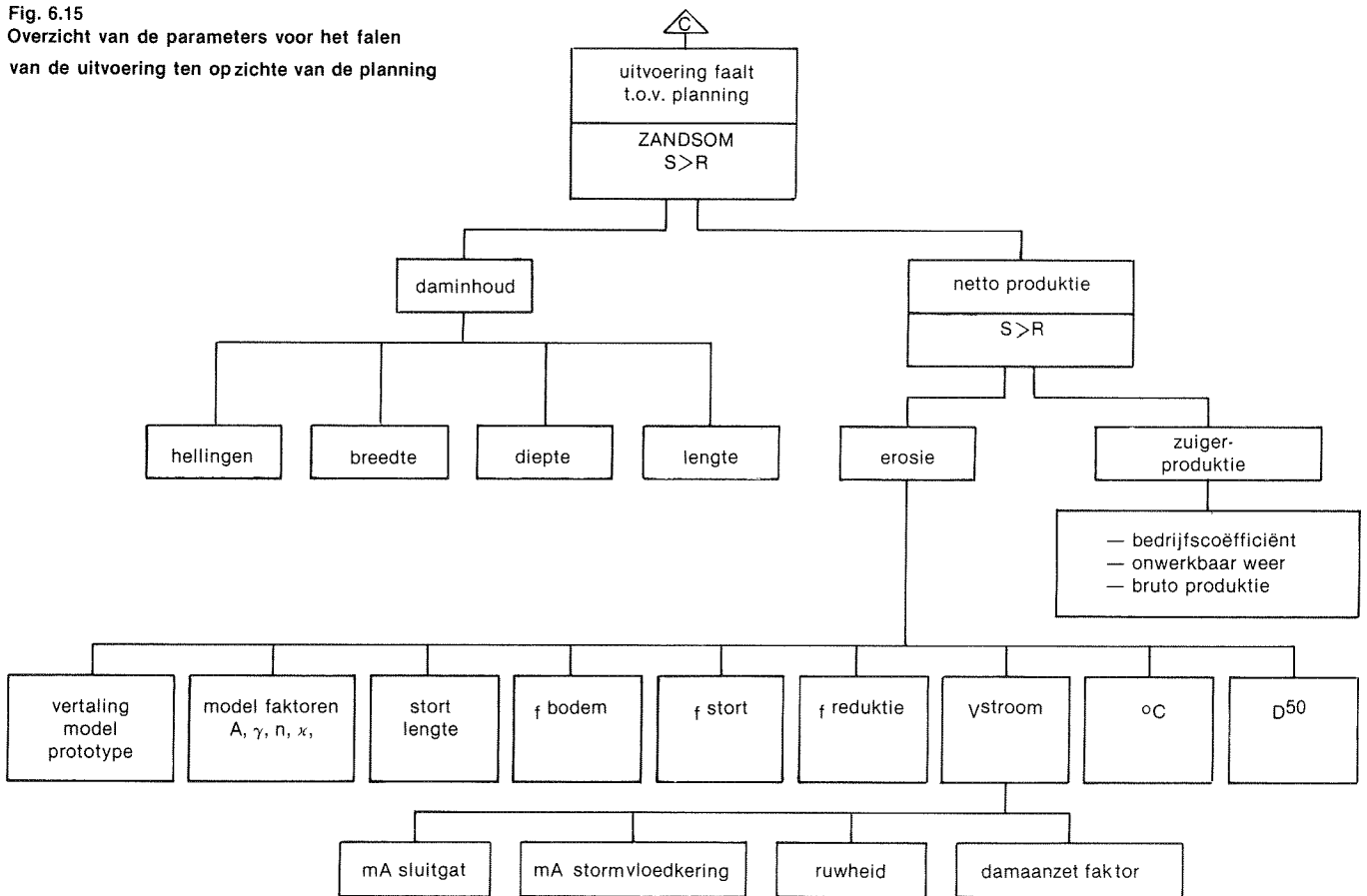


Fig. 6.15
 Overzicht van de parameters voor het falen
 van de uitvoering ten opzichte van de planning



Bij het kwantificeren van de foutenboom, gebruikmakend van databanken, scheepvaart- en ongevalgegevens en uitvoeringsservaring, bleek dat de zinker een kwetsbaar onderdeel van het systeem is. Door bij de sluiting van het Tholense Gat per 2 zuigers (in totaal zijn er 4 gepland) een reserve-zinker te installeren wordt de faalkans t.g.v. het falen van een zinker voldoende gereduceerd en evenwichtig met de optredensansen van de overige gebeurtenissen.

Voor de analyse van het falen van de sluiting ten gevolge van een aantal kleine tegenvallers dient nagegaan te worden welke parameters invloed hebben op de voortgang van het werk. Fig.6.15 geeft hiervan een overzicht; in de eerste plaats speelt de inhoud van de sluitkade een rol, ten tweede de netto-productie, die weer afhankelijk is van de bruto-productie en het optredende zandverlies.

Alle in het overzicht opgenomen parameters zijn stochastische grootheden; de benodigde tijd voor de sluiting is afhankelijk van de „trekking” die gedaan wordt uit de kansverdeling van iedere parameter.

Door de, in ongunstige zin afwijkende, flank van de kansdichtheidsfunctie van een parameter (voor zover bekend) te benaderen met een normale verdeling kan, via een eenvoudige probabilistische berekening, naast de verwachtingswaarde van de sluitingsduur ook de standaard- afwijking bepaald worden. Daarmee ligt de (normale) verdeling van de sluitingsduur vast en kan de kans op een overschrijding van de geplande uitvoeringsduur berekend worden.

Uit de genoemde berekening blijkt tevens welke parameters verantwoordelijk zijn voor de grootste onzekerheid in de geplande tijd;

dit bleken de taludhelling van de sluitkade, de stroomsnelheid, de korrel diameter, de zandproductie, en de diverse factoren in het zandsluitingsmodel. De kans op falen van de sluiting ten gevolge van deze gebeurtenissen blijkt verwaarloosbaar klein te zijn. Dit wordt veroorzaakt door de geplande, zeer korte, uitvoeringsduur van ca. 1,5 week; zelfs wanneer de werkelijke sluiting twee keer zo lang zou duren treedt de topgebeurtenis nog niet op.



Fig. 6.16
 Zandstort

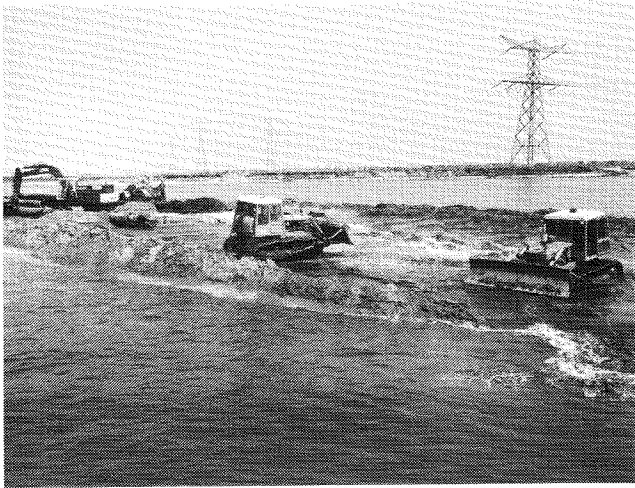


Fig. 6.17
Zandsluiting; werkzaamheden op het stort

Bij de zandsluiting van het Tholense Gat zal gebruik gemaakt worden van de stormvloedkering teneinde tijdens de laatste sluitingsfase de stroomsnelheden in het sluitgat te reduceren. Er zal echter een eenvoudig systeem gehanteerd worden: eenmaal een verkleining van de doorstroomopening van de stormvloedkering tot ca. 6000m² (ca. 2 dagen) en vervolgens de kering gedurende ongeveer één dag gesloten. Gezien de voor de stormvloedkering opgestelde risico-analyses en het voorgestelde eenvoudige gebruik wordt verwacht dat dit geen faaloorzaak van de zandsluiting zal zijn.

6.5 Conclusies

De in de voorgaande paragrafen beschreven risico-analyse heeft inzicht gegeven in de faalgevoeligheid van de diverse onderdelen en handelingen bij de sluitingsoperaties.

Het bleek dat bij de steensluiting de stabiliteit van de verschillende constructiedelen (oevers, bodembescherming, dam aanzetten, sluitkade) grote aandacht vraagt. Niet alleen bleken de bezwijkansen (m.n. van de sluitkade) allerm minst verwaarloosbaar, ook de gevolgen bij een eventueel bezwijken zouden zeer verstrekkend kunnen zijn. Zo kan, b.v. bij een bezwijken sluitkade, de Tholense oever zodanig aangevallen worden dat bezwijken van de hoogwaterkering, en daarmee inundatie van Tholen, dreigt. Dit heeft geleid tot een aanpassing in het ontwerp, waarbij de faalkans van de sluitkade aanzienlijk gereduceerd werd.



Fig. 6.18
Laatste fase zandsluiting

Het uitvoeringssysteem bij een steensluiting bleek weinig faalgevoelig. Enerzijds wordt dit veroorzaakt doordat het gebruikte materieel courant is, zodat in geval van een calamiteit (die op zich reeds met kleine kans voorkomt) vrij snel vervangend materieel beschikbaar kan zijn, anderzijds is het uitvoeringssysteem grotendeels gebaseerd op de tij-cyclus, waarbij overwegend slechts tijdens het kenteringsvenster in het sluitgat gewerkt kan worden. De hierbij gehanteerde veiligheidsmarges op materieelcapaciteit en tijd voor diverse handelingen is groot, zodat enige uitloop nauwelijks gevolgen heeft.

Bij de zandsluiting is de stabiliteit van de constructiedelen een punt van mindere zorg (t.o.v. de steensluiting). Ook bleek het materieel, met de tamelijk beschutte ligging achter in het Oosterschelde bekken, niet erg gevoelig voor het optreden van calamiteiten. Wel bleek het nodig per 2 zuigers een reserve-zinker te installeren, omdat dit een relatief gevoelig onderdeel is.

Het tegenvallen van de uitvoeringsduur als gevolg van de samenloop van een aantal - op zich kleine - omstandigheden en gebeurtenissen bleek wel een faaloorzaak met een niet-verwaarloosbare optredenskans. Hierbij spelen vooral de onzekerheid van de zandsluitingsberekeningen en van de korrel diameter en de onbekendheid van de te realiseren taludhellingen, -zandproductie en optredende stroomsnelheden een rol.

In de eerste helft van 1984 is, mede op grond van de resultaten van deze risico-analyse, besloten tot een zandsluiting van het Tholense Gat, hetgeen een aanzienlijk financieel voordeel opleverde t.o.v. het tot dan toe vigerende steensluitingsalternatief.

Alternatieven en keuze voor koelwatersysteem Tamil Nadu Electricity Board, Madras India

Kenmerken

Genereren van alternatieven, multicriteria analyse ondersteund door risico analyse.

7.1. Inleiding

De Tamil Nadu Electricity Board beheert als onderdeel van het 3100 MW geïnstalleerd vermogen in de Staat Tamil Nadu, India de kolengestookte elektriciteitscentrale van 450 MW te Ennore gelegen 15 km ten noorden van Madras.

Deze centrale werd gebouwd in de zeventiger jaren en het koelwatersysteem werd toen zodanig ontworpen dat water werd ingebracht vanuit een ondiepe lagune welke met de zee in verbinding staat via een natuurlijke opening in de kust. Het opgewarmde koelwater wordt via een open betonnen kanaal geloosd op het strand rechtstreeks in zee.

De rivier Courtaliyar mondt uit in de lagune en stroomt alleen ten tijde van de natte moeson naar zee via de natuurlijke opening in de kust bij Ennore.

De zuid-oostelijke kust van India wordt gekenmerkt door een relatief groot zandtransport in de orde van 600.000 m³/jaar netto gemiddeld in noordelijke richting. Grote fluctuaties rond dit gemiddelde treden op en piekwaarden worden regelmatig veroorzaakt door cycloon invloeden in de Golf van Bengalen. Als gevolg van dit grote en onregelmatige zandtransport langs de kust en tevens vanwege de sterk wisselende jaarafvoer van de Courtaliyar rivier verzandt de inlaatopening bij Ennore. Daardoor loopt de koelwatertoevoer naar de Ennore Centrale gevaar en daarmee tevens de elektriciteitsproductie voor Madras en omstreken, met name in de zomerperiode ten tijde van de grootste elektriciteitsbehoefte.

Onderhouds baggerwerk in de Ennore-inlaat werd aanvankelijk voorzien middels twee rijdende baggerinstallaties op een steiger, echter dit systeem heeft nimmer voldaan, vooral omdat de baggerpomp op ca. 5 m boven water stond geplaatst.

Thans wordt de opening in de kust onderhouden door een kleine snijkopzuiger, deze heeft echter onvoldoende capaciteit om 's zomers ten tijde van de seizoenspiek in het zandtransport de opening voldoende te onderhouden.



fig. 7.1.
India, locatie centrale te Madras.

Tamil Nadu Electricity Board heeft nu het plan om ten noorden van de Ennore-opening een tweede grotere centrale te bouwen van 2100 MW. De koelwaterbehoefte voor deze centrale belooft 124 m³/sec., terwijl voor de bestaande Ennore centrale 23 m³/sec. benodigd is.

Alvorens tot realisatie overgegaan kon worden moest eerst worden nagegaan of de toekomstige koelwaterbehoefte voor twee

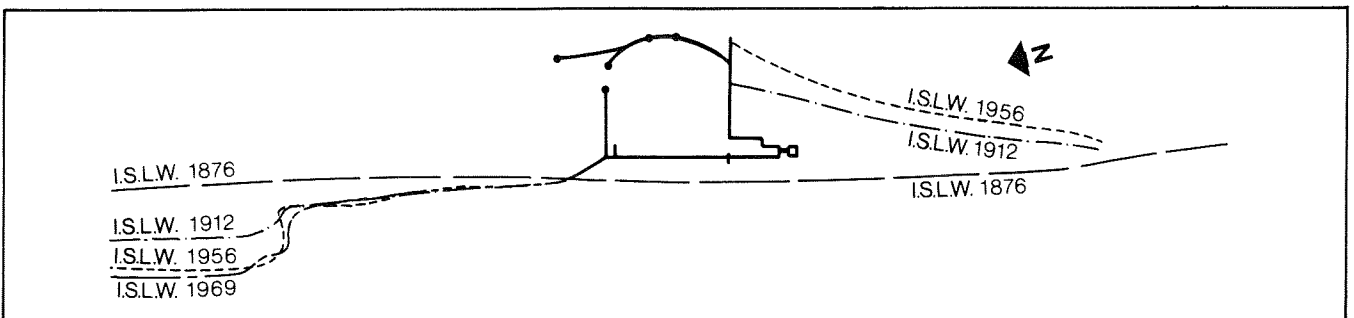


fig. 7.2.
Veranderingen in de kustlijn t.g.v. havenuitbreiding van Madras.

centrales kon worden gedekt door het permanent opbaggeren van de kustopening bij Ennore.

Indien dit niet langer haalbaar of wenselijk zou worden geacht diende een vergelijkende studie van alternatieven voor koelwater-toevoer zoals tunnels of leidingen in zee of op steigers etc. te worden uitgevoerd.

7.2. Probleemstelling

De probleemstelling is gekenmerkt door het scala van de variaties in randvoorwaarden en processen alsmede de onderlinge samenhang en beïnvloeding.

Hierbij valt te noemen:

- het zandtransport langs de kust als functie van wind, getijgolven en cyclonen;
- de rivierafvoer als functie van de regenval en het bergend vermogen bovenstrooms;
- de electriciteitsbehoefte als functie van de tijd en de electriciteitsproductie afhankelijk van het geïnstalleerd vermogen en noodzakelijk onderhoudsschema;
- het baggerproces in de Ennore-opening met optredende storingen en verletten.

Na bestudering van deze aspecten werden een aantal mogelijke oplossingen geformuleerd voor het onderhouden van een opening in de kust t.b.v. een 23 + 124 m³/sec. koelwaterinlaat waarbij gedacht werd aan oplossingen met en zonder golfbrekers en zandvangputten alsmede uitvoering door diverse typen baggermateriaal met hun respectievelijke mogelijkheden en beperkingen bij werken aan zee.

Hierbij werden de volgende alternatieven gegenereerd:

- golfbrekers verbonden met de kust met zandvangputten op 3 mogelijke locaties:

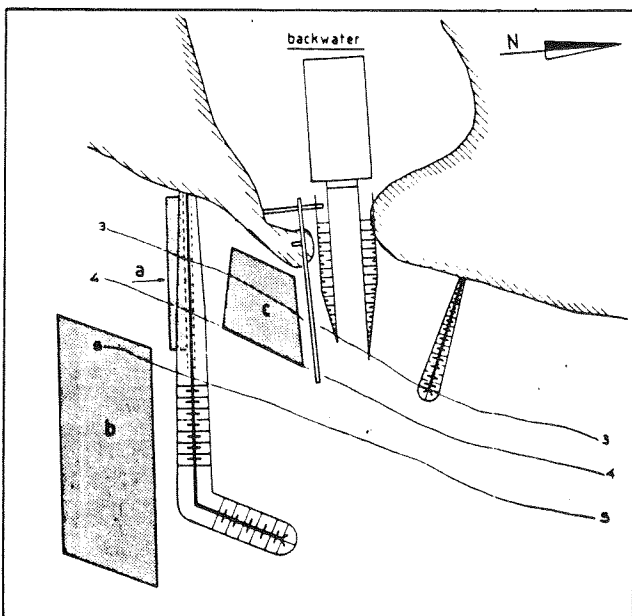


fig. 7.3. Alternatieven voor situering van zandvangputten voor koelwaterinlaat bij Ennore.

- a. nabij de aanzet van de golfbreker en te baggeren met een rijdende installatie op de kruin.
- b. buiten de 5 m dieptelijn te baggeren door een sleepopperzuiger.
- c. binnen de golfbreker met een doorlatende sectie in de „bovenstroomse” golfbreker te baggeren met een snijkopzuiger.

- een „offshore” golfbreker, niet verbonden met de kustlijn en dienend ter bescherming van de snijkopzuiger die in de achterliggende zandvangput werkt.
- oplossing zonder golfbrekers
 - het permanent openbaggeren van de Ennore-opening met één of twee sleepopperzuigers met voldoende buffercapaciteit in de dwarsdoorsnede van het inlaatkanaal om fluctuaties in zandtransport en verletten van het baggermateriaal te kunnen opvangen.
 - het installeren van nieuw rijdend baggermateriaal op de steiger voorzien van onderwaterpompen.

Daarnaast werden tevens een aantal alternatieven voor koelwater-toevoer ontwikkeld ter vergelijking met de eerder genoemde baggeroplossingen.

Hierbij kwamen naar voren:

- geboorde en afgezonken tunnels
- pijpleidingen in of op het zeebed dan wel
- pijpleidingen op steigers uitgevoerd als hevel of als drukleiding met een pomphuis in zee
- uitwaterings- of getijsluizen om hiermede de inlaatopening in de kust op diepte te houden
- vergroting van de lagune oppervlakte dan wel aanleg van een spaarbekken gevoed met warm uitlaatwater in de lagune om de inlaatopening te onderhouden.
- koeltorens gebaseerd op een gesloten koelsysteem met aanvulling van de verdampingsverliezen via grondwatertoevoer.

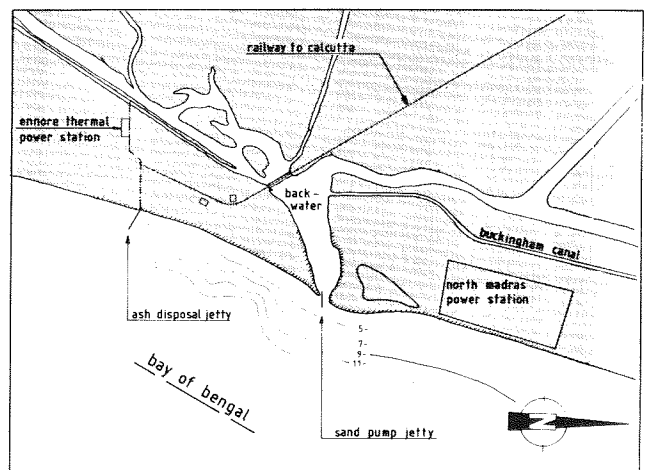


fig. 7.4. Situatie voor twee centrales met in- en uitlaatwerken nabij Ennore.

Een complicatie bij de evaluatie van genoemde alternatieven is, dat deze systemen al dan niet gecombineerd konden worden voor de twee electriciteitscentrales met een onderlinge afstand van ca. 7 km. Tevens diende in de evaluatie aandacht te worden geschonken aan aspecten zoals fasering van de bouw, bouwtijd, management en organisatie, invloeden op evenwicht van de kustlijn en lagune en additionele effecten t.a.v. visserij, zoutwinning en toekomstige havenontwikkelingen van Madras.

Tenslotte diende een economische evaluatie van bouw- en onderhoudskosten te resulteren in een aan te bevelen technisch wenselijke en economisch haalbare oplossing.

7.3. Analyse en evaluatie

Teneinde tot een systematische afweging van alle genoemde mogelijke oplossingen te komen is een evaluatie methodiek ontwikkeld gebaseerd op de volgende stappen:

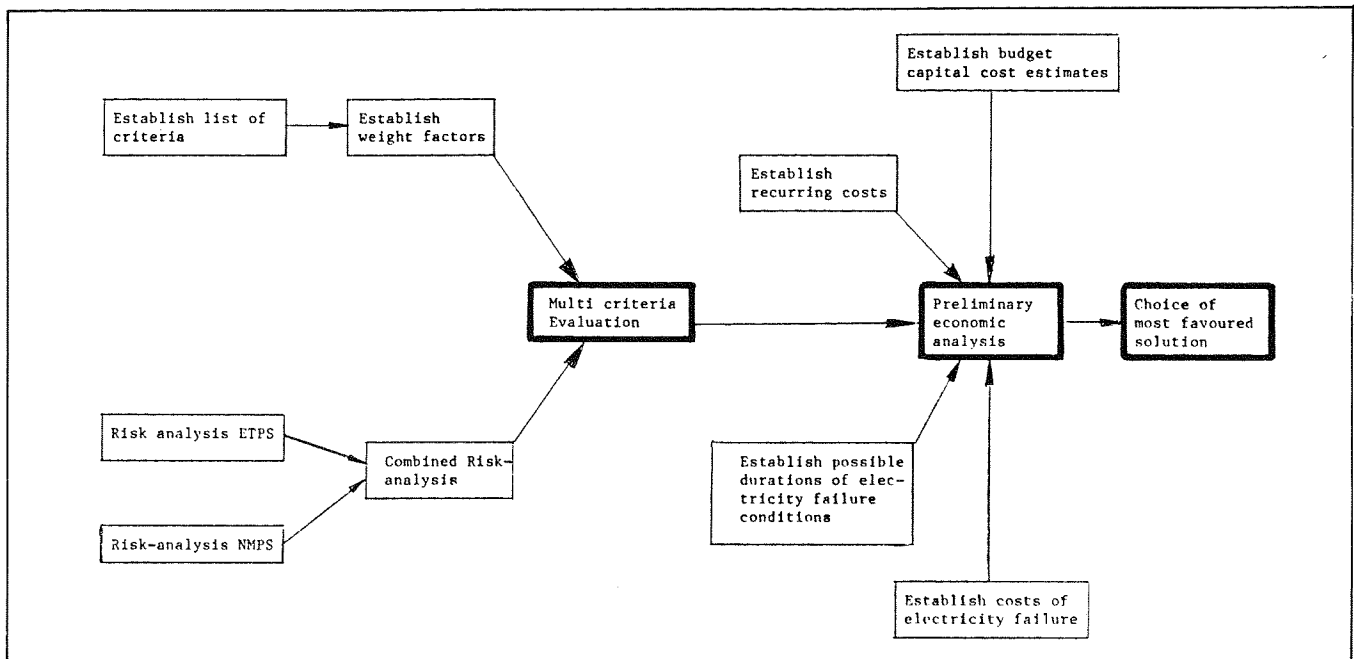
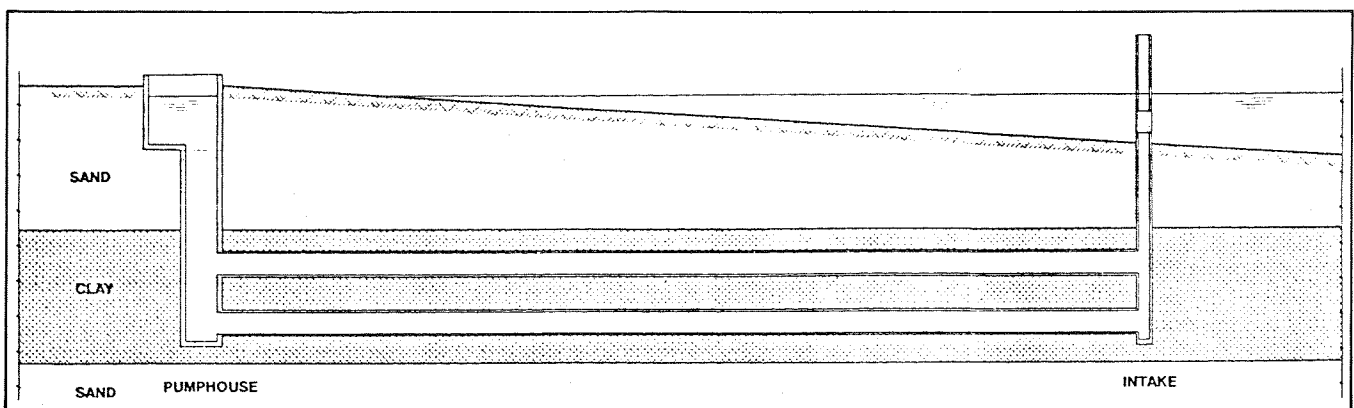


fig. 7.5. Stroomschema voor analyse en het maken van de keuze.

- een multi-criteria evaluatie met wegingsfactoren leidde tot gewogen scoringswaarden per alternatief.
- een risico-analyse uitgewerkt m.b.v. foutenbomen was hierin een der belangrijkste toetsingscriteria.
- de aldus verkregen prioriteitsrangorde der alternatieven werd vervolgens getoetst aan de uitkomst van een economische analyse. Hierin waren vervat:
 - ramingen van kapitaal- en onderhoudskosten
 - ramingen van de economische schade in Tamil Nadu door uitval van elektrische stroom t.g.v. koelwaterproblemen, gebaseerd op de kans op deze gebeurtenis volgend uit de risico-analyse.

Als resultaat van bovengenoemde evaluatie methodiek is naar voren gekomen, dat het onderhouden van de Ennore inlaat opening d.m.v. baggeren weliswaar relatief beperkte kapitaalslasten en aanvaardbare onderhoudskosten met zich mee brengt, maar dat de gekapitaliseerde gevolgschade zeer hoog wordt bevonden als gevolg van de relatief grote kans van stringen in elektriciteitsproductie veroorzaakt door cyclonen en fluctuaties in zandtransport langs de kust en in de Ennore-opening.

fig. 7.6. Langsdoorsnede geboorde tunnel voor inlaten koelwater.



Het blijkt dat de oplossing waarbij voor beide elektriciteitscentrales geboorde tunnels met koelwaterinlaten in zee en pomphuizen op land niet alleen hoog scoort vanuit technisch oogpunt, maar dat ook de totale gekapitaliseerde kosten inclusief gevolgschade lager zijn dan voor enig ander alternatief.

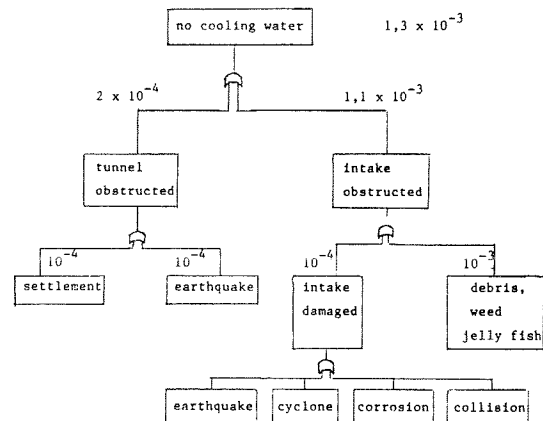


fig. 7.7. Voorbeeld foutenboom voor alternatief met geboorde tunnels voor koelwaterinlaat.

Criteria	Risk of failure of electricity supply due to lack of cooling water supply		Flexibility of construction phasing		Time required for implementation		Management and organization		Impact on coastal regime		Impact on backwater regime		Additional benefits		Total Weighted Score	Rank
	Risk of 0 MWe output from 2 stations with 2550 MW installed															
Weighing factor	6		4		1		2		5		2		1			
Conceptual Lay-out	S	WS	S	WS	S	WS	S	WS	S	WS	S	WS	S	WS		
A Open Inlet for ETPS + NMPS																
A 1 Shore connected breakwater with sandtrap	$2,4 \times 10^{-2}$	2 12	2 8	3 3	2 4	1 5	4 8	4 4	44	15						
A 2 Island breakwater with sandtrap	$2,5 \times 10^{-2}$	2 12	2 8	3 3	2 4	2 10	4 8	3 3	48	14						
A 3a Channel dredging by 1 hopperdredger	$3,2 \times 10^{-2}$	2 12	4 16	5 5	2 4	3 15	3 6	5 5	63	9						
A 3b Channel dredging by 2 hopperdredgers	$2,2 \times 10^{-2}$	2 12	5 20	4 4	1 2	3 15	3 6	5 5	64	8						
A 4 Channel dredging by 2 jetties with 2x2 pumps	$3,2 \times 10^{-2}$	2 12	3 12	4 4	2 4	2 10	3 6	2 2	50	13						
B 1 Open inlet for ETPS dredged by 1 hopperdredger and 2 tunnels for NMPS	$4,2 \times 10^{-5}$	4 24	4 16	2 2	2 4	4 20	3 6	4 4	76	3						
B 2 Open inlet for ETPS dredged by 1 jetty with 2 pumps and 2 jetties + pumphouses in sea for NMPS	$5,0 \times 10^{-5}$	4 24	3 12	3 3	2 4	2 10	3 6	2 2	61	10						
C 1a 2(3) tunnels NMPS and feeding backwater ETPS	$1,3 \times 10^{-3}$	3 18	4 16	2 2	4 8	5 25	2 4	1 1	74	6						
C 1b 2(3) tunnels NMPS and channel (or tunnel) to ETPS independent of backwaters	$1,3 \times 10^{-3}$	3 18	3 12	1 1	5 10	5 25	4 8	1 1	75	4						
C 2a 2(3) jetties NMPS and feeding backwater ETPS	$1,5 \times 10^{-3}$	3 18	3 12	3 3	3 6	5 25	2 4	1 1	69	7						
C 2b 2(3) jetties NMPS and channel (or tunnel) to ETPS independent of backwater	$1,5 \times 10^{-3}$	3 18	3 12	2 2	4 8	5 25	4 8	1 1	74	5						
D 1 2 tunnels NMPS 1 tunnel ETPS	$1,7 \times 10^{-6}$	5 30	4 16	1 1	5 10	5 25	4 8	1 1	91	1						
D 2 2 jetties NMPS 1 jetty ETPS	$2,3 \times 10^{-6}$	5 30	3 12	2 2	4 8	5 25	4 8	1 1	86	2						
E 1 2 tunnels NMPS + storage basin for flushing the inlet	$1,3 \times 10^{-3}$	3 18	2 8	2 2	3 6	4 20	2 4	2 2	60	11						
E 2 2 jetties NMPS + storage basin for flushing the inlet	$1,5 \times 10^{-3}$	3 18	2 8	3 3	2 4	4 20	2 4	2 2	59	12						

S = Score

1 = least advantageous

...

5 = most advantageous

W = weighing factor

1 = least important

...

6 = most important

fig. 7.8. Evaluatie-tabel voor alternatieven voor koelwaterinlaat nabij Ennore.