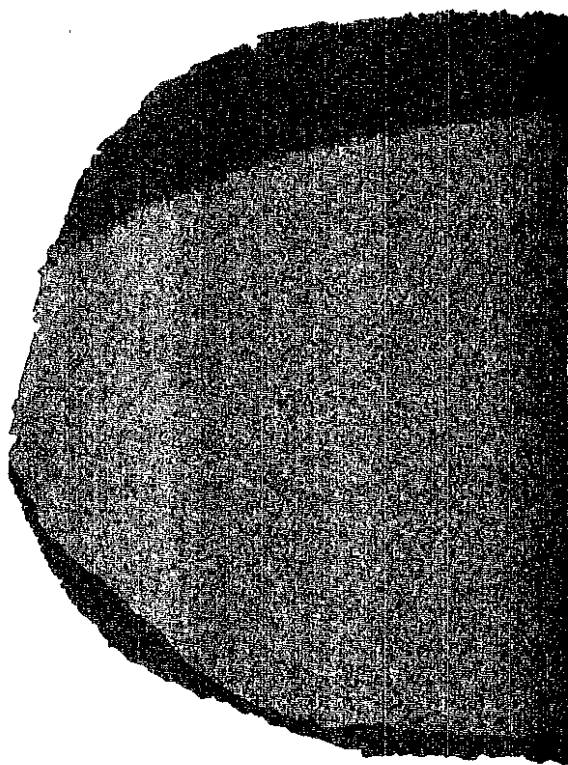
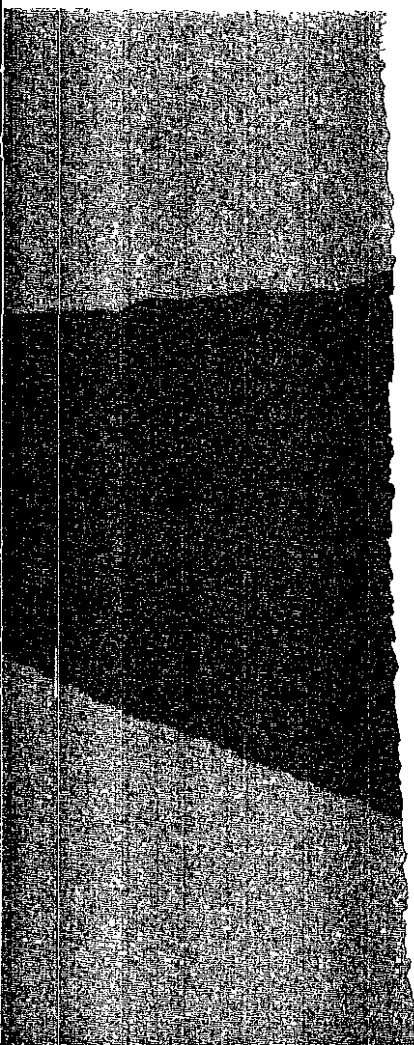


Driemaandelijks Bericht
nummer 109, augustus 1984

deltawerken



Deltawerken

Redactie:

Deltadienst
Van Alkemadeaan 400
2597 AT 's-Gravenhage

Abonnementen en verkoop losse nummers:

Staatsuitgeverij
Chr. Plantijnstraat 1
2515 TZ 's-Gravenhage
Telefoon: 070-78 99 11

De prijs bedraagt f 27,- per jaar
of f 7,- per nummer

Inhoud

Themanummer Schuiven en Bewegingswerken

Schuiven	461
Bewegingswerken	469
Hydraulische systemen	480
De schuifbesturing	484
Bliksembeveiliging	491
Risico-analyse	495
Hijframes voor de elementen	498
Inspectie en onderhoud	506
Samenvattingen/Summaries	514



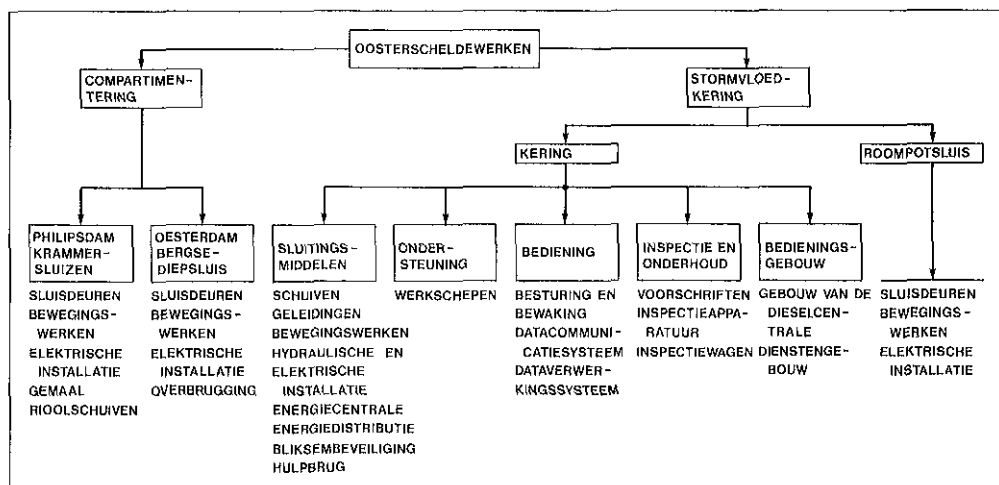
Schuiven

De schuiven voor de Oosterscheldekering kunnen worden verdeeld in drie hoofdonderdelen: de waterkerende beplating, het hoofd-draagsysteem en de eindkokers.

De waterkerende beplating bestaat uit schaal-vormig gebogen platen. Deze vorm is gekozen omdat er dan geen verstijvingen in het plaatveld nodig zijn om de waterdruk op te nemen. De belasting wordt namelijk opgenomen door trekspanningen in de plaat zelf. Het hoofddraagsysteem is opgebouwd uit buisprofielen. Een open vakwerkligger werd verkozen boven een gesloten plaatligger, omdat de belasting van golfkappen tijdens het sluiten van de schuiven op die manier betrekkelijk klein kan worden gehouden. Dit is ook de reden dat er buisprofielen zijn verwerkt: de golfklapdruk op een buis is lager dan op welk ander profiel ook. De waterdruk op de waterkerende beplating wordt via het hoofddraagsysteem overgebracht op de eindkokers. Als voortzetting van de vakwerkliggers vindt men hier een aantal frames, die onderling zijn gekoppeld door verticale plaatvelden, zodat er een kokervormige constructie is ontstaan. Door deze koker wordt de belasting van de schuif overgedragen op de pijler. In de eindkoker is ook het bewegingswerk met de schuifconstructie verbonden.

Terwijl aan de ene kant wordt getracht het schuifontwerp op alle mogelijke manieren te optimaliseren, is anderzijds gezocht naar standaardisering van de onderdelen waaruit de schuif wordt opgebouwd. Het sluitgatprofiel (figuur 2) laat zien dat er schuiven moeten worden gebouwd van zeer verschillende hoogte: de maten variëren, met tussenstappen van 1 m, van 5,9 m aan de randen van de sluitgaten tot 11,9 m in het diepste deel van de Roompot. Dat zijn dus zeven verschillende schuifhoogten. Daarnaast moest rekening worden gehouden met het feit dat de belasting op de schuiven in de Roompot hoger is dan in de Schaar en de Hammen. Al met al ontstonden er twaalf verschillende schuiftypen, met gewichten tussen 300 en 500 ton. Standaardisering van onderdelen werd voornamelijk bereikt door tussen de vakwerkliggers alleen afstanden van 2,7 of 3,6 of 4,5 m te kiezen. Bij iedere schuif werd de belasting berekend die zou werken op de afzonderlijke vakwerkliggers. Ze konden worden herleid tot acht belasting-

Plaatsing van de laatste pijler in de Roompot, op 19 september 1984. Het installeren van schuiven en bewegingswerken had toen in het sluitgat Hammen al een aanvang genomen. Zoals bekend moet de exacte afstand tussen twee pijlers bekend zijn vóór men de schuif precies op maat kan afmaken.



klassen. Voor elke belastingklasse is één type ligger ontworpen, dat dus in serie kan worden geproduceerd. Bij de assemblage worden de schuiven samengesteld uit een bepaalde combinatie van liggers. Evenzo werd gehandeld ten aanzien van de frames in de eindkokers en waar mogelijk ook bij alle andere constructie-onderdelen. De modulaire opbouw maakte het ook mogelijk dat de fabricage van de schuiven werd gesplitst in een aantal deelbestekken. De hoofdaannemer heeft zich verplicht 30% van het constructiewerk voor de schuiven uit te besteden aan derden. De aanmaak van onderdelen voor de eindkokers is het meest gespreid: hiervoor werden zes deelcontracten afgesloten. Eén deelcontract werd opgesteld voor de assemblage van de eindkokers, één voor de fabricage van het hoofddraagsysteem met waterkerende beplating en één voor de uiteindelijke samenbouw van hoofddraagsysteem en eindkokers. Voordat de productie kon aanvangen moesten voor alle belangrijke lassen lasprocedures worden opgesteld, waarin werd geregeld op welke wijze zou worden gelast, met de hand of machinaal, welk type elektrode men zou hanteren en welke lasspanning, de laslengte per elektrode, en zo meer. Pas nadat proefstukken die volgens deze procedure waren gemaakt, waren goedgekeurd, werd het startsein voor de productie gegeven. Tijdens de productie werden de lasprocedures bovendien voortdurend gecontroleerd. Achteraf werden alle lassen ultrasoon geïnspecteerd op lasfouten en scheurvorming.

We hebben gezien dat het hele hoofddraagsysteem op één plaats wordt aangemaakt. De productie daar begint met de fabricage van vakwerkliggers uit buisprofielen. Daarna worden, afhankelijk van de schuifhoogte, twee

of drie liggers samengesteld tot een ruimtelijk vakwerk. Daarop wordt tenslotte de waterkerende beplating aangebracht, waarna het geheel wordt voorzien van een conservering.

In tegenstelling hiermee moet de eindkoker worden geassembleerd uit van verschillende kanten aangevoerde onderdelen. De waterkerende beplating van de eindkoker wordt op een stelvloer uitgelegd; de eindhar, die de belasting op de pijler moet overdragen, wordt daarop afgesteld en eraan vastgelast. Daarna volgen de frames en de verticale beplating tussen de frames. Tenslotte worden de liggers gemonteerd waarop de bewegingswerken later worden aangesloten.

Zijn de eindkokers geheel gereed, dan worden ze voorzien van het voorgeschreven conserveringssysteem, en opgeslagen tot hun transport naar de aannemer die ze assembleert met het hoofddraagsysteem. Pas tijdens deze assemblage wordt de schuif op de juiste lengte gemaakt. Is de schuif gereed, dan wordt ter plaatse van de assemblagelassen de conservering aangebracht en worden beschadigingen in de eerder aangebrachte conservering hersteld. De conservering bestaat uit een systeem van drie lagen epoxy-koolteer met een gezamenlijke dikte van 470 micron.

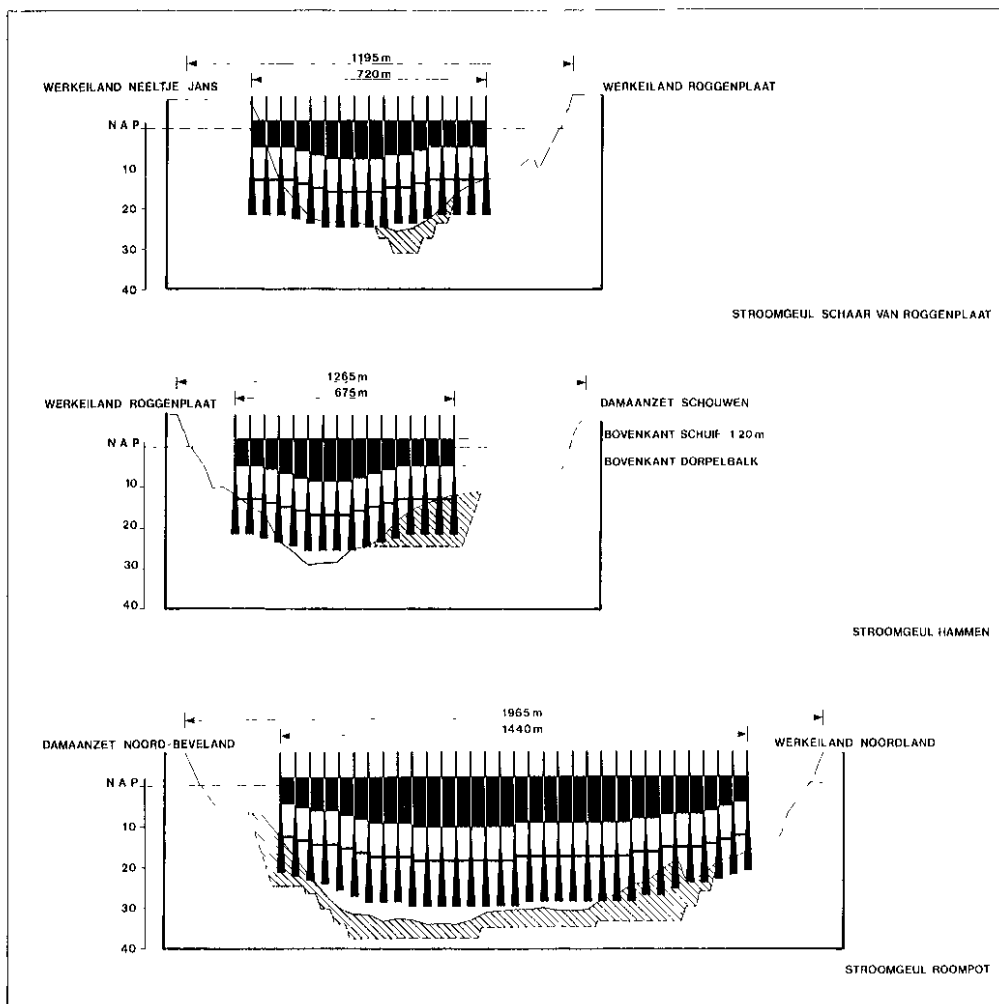
Toleranties

Bij de schuiven voor de Oosterscheldekering hebben we te maken met toleranties van verschillende herkomst: enerzijds vloeien ze voort uit de bouwwijze van de stormvloedkering, anderzijds hebben ze te maken met de sterkte-technische berekening van de schuiven. De Oosterscheldekering wordt opgebouwd uit geprefabriceerde elementen; dit houdt onder

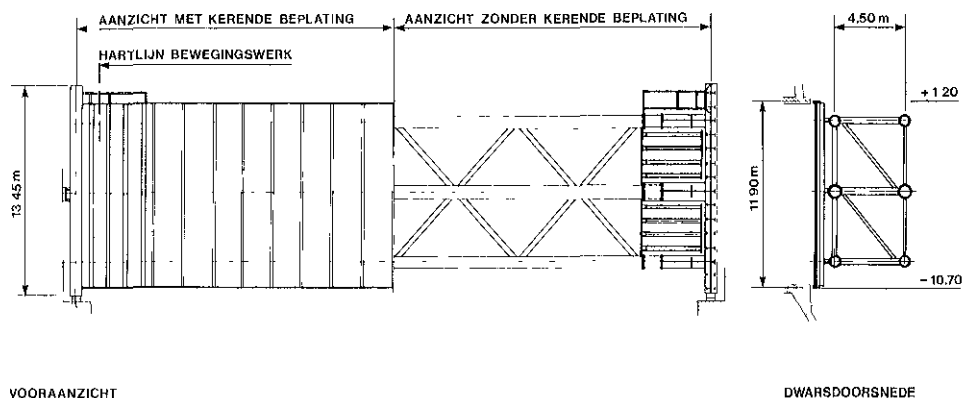
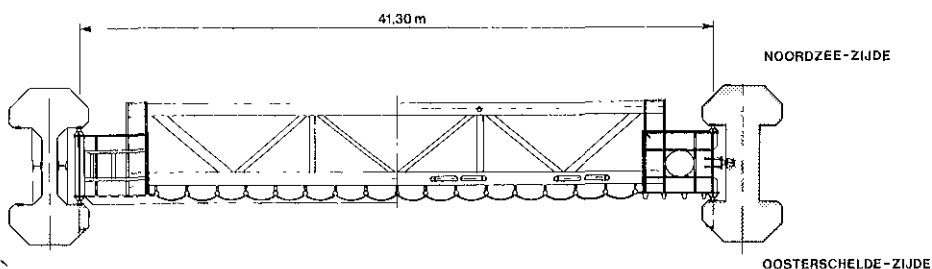
Fig. 1. Overzicht en organisatie van de door de directie Bruggen te leveren diensten aan de Oosterscheldewerken

Fig. 2. Doorsnede van de drie sluitgaten in de Oosterscheldedamond

meer in dat de pijlers in een bouwdoek worden gemaakt en daarna door het water versleept naar hun definitieve plaats van bestemming. Daar is de bodem vlak gemaakt met behulp van funderingsmatten. De onvlakheid van de matten bepaalt de scheefstand van de pijlers. Figuur 5 geeft zo'n scheefstand sterk overdreven weer. Aan het plaatje is te zien dat de schuif in gesloten stand een grotere lengte moet hebben dan wanneer hij geheven is. Dit probleem wordt ondervangen door de schuifgeleidingen op de pijler voldoende breed te maken (figuur 6). Maar behalve rotatie in de ene richting kan er tengevolge van de onvlakheid van de matten ook een rotatie voorkomen in een richting dwars daarop. Deze rotatie veroorzaakt dat de schuif lichtelijk wordt verwrongen in de lengterichting en het is duidelijk dat die torsie geen grote vormen mag aannemen, gezien de



BOVENAANZICHT



VOORAANZICHT

DWARSDOORSNEDEN

3

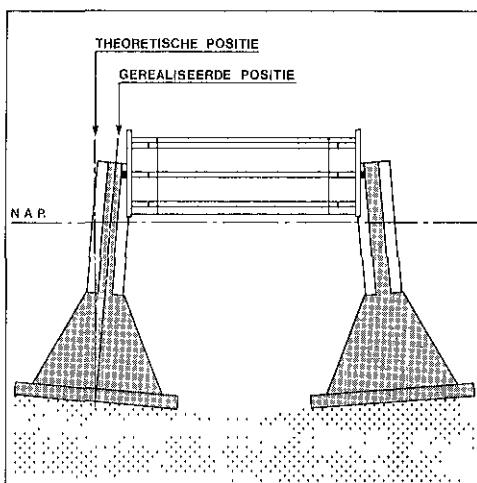
Fig. 3. Aanzichten en doorsnede van de schuif

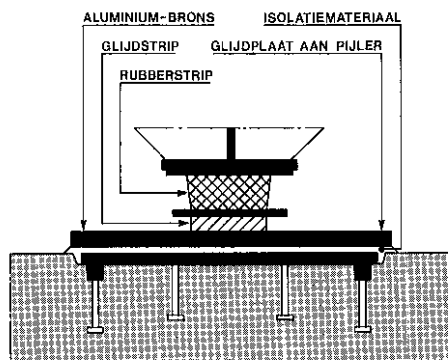
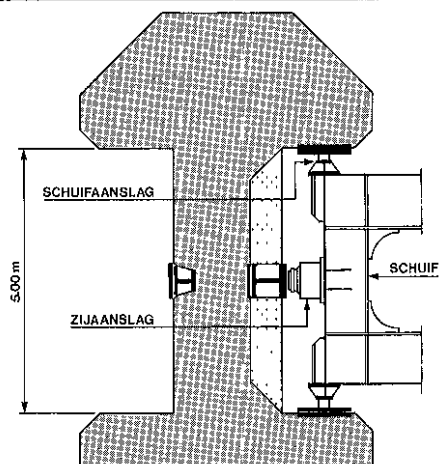
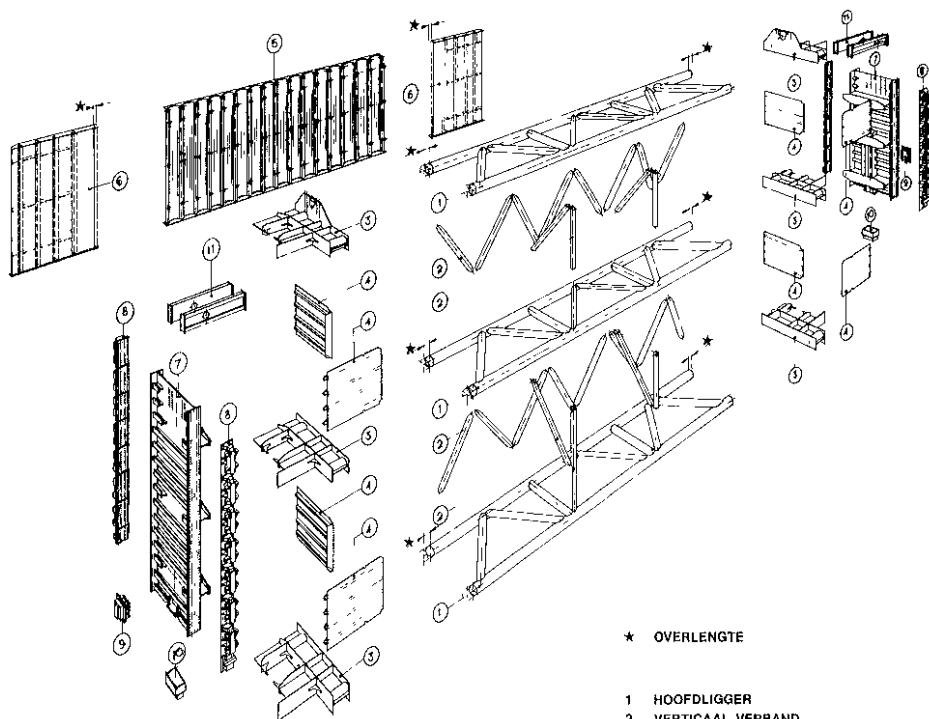
Fig. 4. De onderdelen van de schuif

Fig. 5. Overdreven voorstelling van scheefstand van twee pijlers

Fig. 6. Doorsnede van de schuifaanslag, met detail (uiterst rechts)

5







Plaatsing van de eerste schijf

Fig. 7. Opbouw van een las

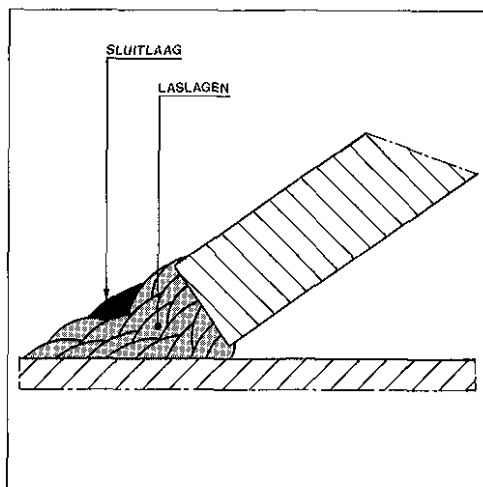
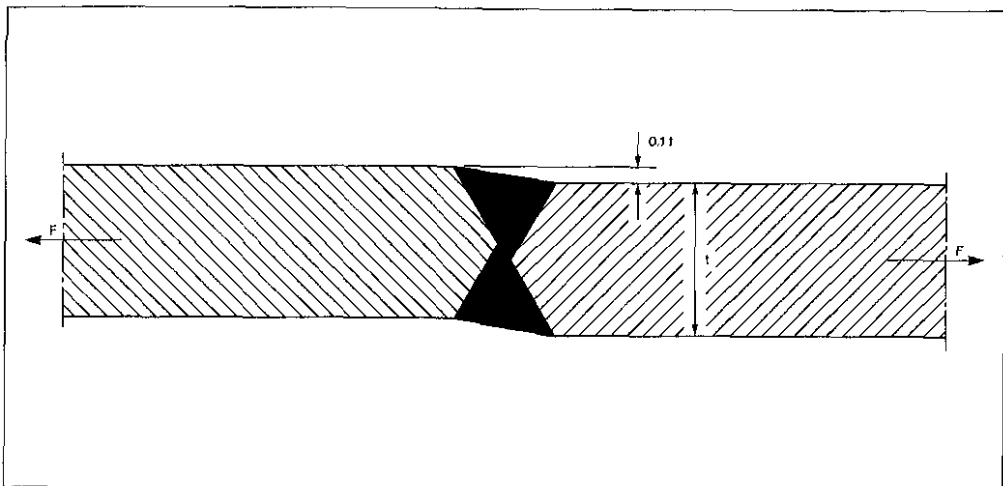


Fig. 8. Verzwakking van een constructie door excentriciteit van een verbinding



materiaalspanningen die er het gevolg van zijn. Geen enkele pijler komt bovendien exact neer op zijn theoretische plaats. De schuiflengte dient zich aan de ontstane afwijkingen aan te passen. Men meet daartoe de afstand tussen twee geplaatste pijlers op N.A.P. Zowel de plaatsingsfout als de scheefstand loodrecht op de as van de kering zijn dus van invloed op de benodigde schuiflengte. De schuif kan 55 cm korter of langer moeten zijn dan zijn theoretische lengte van 41,3 m. Omdat vanwege de benodigde fabricagetijd al met de aanmaak van hoofdtraagssystemen moest worden begonnen voor men over de werkelijke pijlerafstanden beschikte, is aan elke schuif een overlengte gegeven van 55 cm.

Overigens is het ontwerp erop gericht dat niet alleen een grotere maar ook een kleinere dan de theoretische schuiflengte kan worden

afgeleverd. In principe kan men elke lengte maken tussen 40,75 en 41,85 m. Pas bij de definitieve assemblage wordt ook de eindhar op de juiste breedte gemaakt voor de sponning die hij vullen moet. Bij de samenbouw van de eindkokers heeft al een globale afstelling van de funderingsstoelen plaatsgevonden met behulp van een stalen vulling tussen de funderingsstoel en de eindhar. De nauwkeurige afstelling vindt nu plaats door de glijvlakken van kunststof precies op dikte te maken. Zowel aan de algehele breedte van de eindhar als aan de onderlinge afwijkingen tussen de schuifaanslagen worden hoge eisen van nauwkeurigheid gesteld.

Een van de ontwerpseisen luidt dat de schuif niet onder invloed van de golfbelasting mag gaan klapperen in de sponning. Dat zou namelijk ontoelaatbaar hoge stootbelastingen

opleveren op de pijler. Zulk klapperen kan worden voorkomen door de schuif met rubber profielen in de schuifspinning voor te spannen. De voorspanning mag ook weer niet te hoog zijn, omdat dat hogere belastingen impliceert voor de bewegingswerken. Bij een te lage voorspanning echter zal de schuif na verloop van een aantal jaren toch gaan klapperen, omdat de algehele breedte van de eindhar door de slijtage van de kunststoffen glijvlakken geleidelijk afneemt. Daarom is de eis gesteld dat de breedte van de eindhar moet liggen tussen -1 en +1 mm van de gemeten breedte van de sponning. Ten aanzien van de evenwijdigheid van de schuifaanslagen geldt dat de afwijking over de hoogte niet meer mag bedragen dan 2 mm. De laatste schakel bij de overdracht van de belastingen van de schuif naar de pijler vormen de funderingsstoelen op de eindhar. Om hier een gelijkmatige verdeling van de belasting te verkrijgen dienen de glijvlakken van kunststof in één lijn te liggen.

Dit is alleen te bereiken door na de montage de glijvlakken van alle funderingsstoelen in één keer te bewerken. Gezien de constructie van de funderingsstoelen en de grootte van de eindkokers is dit nauwelijks uitvoerbaar. Daarom is al bij het ontwerp van de funderingsstoelen rekening gehouden met afwijkingen ten opzichte van de rechte lijn. Omdat de schuifaanslagen aan de Noordzezijde minder zwaar belast worden, kan daar een tolerantie worden aangehouden van 3 mm hoogteverschil tussen twee schuifaanslagen; maar aan de Oosterscheldekant mag het hoogteverschil niet meer bedragen dan 1 mm.

Bij de toleranties die te maken hebben met de sterkte van de schuif valt te bedenken dat de schuiven worden samengebouwd uit een groot aantal kleinere onderdelen, waarvan er vele op verschillende bouwplaatsen door verschillende bedrijven worden vervaardigd.

Aan de onderlinge passing moet dus bijzondere aandacht worden geschonken. Afwijkingen in de maatvoering bij de ene onderaannemer kunnen grote gevolgen hebben voor de assemblage. Immers, al bij kleine maatafwijkingen treden aanzienlijke verhogingen op van de interne spanningen. Een voorbeeld moge dat duidelijk maken.

Figuur 9 stelt een lasverbinding voor tussen twee platen die niet helemaal in elkaars verlengde liggen. Stel dat de excentriciteit 10% van de plaatdikte bedraagt, dan betekent dat toch al een verhoging van de inwendige spanning met 60%. Met name daar waar als gevolg van wisselende belasting vermoeidheid kan optreden in het materiaal zal zo'n spanningsverhoging de levensduur van de constructie

sterk bekorten. Voor de schuiven, waar men platen toepast van 20 tot 50 mm dik, is om deze reden de tolerantiegrens bij de aansluiting tussen de verschillende onderdelen gesteld op maximaal 3 mm.

Een ander probleem bij de maatvoering vormt de krimp, die optreedt wanneer delen van de constructie die tot 185 à 200 graden C verhit zijn geweest tijdens het lassen, weer afkoelen. Dit veroorzaakt namelijk blijvende vervorming en hoewel de lasvolgorde en de temperatuur van de voorverwarming steeds dezelfde zijn, is de resulterende vervorming nooit in twee eindkokers precies gelijk. De juiste maatvoering van de eindkokers kan daarom pas na het volledige aflassen worden bepaald. De liggers, waarop het bewegingswerk moet worden aangesloten, zijn ook om redenen van maatvoering met bouten aan de eindkokers verbonden. In één ligger is ook al het gatenpatroon voor de bevestiging van het bewegingswerk aangebracht. Met behulp van een dummy van de bevestigingsconstructie van het bewegingswerk wordt voorkomen dat er later moeilijkheden ontstaan ten aanzien van de maatvoering, wanneer het bewegingswerk op de schuif moet worden aangesloten.

Montage

De montage van de schuiven in de Oosterscheldekering zal plaatsvinden met behulp van de drijvende bok 'Taklift IV'. Het probleem bij elke plaatsing is hoe een slingerende last nauwkeurig te positioneren. Bij de werken in de Oosterscheldekering geldt dat in versterkte mate, omdat de last niet alleen ten gevolge van de wind in slingering geraakt, maar nog veel erger door de golfbelasting op de bok. Om deze reden is gekozen voor plaatsing van de schuiven in een korte periode rond de laagwaterkentering en aan de Oosterscheldekant van de kering. De golfhoogten zijn tijdens de laagwaterkentering geringer dan bij de hoogwaterkentering. De perioden buiten de kenteringen komen helemaal niet in aanmerking vanwege de stroomsnelheden in de doorstroombopeningen.

We hebben al gezien dat de schuif in de sponning in het geheel geen speling heeft. Om hem er toch te krijgen worden op de pijlers zoekers geplaatst, die de slingering uit de schuif halen en hem in de sponning leiden. Pas enige tijd nadat een schuif is geplaatst, kunnen de bewegingswerken geïnstalleerd worden. Daarom zijn de schuiven voorzien van tijdelijke ophanghaken waarmee ze kunnen worden afgesteund op de pijlers. Zijn de bewegingswerken eenmaal geplaatst en met de schuif verbonden, dan worden ze weggehaald.

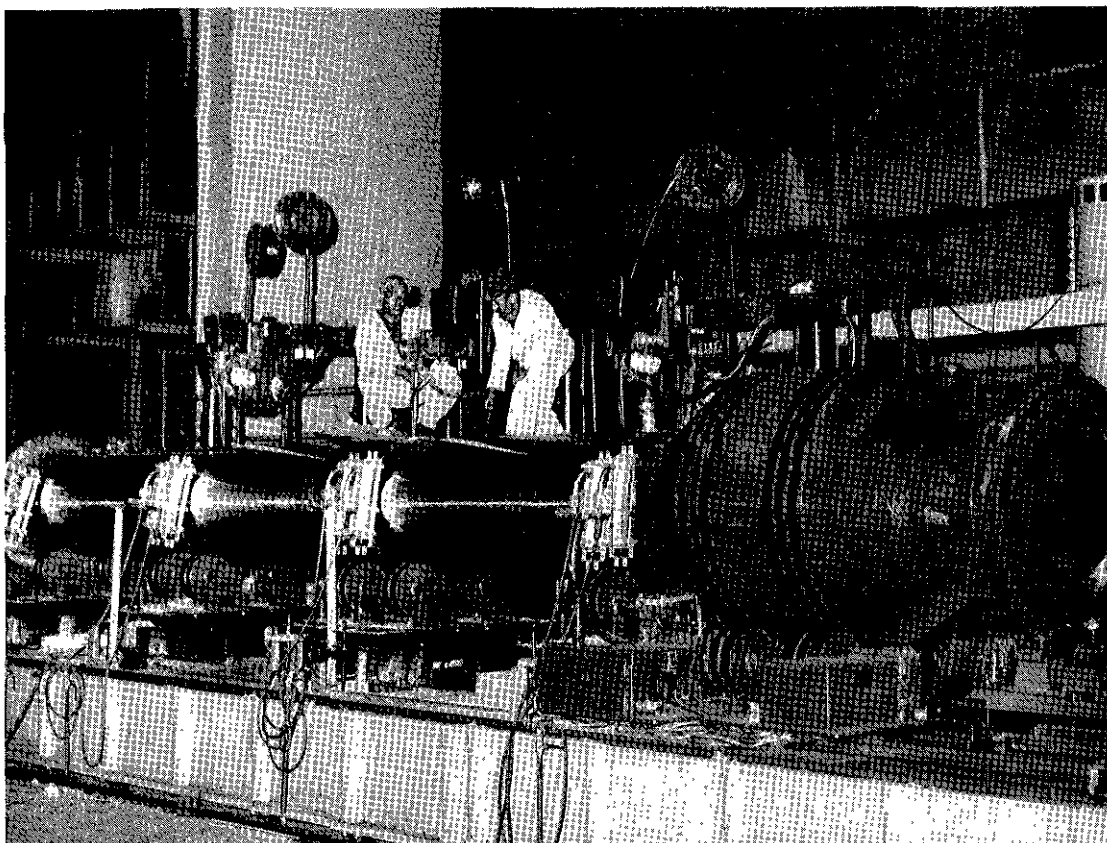
Over het ontwerp van deze machinewerken is in het Driemaandelijks Bericht eerder gepubliceerd (nummer 100 en 101, mei en augustus 1982). De hoofdlijn van het ontwerp stond, toen dat artikel geschreven werd, al vast. De resultaten van uitgevoerde beproevingen hebben later op onderdelen nog wijzigingen noodzakelijk gemaakt, maar over het geheel kan men bij de genoemde artikelen nog goed terecht voor een algemene indruk van het ontwerp.

Bewegingswerken

In dit artikel zal dan ook vooral aandacht worden besteed aan de fabricage van de bewegingswerken en aan de bedrijfsbeproevingen; daarnaast komen aspecten aan de orde van de assemblage en de montage. Karakteristiek voor de bij de Oosterscheldekring toegepaste cilinder is de combinatie van grote lengte en grote diameter. Ontwerp en fabricage hebben dan ook veel aandacht gevestigd, want het aantal fabricage-faciliteiten voor cilinders van deze omvang is gering. Er worden, al naar de hoogte van de te bewegen schuiven, zeven typen en grootten van cilinders gemaakt.

Aan de cilindermantel kan men een aantal onderdelen onderscheiden, die door rondnaadlassen aan elkaar zijn verbonden. Het zijn, van boven naar beneden (figuur 1) een smeedstalen

Opstelling voor het lassen van de rondnaden van een cilindermantel. Van links naar rechts: de bovenflens, drie rompringen en de cardanring.



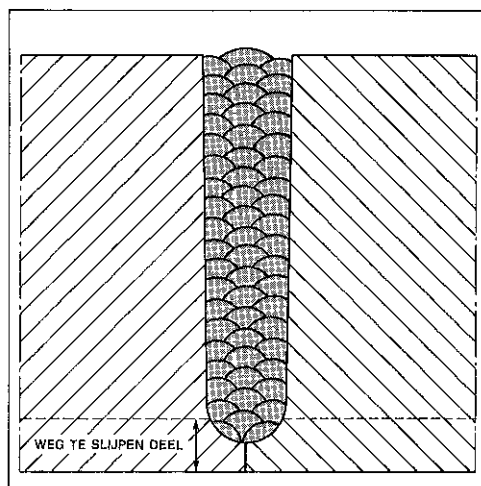
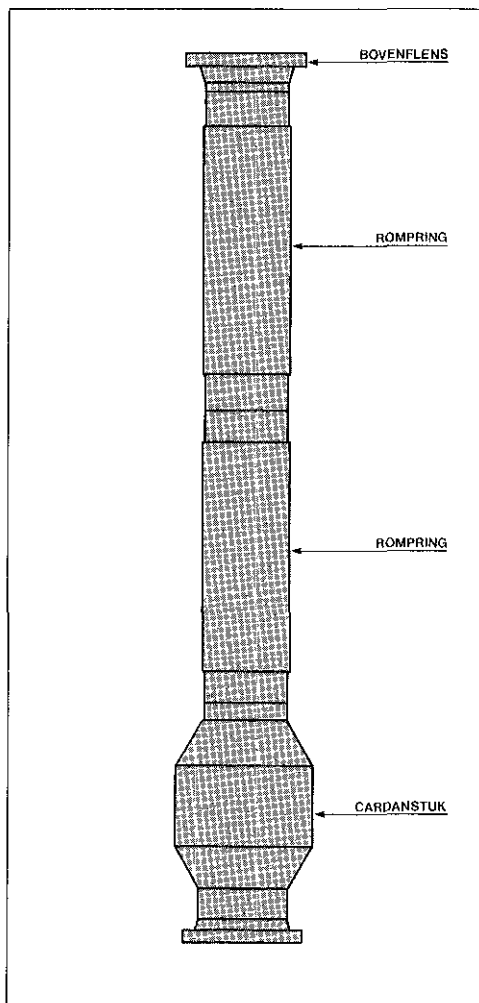
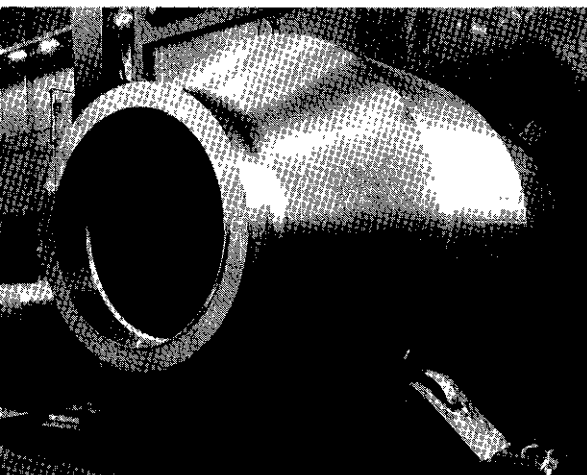


Fig. 2 Lasdetail van een rondnaad

Fig. 1. Algemene gedaante van de cilinder

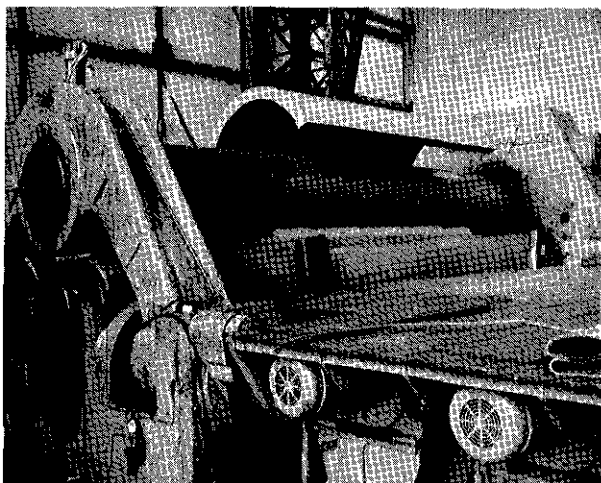
Mechanische bewerking van de cardanring



bovenflens, een of meer cilindrische rompringen en een verdikt smeedstalen cardanstuk, dat één geheel vormt met de onderflens. De bovenflens en het cardanstuk worden voorbereid geleverd. De rompringen worden in Nederland vervaardigd, waar mogelijk door het rondwalsen van dikke staalplaten. Bij het walsen geldt een dubbele eis: zowel de diameter als de resterende wanddikte van de romping moeten voldoende zijn om er bij latere bewerking een cilinder uit te kunnen samenstellen van de voorgeschreven afmetingen. Voor het bereiken van een uiteindelijke wanddikte van 75 mm voor de grootste cilinders gaat men daarom uit van een plaat van 100 mm dik. De op deze wijze vervaardigde rompringen kunnen een lengte hebben van ongeveer 4 m. Het bleek niet mogelijk de rompringen voor de twee kleinste typen

cilinders door walsen te vervaardigen. Bij deze cilinders is daarom uitgegaan van dikwandige getrokken pijp. Door het aanlassen van bovenflens en cardanstuk wordt dan meteen een cilinder verkregen. Van de gewalste cilinderrompen wordt de langснаad gelast met het zogenaamde elektroslakproces. De rompen worden verticaal opgesteld, en de lasnaad wordt aan de binnen- en de buitenkant afgedicht met gekoelde profielen, die gedurende het lasproces het neergesmolten materiaal in de lasnaad houden. Bij dit bekiste lassen wordt het smeltbad met verscheidene elektroden in stand gehouden, waardoor het proces, niettegenstaande de grote lasinhoud, erg snel verloopt. Na een warmtebehandeling ter verbetering van de structuur van het materiaal en een controle op de laskwaliteit en de maatvoering worden de rompringen voorbewerkt: ze worden aan de uiteinden voorzien van de juiste laskanten voor het rondnaadlassen waarmee ze met elkaar en met de bovenflens en het cardanstuk worden verbonden. De rondnaadlas wordt vervolgens aangebracht op een wijze die beoogt een zo laag mogelijk warmteniveau in te brengen en daardoor het vervormingsrisico betrekkelijk klein te houden.

Het is op beperkte schaal toegestaan reparaties uit te voeren aan geproduceerde cilinders. Zulke plaatsen moeten dan natuurlijk opnieuw worden gecontroleerd. Alle langs- en rondnaden en ook de reparatielassen worden over de gehele lengte zowel ultrasoon als magnetisch onderzocht. Daarnaast wordt elke langs- en rondnaad over minstens 10% van de lengte ook nog radiografisch onderzocht. Met name wordt gelet op de plaatsen waar rond- en langsnaden elkaar kruisen. Als de cilindermantel is samengesteld wordt hij verder bewerkt. De voornaamste bewerking bestaat in het inwendig uitboren, met gebruik van een speciaal hiertoe opgestelde langgatboommachine. Ook de grootste cilindermantels, met een lengte van 14,2 m, kunnen hierop worden behandeld. Waar het eigenlijk om draait is dat het gat recht in de cilinder moet komen te zitten. Bij scheefboren zou de minimaal vereiste wanddikte ergens onderschreden kunnen worden en dat zou onherroepelijk leiden tot afkeuring van de cilinder. De bewerking wordt begonnen met het aanbrengen van brillanden. De overmaat aan wanddikte moet daarbij zo gunstig mogelijk worden verdeeld ten opzichte van de hartlijn. De wanddikte kan ultrasoon worden gemeten. De inwendige boring geschiedt in stappen, waarbij men werkt van grof naar fijn. De stijfheid van de booropstelling en de fijnheid van de gebruikte meettechniek beslissen over het succes van de onderneming. Pas als die



Een 100 mm dikke staalplaat wordt tot een rompring gewalst

perfect zijn kan de geometrische nauwkeurigheid qua rechtheid en rondheid van de boring worden gerealiseerd.

Bij de eerste boring wordt tot maximaal 25 mm in een keer weggenomen. Met een ander type kop wordt daarna het inwendige oppervlak geschild met een snedediepte van 1 mm. Tenslotte wordt de binnenwand van de cilinders gehoord om de vereiste gladheid van oppervlak te verkrijgen. Men werkt aan op een ruwheid van 0,4 micron; dat is de gebruikelijke ruwheid bij cilinders, voldoende glad om de slijtage van hogedruk-afdichtingen te beperken en voldoende ruw om nog wat olie vast te houden voor de smering. Om een indruk te geven van de rechtheid van de boring volstaat het te zeggen dat geen grotere afwijking is geconstateerd dan 0,03 mm per halve meter en 0,6 mm over de hele lengte.

Al is een dergelijke nauwkeurigheid bij hydraulische cilinders niet ongewoon, gezien de grootte van de cilinders voor de bewegingswerken, kan hier toch wel worden gesproken van een voortreffelijke prestatie. Het binnenoppervlak kan hierna worden gebruikt als referentie voor de bewerking van het buitenoppervlak van de cilindermantel. Dit wordt op een draaibank met een grove snede bewerkt, en wel om te voldoen aan de uit vermoeiingsoogpunt gestelde eis dat nergens sprongvormige dikte-veranderingen mogen voorkomen op de

cilindermantel. Bij deze bewerking worden meteen de flenzen op maat gedraaid. Vervolgens worden de platte kanten en de boringen voor de lagers in het cardanstuk gekotterd, alsmede ontluuchtingsgaten en boutgaten. Na afloop van al deze bewerkingen wordt de cilinder door een speciaal voor dit doel ontwikkelde meetwagen doorgemeten; de resultaten van de metingen worden in een protocol vastgelegd.

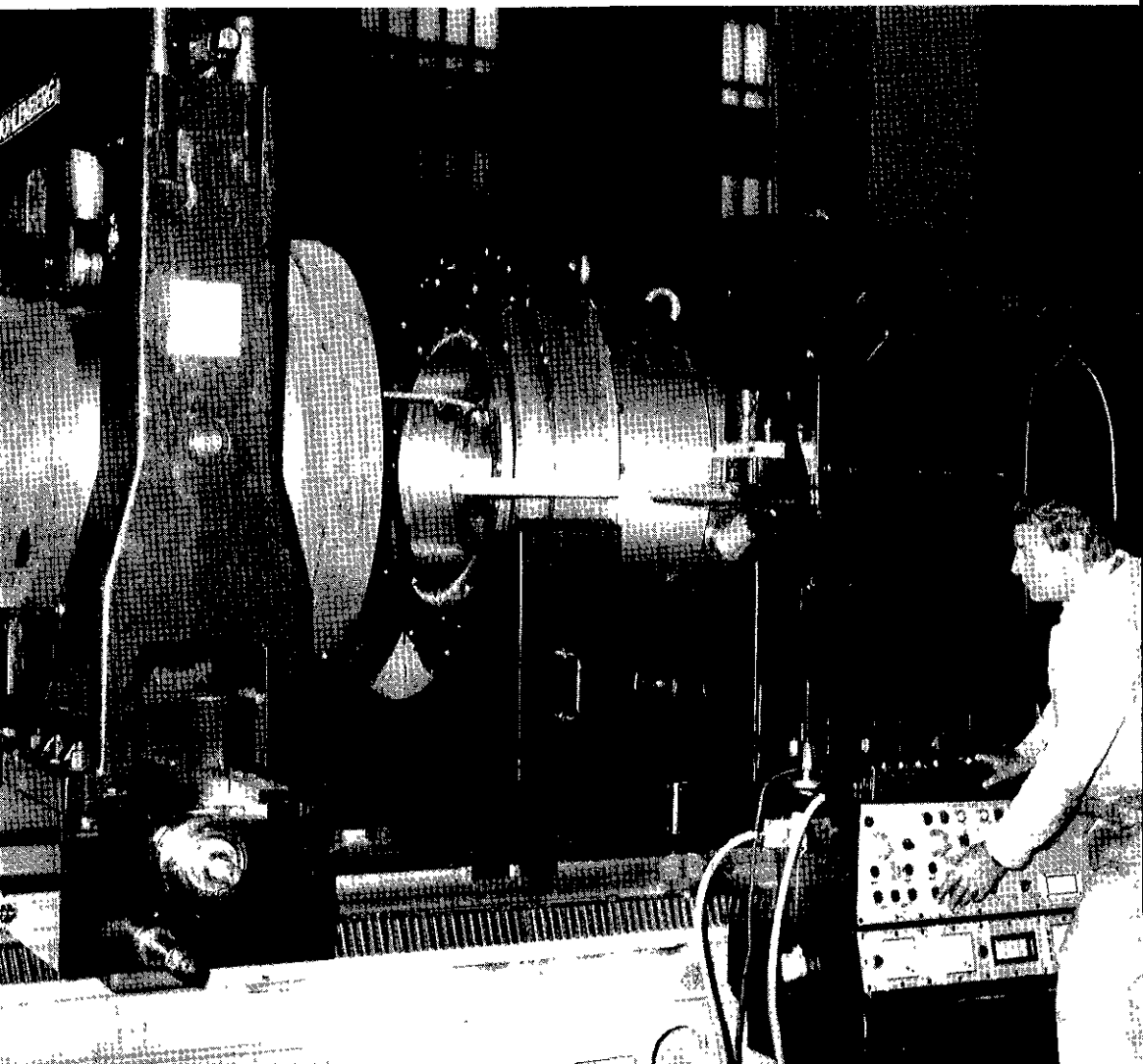
Van de overige onderdelen, die hierna nog moeten worden geassembleerd om een volledige cilinder te verkrijgen, komen cilinderdeksels, lantaarnstukken en onderogen voorbewerkt uit het buitenland. De conserveringskamers, lagerafdichtingen, deksels en bussen worden in Nederland gegoten. De samenbouw van deze onderdelen met de cilindermantel vindt plaats deels te Rotterdam, deels in

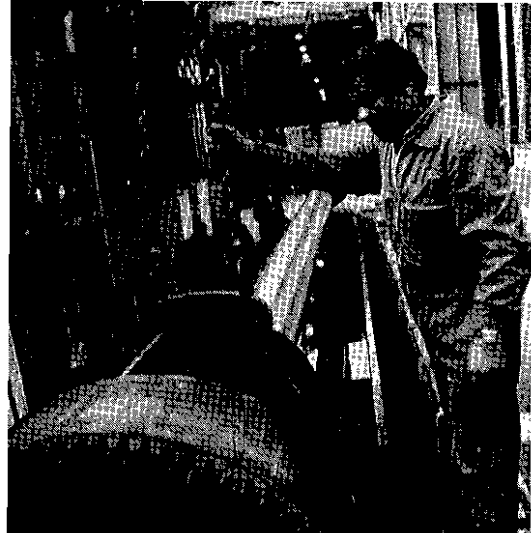
Hengelo. Bij de levering van kleinere onderdelen zijn veel onderaannemers ingeschakeld.

Zuigerstangen

In het begin van 1981 is een definitieve keuze gemaakt voor hydraulische cilinders als aandrijving van de schuiven in de Oosterscheldekering. Dat ging niet zonder slag of stoot: een ernstige concurrent bleef tot het allerlaatste ogenblik de tandheugelaandrijving. Tegen de

Een cilindermantel op de diepboorbank





De zuigerstang wordt neergelaten in het nikkelbad. Met behulp van het tandwiel op de voorgrond wordt de stang langzaam rondgewenteld

hydraulische cilinder bleef men aanvoeren dat de zuigerstang in het agressieve zeemilieu van de Oosterscheldemondd geen lange levensverwachting kon hebben. Het is dus wel begrijpelijk dat er na de definitieve keuze voor een hydraulisch bewegingswerk altijd veel aandacht is uitgegaan naar conserveringsmaatregelen voor de zuigerstangen.

De zuigerstangen moeten aan een groot aantal eisen voldoen. Bij constructief aanvaardbare afmetingen moeten ze voldoen aan alle eisen van sterkte en stabiliteit die het ontwerp stelt. De oppervlakte moet voldoende glad zijn en blijven om slijtage van de afdichtingen te beperken. Ze moeten daarnaast slijtvast zijn en goede loopeigenschappen vertonen bij het passeren van de hogedruk-afdichtingen en het binnentreden van de bronzen geleidebus.

Tegelijk dient het oppervlak corrosiebestendig te zijn, gezien het agressieve milieu waarmee het in aanraking komt. Tenslotte dient de zuigerstang ook nog betaalbaar te zijn. Een materiaalsoort die aan alle eisen tegelijk voldoet, bij voorbeeld een corrosievaste staalsoort, voldoet in elk geval niet aan de laatste. Maar ook de slijtvastheid van zo'n staalsoort is niet optimaal. Daarom ging de voorkeur uit naar een materiaalsoort die wel voldeed aan de eisen van stabiliteit en sterkte, maar de overige eisen pas haalde na het aanbrengen van een of meer bedekkingen op het oppervlak. Men kwam uit op 100 micron nikkel en daarbovenop nog eens 50 micron chroom. Het niet corrosiebestendige staal is goed voor de mechanische eisen, het nikkel biedt de gewenste bescherming tegen corrosie en het chroom levert de benodigde hardheid, de loopeigenschappen en de gladheid.

De zuigerstangen werden gesmeed in Duitsland

In een ruimte met beheerst klimaat worden de zuigerstangen geslepen en gemeten





en in Zweden. Ze komen voorbewerkt in Nederland aan. Er is dan voldoende overmaat aanwezig om, na een aantal bewerkingen in Rotterdam of Hengelo, nog aan de tolerantie-eisen te voldoen.

Bij de bepaling van de diameter moet er rekening mee gehouden worden dat de stang later nog vernikkeld en verchroomd zal worden. De nikkellaag dient tenminste 100 micron dik te zijn, en de dikte van de chroomlaag moet liggen tussen de 50 en 100 micron. Omdat in de bedekkende lagen ook weer toleranties voorkomen, moet de onbedekte stang aan hogere tolerantie-eisen voldoen dan de bedekte. Is de diameter te klein, dan moet een extra laag duur nikkel worden aangebracht. Dit is inderdaad gebeurd bij enkele stangen waarop lichte oppervlaktebeschadigingen waren ontstaan. De oppervlakteruwheid van de smeedstalen stangen mag niet groter zijn dan 0,8 micron. Deze eis komt voort uit het vernikkelproces. Het verchroomde stangoppervlak zal uiteindelijk een ruwheid moeten hebben van 0,4 micron of kleiner. Zulke gladheden kunnen in het algemeen alleen worden bereikt met slijpen of schuren. Bij het slijpen met een steen kan en passant de vorm van de as qua rechtheid en rondheid nog enigszins worden gecorrigeerd. Elektrolytisch vernikkelen en verchromen is een gevoelig proces. Zowel de reinheid van het basismateriaal smeedstaal als de voorbehandeling van de stang speelt een belangrijke rol bij het verkrijgen van een goed hechtende laag. De uitvoering van het proces wordt dan ook begeleid met intensieve controles. De belangrijkste daarvan betreffen de neergeslagen laagdiktes, de aanwezigheid van poriën in zowel de nikkel- als de chroomlaag, en de hechting van de lagen onderling. De laagdikte

wordt gemeten door op referentiepunten de diameter van de stang na het vernikkelen en het verchromen te vergelijken met een nauwkeurige meting van daarvoor. Omdat de lagen zo dun zijn, speelt de temperatuur van de stang tijdens de meting een grote rol. De stang dient dan ook door en door op één en dezelfde temperatuur te zijn tijdens alle metingen. Controle op poriën geschiedt globaal met het blote oog, en op gespecificeerde plekken met behulp van een loupe. Uitgangspunt is dat in het nikkel geen tot op het smeedstaal doorlopende poriën mogen voorkomen. Poriën kleiner dan 50 micron zullen door het menselijk oog niet meer waargenomen worden. Elke wel waargenomen porie moet worden gerepareerd, tenzij het er teveel zijn. In dat geval wordt de nikkellaag verwijderd en doet men het nog eens over. In het algemeen kan worden gesteld dat de aangebrachte nikkellagen al of niet na reparatie, vrij zijn van poriën. De reparaties bestaan uit zeer kleine smeltlassen met zuiver nikkel. De hardingsverschijnselen van de smeedstalen stang op zo'n gerepareerde plaats zijn gemeten en acceptabel bevonden. Gezien op microscopische schaal zit het chroom vol scheurtjes. Dat de chroomlaag ooit echt dicht zou zijn, hoeft dus niet te worden verwacht. Toch is ook hier gesteld dat waarneembare poriën ontoelaatbaar zijn en moeten worden gerepareerd; een grens werd gesteld aan het aantal te repareren poriën per strekkende meter. In het chroom wordt uitsluitend met nikkel gerepareerd. Poriën die doorgaan tot op het staal worden in elk geval gerepareerd, maar van de poriën, die slechts tot het nikkel doorgaan, worden alleen de grootste gerepareerd, meer dan een halve millimeter in doorsnee. Imperfecties van het oppervlak van de

Proefstaven met verschillende
oppervlaktebedekkingen,
opgesteld bij de werkhaven
Schelphoek

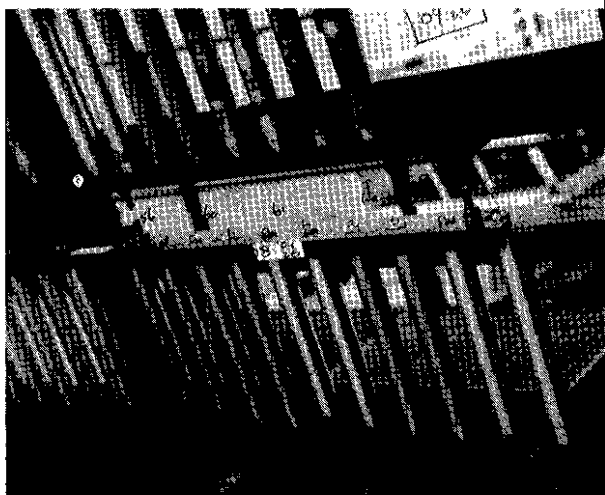
chromolaag laat men in de regel zitten. Doel is bij dit alles, te voorkomen dat vanuit doorgaande poriën corrosie van de zuigerstangen zou ontstaan.

Na het aanbrengen van de nikkel- en chromolaag wordt het oppervlak nog eens bewerkt met de bandschuurmachine. Omdat hier sterke lokale verhitting optreedt is deze bewerking tegelijk een controle op de hechting van de bedekkende lagen.

Geven we tenslotte nog een kort overzicht van de procesvoering bij het vernikkelen en verchromen. Ter voorbereiding wordt de stang van goede centers voorzien en geslepen, om eventueel nog vormcorrecties te kunnen aanbrengen en te zorgen voor de juiste oppervlakteruwheid en diameter. Op regelmatige afstanden wordt de diameter bepaald. Nu worden op de uiteinden van de stang stroomaansluitingen aangebracht voor het elektrolytisch proces. De niet te vernikkelen en te verchromen gedeelten worden zorgvuldig afgeplakt. De stang wordt vervolgens chemisch en elektrolytisch ontvet, gespoeld met water, gebeitst en weer gespoeld, en dan overgebracht naar het nikkelbad.

Het is nodig gebleken de stang ook tijdens het overbrengen nat te houden. Het vernikkelen zelf geschiedt in horizontale positie in een elektrochemisch bad. De stang is daarbij kathode. Hij wordt gelijkmatig om zijn as gedraaid, zodat elk punt op zijn beurt even ver verwijderd is van de aan weerszijden opgestelde anodeschermen, die bestaan uit nikkel. Hierdoor wordt een zeer gelijkmatige laag verkregen. Zodra de stang uit het nikkelbad komt, vindt een globale inspectie plaats.

Ongerechtigheden aan de oppervlakte of het voorkomen van poriën vallen daarbij doorgaans



meteen op. Hierna wordt de nikkellaag geschuurd om hem op de juiste ruwheid te krijgen. De controle vindt zoals gezegd plaats door meting van de diameter. In een enkel geval blijkt het vanwege het te grote aantal poriën nodig de hele nikkellaag te verwijderen. Naast inspectie met het blote oog over de gehele stang wordt nu ook geïnspecteerd met de loupe, op vooraf gespecificeerde plaatsen van 15×15 cm. Eventuele poriën worden gerepareerd. Als voorbereiding op het verchromen wordt de stang opnieuw gespoeld en elektrolytisch ontvet.

Het verchromen geschiedt in een verticale tank. De anode wordt nu gevormd door een kooi van zware koperstaven rondom de stang. Na het verchromen wordt de stang gespoeld en globaal geïnspecteerd. Het oppervlak van een verchromde stang vertoont nog weleens bobbeltjes, maar die verdwijnen bij de latere schuurbehandeling. Er blijven dan hoogstens kleine sporen van over, die als oppervlakte-imperfectie verder verwaarloosd kunnen worden, zolang ze geen grotere diameter hebben dan 2 mm of, als ze langwerpig zijn, afmetingen van $1,5 \times 5$ mm. Door slijpen of schuren wordt nu de vereiste ruwheid aan de stang gegeven. Ten slotte vindt nogmaals een zorgvuldige inspectie plaats en eventuele reparatie van doorlopende en niet-doorlopende poriën. Alle relevante gegevens worden op protocol gesteld.

Cardanbalken

De cardanbalken maken het de cilinder mogelijk zich scharnierend te bewegen ten opzichte van de pijlers. Daartoe is de cilinder scharnierend verbonden met de cardanbalk, en deze laatste scharniert weer op de hamerstukken.

De cardanbalk overspant in zijn lengterichting de schuifspanning. De lange zijden van de cardanbalk dragen smeedstalen assen waaromheen de cilinder kan scharnieren door middel van kogelgewrichtslagers.

De kogelgewrichtslagers zijn ondergebracht in twee tegenover elkaar liggende boringen in het verdikte cardanstuk van de cilinder. De cardanbalken zelf zijn uitgevoerd als kokerliggers. Naar verwachting zullen de hoekverdraaiingen van de cilinders ten opzichte van de cardanbalk niet groot zijn. Daarom is voor de afdichting van het lager een robuust maar stijf rubberen profiel gekozen, dat gedeeld wordt aangebracht, na montage gelijmd en met een verstelbare klemband op zijn plaats gehouden.

De lagers draaien op kunststof tabletten. De levensduur daarvan kon niet afdoend worden onderzocht. Wel werden ze langdurig onderworpen aan een hamerende belasting, die nog het meest lijkt op de belasting die te verwachten is bij het bewegen van de schuif. De lagers behoeven zelf geen smering, maar worden wel geheel gevuld met vet, als bescherming tegen corrosie. Aan de beide korte zijden zijn de cardanbalken voorzien van soortgelijke lagers, waarin smeedstalen pennen draaien voor hun bevestiging op de lagerstoelen. Deze korte zijden bestaan uit plaatliggers met een randverstijving. Ze kunnen de temperatuuruitzetting van de lange zijden geheel door vervorming opnemen.

De cardanbalk zelf is een gelaste constructie, opgebouwd uit platen van verschillende dikte. Veel aandacht werd daarbij besteed aan de vormnauwkeurigheid. De juiste lasvolgorde is voorgeschreven en er wordt gebruik gemaakt van lasmallen. Ook aan de lagerstoelen zat veel zwaar laswerk. Ze zijn opgebouwd uit dikwan-

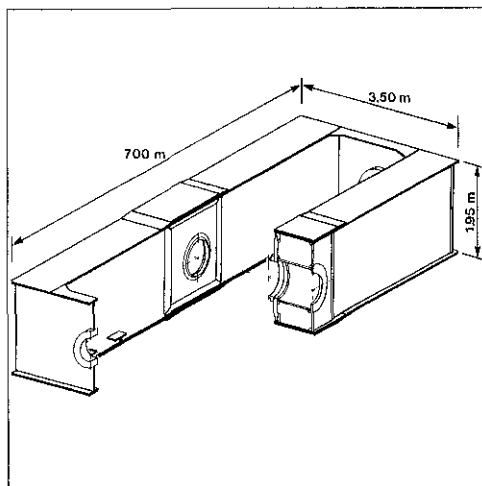
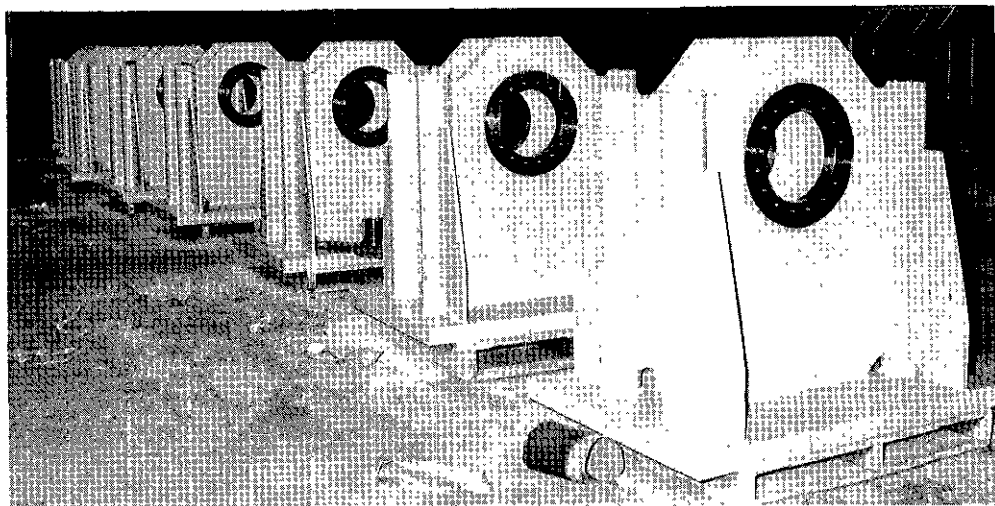


Fig. 3. Cardanbalk

Assemblage van cilinders. De linker is al samengesteld, en wordt nu afgeperst.

De staalconstructie voor de verbinding van het onderoog en de schuif.

Cardanstoelen, met behulp waarvan de cardanbalken scharnierend op de pijlers bevestigd worden.





dige pijp en uit dikke platen.

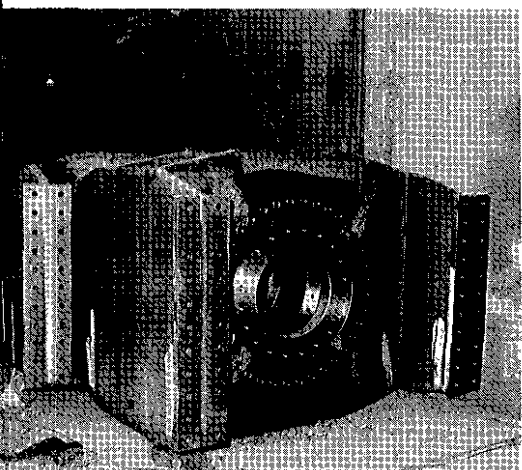
Hoewel de cardanbalken behoren bij zeven verschillende cilindertypen, is het gelukt te volstaan met slechts vier verschillende typen cardanbalken. De series werden daardoor groter en de productie doelmatiger. Aan de binnenzijde van de cardanbalken komen roosters te liggen. Hier wordt ook de gelijkloopinstallatie geplaatst, met behulp waarvan continu de stand van de schuifuiteinden wordt gemeten en zo nodig gecorrigeerd.

Assemblage en montage

Bij de samenbouw van de cilinders uit losse onderdelen vragen twee aspecten in het bijzonder de aandacht: ten eerste dient de grootste zorgvuldigheid in acht genomen te worden om het hydraulisch systeem zo schoon mogelijk te maken en te houden, en ten tweede moet men maatregelen treffen om te voorkomen dat het grote gewicht van de in horizontale positie samen te bouwen onderdelen zou resulteren in grote vervormingen. Gezien de grote omvang van de onderdelen kan niet gewerkt worden onder laboratorium-omstandigheden, terwijl die eigenlijk wel vereist zouden zijn. Nu laat men de onderdelen zo lang mogelijk in hun verpakking en reinigt ze pas onmiddellijk vóór de assemblage. De inwendige reiniging van de cilindermantels wordt in fasen verricht, met behulp van reinigingsmiddelen en doeken en ook met een voor dit doel gebouwde reusachtige 'pijperager'.

Als de zuigerstang in de cilinder gemonteerd moet worden, wordt allereerst de cilinder goed gefixeerd ten opzichte van de speciale werkvloer met een vlakke rolbaan, waarop transportwagens de zuigerstang zuiver in de aslijn van de cilinder kunnen bewegen. De zuigerkop, met hogedrukafdichting, geleidebus en deksels, wordt als eerste de cilinder ingeschoven. Het lantaarnstuk, dat de stanggeleiding en de stangafdichtingen draagt, bevindt zich dan al op de zuigerstang. Het wordt nu tot tegen de onderflens van de cilinder geschoven en aan de cilinder bevestigd. Door via het lantaarnstuk olie onder druk toe te voeren wordt de zuigerstang, die ondertussen wordt ondersteund, verder de cilinder ingeperst. Om te voorkomen dat de doorbuigende stang gaat dragen op de kanten van de bronzen geleidebussen zijn die gewelfd uitgevoerd. Na een laatste reiniging wordt de cilinder aan de dekselzijde gesloten, zodat ook dit gedeelte met olie gevuld en ontluicht kan worden.

De flensverbindingen aan de deksel- en stangzijde worden voorgespannen. Onderdeel van de assemblage vormt nog een beproeving



Zuiger met gemonteerde afdichtingen

Aanspannen van het onderoog op de zuigerstang. De grote trommel klemt de zuigerstang op de platte kanten vast; het onderoog, dat ondersteund is in de achterflens van de trommel, wordt met vijzels onder een kleine hoek gedraaid, om het gewenste voorspannmoment te geven.

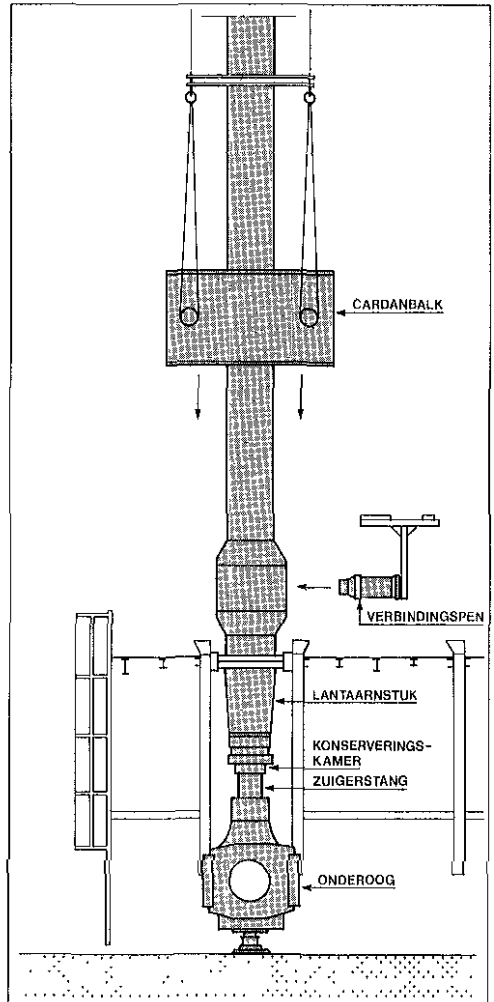
Fig. 4. Het montage-principe van cilinders en cardan

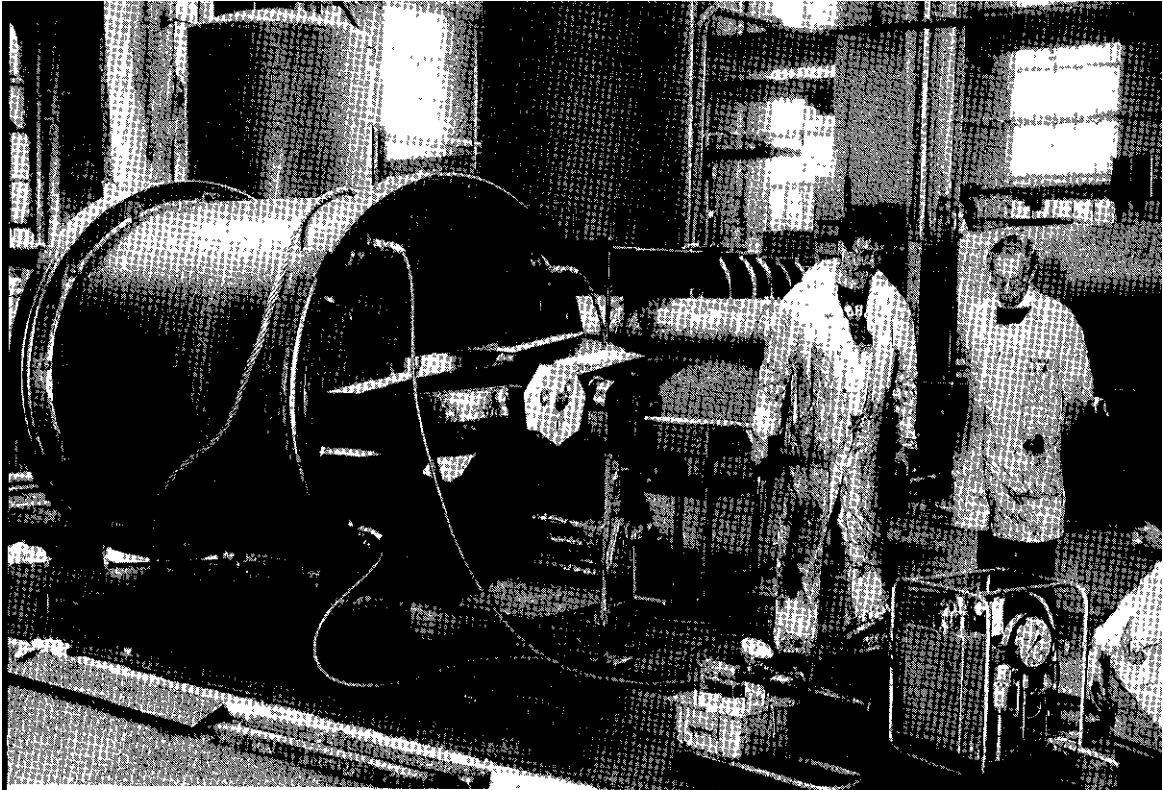
op rustige werking, waarbij de stang enige malen in en uit wordt gepompt, en een controle op hydraulische dichtheid. De cilinder wordt daartoe afgeperst op 270 atmosfeer aan de stangzijde en 165 atmosfeer aan de dekselzijde. Pas wanneer is vastgesteld dat het hydraulisch deel goed werkt, worden de conserveringskamer en het onderoog gemonteerd.

De conserveringskamer, die een anti-corrosiemiddel bevat ter bescherming van de zuigerstang, is star aan het lantaarnstuk bevestigd. Maar de afdichtingen in de kamer kunnen hun werk alleen goed doen als ze de zuigerstang volgen, ook wanneer hij doorbuigt. Daarom zijn de afdichtingen ondergebracht op een ring die ten opzichte van de conserveringskamer kan scharnieren.

Het opschroeven van het onderoog op de zuigerstang vindt plaats op een speciaal ontworpen rolstelling, die het mogelijk maakt het oog zuiver in lijn te houden met de zuigerstang, tijdens het gehele proces van opschroeven. In verband met vermoeiing wordt de schroefdraadverbinding met een voorgeschreven kracht voorgespannen. De voorspankracht wordt bepaald aan de hand van het aanhaalmoment en de hoekdraaiing. Een punt van aandacht in het ontwerp is verder de aansluiting van de werktuigkundige constructie geweest – het lager met zijn afdichtingen en de pen van het onderoog – op de staalconstructie van de schuif. Om te voorkomen dat deze verbinding in de kering tot stand moest worden gebracht, is een overgangsconstructie ontworpen met de juiste voorzieningen voor aansluiting en afdichting van de lagerconstructie, die later op eenvoudige wijze met bouten op de schuif kan worden aangesloten.

Zijn de hydraulische aansluitingen afgedicht,





dan kan de cilinder vervolgens worden geconserveerd. Met de gemonteerde overgangsconstructie wordt hij daarna opgeslagen tot de samenbouw zal plaatsvinden met de cardanbalk, kort voor de montage van de bewegingswerken op de kering. De cardanbalk is dan al geheel geconserveerd en voorzien van de lagerstoelen waarmee hij ten opzichte van de pijler kan scharnieren.

De samenbouw van cardanbalk en cilinder vindt plaats in verticale positie. Vanwege de grote afmetingen en omdat een groot deel van de cilinder ook in gemonteerde positie nog onder de cardanbalk uitsteekt, is voor deze samenbouw een hele stelling ontworpen. Het belangrijkste aandachtspunt is de nauwkeurige positionering van cilinder en cardanbalk, om het inbrengen van de cardanpenen mogelijk te maken, waarmee de cilinder scharniert ten opzichte van de cardanbalk. Is de gehele assemblage voltooid, dan wordt de cilinder tegen de cardanbalk getuid tegen omvallen. Het transport van de combinatie die een gewicht heeft van 75 tot 135 ton, wordt mogelijk gemaakt doordat op de cardanbalk vier hijspunten zijn aangebracht.

Het geheel wordt op een voor dit transport aangepaste ponton geplaatst: het dek is van de nodige verstevigingen voorzien en er zijn

plaatselijk gaten aangebracht voor de onderuitstekende delen. Twee op één pijler te monteren bewegingswerken – die dus behoren bij verschillende schuiven – worden op de ponton naast elkaar opgesteld, uitgelijnd en onderling gekoppeld. De combinatie wordt voorzien van een vangconstructie die bij plaatsing op de hamerstukken correspondeert met twee daar aangebrachte geleide-pennen. Met elk transport gaan acht bewegingswerken mee, voor vier pijlers.

Vóór aankomst van de bewegingswerken zijn de hamerstukken voorzien van afgestelde funderingen, geleidepenen en rubber stootblokken. De bewegingswerken worden twee aan twee door de 'Taklift IV' op een pijler gezet. De verbinding met de pijler komt tot stand door het aanbrengen van voorspanners door de cardanstoelen. Met een hydraulisch aggregaat kan de zuigerstang vervolgens zover worden uitgepompt dat de koppelconstructie van het onderoog kan worden bevestigd aan de ophangbalk van de schuif. De benodigde vulplaten zijn tevoren reeds op maat gemaakt. Pas wanneer de verbinding met de schuif tot stand is gekomen kunnen de tuien tussen cilinder en cardanbalk worden losgemaakt, omdat de standzekerheid van de cilinder nu is verzekerd.

Het prefabricage-principe, dat zo kenmerkend is voor de hele stormvloedkering in de Oosterscheldemond, is ook weer terug te vinden in de schuifaandrijving. Elk bewegingswerk wordt aangesloten op een eigen pompapparaat.

Hydraulische systemen

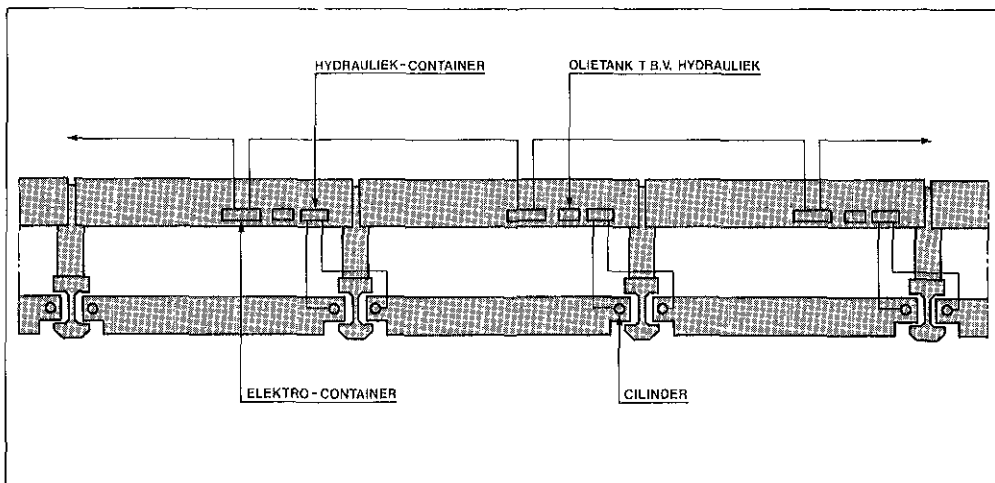
Staan er op een pijler twee cilinders, dan komen daar dus ook twee aggregaten bij, ondergebracht in één container, hetgeen de mogelijkheid opent om ze zo nodig te gebruiken als elkaars reserve. Omdat deze reserve ontbreekt op de pijlers aan de randen van de sluitgaten, is daar bij elke cilinder uit betrouwbaarheidsoverwegingen een extra aggregaat bijgeplaatst. Wil men van het ene aggregaat overschakelen op het andere, dan moeten in de container enkele kranen worden geopend, en enkele andere gesloten.

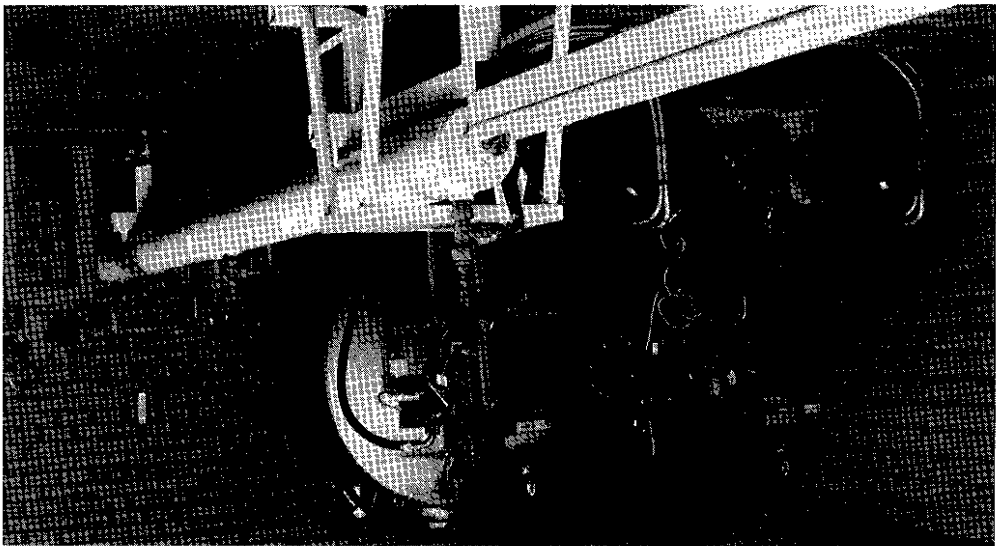
De nauwe relatie tussen de pompaggregaten en de bewegingswerken maakte het logisch de container met de hydrauliek in de verkeerskokers zo dicht mogelijk bij de pijlers op te stellen; zo bleven ook de leidingen het kortst. Wat de elektrische besturing en aandrijving betreft is er een andere organisatie, namelijk per schuif. Schakelt men over van het ene hydraulische aggregaat op het andere, dan moet er ook een elektrische omschakeling plaatsvinden. De schakelaars hiervoor bevinden zich naast de hydrauliekkranen. Men schakelt ermee over van de regeling in de ene elektro-container naar die in een volgende.

Wilde het mogelijk zijn de containers met hydraulische en die met elektrische apparatuur

in de verkeerskokers bij het inregelen van de schuiven vlot op elkaar, op de cilinders en de rest van het systeem aan te sluiten, – daarvoor moeten per geval enkele honderden elektrische verbindingen worden gelegd – dan moesten alle containers al grondig zijn getest op goede werking van de erin ondergebrachte installaties vóór ze werden ingebouwd in de verkeerskokers. Vanwege de sterke verwevenheid van de elektrische besturing en bewaking met de hydraulische installatie zou het eigenlijk zelfs te wensen zijn dat elke hydraulische container werd beproefd in samenhang met de aan weerszijden gelegen elektro-containers. Vanwege het grote aantal elektrische verbindingen van hoge kwaliteit dat hiervoor zou moeten worden tot stand gebracht en later weer losgenomen, is daar echter van afgezien. Volstaan wordt nu met de individuele beproefing van elk van de 65 afgemonteerde hydrauliek-containers.

Bij die beproefing worden pompebieten ingesteld, drukschakelaars en veiligheden op de juiste waarden afgesteld, en worden alle functies, schakelingen en terugmeldingen getest door middel van de klemmenstroken in de apparatenkasten waarop de complete bedrading is gemonteerd. Elk aggregaat in de





Beproeving van de hydraulische aandrijving

Hydraulisch aggregaat voor de aandrijving van twee cilinders

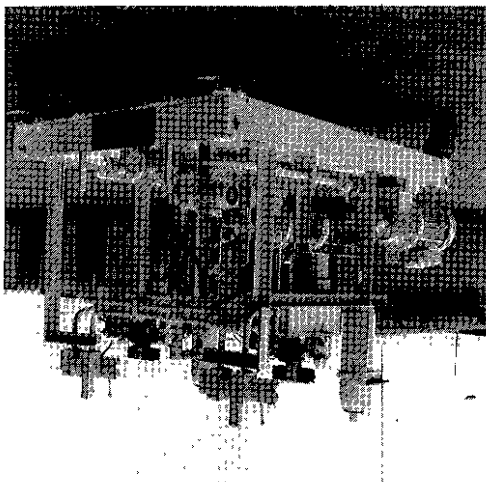
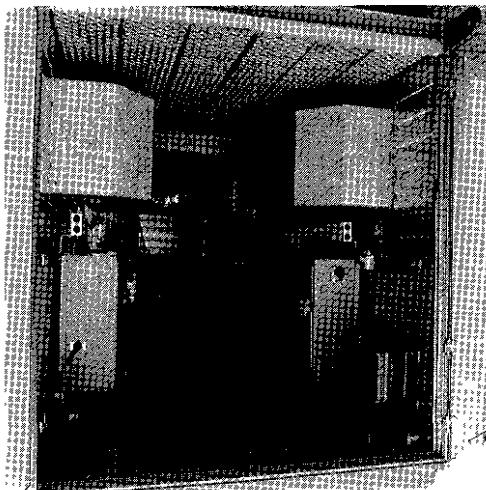


Fig. 1 Overzicht van de bewegings- en bestuursapparatuur in de verkeerskoker

Binnenin een volledig geïnstalleerde hydrauliek-container



container wordt op zijn buurt aangesloten op een olietank en een hydraulische tandemcilinder. Met een speciaal beproevingsaggregaat kunnen daarin tegenwerkende krachten worden opgewekt, waarmee de uitwendige belasting op de schuif kan worden nagemaakt. Alle beproevingen worden op protocol gesteld, als certificaat van deugdelijkheid van het nieuwe apparaat en als uitgangspunt voor later routine-beproevingen een elektro-container getest die was aangesloten op vier omringende hydraulische aggregaten. Met twee tandemcilinders werd weer de uitwendige belasting gesimuleerd en werd tevens een gelijklooppinstallatie aangedreven. Gelijktlooppinstallaties beoordelen het hoogteverschil tussen de twee uiteinden van een schuif; bij meer dan 15 cm



Invoer van een hydrauliek-container in een verkeerskoker



Het inwendige van een verkeerskoker. Links de kabels, rechts de containers

verschil wordt een correctie uitgevoerd. Het regelprogramma hiervoor is ondergebracht in een computer in de elektro-container; het werd bij deze gelegenheid uitgebreid en tot tevredenheid beproefd. Aan de hand van de resultaten kon inmiddels begonnen worden aan de seriebouw van de computers. De gereedkomende elektro-containers krijgen nu ook allemaal een individuele test.

Containers

In het voorgaande is enige malen gesproken van containers, als onderdeel van de geprefabriceerde bouw van de installaties. Welnu, de hydraulische pompaggregaten en de elektrische installaties voor het bewegen van de schuiven worden binnen de verkeerskokers ondergebracht in containers, die als machineruimte dienen voor deze apparaten. Oorspronkelijk

was het de bedoeling hiervoor universele zeegaande containers te gebruiken, maar daarvan moest worden afgezien toen in de loop van het ontwerpproces van de kering geleidelijk bleek dat de beschikbare ruimte voor de containers veel kleiner uitviel. Er zijn toen containers ontworpen van aangepaste afmetingen.

Bij het ontwerp van deze containers is gestreefd naar standaardisering op grote schaal. Elke container bestaat uit een aantal zich herhalende frames, zoveel mogelijk verbonden met boutverbindingen. Omdat de containers veelal beladen met zware uitrusting werden gemonteerd in de kokers, moest de bodem worden aangepast aan de maximaal te verwachten gewichtsbelasting. Voor het overige verschillen de containers alleen in lengte. De definitieve leveringsopdracht omvat 65 containers voor hydraulische installaties, ieder met een lengte

van 4,6 m; 62 elektro-containers van 6,0 m; 16 containers voor berging van transformatoren en hoog- en laagspanningsschakelmateriaal, ter lengte van 6,0 m; vier werkplaatsen en kantoren, ook 6,0 m lang; vier schaft-, was- en toiletcontainers van 4,6 m lang; twee voor de conditiebewaking van de kering, ter lengte van 12 m en één voor milieumetingen, van 15 m lang. Lange containers worden samengesteld uit een aantal korte. Er zijn scheidingswanden en deuren in aangebracht. Een deel van de inrichting wordt later nog uitgevoerd. Ingebouwde containers kunnen er nooit meer in hun geheel uit, omdat de verkeerskokers aan de kopse zijde een vernauwde doorsnede hebben. Wel is die opening groot genoeg om alle componenten te laten passeren, zodat de uitwisseling van onderdelen gewaarborgd blijft. Het inwendige van de verkeerskokers is ter plaatste van de landhoofden toegankelijk gemaakt. De voordelen van de inbouw van de apparatuur in containers spreken voor zich. De dikwijls kwetsbare apparatuur vereist bescherming tegen de in de verkeerskokers heersende omgevingscondities. Ook het stroomleverend bedrijf en de arbeidsinspectie eisen afscherming van de elektrische apparatuur. Bouwkundige voorzieningen zouden eerst na het plaatsen van de kokers op de pijlers kunnen worden aangebracht. Maar het was in verband met de strakke planning niet mogelijk daarop te wachten.

Een bijkomend voordeel van het gebruik van containers is dat installatiedelen die door verschillende leveranciers worden toegeleverd, al in een vroeg stadium kunnen worden samengebouwd en aangesloten. Zo worden de schakelkasten voor de hydraulische eenheden gebouwd in Oisterwijk, en vervolgens in Bortel, waar de hydraulische eenheden zelf worden vervaardigd, gemonteerd in de hydraulische containers. Van de elektrische eenheden wordt het hart van de besturings- en bewakingsinstallatie, de micro-processor, samengesteld in Apeldoorn, terwijl de overige apparatuur wordt gemaakt in Haarlem, Rotterdam en Vlissingen.

In Vlissingen wordt dat alles in de elektro-container gemonteerd en aangesloten. Na hun gereedkomen worden de containers vervoerd naar het bouwterrein te Kats, waar de verkeerskokers worden gebouwd. In de bouwcyclus van de verkeerskokers is opgenomen dat elke gereedgekomen koker gedurende vijf werkdagen op een speciale inbrengplaats wordt gelegd. Daar wordt alle benodigde apparatuur ingevoerd. De containers en de olietanks worden tijdelijk voorzien van wielen, en met een kraan op een laadplatform geplaatst. Met

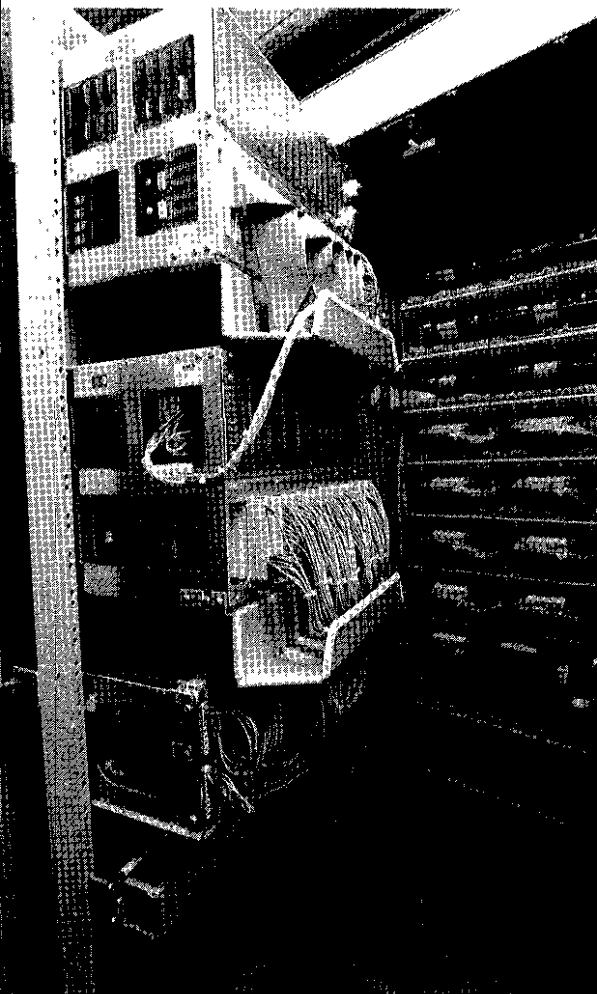
behulp van een lier worden ze dan de verkeerskokers ingetrokken en op hun plaats vastgezet. De wielen worden daarna weer verwijderd. Na het inbrengen van de apparatuur wordt elke verkeerskoker gedurende een periode van ongeveer zes weken opgeslagen. In deze periode worden voor zover mogelijk alle verdere materialen gemonteerd en aangesloten. Vervolgens gaan de verkeerskokers op transport en worden ze op de pijlers geplaatst. Na het inhangen van de schuif en het plaatsen van de hydraulische cilinders kan de elektrische installatie worden afgewerkt, en kan de gehele schuifinstallatie worden ingeregeld en in bedrijf gesteld. Een voordeel van deze prefabricage is ook, dat er in de verschillende bouwstadia steeds sprake is van afgeronde onderdelen, die aan een afnamekeuring kunnen worden onderworpen. Ook de planning kan bij deze werkwijze beter worden beheerst.

Een bijzonder probleem vormde het kabeldraagsysteem in de verkeerskokers. Ten behoeve van de energie-voorziening, de telefooninstallatie, het datanet voor de centrale computer, de veilige-bedieningscommando's voor de schuiven, en zo meer, zijn er nogal wat doorgaande kabels nodig in de kering. Ten gevolge van de zetting van de pijlers en de belastingen die de pijlers ondervinden bij gesloten kering is de afstand tussen de verkeerskokers enigszins variabel.

Een aaneengesloten kabeldraagsysteem was dus niet mogelijk. Men heeft nu besloten de kabels ter plaatste van de overgangen vrij in lussen te laten hangen, waarin dan tevens een overlengte wordt opgenomen die de maximaal mogelijke afstand tussen twee verkeerskokers kan overbruggen, zonder dat de kabels op trek worden belast. Aangezien veranderingen in de afstand tussen twee verkeerskokers zich slechts zeer langzaam voltrekken, behoeven er geen speciale kabels te worden toegepast, maar kan men gebruik maken van normale installatiekabels, die in een lus worden gehangen. De kabels van het datanet worden vanwege hun kwetsbaarheid opgenomen in een metalen beschermingslang.

In Bericht 101 (augustus 1982) is een uiteenzetting te vinden over de besturing van de schuiven in de Oosterscheldekering. Van dat artikel geven we volledigheidshalve eerst een korte samenvatting. Daarna zal beschreven worden in hoeverre en op welke wijze de toen levende gedachten zijn gerealiseerd.

De schuifbesturing



De besturing van de hydraulische installatie voor de beweging van een schuif dient te voldoen aan drie hoofdeisen.

Ten eerste zal het commando om de kering te openen of te sluiten met een hoge betrouwbaarheid moeten worden opgevolgd. De toelaatbare faalkans wordt gesteld op slechts 10^{-3} keer per jaar.

Ten tweede zullen ongelijke bewegingen van de twee uiteinden van een schuif gecorrigeerd moeten worden, vooral om te voorkomen dat een extreem scheefzakkende of -stijgende schuif de geleidingsstrippen op de pijler beschadigt. Ook hiervoor geldt de hoge betrouwbaarheidseis die uitgedrukt wordt in een toelaatbare faalkans van 10^{-3} keer per jaar. Ten derde dient de hydraulische installatie gecontroleerd te worden op storingen, zowel in de ruststand als tijdens bewegingen, dag en nacht. Het al dan niet functioneren moet zichtbaar zijn op een lokaal bedieningspaneel, zodat in geval van storingen de onderhoudsdienst kan worden gewaarschuwd. In dit opzicht kan met een minder hoge betrouwbaarheidseis worden volstaan dan bij de twee vorige.

Figuur 1 geeft een schematische voorstelling van de wijze waarop deze taken in de lokale installatie worden vervuld. De stand van elke schuif wordt ingelezen door een kleine computer. Er komen afzonderlijke meldingen binnen voor beide uiteinden van de schuif.

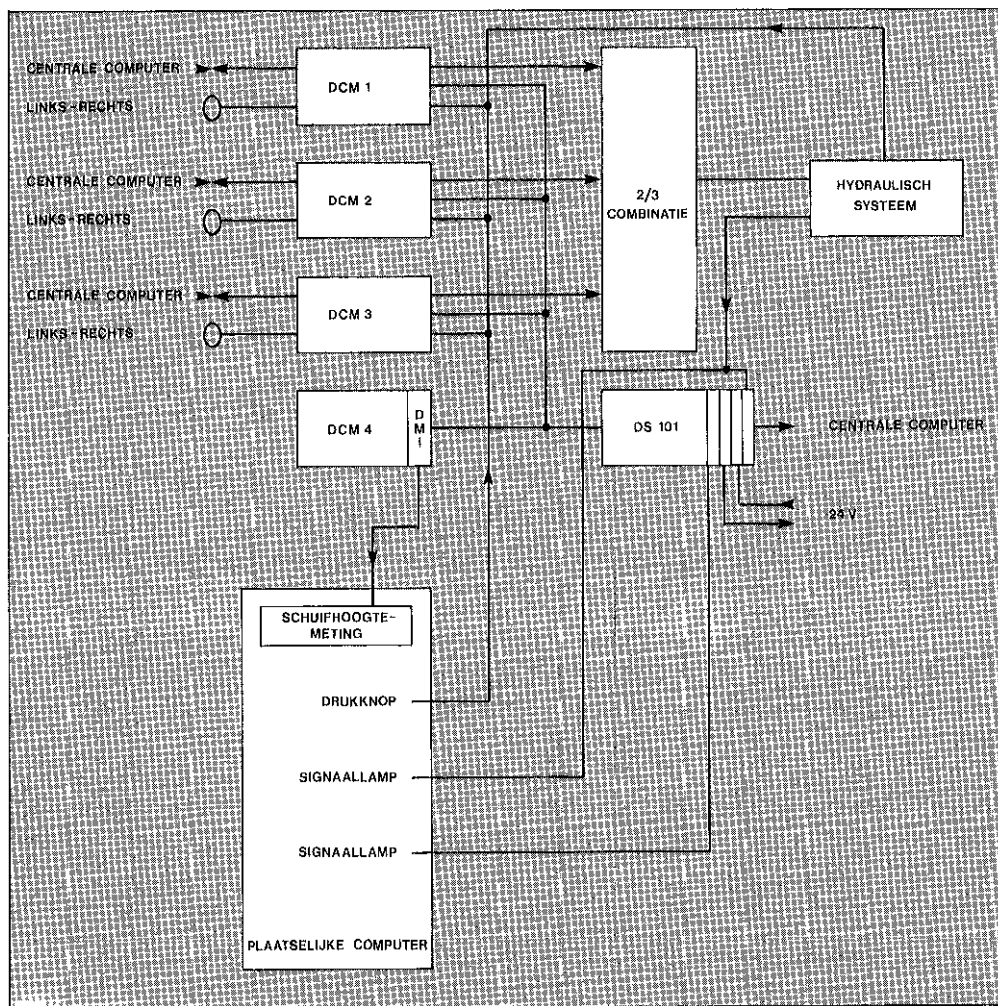
Het inwendige van de microprocessorkast

De signalen komen van in drievoud uitgevoerde codegevers, aangedreven door de gelijkloopinstallaties in de cardanbalken, hetgeen de kans op onjuiste meldingen verkleint. Na de ontvangst van een bewegingscommando – 'OP' 'STOP' of 'NEER' – rekent de computer uit in welke stand de hydraulische pompen en kleppen moeten worden gezet om het gewenste doel te bereiken. De computer rekent dit drie keer uit en neemt dan een meerderheidsbeslissing. Daarna wordt er nog voortdurend gecontroleerd op de voortgang en de eventuele scheefloop van de schuif en worden de codegeverwaarden op hun juistheid getoetst. Ook de druk in de hydraulische systemen wordt continu geregistreerd.

In een andere computer wordt de aansturing van de hydrauliek vergeleken met de werkelijke stand van kleppen en pompen. Afwijkingen

worden gemeld, en door middel van een foutencode zichtbaar gemaakt op het plaatselijke bedieningspaneel. Met behulp van dertig signaallampen kan deze controlerende computer de beweging van de schuif op het paneel weergeven. De hoogte van de schuifstand aan beide uiteinden en de eventuele scheefloop zijn bovendien direct numeriek afleesbaar.

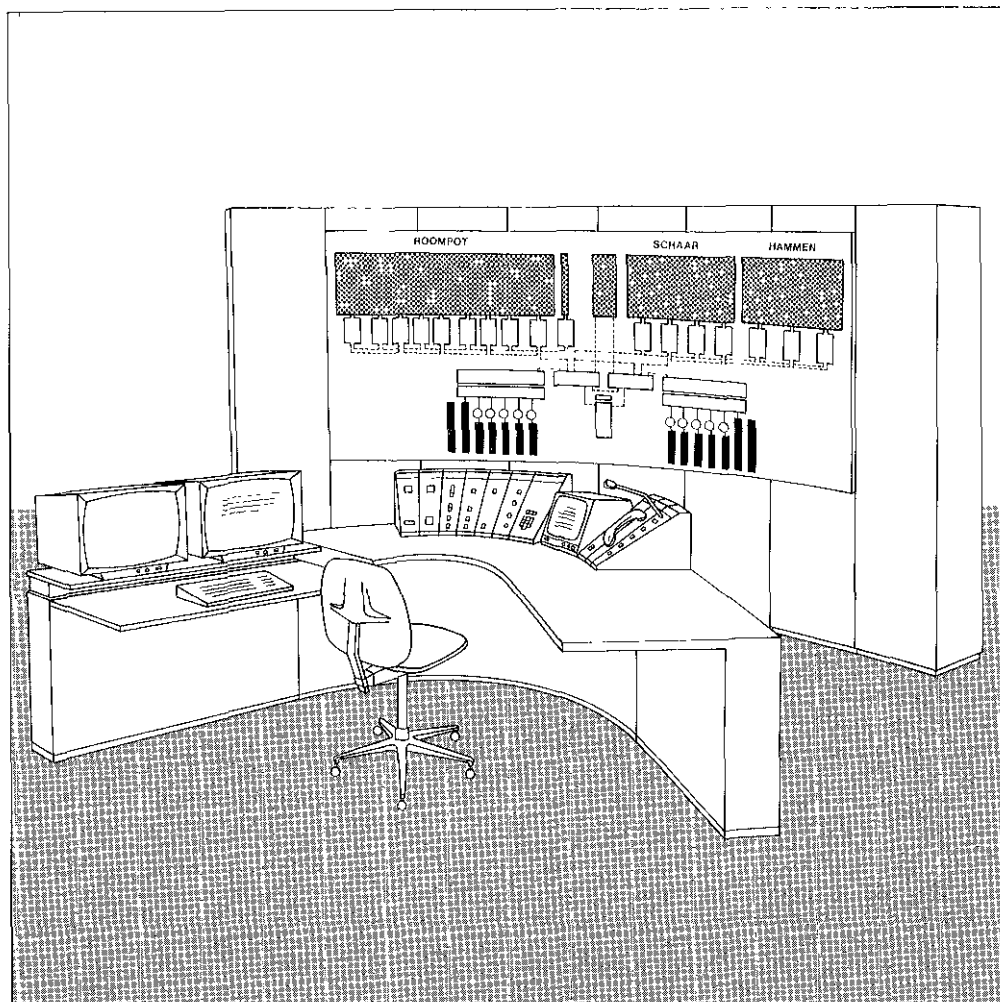
Fig. 1. Blokschema van een lokale besturings- en bewakingsinstallatie

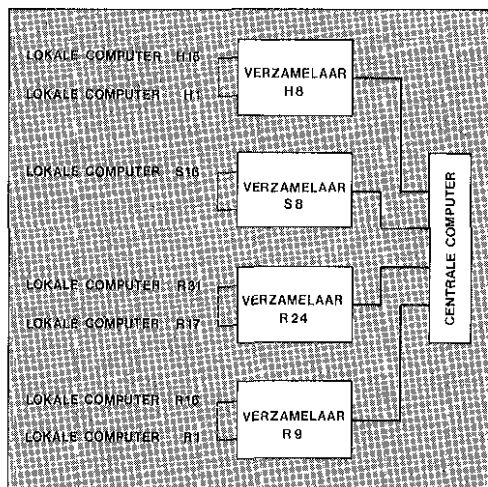


Met de tot nu toe beschreven instrumentatie alleen zou de Oosterschelde-kering een verzameling zijn van 62 afzonderlijke sluizen. Pas door onderlinge uitwisseling van gegevens en onderschikking aan een centrale besturingsinstallatie kan de kering voldoen aan zijn eigenlijke taken op het gebied van beveiliging en milieubescherming.

Door middel van het zogenoemde datanet kunnen gegevens overgebracht worden van alle 62 plaatselijke besturingsinstallaties naar de Centrale Computer en omgekeerd. Het datanet werkt dus in twee richtingen. Op regelmatige tijdstippen zenden de lokale computers automatisch de actuele waarden naar de Centrale Besturing aangaande schuifhoogten, klepstanden, pompschakelingen,

Fig 2 Centraal wandpaneel en bedieningslessenaar





drukcontacten en de besturing van de hydrauliek. De Centrale Computer verzendt de commando's voor de schuifbewegingen en commandeert nadat die zijn uitgevoerd tot het starten van de conserveringsinstallatie of het schakelen van de hoogspanningsschakelaars. Om technische redenen verloopt deze gegevensuitwisseling in twee stappen.

Halverwege tussen lokale installaties en Centrale Computer zijn zogenaamde verzamelaars geschakeld, micro-computers die per sluitgat, of zoals in het geval van de Roompot per half sluitgat, de gegevens en commando's bundelen. Een micro-computer in deze verzamelaars maakt het mogelijk via een eenvoudige kabel snel en veel gegevens over te seinen. De verzamelaars en de bijbehorende omzetters worden ondergebracht in de schakelkasten van de lokale installaties R9, R24, S8 en H8.

In het 'Ir. J. W. Topshuis' op Neeltje Jans wordt de Centrale Computer geïnstalleerd, met daarop aangesloten het centrale wandpaneel, de bedieningslessenaar, een aantal grafische beeldschermen en printers, een telefooncentrale, de vier verzamelaars en enkele kleinere apparaten. Om te voorkomen dat bij elke storing in een van de 62 lokale installaties ter plekke een onderzoek moet worden ingesteld naar de aard en de ernst van de storing, waartoe een onderhoudsmonteur vanuit het Centrale Bedieningsgebouw al gauw enkele kilometers zou moeten afleggen, is het via het datanet mogelijk gemaakt de situatie waarin de schuiven, de hydrauliek of de besturingsinstallatie verkeren, weer te geven op de centrale beeldschermen.

Ter wille van de archief-vorming worden alle meldingen van storing evenals de opdrachten tot bewegen van de schuiven door middel van

een printer op papier vastgelegd. Bovendien is voorzien in een telefonisch oproepsysteem, waarmee de onderhoudsdienst bij ernstige storingen kan worden gewaarschuwd.

'Veilige' en 'alternatieve' bediening

Vanuit de Centrale Bedieningsruimte is het op twee manieren mogelijk de kering te openen of te sluiten. De meest betrouwbare manier, die de kleinste kans van falen heeft, heet daarom de 'veilige bediening'. De faalkans ligt hier op 10^{-3} keer per jaar. Maar dit wil natuurlijk niet zeggen dat de andere onveilig zou zijn; die heet daarom de 'alternatieve'. Bij de 'veilige bediening' loopt een drievoudig uitgevoerde kabel rechtstreeks van de Centrale Bedieningsinstallatie naar de ingangen van de plaatselijke installaties. Met één druk op de knop gaan alle schuiven in gelijke mate omhoog, omlaag of stoppen.

De alternatieve bediening biedt heel wat meer mogelijkheden. De bedieningsopdrachten worden nu doorgegeven aan de Centrale Computer en van daaruit via het datanet aan de lokale computers gezonden. Hierbij kan gekozen worden tussen collectieve en individuele bediening van de schuiven. Bij de collectieve bediening staan verschillende van tevoren ingeprogrammeerde sluitingstechnieken ter beschikking. Bij voorbeeld: alle schuiven in gelijke mate dicht, alleen alle even schuiven dicht, of korte schuiven starten hun beweging een half uur na de lange, of de schuiven in de Hammen stoppen op 1 m boven de drempel. Wat individuele schuifbediening is, spreekt voor zichzelf.

Stand van zaken

Het besturingsproject begon in 1979 met het opstellen van een uitgebreide specificatie van de eisen waaraan de programmatuur en de apparatuur zouden moeten voldoen. Daarop volgde een functionele beschrijving van de hydrauliek, van de besturing ervan en de controle erop, een voorlopig ontwerp van de lokale bedieningspanelen en een beschrijving van alle andere functies die de lokale besturingsinstallatie zou hebben te verrichten. Ook de klimaateisen werden gedefinieerd. In een proefopstelling werden de eisen nader uitgewerkt, maar nog steeds in zeer algemene termen. De detaillering kon worden verschoven naar een later tijdstip, minder ver van de opleveringsdatum van de kering. Na aanbesteding van het definitieve ontwerp en de vervaardiging van de apparatuur en programmatuur kon in juni 1983 een eerste prototype worden

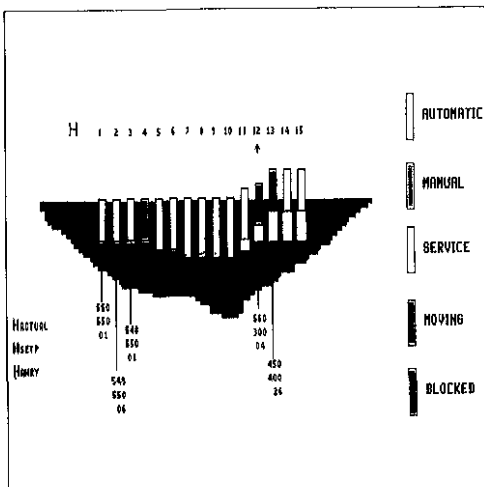
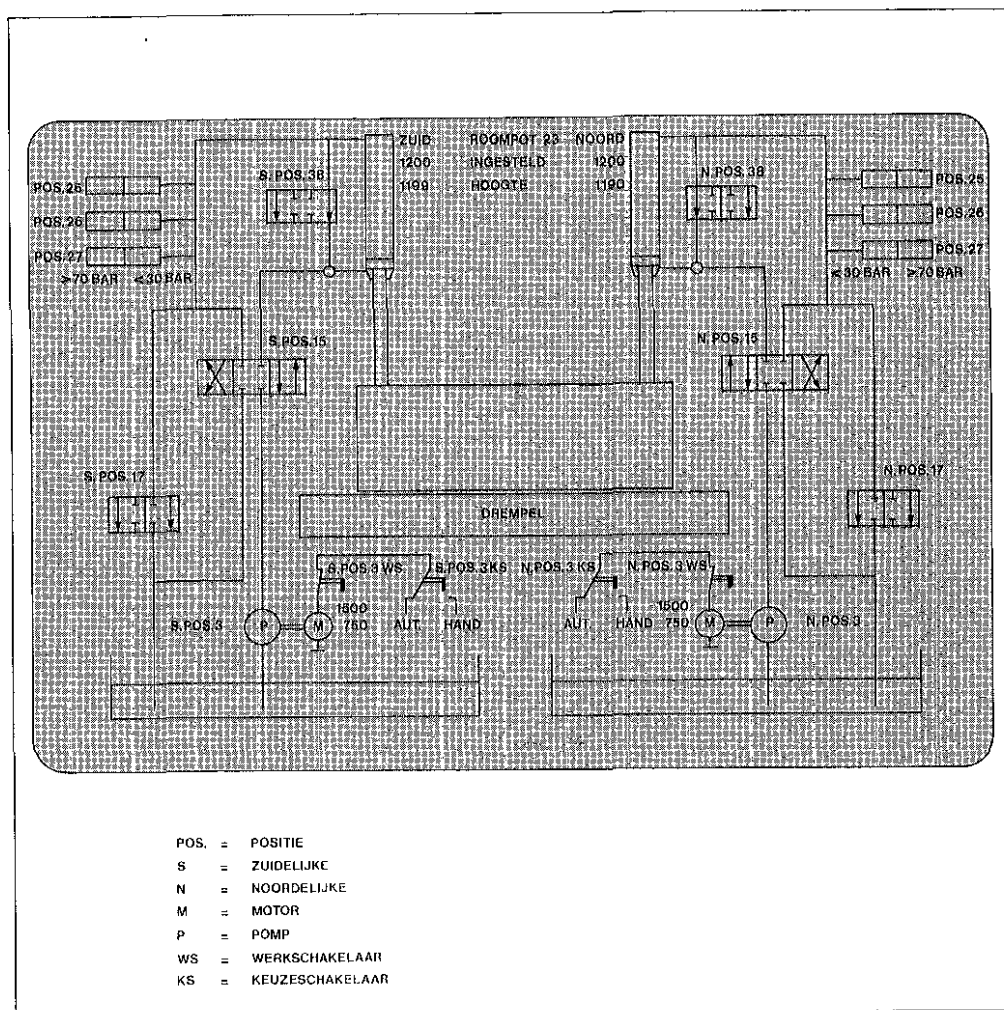


Fig. 4. Grafische weergave van de schuivenstand in de Hammen



beproefd. De werkelijkheid werd zo dicht mogelijk benaderd door een echte hydraulische installatie aan te sluiten en echte, zij het verkorte cilinders van tegendruk te voorzien. Daarmee kon het dynamisch schuifgedrag goed worden gesimuleerd. Veel fouten en verrassingen leverde de proef niet op. De leverancier had de apparatuur al eens eerder getest met een computer-simulatie. Er volgden nog klimaatbeproevingen, waarbij de installatie op temperatuur-, vocht- en zoutgevoeligheid werd onderzocht; daarna kon de serieproductie beginnen.

In januari 1984 werd de eerste eenheid ingebouwd in een verkeerskoker. Dit deel van het project kan worden afgesloten wanneer in september de eerste schuif met installatie met succes is beproefd en de inbouw in de kering op gang begint te komen. De leverantie is gereed met de oplevering van het laatste gedeelte, de Centrale Computer. Dit gebeurt vermoedelijk midden 1986.

Communicatiemiddelen

De 62 schuifinstallaties van de Oosterscheldekering staan verspreid over een afstand van bijna 6 km. Voor een goede bedrijfsvoering van een zo uitgestrekte installatie is de communicatie van vitaal belang, met name bij storing en het plegen van onderhoud. Daarom zijn in het complex niet minder dan vijf verschillende communicatiesystemen aangelegd: een gewone telefooninstallatie, een batterijloze telefooninstallatie voor de middenspanningsstations, een geluidsinstallatie, een oproepinstallatie en een installatie voor werk-spraak-verbindingen.

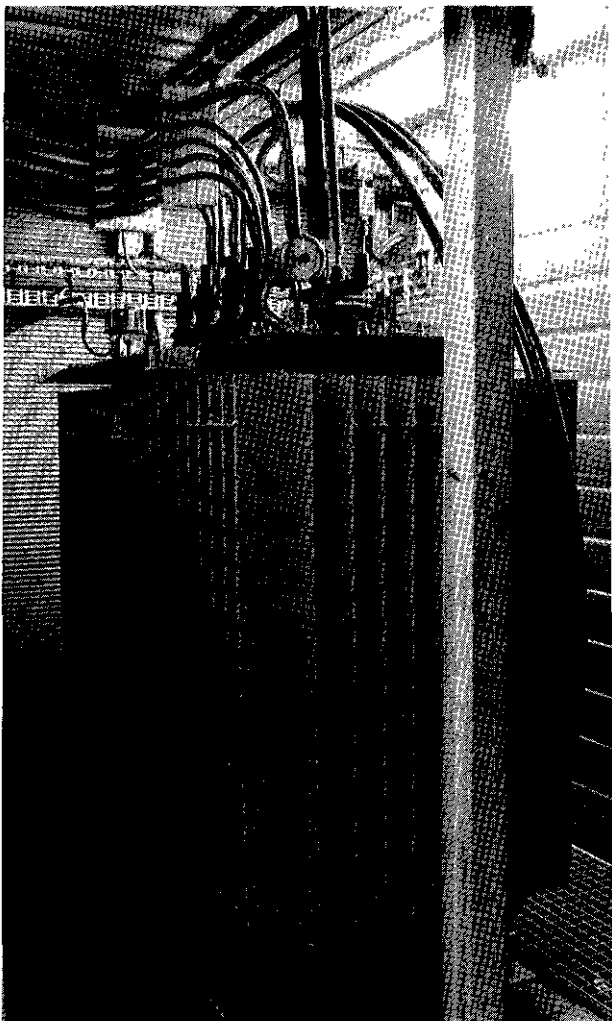
De gewone huistelefoon is op het openbare net aangesloten en omvat in het Bedieningsgebouw een kleine huiscentrale, waaraan een aantal toestellen voor interne communicatie is verbonden. Naast de nodige toestellen in kantoorruimten en dergelijke worden er ook toestellen aangebracht in de elektro-technische ruimten, zoals de schakelruimte en de diesel-centrales. Op de bedieningslessenaar in de Centrale Bedieningsruimte wordt een tafelt toestel geplaatst en voorts komt in elk van de 62 elektro-containers in de verkeerskokers een wandtoestel.

Voor het verrichten van schakelhandelingen in de middenspanningsinstallatie is een directe verbinding tussen alle locaties onderling van groot belang, ook en juist bij storingen. Hier is gekozen voor een batterijloze telefooninstallatie, die zonder voedingsspanning werkt en dus ook functioneert bij onderbreking van de energievoorziening. De zeventien middenspanningssta-

tions, de middenspanningsschakelruimten in het bedieningsgebouw en de bedieningslessenaar in de Centrale Bedieningsruimte worden op deze installatie aangesloten.

Via de geluidsinstallatie worden algemene berichten en waarschuwingen omgeroepen. Ook kan ze dienen voor het oproepen van personen die zich in de containers of de verkeerskokers bevinden. Via deze installatie wordt tevens automatisch een waarschuwingsignaal gegeven voor begonnen wordt met het

Het transformator-compartiment in de transformator-container



bewegen van de schuiven. Er zijn vijf groepen: twee in de Roompot en één in elk van de beide andere sluitgaten en dan nog een in de elektrotechnische ruimten in het 'Ir J. W. Topshuis'. Deze groepen kunnen afzonderlijk en gezamenlijk worden ingeschakeld.

De bedieningspost is opgesteld bij de telefoniste; maar het is ook mogelijk de bediening om te schakelen naar de lessenaar in de Centrale Bedieningsruimte. Bij elke schuif worden luidsprekers gemonteerd op de pijlers, in de verkeerskoker en in de containers.

Aan de telefooninstallatie is een installatie verbonden voor de oproep van personen die een ontvanger bij zich dragen met een eigen toestelnummer. De drager van een ontvanger kan worden opgeroepen vanaf elk telefoontoestel dat op de centrale is aangesloten. De oproepene hoort een oproepsignaal en kan op een willekeurig toestel een toestelnummer bellen dat hem automatisch verbindt met de oproeper.

Voor het in bedrijf stellen, het inregelen, het onderhoud en het opsporen van storingen in de werktuigkundige en elektrische installaties moet communicatie mogelijk zijn tussen een groot aantal plaatsen in het complex. Daartoe zijn op alle plaatsen waar zich apparatuur bevindt speciale contactdozen aangebracht, waarop hoofd- of handtelemicrofoons kunnen worden aangesloten. De contactdozen zijn verdeeld in 66 groepen: alle dozen van één groep zijn met elkaar verbonden. Het aansluiten van twee telemicrofoons volstaat om een verbinding tot stand te brengen. Communicatie tussen de verschillende groepen is mogelijk door ze te schakelen op één van de vier verbindingslijnen.

Energievoorziening

De elektrische installatie is al uitvoerig beschreven in Bericht 101 (augustus 1982), waarnaar hier korthedshalve verwezen wordt. Een paar woorden nu nog over de energievoorziening. Als de bouw van de Oosterscheldekering achter de rug is, zal de energie voor de kering in rust worden betrokken van de Provinciale Zeeuwse Energie Maatschappij, via het eiland Schouwen. In het 'Ir. J. W. Topshuis' is een ruimte voor de aansluiting gereserveerd. De aansluiting kan pas tot stand worden gebracht wanneer de kering in de sluitgaten Hammen en Schaar gereed is. Maar ook daarvoor al is er energie nodig. Voor het sluitgat Schaar kan de benodigde energie worden betrokken van een reeds aanwezige dieselcentrale op Neeltje Jans.

Voor de Hammen heeft de P.Z.E.M. opdracht gekregen een tijdelijke aansluiting te realiseren nabij de damaanzet Schouwen. De energie wordt gebruikt voor kranen en andere werktuigen die betrokken zijn bij de voltooiing van de kering, maar ook voor de definitieve installaties die zich in de verkeerskokers bevinden. De apparatuur die daar staat opgesteld is zeer gevoelig en mag niet langdurig zonder spanning blijven.

De tijdelijke dieselcentrale op Neeltje Jans zal uiteindelijk worden ontmanteld. De diesel-elektrische aggregaten zullen worden gebruikt bij de opbouw van de definitieve krachtcentrale voor operationele situaties, die wordt ondergebracht in het bedieningsgebouw, het 'Ir. J. W. Topshuis'. Een en ander verloopt in fasen. Een begin werd al gemaakt met het reviseren van aggregaten.

In het vlakke landschap van de Oosterschelde is de stormvloedkering een hoog oprijzend kunstwerk, al valt dat niet op doordat hij ook zo enorm lang is. Boven de kering torren nog weer de cilinders uit van de hefinrichtingen voor de schuiven. Zij zullen een enorme aantrekkingskracht hebben op bliksem in de buurt. Men moet dan ook stellig rekenen met blikseminslag in de cilinders of de schuiven. De kans daarop is tien keer groter dan op een inslag binnen de bebouwde kom. Voorkomen dient te worden dat daardoor grote schade ontstaat, of dat de veiligheid van Zeeland wordt bedreigd doordat de kering tijdelijk buiten werking wordt gesteld.

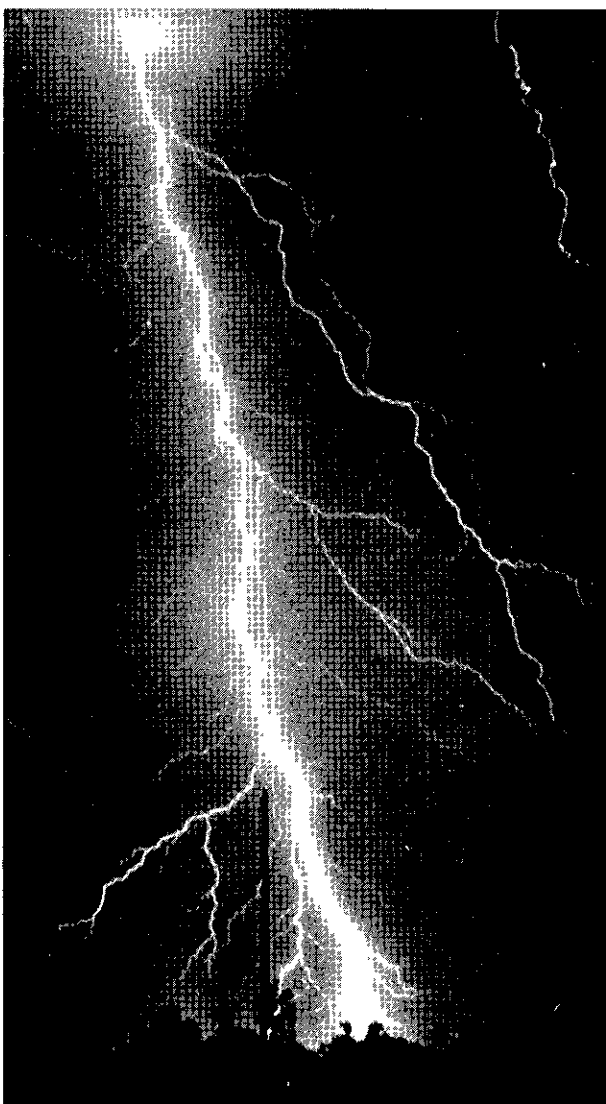
Bliksembeveiliging

Er zijn uitgebreide maatregelen voorgesteld om aan blikseminslagen het hoofd te kunnen bieden. Gezien de statistische onweersverwachting voor het gebied rondom de Oosterscheldeking moet gerekend worden met één à twee inslagen per jaar.

Een blikseminslag kenmerkt zich door zijn korte duur en zijn hoge energie-inhoud. In enkele micro-seconden bereikt de ontladstroom zijn maximale waarde, die wel 20 kilo-Ampère kan bedragen. De korte stijgtijd van de stroom veroorzaakt dat de inslag een hoogfrequent gedrag krijgt. De door de ontladstroom veroorzaakte hoge spanningen worden dan niet meer alleen bepaald door de weerstand van het ontlaadcircuit, maar in hoge mate door de inductieve weerstand die volgt uit de geometrie van het kunstwerk. De bliksem zal, met andere woorden, de kortste weg naar de aarde zoeken en zich niet veel gelegen laten liggen aan de weerstand die onderweg wordt ondervonden. Hij laat zich niet meenemen door een aardleiding die een omweg maakt, maar slaat dwars door centimeters dikke betondekkingen heen om de kortere weg via het wapeningsstaal te kiezen.

Een voorbeeld: een gemiddelde blikseminslag met een stijgtijd van één micro-seconde en een topwaarde van de ontladstroom van 25 kilo-Ampère veroorzaakt een spanningsverschil van 4 kilo-Volt per meter. Het potentiaal-verschil tussen de bovenkant van de cilinder en de aarde, die 30 meter van elkaar liggen, kan dan 120 kV bedragen.

Nu zijn er bij de overgangen van de betonnen elementen naar de stalen constructies op tal van plaatsen isolerende materialen aangebracht, in de eerste plaats om corrosieve elektrolytische kruipstromen een halt toe te roepen. De stalen cilinders en de cardanbalken

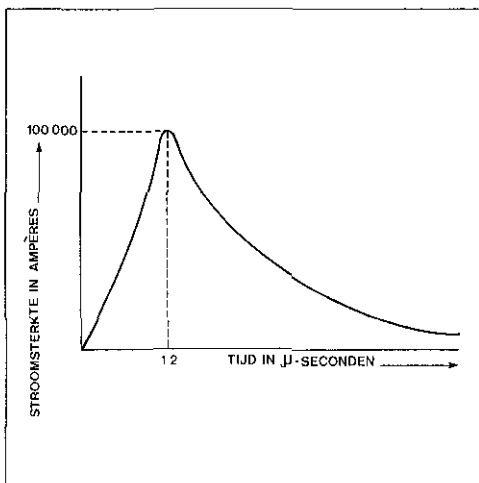


zijn geïsoleerd op de hamerstukken opgesteld en worden met geïsoleerde spanstaven bevestigd. In de lageringen van de cilinder in het cardan, in die van de cardanbalk, in de cardanstool en in het onderoog van de zuigerstang zijn isolerende kunststofslijven aangebracht. Ook de schuifgeleidingen van aluminiumbrons zijn geïsoleerd op de pijlers gemonteerd. Bij blikseminslag in een cilinder of een schuif zullen er echter zulke grote potentiaalverschillen ontstaan tussen de onderling geïsoleerde delen, dat de isolatielaag op verscheidene punten kan doorslaan.

Schade

In de cardanbalken is elektrische apparatuur ondergebracht voor de hoogtemeting en voor de besturing van bij de cilinder geplaatste hydraulische onderdelen. Deze apparatuur is door middel van kabels verbonden met de elektrische installaties in de verkeerskokers, die beschikken over een veiligheidsaarding. De elektrische apparatuur in en nabij de cardanbalk heeft dus een lage potentiaal ten opzichte van de aarde. Juist daarom is er een zeer grote kans dat er overslag zal plaatsvinden van de cardanbalk of de overige constructies naar de elektrische apparatuur, waardoor ook die op een zeer hoog potentiaal ten opzichte van de aarde kan worden gebracht. Maar deze apparatuur is tegen zulke hoge spanningen totaal niet bestand. De isolatie zal doorslaan en een deel van de apparatuur zal zelfs kunnen verbranden. Voorts zal er via de elektrische leidingen, maar eveneens door de hydraulische leidingen die verbonden zijn met de cilinders, een hoge spanning worden toegevoerd aan de apparatuur in de verkeerskokers, niet alleen omdat een deel van de afleidstroom langs deze weg afvloeit, maar ook door inductie in de leidingen. Het zwaarst te verduren krijgen het onder deze omstandigheden de besturende en bewakende microprocessors.

De spanning die door de leidingen in de verkeerskoker wordt gebracht heeft, gezien het feit dat de verkeerskoker zich redelijk dicht bij de aard-potentiaal bevindt en door demping ten gevolge van de reactantie van de leidingen niet meer zo'n erg hoge waarde, maar het gaat toch altijd nog wel om enkele duizenden Volts. De ingangen van de micro-processors zijn slechts beveiligd tegen overspanningen van maximaal 1000 Volt. Blikseminslag zal, indien er geen aanvullende beschermende maatregelen worden getroffen, een desastreuze uitwerking hebben op de micro-processors. De gedrukte circuits in het innerlijk ervan zullen smelten en de bedrading wordt vernield. En



aangezien de elektrische installaties in de opeenvolgende verkeerskokers door middel van het voedingsnet met elkaar verbonden zijn, zal blikseminslag in één cilinder schade veroorzaken in de elektro-technische apparatuur van een aantal opeenvolgende verkeerskokers. De stalen constructie-onderdelen zullen door hun robuuste uitvoering en hun afmetingen weinig of geen schade ondervinden van de ontladstroom. Wel zal schade kunnen optreden aan de kunststof-isoleringen tussen de verschillende onderdelen. Een rechtstreekse inslag op een cilinder kan beschadiging veroorzaken van de spanbouten in het cilinderdeksel. Het meest kwetsbare onderdeel is de overgang van de cilinder naar de zuiger. Verwacht wordt dat de overslag zal verlopen via de lagering en dat een grote stroomdoorgang daar beschadigingen zal veroorzaken.

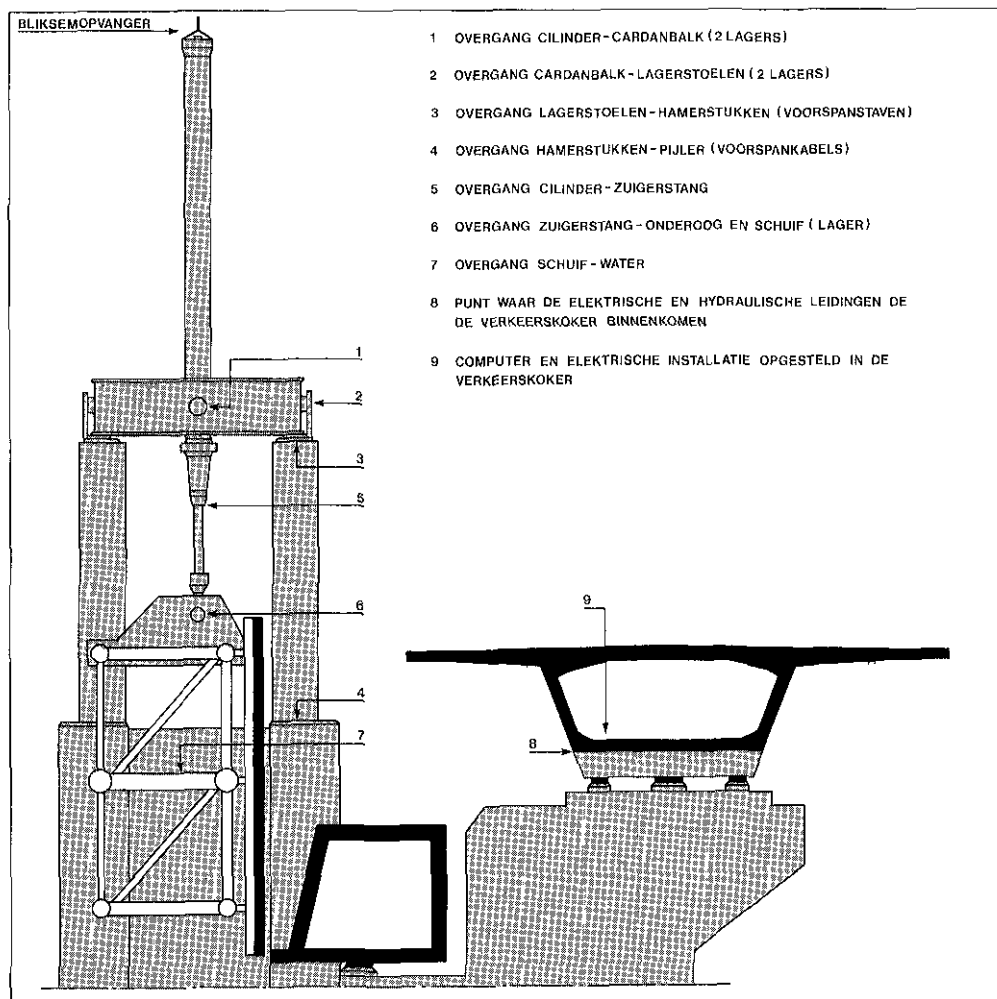
Nagenoeg geen schade zal ontstaan aan de betonnen elementen en het wapeningsijzer. Toch zijn er enige kritieke onderdelen te noemen: gevaarlijk wordt het wanneer een hoge ontladstroom wordt afgevoerd door de spankabels die hamerstuk en pijler verbinden of via een overslag tussen deze spankabels en de bewapening in de pijler. Ook de isolatie tussen de spanstaven waarmee de cardanbalk op het hamerstuk is bevestigd, is een teer punt, wanneer overslag plaatsvindt op het wapeningsijzer in het hamerstuk. Eveneens kwetsbaar is de isolatie tussen de schuifgeleidingen en de bewapening van de pijlers. Het gevaar bestaat dat bij het doorslaan van deze isolatielagen metaaldeeltjes smelten die een blijvende kortsluiting teweeg brengen op een niet controleerbare en onbereikbare plaats. Ook al zou zo'n kortsluiting zich slechts voordoen op één plaats, dan zal onvermijdelijk elektrolytische corrosie ontstaan.

Fig. 1. Verloop van een bliksemontlading. De energie die omgezet wordt, zou bij het energiebedrijf maar f 25,- kosten

Maatregelen

De ideale oplossing om schade ten gevolge van blikseminslag te voorkomen zou de doelbewuste opvang van de bliksem zijn via bliksemafleidings die de ontladingsstroom volledig buiten alle constructiedelen om naar de aarde afvoeren. Bij veel waterstaatswerken worden de kwetsbare onderdelen beschermd door hoogliggende objecten in de omgeving, hetzij een hoogliggende verkeersweg met lichtmasten of leuningen die geaard zijn via de wapening, hetzij door gebouwen of heftorens die voorzien zijn van bliksemafleidings. Bij de Oosterscheldekering is de toestand zoals uiteengezet aanmerkelijk ongunstiger. De cilinders torenen boven het kunstwerk uit en zullen blikseminslagen via de hydraulische en elektrische leidingen naar de kwetsbare apparatuur doorgeleiden; en hier

Fig. 2. Kritieke punten in de Oosterscheldekering met betrekking tot de bliksembeveiliging



kan niet zonder meer een afleiding buitenom gemaakt worden die het kunstwerk als een kooi van Faraday omsluit, zoals bij gebouwen en torens gebruikelijk is.

De beste beveiligingsmethode zou bestaan uit een reeks hoge masten tussen de cilinders, onderling met spandraden verbonden, een techniek die bij hoogspanningslijnen wordt toegepast. Hoewel daarmee rechtstreekse inslag op de cilinders en schuiven voorkomen kan worden, blijft het probleem van de afleiding naar de aarde bestaan. Afleiding via de wapening van het hamerstuk en de pijler zou tot grote spanningsverschillen leiden tussen de wapening en de spanstaven van de cardanbalk, en dan zit men nog met hetzelfde probleem als bij een directe inslag op de cilinders. De enige afdoende afleiding zou een aantal leidingen zijn die buitenom de hamerstukken en de pijlers liepen en wel zo dat geen overslag zou kunnen plaatsvinden naar het wapeningsijzer en de stalen constructies van schuiven, geleidingen, cilinders, trappen en bordessen. Praktisch gesproken is deze wijze van afleiding onmogelijk, terwijl opvangmasten en spandraden buitengewoon kostbaar zouden zijn, nog afgezien van de esthetische bezwaren. Van deze methode is dus afgezien.

De oplossing wordt nu gezocht in een totaal andere richting. De cilinders zullen als opvangpunt moeten dienen voor de bliksemontlading. Door juist opzettelijk de kortste weg binnendoor voor de bliksem te banen zal men trachten ongelukken en schades te voorkomen. De geïsoleerde stalen constructies en wape-

ningsnetten worden doorgesloten met met gas gevulde overspannings-afleiders, zodat geen overslag meer zal plaats kunnen vinden op oncontroleerbare plaatsen. Zulke koppelingen zullen moeten worden aangebracht tussen de stoel van de cardanbalk en een aan het wapeningsijzer van het hamerstuk gelaste aardstek en ook tussen het bevestigingspunt van de spanstaven aan de onderzijde van het hamerstuk en de wapening. De impedantie van de afleiding via het wapeningsijzer dient zoveel mogelijk verlaagd te worden om dat deel van de ontladestroom dat afvloeit via de zuiger, zo klein mogelijk te houden. Daarmee kan beschadiging worden voorkomen van de afdichtende manchet.

Om dit te bereiken zal de wapening in het hamerstuk volledig worden doorgelast, en zullen extra aardstekverbindingen tussen pijler en hamerstuk worden aangebracht. Naarmate deze verbindingen beter zijn zal er ook minder stroom afvloeien over de spankabels. Bovenop elke cilinder wordt een stalen pijp gemonteerd die zal dienen als opvangpunt voor de bliksem, zodat er geen schade optreedt aan de spanbouten van het cilinderdeksel.

Met behulp van gevlochten koperen kabels wordt een laag-Ohmige overbrugging tot stand gebracht van de lagers van het cardan en van het onderoog van de zuiger. Alle elektrische apparatuur die bij de cardanbalk is opgesteld wordt bovendien voorzien van overspannings-afleiders, evenals de elektrische en hydraulische leidingen die vanaf de pijlers de verkeerskokers binnenkomen.

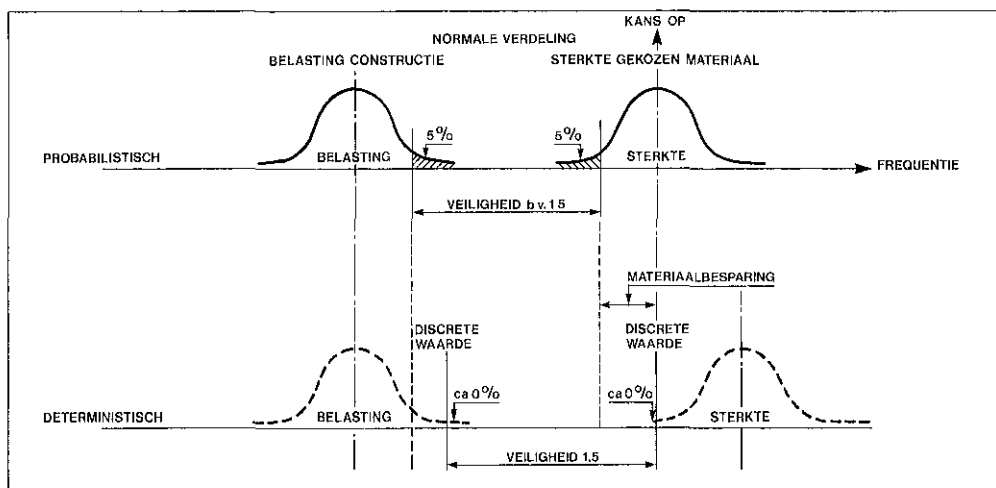
Met een constructie als de Oosterscheldekering hoopt men een zeker doel te bereiken; in casu bescherming van het achterland tegen overstromingen. De kans dat dit doel bereikt wordt, hangt in belangrijke mate af van de complexiteit van het werk, de bouwkwaliteit van de aannemer en een adequate controle door de directie.

Risico-analyse

De prenatale periode van de constructie valt uiteen in een ontwerpfase en een bouwphase. In de eerste fase wordt doorgaans een aantal alternatieve technische oplossingen ontwikkeld en met elkaar vergeleken. Bijna alles is in voorschriften vastgelegd en vaak worden er controleberekeningen geëist. Bij de uitvoering is veel minder vastgelegd, en kent men doorgaans geen controle-systeem. Het is een veel oppervlakkiger proces, waarin de omstandigheden snelle beslissingen forceren. Tijdens de bouw treedt dan ook het grootste aantal ontsporingen op. Wat is daartegen te doen? In absolute zin niet veel, maar toch zou een verkenning vooraf van de risico's die men bij de bouw gaat lopen, meer inzicht kunnen geven in de aard en de specifieke risico's van de uitvoering. Risico's kan men tenslotte alleen beperken wanneer men ze kent.

Risico's – dat zijn dus de kansen op een ongewenste gebeurtenis vermenigvuldigd met de daarbij te verwachten schade – kunnen en moeten nooit geheel worden uitgesloten: het is niet nodig, niet mogelijk en het is onaanvaardbaar duur het zelfs maar te proberen. Wel moeten ze tot een aanvaardbaar minimum worden teruggebracht. Wil men de risico's analyseren, dan moet men in de eerste plaats meer weten over de kans dat ze optreden. De leer die dit beschouwt, heet probabilistiek, leer der waarschijnlijkheid.

Fig. 1. Deterministische en probabilistische ontwerpmethoden in onderlinge vergelijking



Tegenwoordig, en dat is ook het geval geweest bij de schuiven en bewegingswerken voor de Oosterscheldekering, ontwerpt men waterbouwkundige en andere constructies veelal volgens een probabilistische aanpak (zie ook Bericht 84, 85 en 86, mei-november 1978). Men bepaalt daarbij de kans dat onderdelen van een constructie bezwijken en de kans dat bepaalde belastingen zullen optreden. Het komt er op neer dat men voor een eigenschap of belasting niet één bepaalde discrete waarde kiest, maar die waarde afleidt uit een verzameling van waarden die ieder een kans van voorkomen hebben (figuur 1).

In het ontwerp neemt men dan die kanswaarden die bij die combinatie een aanvaardbaar risico geven. De probabilistiek is vooral van belang bij een onzeker verschijnsel, zoals golfbeweging, en bij een combinatie van verschijnselen. Bij onzekere verschijnselen is het mogelijk op basis van een aantal gegevens voorspellingen te doen op lange termijn. Bij een combinatie van belastingen valt in te zien dat de kans dat ze alle tegelijk hun extreme waarde bereiken, klein is. De som van belastingen komt bij een probabilistische aanpak lager te liggen dan wanneer men ontwerpt op een optelsom van uitsluitend de allergeunstigste belastingen. Gevolglijk kan er lichter en goedkoper geconstrueerd worden. Deze methodiek dringt in onze dagen door in de algemene bouwnormen; ook de nieuwe Eurocodes hebben dit principe als achtergrond. Voor de Oosterscheldekering werd de toepassing ervan ontwikkeld door de stafgroep Ontwerpmethodieken.

Bij de uitvoering, waar men nogal eens voor onverwachte situaties komt te staan, wordt dikwijls teruggegrepen op beroepservaring. De ontwerper van het werk heeft vooral gekeken naar het eindstadium, het resultaat. Maar voordat de bouw zover is, hebben er eigenlijk zeer veel andere bouwwerken gestaan, waarin de verdeling van de belastingen veelal sterk verschilde van de uiteindelijke. Toch is daaraan veel minder aandacht besteed. De eigenschappen van het werkmaterieel hebben in de tussenstadia van de bouw sterke invloed.

Om qua risico's tot een evenwichtig geheel van ontwerp en uitvoering te komen, bleek vooral analyse van de uitvoering noodzakelijk, temeer daar het onderhavige werk voor een belangrijk deel ver buiten het ervaringsgebied ligt. Voor de bedoelde analyse werd als tegenhanger van de werkgroep Ontwerpmethodieken een groep Uitvoeringsmethodieken ingezet (daarover al Bericht 103, februari 1983).

Bij de uitvoering van een werk gaat het om tijd, kosten en kwaliteit, de laatste te verdelen in materiaalkwaliteit en vormkwaliteit. Vormkwa-

liteit is de kwaliteit die bereikt wordt bij het vervaardigen van een element en vervolgens bij het opeenstapelen of samenbouwen van elementen. Kosten en tijd zijn redelijk te beheersen als men eenmaal weet hoe en hoe snel een bepaalde vormkwaliteit kan worden gerealiseerd.

Maar dat is nu juist doorgaans het meest onzekere, omdat men met complexe situaties kan worden geconfronteerd, niet aankan op het weer en dikwijls geremd wordt door tegenslagen op het werk. Het analysesysteem van de uitvoering moest rond de drie bovengenoemde aspecten worden opgetrokken. Vanwege de goede ervaring met de probabilistische aanpak bij de ontwerpmethodieken, wilde men deze methode ook bij de analyse van de uitvoering gebruiken. Zo speelde de probabilistiek al mee bij het beantwoorden van de vraag: hoe groot is de kans dat de opleveringsdatum gehaald wordt?

De keuze van het systeem van analyse is misschien minder belangrijk dan de consequente toepassing ervan als het eenmaal is gekozen. Een systeem kan nooit voor 100% goed zijn.

Als het in enkele situaties niet de verwachte voordelen oplevert, moet dit niet meteen worden aangegrepen om het te verlaten.

Om die uitvoeringsaspecten te kunnen analyseren die van belang werden geacht, zijn onder de werkgroep *Uitvoeringsmethodieken* drie subgroepen ingesteld: TOLE, voor kwaliteitsrisico's en toleranties, RISKOS, voor de risico's van planning en financiën en GEFO, die de technische risico's benaderde door het opstellen van een gebeurtenissen- en foutenboom. De toleranties worden in deze aflevering op een andere plaats besproken. De planning van fabricage en montage van de schuiven was ingepast in de planning van het totale werk. De detailplanningen waren in dit geval voor verantwoordelijkheid van de aannemer.

Risico's van de detailplanning zijn dan ook niet door RISKOS beschouwd, omdat de schuiven en bewegingswerken volgens overeenkomst werden gerealiseerd.

GEFO had als taak het opsporen van ongewenste gebeurtenissen. Aanvankelijk dacht men daarbij gebruik te maken van de technieken van de gebeurtenissen- en foutenboom, vandaar ook de naamgeving van deze groep. In zo'n boom komen alle relaties van een gebeurtenis met andere gebeurtenissen naar voren en kan de kans van voorkomen ervan worden berekend. Al spoedig bleek dat men deze techniek alleen in zeer complexe of zeer gedetailleerde aangelegenheden nodig had. Het rendement van gedetailleerde uitwerking was gemiddeld klein en zou bovendien veel

mankracht vereisen. Dat komt doordat detailinformatie over de samenhang van gebeurtenissen vaak ontbreekt en omdat het grootste aantal fouten wordt veroorzaakt door menselijk falen, waarvoor geen bruikbare risico-getallen voorhanden zijn. Uiteindelijk heeft men bij GEFO toch een werkwijze gevonden die productief was in vergelijking met de geleverde inspanning. De onafhankelijke instituten TNO en KEMA maakten per onderdeel een werkbeschrijving waarin alle handelingen werden opgesomd. Vervolgens stelden zij een lijst op van mogelijke ongewenste gebeurtenissen. Dit werd de primaire analyse genoemd.

In de secundaire analyse werden de in het formulier genoemde acties verder uitgewerkt. Het ging dan vooral om ongewenste gebeurtenissen met een relatief hoog risico-getal. Alle risico's wegnemen is namelijk net als bij het ontwerp onevenredig duur. De secundaire analyse kan het beste gebeuren door de ontwerpers zelf; zij kennen immers als geen ander de details die spelen, want ze zijn er doorgaans al jaren mee bezig. Men onderscheidt de twee soorten acties bij een ongewenste gebeurtenis, preventieve en responsieve. Preventieve acties hielden in dat het ontwerp werd aangepast of dat de wijze van werken werd veranderd. Bij responsieve acties werd het risico van de ongewenste gebeurtenis geaccepteerd, maar hield men extra materiaal – een reservepijler bij voorbeeld – of reserve-materieel – sleepboten, bestortingsschepen – in reserve beschikbaar. De responsieve acties werden opgenomen in een afzonderlijk deel van het draaiboek voor de uitvoering. Indien zich een ongewenste gebeurtenis zou voordoen, kon men het draaiboek erbij nemen en de daarin neergelegde instructies opvolgen. Daarmee voldeed de GEFO-groep aan een tweede taak: zij moest zulke duidelijke scenario's schrijven dat in de eerste plaats paniek en in de tweede plaats wilde improvisatie kon worden voorkomen.

De theorie geeft aan dat na het nemen van acties het geheel opnieuw moet worden bekeken. In de praktijk blijkt dat niet nodig. Bij het uitwerken van de acties kon men al aangeven in hoeverre de risico's erdoor werden vermindert. Een bijkomend voordeel is dat het voor deze analyses nodig was het hele werk nog eens met alle betrokkenen door te lopen. Daarbij komen doorgaans nog weer allerlei zaken naar voren, en de direct betrokkenen realiseren zich – vaak in stilte – dat zij op bepaalde punten nog eens extra moeten letten. Doordat men het gehele werkonderdeel nog eens doorloopt, komt ook naar voren waar het aan precieze uitwerking ontbreekt, waar men

nog witte vlekken heeft zitten. Duidelijk werd, dat vooral mensen die met volkomen nieuw en onbekend werk bezig waren, van de GEFO-analyse profiteerden en er behoefte aan hadden. Met het aangeven van witte vlekken en zwakke plekken bereikt men op zijn minst dat van te voren bekend is waar bij de uitvoering in het bijzonder op moet worden gelet en met welke middelen. Er ontstaat een plan voor selectieve controle. Daarnaast kan de risico-informatie ook goed van pas komen bij het afwegen van alternatieven.

In het algemeen kan na de opgedane ervaring worden gesteld dat het bouwen van elementen *als een bekende techniek werd gezien waarvoor diepgaande risico-analyse niet meer nodig was. Er werd vaker een beroep op gedaan bij problemen die samenhangen met de samenbouw en montage. Ook werd duidelijk dat een aanpak als boven geschetst alleen zin heeft wanneer men staat voor een groot en totaal onbekend type werk. Een goede uitvoerder staat bij bekende werkzaamheden als vanzelf stil bij de risico's die hij neemt en hij denkt vooruit voor het geval er toch iets misgaat. Op onbekend terrein was de GEFO-analyse in staat de risico's niet uit te sluiten, maar beslist wel, ze te verkleinen.*

Zoals bekend wordt de Oosterscheldekering opgebouwd uit geprefabriceerde elementen, die worden opgestapeld op een bouwterrein onder water. De voornaamste losse elementen zijn de onder- en bovenmatten, de pijlers, de dorpel- en bovenbalken, de hamerstukken, de bewegingswerken en de schuiven.

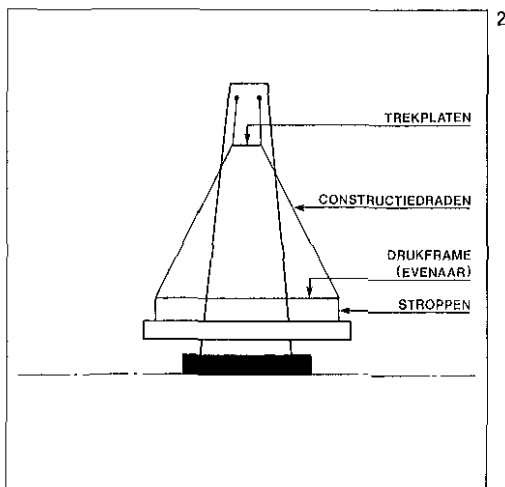
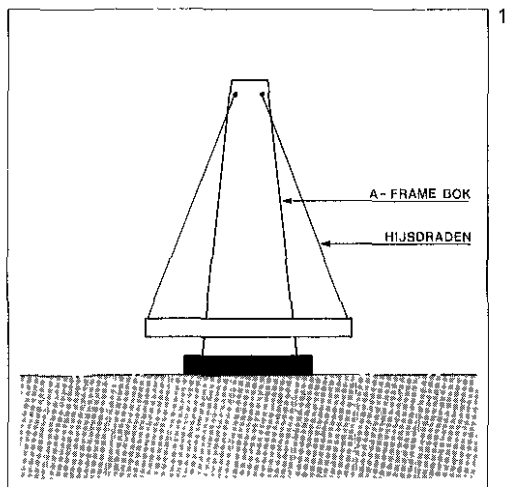
Hijframes voor de elementen

Voor het plaatsen van matten en pijlers werd speciaal materieel ontwikkeld, met name de werkschepen 'Cardium' en 'Ostrea'. De overige hier opgesomde elementen zouden moeten worden geïnstalleerd door een speciale drijvende bok. Dit werd de 'Taklift IV'. Om een indruk te geven van de taken waar deze bok voor staat, geven we een lijstje van de elementen die hij achtereenvolgens moet plaatsen, ieder met hun stukgewicht:

landhoofd-verkeerskokers	1 × 1521 t; 5 × 1770 t
moten landhoofd-verkeerskokers	617 t
verkeerskokers	1300 t
hamerstukken	480 t
schuiven	260 tot 480 t
bewegingswerken	75 tot 140 t
dorpelbalken	2700 t
bovenbalken	1200 t
overige elementen	max. 510 t

Het werd al snel duidelijk dat behalve de grote bok ook zeer zwaar hulpmaterieel zou moeten worden ingezet.

Een eerste probleem bij de voorbereiding van de plaatsingswerkzaamheden van de 'Taklift IV' betrof de hijsdraden. Rechtstreekse bevestiging ervan aan het te hijsen element is om een aantal redenen niet mogelijk: hijsdraden kunnen vanuit de bok alleen maar vrijwel verticaal naar beneden hangen, omdat de draden anders niet tussen de wangen van de schijven blijven lopen. Bovendien zou de hoek die de hijsdraden met het te hijsen element maken horizontale reactiekrachten oproepen



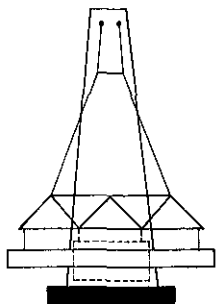


Fig. 1. Rechtstreekse bevestiging van de hijsdraden. In de praktijk kan dit niet

Fig 2. Noodzakelijke hijsconfiguratie

Fig 3. Drukframe als vakwerk

De 'Taklift IV' plaatst een verkeerskoker

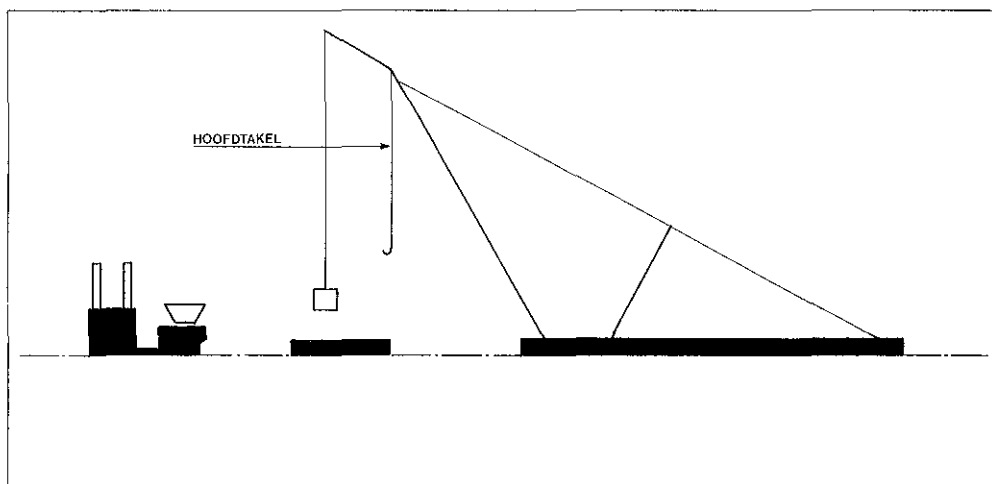
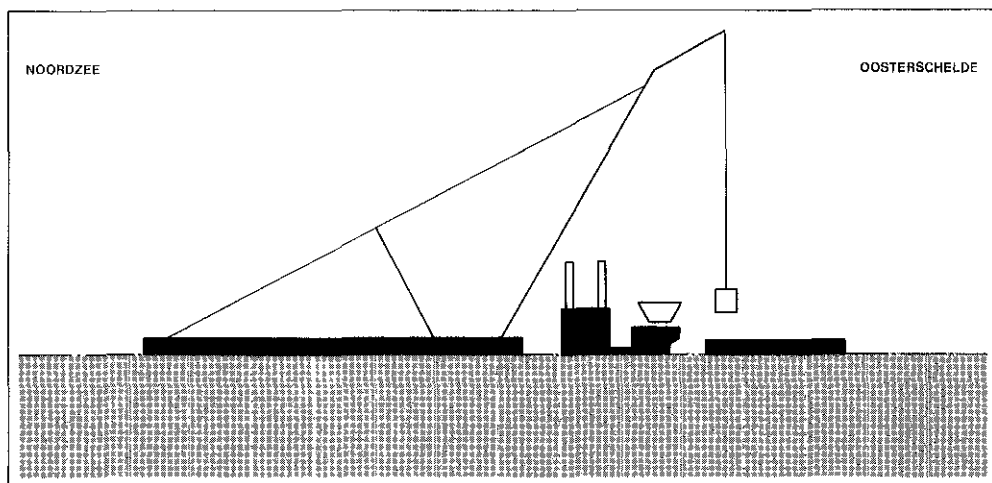


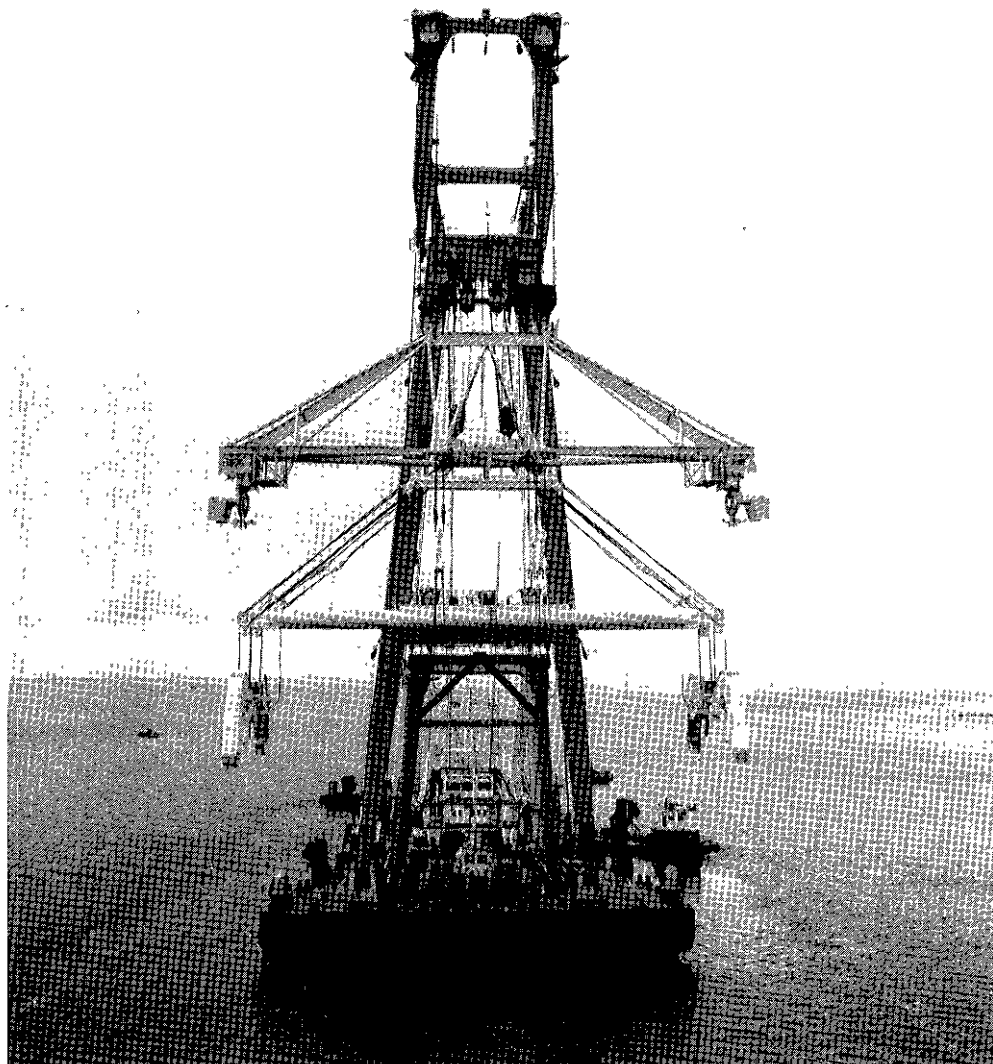
die te grote drukkrachten veroorzaken in dat element. Er is dus hulpgereedschap noodzakelijk en wel een stel trekplaten en een drukframe, dat men ook wel evenaar noemt (figuur 2). De trekplaten mogen niet te hoog zitten, want dan kan er niet voldoende hoog worden gehesen. Aan de andere kant mag de afstand tussen de trekplaten en het drukframe niet te klein zijn, want dan gaan de kabels te schuin staan en worden de drukkrachten in het frame te groot. Een compromis tussen deze eisen was wel te vinden.

Aanvankelijk werd gedacht dat men zou kunnen volstaan met één universeel hijsframe voor alle te plaatsen elementen. Het drukframe zou dan moeten worden voorzien van een groot aantal hijsogen, sommige in de buurt van het midden van het drukframe. Het gevolg hiervan was echter dat in het drukframe niet

Foto rechts: De 'Taklift IV' met hoofdtakel en extra-top, ieder met bijbehorend drukframe

Fig 4, 5. Alternatieve posities van de 'Taklift IV' bij het samenbouwen van de Oosterscheldekering





alleen drukkracht moest worden opgenomen, maar ook een buigend moment. Daarom moest het drukframe worden uitgevoerd als een vakwerkligger. Aanvankelijk leek het erop dat alle problemen met een zo uitgevoerd vakwerkframe zouden kunnen worden opgelost. Maar toen werd de lengte bekend van de landhoofdverkeerskokers, die de wal met de eerste pijler verbinden: 60 en 80 m! Dat hield in dat het universele frame zou moeten worden verlengd, en daardoor werd het te zwaar om de zwaarste elementen te hijsen. Besloten werd, voor de landhoofdverkeerskoker een apart frame te bouwen: *de landhoofdverkeerskokers zijn de langste elementen.* Om het hijsen mogelijk te maken moesten de kokers worden uitgevoerd in licht beton, moet in vijf gevallen assistentie worden ingeroepen van een tweede bok, wordt het frame zo licht mogelijk uitgevoerd en wordt

de 'Taklift IV' bovendien, met incidentele bewilliging van de Arbeidsinspectie, met 10% overbelast. En dan gaat het net. Om het frame zo licht mogelijk te maken wordt het rechtstreeks op de landhoofdverkeerskoker bevestigd, dus zonder hijsdraden. Het frame neemt dan wel de drukkracht op, maar de landhoofdverkeerskoker zorgt voor de ondersteuning tegen uitknikken. Het frame kan evenwel schuiven door de knikondersteuning, want anders zou de drukkracht alsnog aangrijpen op de landhoofdverkeerskoker. Op ieder van de vier hoekpunten wordt de koker gehesen met één enkele voorgespannen streng die bestaat uit 246 draden van 7 mm doorsnede. Deze streng is alleen met de bodem van de koker verbonden, om geen buigende momenten in de kabel te veroorzaken. De hulp van de extra-bok kan maar van zeer

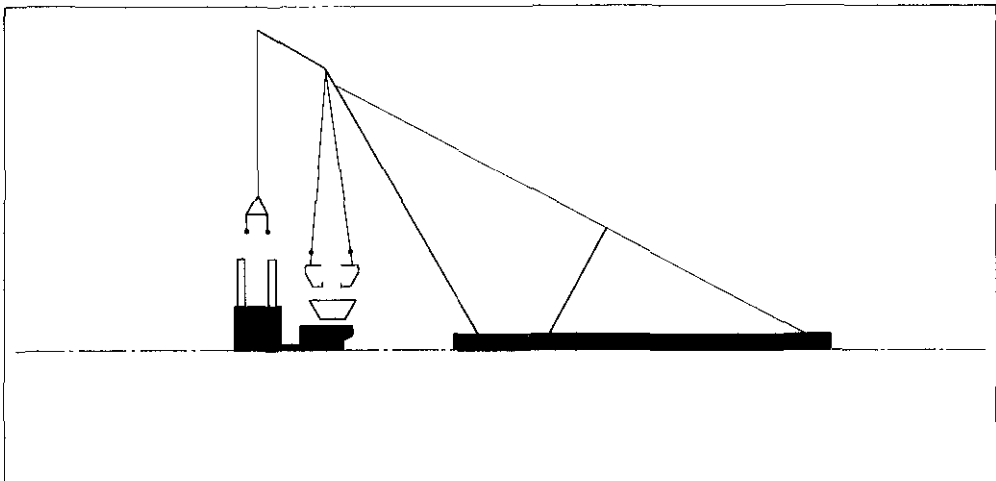
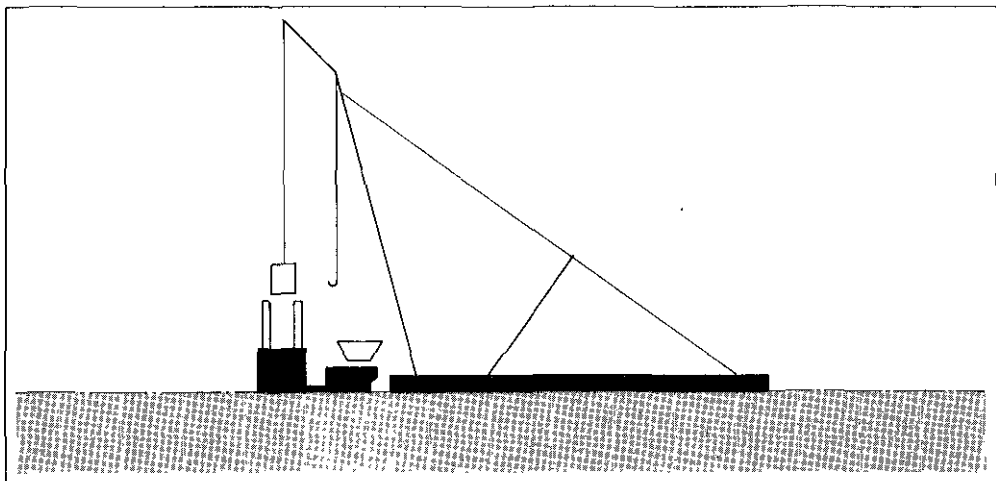
beperkte omvang zijn. De 'Taklift IV' kan zijn last maar zeer weinig uit het midden verplaatsen, omdat hij anders in aanvaring komt met het talud van de dam aanzet.

Bij de verdere uitwerking van het universele frame bleek dat de plaatsing van schuiven, bewegingswerken, hamerstukken en verkeerskokers met de 'Taklift IV' zonder extra top, en ook het voor de bok brengen van pontons met te hijsen elementen aan boord, alleen mogelijk zou zijn wanneer gewerkt werd vanaf de Noordzeezijde.

Het nadeel daarvan is, dat de te plaatsen onderdelen dan op enige afstand van de kering moeten worden opgepakt en dat er mee gevaren moet worden. Bij de ene laagwaterkentering zou de ponton met de onderdelen worden voorgebracht en pas bij de volgende laagwaterkentering zou de plaatsing kunnen

Met behulp van de hoofdtakel wordt een verkeerskoker getild

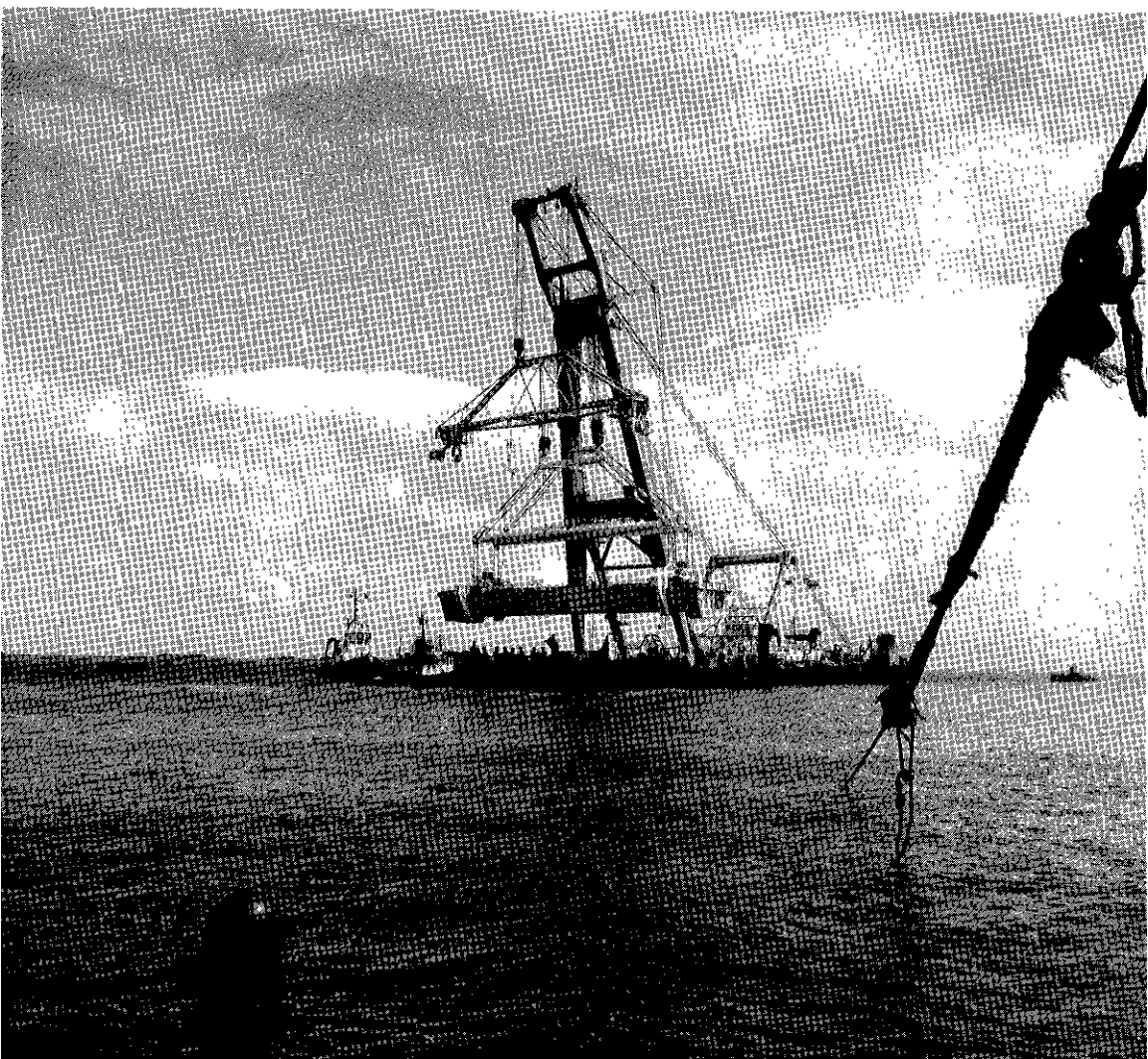
Fig. 6, 7. Alternatieve takels voor de 'Taklift IV'



geschieden. Voorbrengen van pontons met lading zou alleen vlak voor de laagwaterkentering kunnen, omdat alleen dan de voordraden van de 'Taklift IV' kunnen worden gevierd. Vanwege de stroomomstandigheden zou de cyclustijd voor één plaatsing zodoende zes uur langer worden dan aan de Oosterscheldezijde. De ruwere omstandigheden aan de Noordzeezijde zouden de werkbaarheid daar nog eens extra verminderen, en dat was een reden temeer om alleen bij de laagwaterkentering te werken. Het universele frame zou alleen vanaf de Noordzeezijde zonder extra-top kunnen worden gehanteerd, omdat de bewegingswerken aan de Noordzeezijde moeten worden geplaatst. Om de cyclustijd te verkorten en de gevoeligheid voor slecht weer te verkleinen overwoog men vervolgens de 'Taklift IV' aan de Noordzeezijde zo dicht mogelijk tegen de

kering te leggen. De ponton met het te hijsen element zou dan aan de Oosterscheldezijde worden aangevoerd en over de kering heen zou de last worden opgepakt. Het was dan niet meer nodig ermee te varen. Om voldoende ver over de kering te reiken was voor de bewegingswerken echter een extra-top nodig. Voor het plaatsen van de schuiven kon de bok nog tussen de pijlers gaan liggen. In elk geval betekende het dat voor de bewegingswerken een afzonderlijk hijsframe zou moeten worden gebruikt.

Om beschadiging aan de pijlers te voorkomen was het niet toegestaan de ponton met het te hijsen element tegen de pijler aan te leggen. Dit probleem was alleen op te lossen door een afvierpontoon te gebruiken met vele ankerdraden. Daar zag men toch te veel moeilijkheden in. De 'Taklift IV' zou bovendien ter plaatse van



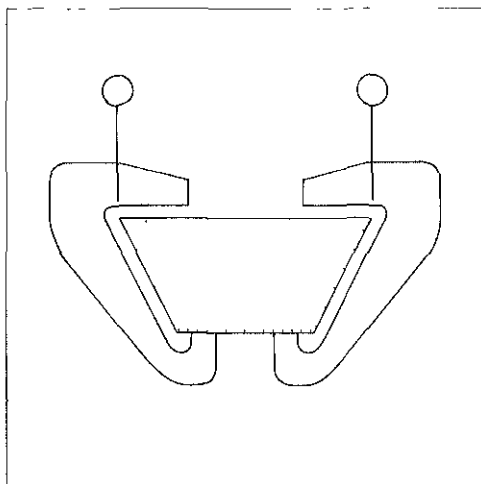


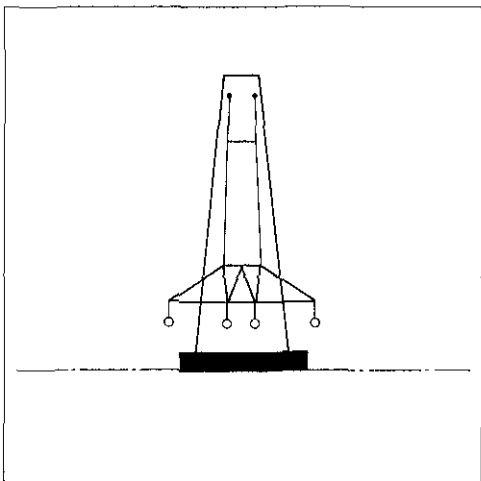
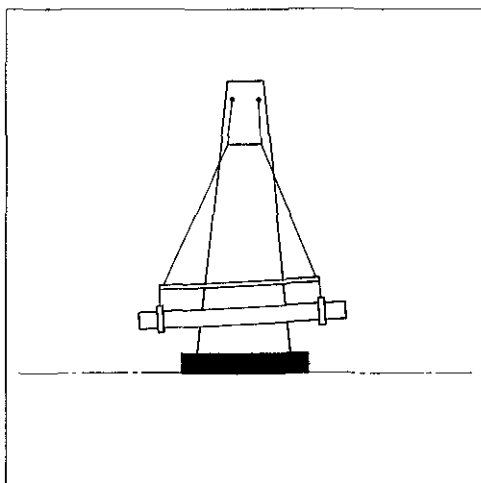
Fig. 8. Hydraulische klauw

de hulpbrug tussen de pijlers door moeten varen. Nu werd onderzocht hoe het zou gaan met de 'Taklift IV' aan de Oosterscheldezijde. Dit betekende in ieder geval dat de bok door de laatste opening in de kering zou moeten ontsnappen, wilde hij niet op de Oosterschelde gevangen blijven. Er zou dan weer in twee stappen moeten worden gewerkt. Eerst zou de ponton met het te hijsen element op veilige afstand achter de kering voor de 'Taklift IV' gebracht worden, waar het element tijdens de kentering zou worden opgepakt.

Vervolgens werd met het element naar de kering gevaren, waar het tijdens de volgende kentering kon worden geplaatst. In deze situatie moesten behalve de bewegingswerken ook de schuiven en de hamerstukken worden geplaatst met behulp van de extra-takeltop. De verkeerskokers moeten in verband met de bereikbaarheid voor werkzaamheden aan, op en in de pijlers als eerste worden geplaatst en daarna vormen zij een obstakel voor de verdere werkzaamheden. Nu is het maximale hijsvermogen van de extra-top niet meer dan 600 ton en het zou dus niet mogelijk zijn de verkeerskokers, die 1300 ton wegen, vanuit de top te plaatsen. Schuiven en verkeerskokers worden afwisselend geplaatst en dus zou het frame telkens van de toptakels naar de hoofdtakels moeten worden verplaatst en vice versa. Dit is zeer tijdrovend, want het moet gebeuren in de haven. De enige oplossing bleek: twee hijsframes in de 'Taklift IV' te hangen, één in de hoofdtakel en één in de extra-top. Het verkeerskokerframe kon in principe hetzelfde karakter hebben als het eerder beschreven landhoofd-verkeerskokerframe. Het aantal te plaatsen verkeerskokers is echter veel groter, en daarom is een makkelijk werkbaar frame hier belangrijk. Aangezien het eigen gewicht van een verkeers-

Fig. 9. Hoekverdraaiing bij een scheve last

Fig. 10. Vakwerkframe niet oppakogen



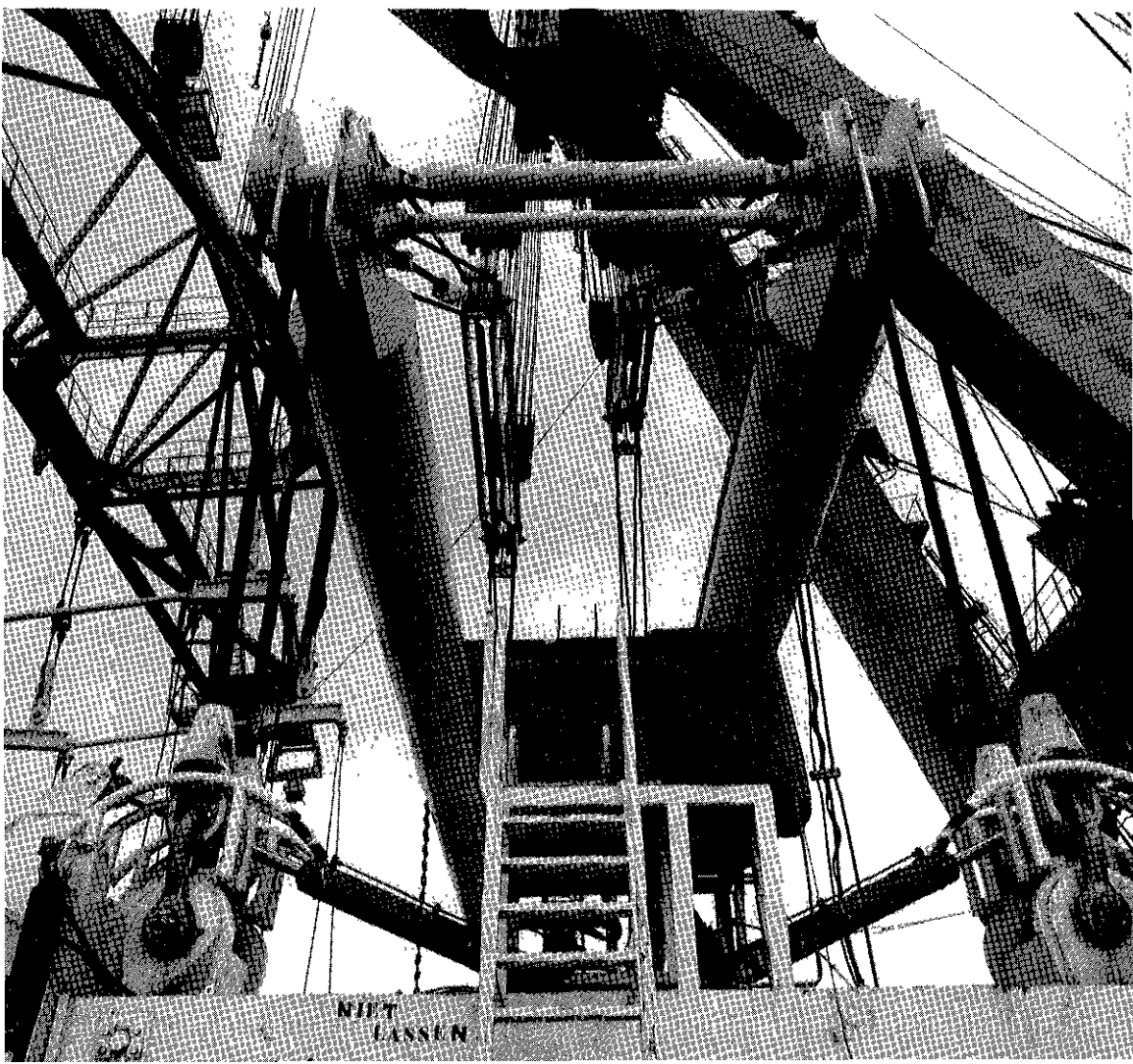
koker lager is dan dat van een landhoofdverkeerskoker waren er meer mogelijkheden voor het ontwerp van het frame. Het mocht in dit geval ook wel wat zwaarder worden, zonder dat het hijsvermogen van de bok werd overschreden. Men zag er dus van af het betonelement te gebruiken als knikverkort, maar plaatste een zwaardere in zichzelf stabiele buis in het frame.

Om de werkbaarheid te vergroten werd het hijsframe voorzien van hydraulisch bedienbare klauwen. Het slingeren en het op en neer gaan van de last bij deining maakt het minder wenselijk dezelfde hijsbanden te gebruiken als te Kats; die waren tezeer gevoelig voor hoekverdraaiingen bij de oppakogen.

Voor de schuiven en bewegingswerken was, zoals we hebben gezien, een apart frame nodig, dat zou komen te hangen in de extra-top van de bok. Dit frame zou men ook kunnen

gebruiken voor de hamerstukken. Vanwege de meervoudige functie van dit frame was het niet mogelijk alle elementen direct onder de constructiedraden te hangen. De oppakpunten voor de hamerstukken en de bewegingswerken bleken zelfs in het midden van het frame terecht te komen. Een vakwerkconstructie is dan de lichtste oplossing.

Voor de kabels en kabelbeëindigingen en de D-sluitingen zijn ten opzichte van de statische belasting veiligheden aangehouden van 3,3, dubbel zoveel als normaal. In de staalconstructie is de veiligheid van 1,5 vermeerderd met 0,15 als dynamische toeslag. De bovenbalken zullen geplaatst worden met het verkeerskokerhijsframe zonder gebruikmaking van de klauwen. De dorpelbalken worden geplaatst met een frame met twee armen aan de heksijde, die in staat zijn de balken onder water te laten zakken.



Onder inspectie en onderhoud van de sluitingsmiddelen van de Oosterscheldekering vallen alle maatregelen die getroffen moeten worden om schade en gebreken aan de onderdelen ervan in de eerste plaats zoveel mogelijk te voorkomen en verder ze op te sporen en te herstellen.

Inspectie en onderhoud

De sluitingsmiddelen omvatten: de schuiven en schuifgeleidingen, de bewegingswerken met hun hydraulische installaties, de energiecentrales, het hoogspanningsnet en de verschillende laagspanningsnetten, de apparatuur voor besturing en bewaking, zowel centraal als lokaal, en de communicatiemiddelen.

Voor het opstellen van een inspectie- en onderhoudsplan is een afzonderlijke werkgroep gevormd. De groep heeft zich allereerst tot taak gesteld de omvang vast te stellen van de noodzakelijke inspecties en onderhoudshandelingen; vervolgens de benodigde mankracht voor deze taken te berekenen; dan een onderhoudsboek samen te stellen dat kan dienen voor de beheerder die belast is met inspectie en onderhoud; en tenslotte aan de sluitingsmiddelen de nodige voorzieningen aan te brengen en ook anderszins de nodige hulpwerktuigen te realiseren om in de toekomst efficiënt onderhoud mogelijk te maken.

Voor de opzet van het inspectie- en onderhoudsplan is een aantal uitgangspunten vastgelegd die zelf weer voortkomen, enerzijds uit de faalkansanalyse, anderzijds uit technische en praktische eisen. Ingevolge de faalkansanalyse moet elke schuif eenmaal per maand een volledige slag maken, dus gesloten en geopend worden. Hoe de onderdelen functioneren en of daarbij storingen optreden wordt bij die gelegenheid in het Centraal Bedieningsgebouw gesignaleerd. Ook is het periodiek bewegen van de schuiven noodzakelijk om te voorkomen dat pakkingen, stuurschuiven of kleppen van de hydraulische installatie vastplakken. Daarnaast is het gewenst dat de gehele kering voor de aanvang van elk stormseizoen éénmaal gesloten wordt, als proef op het functioneren van de gehele installatie.

De dieselmotoren van de elektriciteitscentrale zullen alle twee weken gedurende een aantal uren proef moeten draaien, terwille van de inwendige smering van de motoren. Gedeeltelijk kan dit gecombineerd worden met de maandelijks sluitingen.

In principe zal éénmaal per jaar een ingrijpende inspectie en preventieve onderhoudsbeurt moeten worden uitgevoerd aan alle installatieonderdelen. De delen die geïnspecteerd worden dienen op dat moment in bedrijf te zijn. Hoewel nog nagegaan moet worden of er geen onderdelen zijn die frequenter inspectie en onderhoud behoeven, lijkt de jaarlijkse beurt wel voldoende, omdat de betrouwbaarheid van de kering gewaarborgd wordt door de eerder genoemde faalkansanalyse. De slijtage zal per jaar maar klein zijn, gezien het geringe aantal bedrijfsuren. Een belangrijk aspect is nog de inspectie van de zwaarst belaste buisverbindingen van de schuiven. Hier gaat het om het constateren van eventuele vermoeiingsscheuren die kunnen ontstaan door steeds wisselende golfbelasting. Daarom zal die inspectie moeten plaats vinden na elke zware storm waarbij de kering gesloten is geweest.

Onderhoudsboek

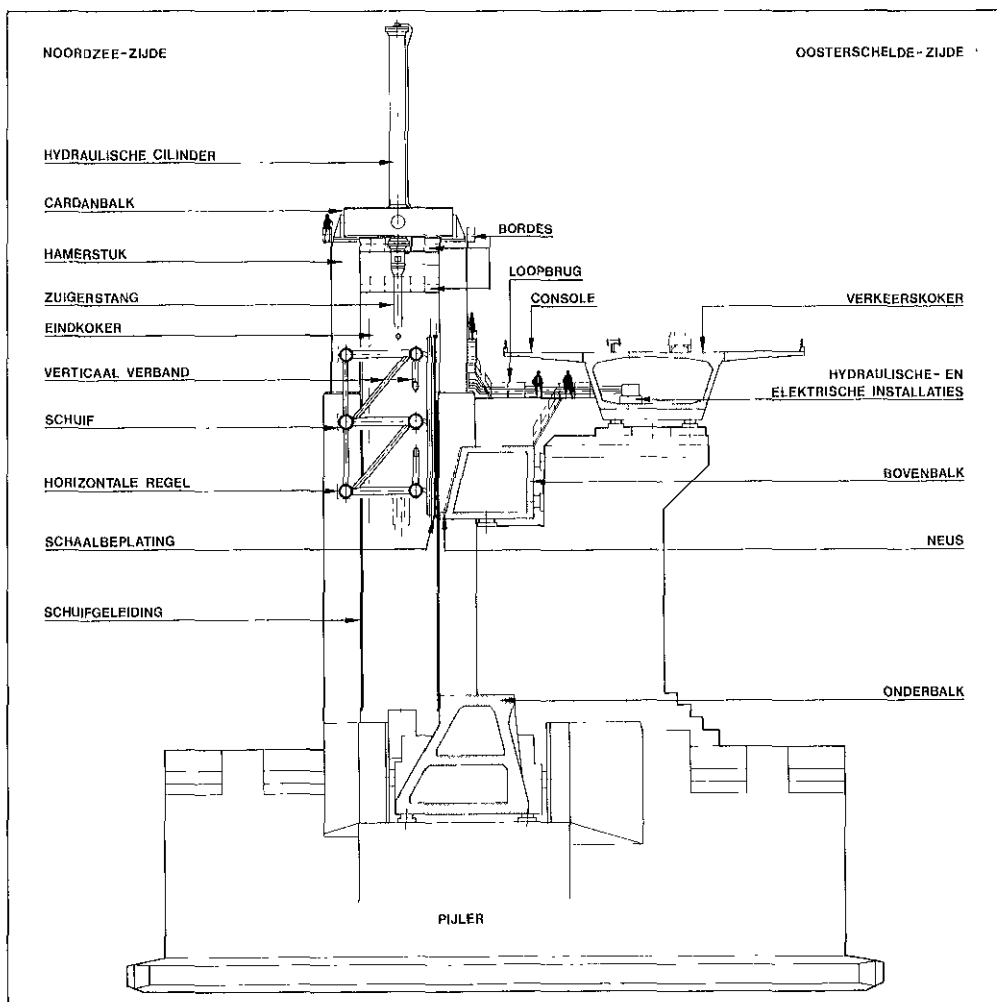
Het onderhoudsboek moet informatie verschaffen aan de beheerder, zodat hij inspectie en onderhoud op doelmatige wijze kan uitvoeren. De informatie zal een omschrijving geven van de sluitingsmiddelen die inspectie en onderhoud behoeven en van de middelen die daarvoor ter beschikking staan; verder zal ze attenderen op de meer kritische onderdelen van de installatie, de voorschriften voor inspectie en onderhoud omschrijven, de veiligheidsvoorschriften preciseren en controle-

lijsten leveren voor de inspecties. Voorschriften voor de bediening van de sluitingsmiddelen bij een onderhoudssluiting, aanwijzingen voor de lokaliseren en opheffing van storingen en voor het uitvoeren van reparaties zullen het boek completeren.

De inspectie van de sluitingsmiddelen is in een aantal categorieën te verdelen. Allereerst kennen we, na elke sluiting van de kering bij zware storm – gemiddeld één keer per jaar – de inspectie van de zwaarst belaste onderdelen van de schuiven. Het gaat erom vermoeiingsverschijnselen als gevolg van de wisselende golfbelastingen tijdig waar te nemen en eventuele schade tijdig te repareren.

Dan zullen er jaarlijkse of meerjaarlijkse inspecties worden gehouden van de overige onderdelen van de schuiven en de schuifgeleidingen. Dit is nodig in verband met de kans op

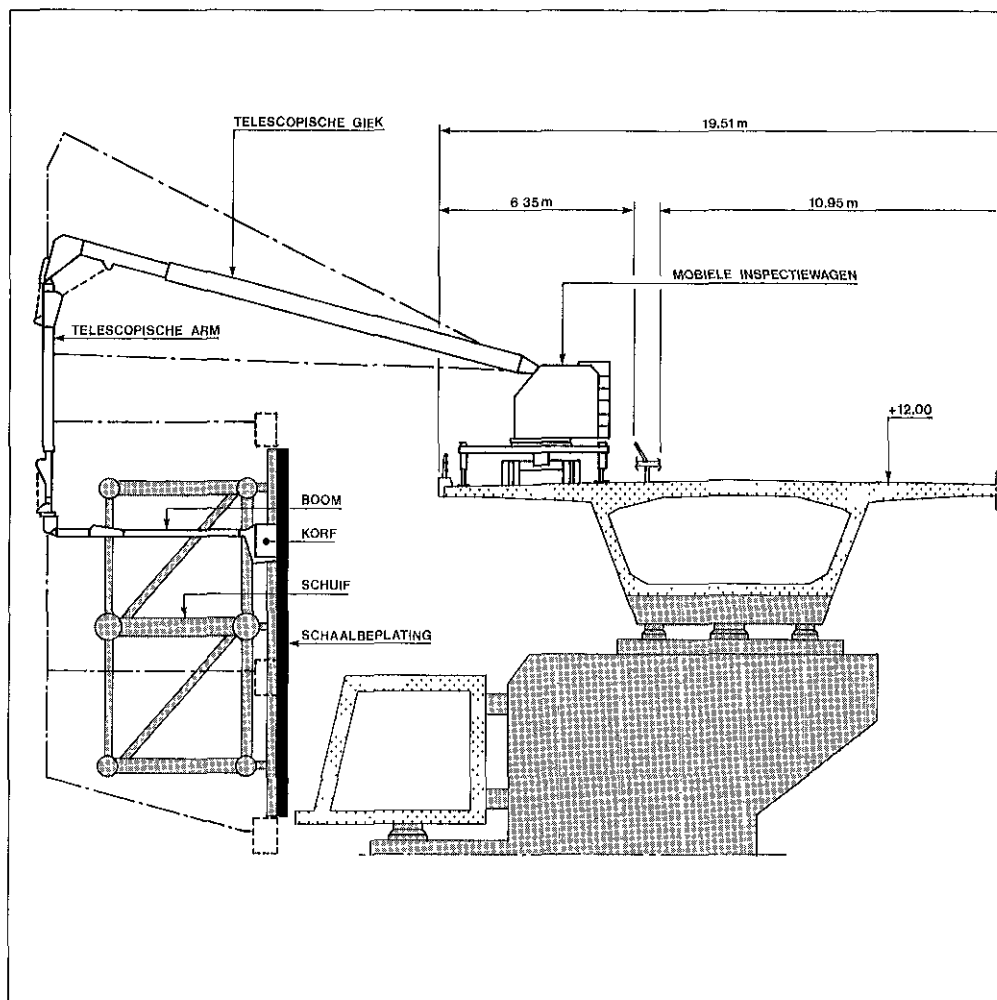
Fig. 1. Overzicht van de positie van alle onderdelen van het bewegende werk



corrosie in het agressieve zeeklimaat. Ten derde staan er meerjaarlijkse inspecties op het programma van de bewegingswerken – cilinders, zuigerstangen, cardanbalken en de bevestiging van de zuigerstang met de schuif – en van de hydraulische en elektrische installatie. Dit is noodzakelijk om te kunnen garanderen dat de kering tijdens een stormwaarschuwing goed zal werken. Voor het uitvoeren van deze inspecties dienen de genoemde onderdelen alle goed bereikbaar te zijn.

Die onderdelen van de hydraulische en de elektrische installaties die zijn ondergebracht in de verkeerskokers, zijn zonder meer goed te bereiken. Maar andere onderdelen kunnen alleen geïnspecteerd worden nadat er speciale voorzieningen zijn getroffen; dit zijn de schuiven en de bewegingswerken en andere onderdelen die zich buiten de verkeerskokers bevinden. De

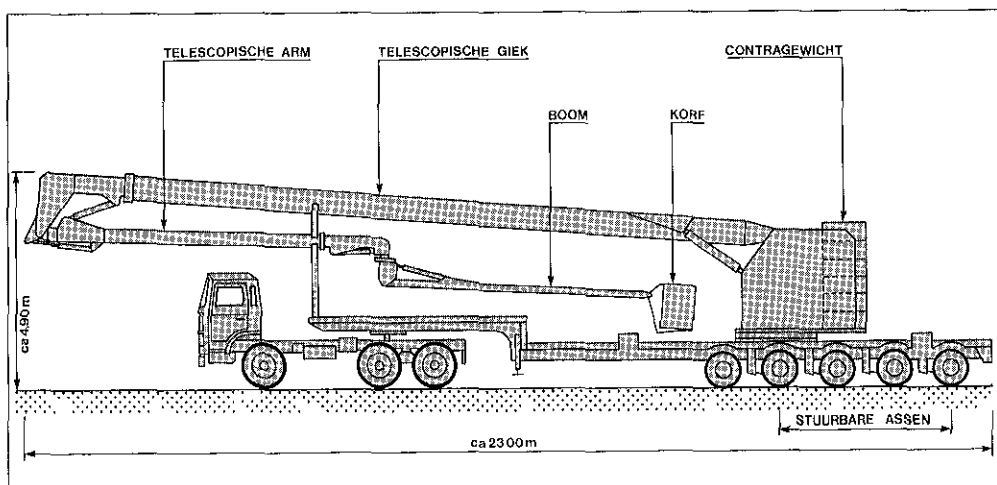
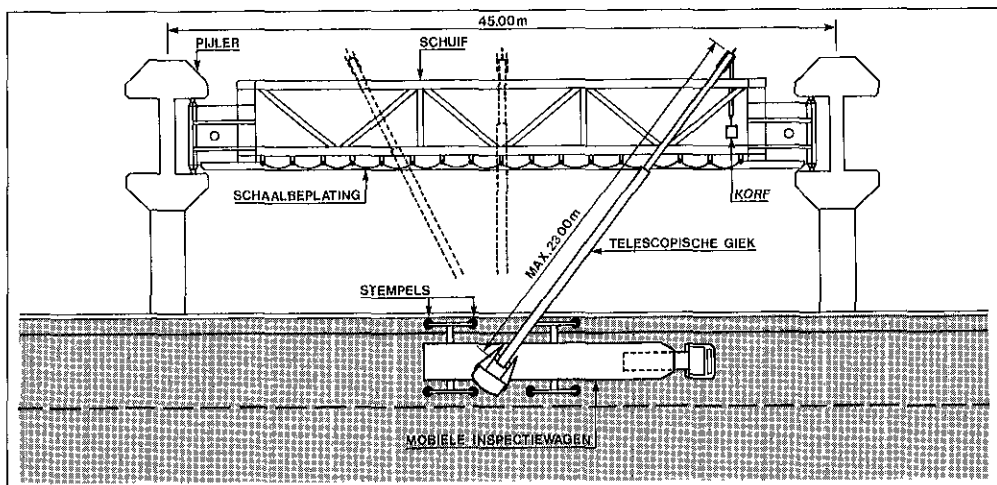
Fig. 2. De inspectiewagen opereert vanaf de werkweg



cilinders, zuigerstangen, cardanbalken, eindkokers van de schuiven en de schuifgeleidingen maken deel uit van de pijlers of zijn erop gemonteerd. Deze onderdelen zijn inspecteerbaar vanaf de bordessen tussen de hamerstukken. De bordessen staan via een trappenhuis in verbinding met een loopbrug, waarlangs elke pijler bereikbaar is vanuit de verkeerskoker. Van hieruit kan ook het bovenvlak en de neus van de bovenbalk worden bereikt. Van twee niveaus is aldus het voorvlak van de schaalbeplating van de schuiven inspecteerbaar. De overige onderdelen van de schuiven kunnen niet vanaf vaste voorzieningen bereikbaar gemaakt worden. Onderdelen zoals de binnenzijde van de schaalbeplating en de verticale verbanden en de horizontale regels liggen vanuit de verkeerskokers gezien nu eenmaal aan de achterkant van de beplating.

Fig. 3. Bovenaanzicht van de inspectiewagen op de kering

Fig. 4. De inspectiewagen



Om die inspectiebaar te maken is een beweeglijke inspectiekorf onmisbaar, die met een hydraulische giek kan worden op en neer bewogen en die bovendien verplaatsbaar is. Deze behoefte leidde tot de ontwikkeling van een inspectiewagen die opereert vanaf de onderhoudsweg over de dichtst bij de schuiven gelegen uitkragingen van de verkeerskokers.

Mobiele inspectiewagen

De mobiele inspectiewagen bestaat uit een inspectiearm met contragewicht, waarmee een inspectiekorf boven, tussen en onder de regels van de schuiven kan worden gebracht, en uit een wagen. De wagen bestaat uit een oplegger waarop de inspectiearm, en een trekker. De inspectiearm verricht nagenoeg al zijn bewegingen door hydraulische overbrengingen. Alle standen binnen het bereik van de giek kunnen op soepele wijze worden aangenomen. De telescopische giek bestaat uit twee delen en is met een draaikoning bevestigd op de oplegger. Cilinders maken de giek draaibaar in het verticale vlak, de draaikoning maakt beweging mogelijk in het horizontale vlak. Het vluchtbereik van de giek, waarbij meer of minder toppen kunnen worden ingezet, varieert tussen 9 en 23 m. Het wordt niet alleen bepaald door de afstand van de inspectiewagen ten opzichte van de schuiven, maar ook door de eis dat inspectie van een schuif mogelijk moet zijn vanuit één positie van de wagen, midden tussen twee pijlers. Dit is niet alleen efficiënter, maar ook veel veiliger, omdat ermee voorkomen wordt dat de wagen zich op de onderhoudsweg moet verplaatsen terwijl hij door ander verkeer wordt ingehaald.

Het uitschuifbare deel van de giek draagt een eveneens uitschuifbare arm, met aan de onderzijde een boom met de inspectiekorf. In combinatie met de bewegingen die de giek toelaat kan deze arm verticale bewegingen uitvoeren met de korf, zodat alle plekken van de schuif worden bereikt. Aftasting van de schuif in horizontale richting wordt mogelijk door de korf in horizontale zin te verplaatsen. Dit wordt bereikt door enerzijds het draaien van de giek, anderzijds doordat ook de boom met de inspectiekorf draaibaar is bevestigd aan de telescopische arm. De korf biedt ruimte aan twee man inspectiepersoneel. Samen met hun inspectiematerieel mogen ze 250 kg wegen: dit is de maximaal toegestane gewichtsbelasting van de korf.

De ligging van de onderhoudsweg op N.A.P. + 12 m heeft als voordeel dat de inspectiearm behalve als laagwerker ook als hoogwerker kan opereren: niet alleen de schuiven beneden,

maar ook de bewegingswerken boven de plek van de inspectiewagen kunnen ermee worden geïnspecteerd.

De wagen waarop de inspectiearm beweegbaar is bevestigd bestaat zoals gezegd uit een trekker en een oplegger. Het gewicht van de oplegger met inspectiearm, afstempelenheid en contragewicht wordt door 5 assen en 10 wielstellen overgebracht op het wegdek.

Bij de Roompotsluis wordt de weg over de Oosterscheldedekering, dus ook de onderhoudsweg, feitelijk onderbroken; het verkeer wordt daar over de roldeuren van de sluis kolk geleid. De breedte van de weg is er veel geringer, en bovendien wordt de onderhoudsweg er onder een scherpe bocht naar toe geleid. Aan de inspectiewagen worden dan ook bijzondere eisen van wendbaarheid gesteld. Het bleek nodig de vijf-assige oplegger te voorzien van één starre en vier stuurbare assen. Die stuurbaarheid wordt ingeleid door de hoekverdraaiing tussen de trekker en de oplegger, die hydro-statisch wordt overgebracht op het assenstelsel.

Tijdens het uitvoeren van inspecties staat de wagen door middel van vijzels op het wegdek afgestempeld. De krachten en momenten worden opgenomen door vier vijzels en uiteindelijk via aan de vijzels gekoppelde evenaarconstructies op acht punten in het wegdek gevoerd. De hart-op-hart-afstand tussen de stempels loodrecht op het voertuig wordt enerzijds bepaald door het ruimtelijk profiel van de wagen, anderzijds door eisen van stabiliteit. Het ruimtelijk profiel van de inspectiewagen meet 5 m. Daardoor blijft er op de onderhoudsweg nog passagerruimte beschikbaar voor inhalend fietsverkeer. De maximaal te realiseren stempelf afstand is 4,5 m. In verband met de stabiliteit van het geheel staan de stempels aan de zeezijde op 2,5 m en aan de passagezijde 2 m uit het hart van het voertuig.

De trekker bestaat uit een drie-assige motorwagen waar de oplegger met een schotelconstructie aan gekoppeld is. De combinatie bereikt een snelheid van 30 km per uur. Deze lage snelheid is acceptabel, omdat de inspectiewagen alleen wordt gebruikt op de kering en zich niet behoeft te begeven in het openbare verkeer. Het voordeel is, dat met een relatief gering motorvermogen kan worden volstaan.

In rijpositie rust de inspectiearm in ingeklapte stand in de lengterichting van het voertuig. De combinatie is 23,60 m lang, 2,5 m breed en maximaal 4,90 m hoog. Met deze afmetingen en met zijn grote werkbereik is de inspectiewagen, zoals een Oosterscheldewerk betaamt, volstrekt uniek. De wegen op en bij de kering

zijn waar nodig aangepast aan de grote afmetingen van de inspectiewagen. Zo zijn op de damvakken en op de beide oevers hulpwegen voorzien waar de wagen kan keren.

Obstakels als lichtmasten en slagbomen zijn zo geplaatst dat ze geen hinder ondervinden van het zeis-effect dat bij het nemen van bochten kan ontstaan door de overstek van de enigszins voorbij de cabine uitzwaaiende giek. Op Neeltje Jans wordt een overdekte stallingruimte gebouwd.

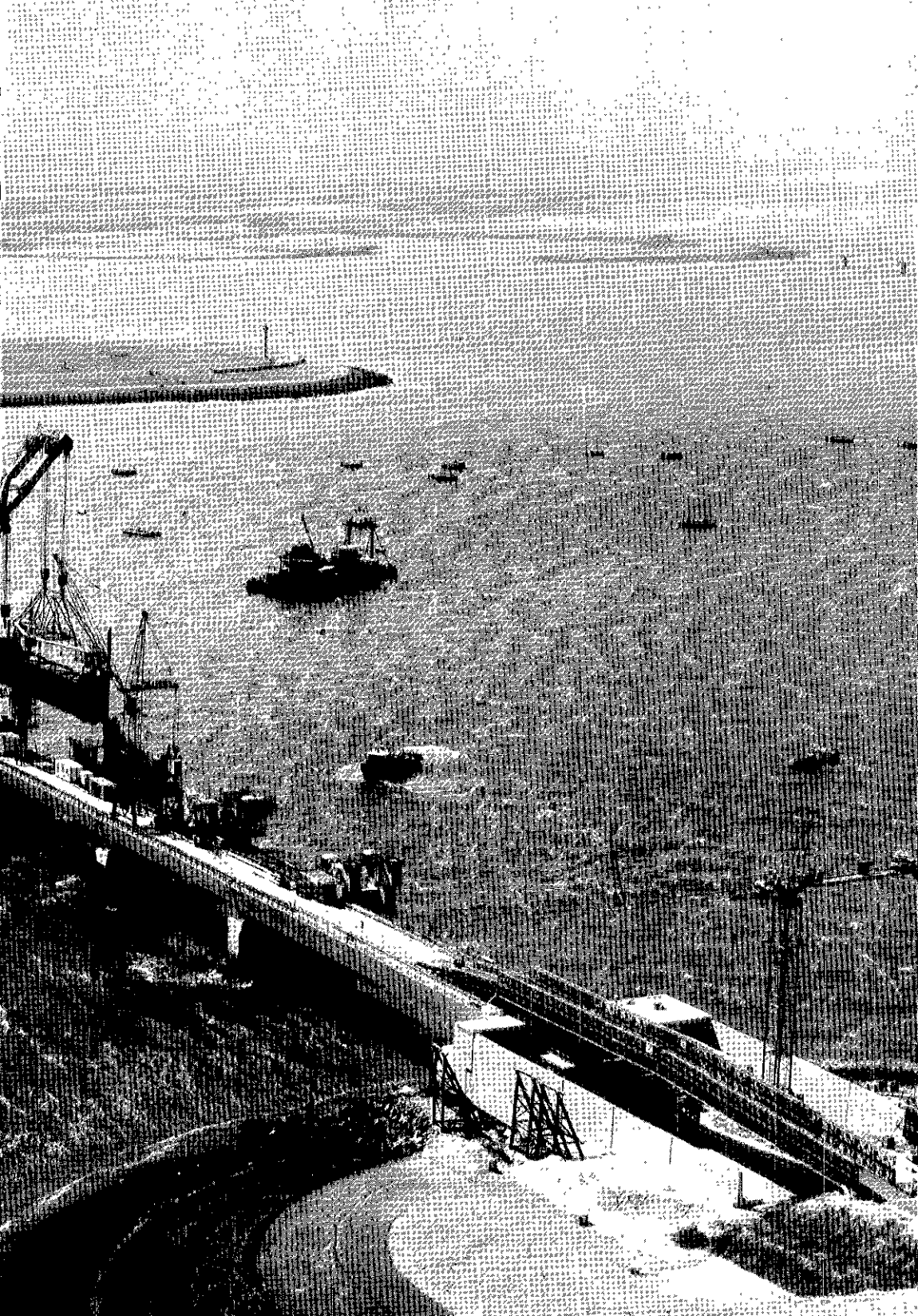
De inspectiewagen moet wat betreft uitvoering, stabiliteit en bediening aan allerlei veiligheids-eisen voldoen. Daarbij werden de gangbare normen gehanteerd, maar ook werd advies gevraagd aan de Arbeidsinspectie. Er is nu een groot aantal beveiligingen aangebracht. Als de wagen op zijn inspectieplaats is gemanoeuvreerd, moet allereerst de oplegger op het wegdek worden afgestempeld. Voordat dit gebeurd is, kan de inspectiearm niet in beweging worden gebracht. Om af te stempelen worden de vijzels op druk gebracht en wel zodanig dat het zeker is dat alle krachten en momenten in het wegdek worden gevoerd. Pas als de vijzels het drukniveau hebben bereikt wordt de hoofdschakelaar van de inspectiearm geactiveerd. Bediening van de inspectiearm is dan

mogelijk vanuit het voertuig zowel als vanuit de korf; maar nooit tegelijkertijd.

Verder zijn de bedieningspanelen voorzien van noodstop-schakelaars en van bedieningshandels die tevens fungeren als dodemansknop: laat men die knop los, dan komt alles tot stilstand. Er kan bovendien, in het belang van de veiligheid, telkens maar één beweging tegelijkertijd worden uitgevoerd. Alle hydraulische cilinders en stempels zijn voorzien van leidingbreukventielen, zodat bij eventuele breuk in een slang een blokkering optreedt in de installatie, die ongewenste verplaatsing van de korf uitsluit. Een hulpaggregaat is aanwezig waarmee de constructie bij storingen terug kan worden gebracht in rustpositie.

Tijdens de bouw van de kering is er nog geen behoefte aan een inspectiewagen: het benodigde materieel voor de inspectie van de montage wordt ter beschikking gesteld door de aannemer. Ook tussen het plaatsen van de eerste en de laatste schuif behoeven schuiven en bewegingswerken niet te worden geïnspecteerd. Het tijdstip waarop de inspectiewagen operationeel dient te zijn wordt derhalve bepaald door het ogenblik waarop de laatste schuif is afgemonteerd en alle schuiven zijn opgeleverd.





Samenvattingen

Schuiven

De Oosterscheldekering is een samenstel van drie sluizen, die samen tweeënzestig 40 m brede doorstroomopeningen bevatten. Men is thans bezig de schuiven en bewegingswerken te installeren, terwijl er ook al containers met hydraulische apparatuur en elektrische besturingsmechanismen worden geplaatst. Afhankelijk van hun plaats in de sluitgaten zijn de schuiven van verschillende hoogte: aan de randen zijn ze 5,9 m hoog, maar in het diepe gedeelte van het grootste sluitgat de Roompot, zijn schuiven nodig van bijna 12 m. Constructief bestaat elke schuif uit een aantal open vakwerkliggers van buisprofielen, die in acht verschillende sterkteklassen werden ontworpen. Aan dit hoofd draagsysteem wordt een schaalvormige waterkerende beplating bevestigd, en ook twee eindkokers, die de belastingen van de schuif moeten overdragen op de pijler. Door de modulaire opbouw bleek het mogelijk de fabricage van de schuiven onder te brengen in een aantal deel-bestekken, en zo de productie te spreiden over de Nederlandse staal-industrie. Lasprocedures en toleranties moesten daartoe strikt worden gestandaardiseerd. Er blijven overigens genoeg onzekerheden over, omdat de theoretische afstand tussen twee pijlers nooit voor honderd procent wordt gerealiseerd. Daarom worden de centrale gedeeltes van de schuiven op maat afgemaakt wanneer de werkelijke breedte van de opening bekend is, en pas daarna samengebouwd met de eindkokers. Scheefstand van de pijlers wordt gecompenseerd door een overmaat aan breedte van de schuifgeleiding. De schuif wordt verder met rubberprofielen in de sponning voorgespannen, om klappen te voorkomen.

De montage van de schuiven vindt plaats met behulp van de bok 'Taklift IV'.

Bewegingswerken

Na zorgvuldige afweging is besloten de schuiven van de Oosterscheldekering te bewegen met hydraulische cilinders. Ze worden uitgevoerd in zeven verschillende grootten; de langste kunnen een slag maken van 13,2 m. De onderdelen ervan worden gedeeltelijk voorbewerkt aangeleverd, gedeeltelijk in Nederland gewalst en gelast. De lussen worden op drie verschillende manieren gecontroleerd. De samenbouw tot volledige cilinders vindt ook in Nederland plaats. Inwendige en uitwendige boring – waarbij grote precisie wordt bereikt – en slijping tot een gladheid van 0,4 micron voltooien de cilindermantels.

De smeedstalen zuigerstangen van het bewegingswerk dienen vanwege het agressieve klimaat waarmee ze in aanraking komen, optimaal tegen weersomstandigheden te worden beschermd. Men vernikkelt en verchroomt ze volgens een elektrolytisch procédé. Of de beschermlagen de juiste dikte hebben bereikt, wordt vastgesteld door de diameter van de stang voor en na de behandeling te vergelijken. Er is een maximum gesteld aan de toelaatbare imperfecties in het uiteindelijke oppervlak.

De hydraulische cilinders worden met behulp van cardanbalken in twee richtingen scharnierend met de pijlers van de stormvloedkering verbonden. Hoewel de cardanbalken behoren bij zeven verschillende cilindertypen, behoeven ze maar in vier uiteenlopende uitvoeringen te worden gemaakt. Het zijn gelaste constructies, opgebouwd uit platen van verschillende dikte. De samenbouw van cilinders en zuigerstangen kent twee belangrijke aandachtspunten: de onderdelen dienen schoon te worden gehouden, en er moet rekening worden gehouden met elastische vervormingen tijdens het samenbouwen. Hiervoor zijn allerlei hulpconstructies bedacht.

Nadat de onderdelen in elkaar zijn geschoven en de deksels zijn gesloten, wordt er olie in het systeem gepompt, en worden enige proeven uitgevoerd naar rustige werking en hydraulische dichtheid. Pas daarna wordt de conserveringskamer gemonteerd en het onderoog aan de zuigerstang bevestigd. Later volgt samenbouw met de cardanbalk.

Acht bewegingswerken worden tegelijk op een aangepaste ponton overgevoerd naar de Oosterscheldekering en daar twee aan twee door de 'Taklift IV' op een pijler gezet.

Hydraulische systemen

Bij elke cilinder hoort een eigen pompapparaat. Voor de twee cilinders op een pijler staan de pompaggregaten naast elkaar; tevens dienen ze als elkaars reserve.

De pompaggregaten en de elektrische systemen voor de besturing zijn ingebouwd in containers die in de verkeerskokers worden geplaatst voordat die deel gaan uitmaken van de kering. Elke container wordt vooraf individueel beproefd. Eénmaal is ter aanvulling hierop een elektrisch systeem beproefd in volledige operationale aansluiting op vier hydraulische aggregaten.

De bouw van de containers, die dienst doen als machineruimte, hoogspanningsruimte, bergplaats voor schakelmaterieel, werkplaats en kantoor, is zoveel mogelijk gestandaardiseerd. Het grote voordeel van de containers is dat de montage van hydraulische en elektrische apparatuur nu niet afhankelijk is van de afbouw van de stormvloedkering, en dat de installaties goed beschermd zijn tegen de omgevingscondities.

De schuifbesturing

De toelaatbare kans op falen in een van de schuifbesturingen en gelijklooptregelingen is gesteld op 10^{-3} per jaar; een zeer hoge betrouwbaarheidseis. Per schuif worden hiertoe de relevante gegevens ingewonnen met behulp van drie onafhankelijke code-gevers; de lokale computer maakt drie berekeningen en neemt dan een meerderheidsbeslissing, waarvan de uitvoering door weer een andere computer wordt gecontroleerd.

Een datanet verbindt de plaatselijke installaties met de centrale computer in het bedieningsgebouw. Daar kan de stand van de schuiven en de toestand van de apparatuur worden afgelezen van een beeldscherm. Van daaruit kunnen ook opdrachten worden gegeven aan de plaatselijke installaties, en wel volgens de methode van de 'veilige' en de 'alternatieve' bediening.

Er zijn voorts vijf verschillende onafhankelijke communicatiesystemen aangelegd om binnen het gehele complex te kunnen communiceren. De energie voor de kering in rust zal worden betrokken van het openbare net. Voor operationele situaties wordt een eigen krachtcentrale gebouwd, met gebruikmaking van delen van de tijdelijke dieselcentrale op Neeltje Jans.

Bliksembeveiliging

De Oosterscheldekering is een hoog bouwwerk

in een vlak landschap. Boven de kering torenen de cilinders uit van de hefinrichtingen. Per jaar moet worden gerekend op ongeveer twee blikseminslagen. De bliksem zal de kortste weg naar de aarde zoeken, via het wapeningsstaal van de kering. Isoleringen die zijn aangebracht tussen de stalen delen op de kering en de pijlers zouden kunnen doorslaan. Vooral de micro-processors in de elektrische containers zouden daar grote schade van ondervinden. Een net van bliksemopvangsers boven de kering zou extreem duur en lelijk zijn, en het probleem van de afleiding onopgelost laten. In plaats daarvan zal men de bliksem die op de cilinders inslaat geleiden via met gas gevulde overspanningsafleiders, zodat geen overslag meer zal plaats hebben op oncontroleerbare plaatsen.

Risico-analyse

De prenatale periode van een bouwwerk als de Oosterscheldekering kan worden verdeeld in twee fasen: het ontwerp en de uitvoering. In beide fasen dient men vooraf de risico's te verkennen, maar bij de uitvoering is van een systematische aanpak van deze problematiek doorgaans weinig sprake. Bij de moderne probabilistische methode van ontwerpen gaat men voor de bepaling van materiaaleigenschappen en belastingen niet meer uit van één discrete waarde, maar leidt men die waarde af uit een verzameling van waarden met een aanvaardbare overschrijdingskans. Deze methode is nu ook gebruikt om de risico's van de uitvoering te analyseren. Er werd een werkgroep Uitvoeringsmethodieken gevormd, die onder andere per werkonderdeel lijsten opstelde van mogelijke ongewenste gebeurtenissen, waarop preventieve en responsieve acties werden voorbereid.

Een belangrijk bijkomend voordeel was dat men het hele werk nog eens met alle betrokkenen door moest lopen vóór met de uitvoering werd begonnen.

Hijsframes voor de elementen

De geprefabriceerde elementen van de Oosterscheldekering worden met speciale vaartuigen op hun plaats gebracht. Bij de montage van de dorpels, bovenbalken, hamerstukken, bewegingswerken, schuiven en verkeerskokers wordt gebruik gemaakt van de 'Taklift IV'. De zwaarste elementen die deze bok – met assistentie – moet hijsen, wegen 2700 ton. De hijsdraden van de 'Taklift IV' worden geleid door trekplaten en een drukframe, zodat de krachten op de kraan en op de te hijsen constructie niet te groot worden.

Sommige elementen van de kering kunnen alleen met behulp van een extra-toptakel worden geplaatst. Dit had weer tot gevolg dat er twee drukframes tegelijk in de takels hangen, omdat verwisselen in de werkhaven te tijdrovend is.

De 'Taklift IV' neemt, na langdurige afweging van het voor en tegen, bij de montage een positie in aan de Oosterscheldezijde van de kering.

Inspectie en onderhoud

Voor het opstellen van een inspectie- en onderhoudsplan is een afzonderlijke werkgroep ingesteld. Deze groep houdt zich onder meer bezig met het opstellen van een onderhoudsboek ten dienste van de toekomstige beheerder en het inventariseren van de nodige hulpwerktuigen.

Naast de stormsluiting dient elke schuif eenmaal per maand een volledige slag te maken, en worden alle schuiven voor de aanvang van elk stormseizoen eenmaal gelijktijdig gesloten. De dieselmotoren draaien alle twee weken proef, en één keer per jaar wordt een onderhoudsbeurt voorzien aan alle delen van de installatie. Frequentere inspecties zullen nodig zijn aan onderdelen die vermoedingsverschijnselen kunnen vertonen.

Voor die delen van de schuiven en bewegingswerken die vanaf de kering zelf niet te inspecteren zijn, is een grote inspectiewagen ontworpen, met een hydraulische arm van 23 m lang, waaraan een twee man dragende inspectiekorf is bevestigd, waarmee men alle te inspecteren delen kan bereiken.

Summaries

Gates

The Oosterschelde barrier is a combination of three sluices, which together form sixty-two 40m wide openings. At present the gates and the operating mechanisms are in the process of being installed. At the same time containers with hydraulic apparatus and electric steering mechanisms are being put into place.

The height of the gates depends on their position in the breaches. At the edges they measure 5,9m high, but in the deepest part of the largest breach, the Roompot, gates measuring 12m are required.

Construction-wise each gate consists of a number of open-framed girders made of tubular sections, which are manufactured in eight different classes according to their strength. A corrugated-formed water retaining barrier is attached to this main bearing system, as well as two box girders which have to convey the gate load over onto the piers. Due to their modular construction it has proved to be possible to split up the manufacture of the gates in a number of sub-contracts, and thus to spread their production over the Dutch steel industry. Welding procedures and tolerations had to be strictly standardised for this purpose. A measure of uncertainty always remains as the theoretical distance between two piers can never be fully realised. This is why the central part of the gate is completed only when the width of the cross-section is known, and it is only at this point that it is attached to the box girders. The inclination of the piers is compensated for by an excess in the width of the gate conveyor. The gate is also mounted into the frames with rubber strips to prevent oscillation.

The mounting of the gates is accomplished with the assistance of the trestle 'Taklift IV'.

Operating mechanisms

After careful consideration it has been decided to operate the gates by hydraulic cylinders. These are manufactured in seven sizes. The longest make a stroke of 13,2 m. Some of the components are already preprocessed, whereas other parts are rolled and welded in Holland. The weldings are checked in three ways. The final assembly into complete cylinders is also carried out in Holland. Internal and external drilling – in which great precision has been achieved – and filing to a smoothness of 0,4 microns perfects the cylinders.

The forged steel piston rods of the operating mechanism should have optimum protection against the aggressive climatic conditions to which they are exposed. They are plated with nickel and chrome according to an electrolytic procedure. The diameter of the rod is compared before and after the procedure in order to check that the protective layers have acquired the proper thickness. There is a fixed maximum of permissible imperfection in the final surface. The hydraulic cylinders are hinged in two directions to the piers of the storm-surge barrier with the assistance of cardan beams. Although they go with seven different cylinder types they only need be manufactured in four different versions. The cardan beams are welded constructions, built with sheets of various thicknesses.

Two aspects in the assembling together of the cylinders, the pistons and the cardan beams require special attention. The components must be kept absolutely clean and the elastic deformations caused by their own weight must be taken into account. All sorts of helpful constructions have been thought out for this purpose. After the components have been telescoped into each other and the lids have been closed, oil is pumped into the system and a number of tests are carried out for smooth working and hydraulic compactness. It is only after all this that the lower eye is attached to the piston and a conservation chamber is added. Assembly with the cardan beam follows later.

Eight operating mechanisms together are crossed over to the Oosterschelde barrier by a pontoon adapted for this purpose, and are mounted onto the pier in pairs by the trestle 'Taklift IV'.

Hydraulic systems

Each cylinder has its own pump apparatus. Two pumps placed next to each other on the

pier serve two cylinders and also act as each others reserve. The pumps and electrical equipment are built-in in containers which are placed in the road box girders before these form part of the barrier. Each container is tested individually beforehand. In addition to this one of the electrical systems was tested in full operation, connected to four hydraulic aggregates.

The building of the containers, which serve as machine rooms, high voltage rooms, for switchboards, workshops and offices has been standardised as much as possible.

The great advantage of the containers is that the assembly of electrical and hydraulic equipment no longer depends on the completion of the storm surge barrier, and that the installations are well protected against disadvantageous weather conditions.

Gate Control

The permissible chance of failure in the gate control and the leveling gear has been fixed at 10^{-3} per year, which is an extremely high standard of reliability. The relevant data for each gate are gathered with the assistance of three independent digitalizers. The local computer makes three calculations and then takes a majority decision whose execution is checked by yet another computer. A data-net connects the local installations with the central computer in the service building. Here the position of the gates and the state of the equipment can be read from a screen. From here orders can also be conveyed to the local installations, which is done according to the 'safe' and the 'alternative' methods of operation. Besides this five different, independent communication systems have been placed so as to be able to communicate within the entire complex. Energy for the barrier while it is not actually working will be drawn from the public network. A separate power station will be built for operational use, using parts of the temporary diesel station on Neeltje Jans.

Safeguarding devices against lightning

The Oosterschelde barrier is a high construction in a flat landscape. The cylinders of the lift structure tower above the barrier. It may be reckoned that lightning will strike about twice a year. The lightning will seek the shortest route to earth, via the steel re-inforcement of the barrier. Insulation fitted between the steel parts on the barrier and the piers could short circuit. The micro-processors in the electric containers

in particular would be subject to serious damage.

A network of lightning absorbers above the barrier would be extremely expensive and also ugly and would leave unsolved the problem of conduction. Instead of this, lightning which strikes the cylinders will be conducted via gas filled lightning arresters, so that no short-circuiting can occur at unsupervised spots.

Risk-analysis

The prenatal period of a construction work like the Oosterschelde barrier can be divided into two phases: the planning and the execution. The possibility of risks in both phases should be well reconnoitred beforehand. The execution phase hardly allows for the possibility of a systematic approach.

With modern probabilistic methods of planning the determination of material qualities and loads is no longer based on one discreet value but arises out of a combination of values each of which has a chance of occurrence. This method is now also used to analyse the risks involved in the execution. A workgroup on execution methodology has been set up, which has amongst other things drawn up a list of possible undesirable occurrences for each work unit, and has prepared preventive and responsive action to be taken. One important extra advantage of this is that all the work has been thoroughly discussed with all involved before beginning with the execution.

Lift frames for the components

The prefabricated components of the Oosterschelde barrier are brought into position by special vessels. The 'Taklift IV' is used for mounting the sills, upper beams, capping units, operating mechanisms, gates and road box girders. The heaviest components which this trestle has to lift – with assistance – weigh 2700 tons.

The hoisting cables of the 'Taklift IV' are led through tensible plates and a pressure frame so as to lessen the pressure on the trestle and on the construction being hauled. Some of the components of the barrier can only be brought into position with the assistance of an extra jib. This meant that two pressure frames should be hanging in the pulley-blocks at the same time, as replacing them in the working harbour is too time consuming. After long discussion of the pros and cons, the 'Taklift IV' has been placed for the purpose of assembly on the Oosterschelde side of the barrier.

Inspection and maintenance

A separate work group has been formed to set up an inspection and maintenance plan. This group is working on a book on maintenance to be used by the future manager and is also listing the necessary auxiliary equipment. Each gate has to make at least one complete stroke per month, and the whole barrier is closed once at the commencement of each storm season. The diesel motors are tested every two weeks and maintenance servicing is carried out twice a year on all the components of the installation. It will be necessary to inspect more often those components which might display symptoms of fatigue.

A large inspection car has been designed with a hydraulic arm of 23m long from which an inspection hamper large enough to carry two men is attached. This is to be used to inspect those parts of the gates and the operating mechanisms which cannot be inspected from the barrier itself.

Foto-verantwoording:

Johan Berrevoets 460
Rotterdamsche Droogdok Mij. 469, 472, 479
Rijkswaterstaat 466, 470, 471, 475, 476, 477,
478, 481, 483, 499, 501, 503, 505
Socatri 473, 474
Leo van Gelder 482, 484, 489
Bart Hofmeester 512

