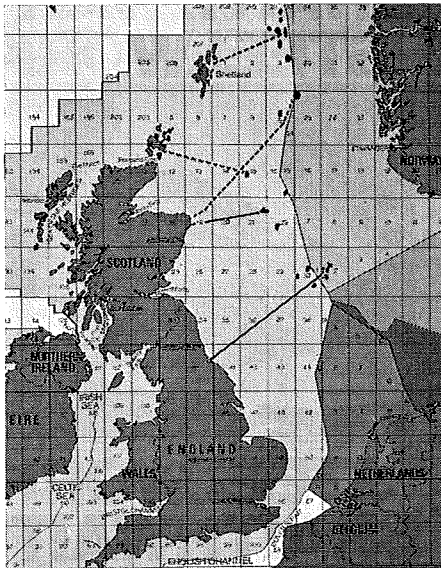


Betonnen kolossen voor de Noordzee

Tekst van de lezing, uitgesproken op de Betondag te Utrecht, 21 nov. jl.



Inleiding

Tegen de zomer van 1976 kan men bij Hoek van Holland de grootste, tot nog toe in één keer geëxporteerde hoeveelheid beton het zeegat uit zien varen. Dit zal plaatsvinden in de vorm van een betonnen kolos, in grondvlak ter grootte van ons paleis op de Dam, waarvan dan nog slechts de bovenste verdiepingen zichtbaar zijn. Vier schoorstenen ter hoogte van de Utrechtse Dom bekronen dit bouwwerk. Een imposant schouwspel zal het zijn; een kunstwerk in de technische betekenis van dit woord, niet gebouwd voor goden of koningen, niet gebouwd door architecten, maar een keiharde functionele gigant ter bevrediging van een van de grootste behoeften van de 20e-eeuwse Westerse mens: energie!

Het kunstwerk zal enkele weken later, dan inmiddels op zijn torens een stalen platform ter grootte van een half voetbalveld torsend, in het noordelijk gedeelte van de Noordzee onder water verdwijnen.

Dit betreft dan de Nederlandse bijdrage in beton voor de productie van koolwaterstoffen uit de Noordzeebodem in 1976. Tegelijkertijd zullen uit Noorse en Schotse fjorden zes van dergelijke kolossen het zeegat kiezen.

Volgend jaar, zomer 1975, verschijnen volgens plan de eerste vier betonnen productie- en opslagplatforms op de Noordzee; er is dan twee jaar verlopen sinds de opdrachten voor die platforms volgden op de succesvolle plaatsing van de 'Ekofisktank' voor Phillips petroleum in het Noorse concessiegebied van de Noordzee in juni 1973. Twee jaar bouwtijd werd het criterium van de Noorse aannemersgroep, die ook betrokken was bij de bouw van de 'Ekofisk-tank'. Twee jaar van ontwerpen, testen, rekenen, tekenen, overleggen, maar vooral van bouwen, betonstorten, lassen, monteren en controleren. Twee jaar van een voor het civiele bouwvak ongekend snel handelen.

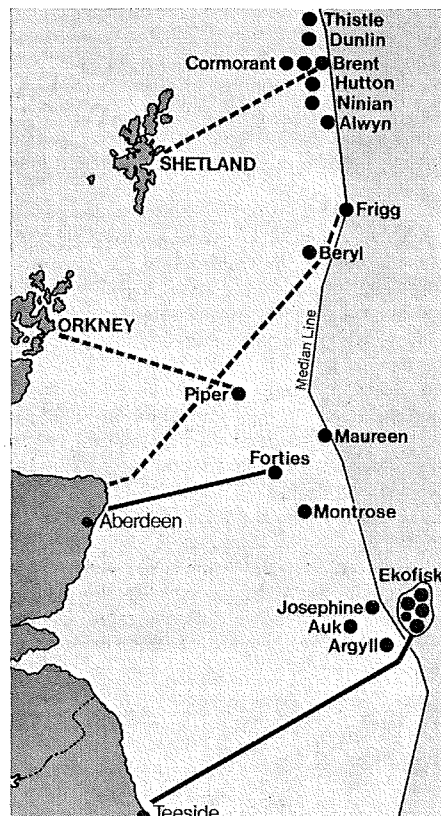
Met de ons thans bekende opdrachten in deze sector voor 1977 is het duidelijk, dat er een nieuwe betonmarkt is ontstaan. De markt wordt gekenmerkt door snelheid, omvang per bouwwerk, nieuwe technische ontwikkelingen en een nauwe onontbeerlijke samenwerking met vele vakgebieden. Het is een markt die vraagt om enthousiaste, jonge, flexibele en energieke mensen.

Over snelheid, omvang en nieuwe technische ontwikkelingen volgt verder in dit artikel meer, maar eerst dient een en ander in zijn functionele verband te worden geplaatst.

De olieproductie buitengaats

Tot omstreeks het midden van de vorige eeuw werd slechts sporadisch aardolie gebruikt voor verlichting, smeermiddel of als brandstof voor andere doeleinden; plantaardige olie diende voor lampen en machines werden gesmeerd met walvisolie. Omstreeks die tijd begon men enerzijds zowel lampenolie te maken van steenkool en anderzijds doelgericht naar aardolie te zoeken. Dit resulteerde in een wereldproductie van ca. 900 000 vaten olie per dag rondom de eeuwwisseling. De wisselwerking tussen olie-aanbod en ontwikkeling van verbrandingsmotoren versnelde in deze eeuw de behoefte aan olie en aardgas tot op de dag van vandaag. Daarbij werkte de - pas na de tweede wereldoorlog goed op gang gekomen - chemische industrie, die aardgas en olie als grondstof gebruikt, als extra versnelling.

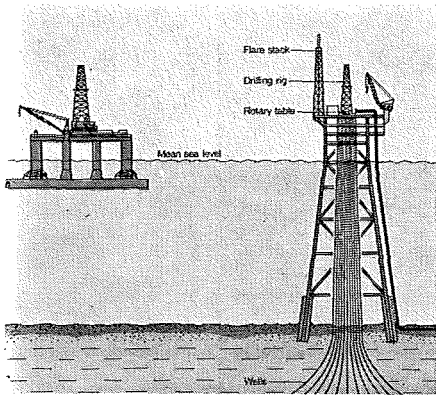
Er werd daarom steeds intensiever en op steeds meer plaatsen naar olie geboord. In Venezuela werd rond 1930 onder het meer van Maracaibo olie gevonden en in productie gebracht. Het echte buitengaats exploreren en produceren op het zgn. 'continentale plat' kwam pas na de tweede wereldoorlog op gang in de Golf van Mexico en de Perzische Golf. Voor West-Europa, dat onder het land minder met ontginbare koolwaterstoffen was bedeeld dan veel



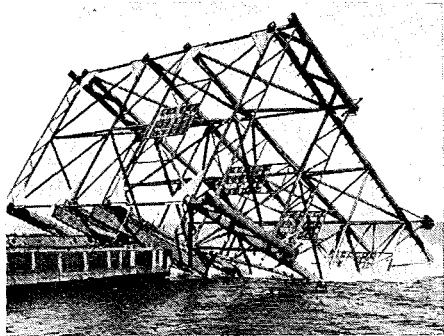
Kaart van de Noordzee met indicatie van de belangrijkste olievelen en geplande pijpleidingen

Map of the North Sea, indication of the most important oil fields and projected pipelines

Detailkaart Noordzee met de olievelen waarvoor productieplannen bestaan
More detailed map of the North Sea; indication of the oil fields for which the exploration is planned

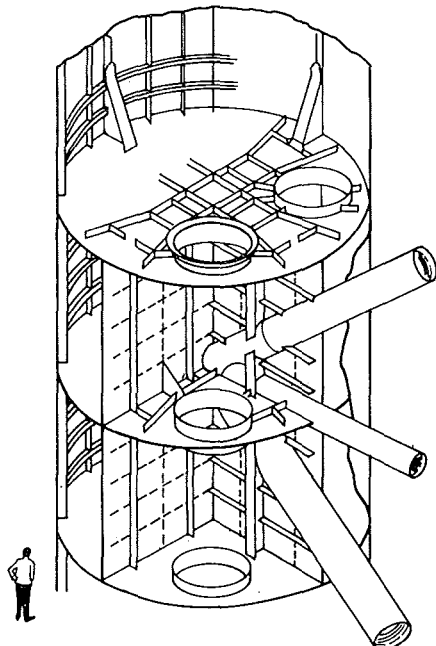


Een 'semi submersible' boorvaartuig en een stalen 'jacket' productieplatform
A semi submersible drill boat and a steel jacket production platform



Lancering van een stalen platform
Launching of a steel platform

Schets van een knooppunt voor een jacket
Joint connection for a jacket



andere plekken op de wereld, werd het buitengaats zoeken pas interessant door de vondst van grote aardgasreserves, zoals in Slochteren, die hoge verwachtingen over de Noordzee deed ontstaan. De Noordzee was echter qua omgeving minder vriendelijk dan de zeeën waarop tot dusver was geboord. De nog steeds stijgende energiebehoefte en de politieke ontwikkelingen maakten de Noordzee-ontginning pas echt interessant.

Aan de Waddenkust werden boringen verricht vanaf kunstmatige eilanden en in de zuidelijke Noordzee werden hier en daar productie-eilanden van stalen vakwerken gemaakt, nadat exploratieboringen vanaf 'semi submersibles' daarvan het nut hadden aangetoond. Zo'n 'semi submersible' is een vaartuig met diepe drijflichamen en een relatief licht waterdoorsnijdend oppervlak, zodat voldoende stabiliteit tijdens ruw weer is verzekerd. De nog relatief ondiepe en rustige zuidelijke Noordzee bevatte echter wel gas, maar geen olie. De ontwikkeling ging daarom snel naar het Noorden, waar de diepte sterk toeneemt en de wind- en golfbelastingen steeds zwaarder worden. Momenteel concentreert de activiteit in de Noordzee zich op een gebied met waterdiepten van 100 tot 160 meter en golven, die normaal 15 meter hoogte kunnen hebben en eens in de 100 jaar de 30 meter kunnen bereiken.

Van stalen vakwerk naar betonnen caisson

Bovengenoemde factoren zorgden voor een eigen technische ontwikkeling op de Noordzee. Het tot voor enige jaren geleden gebruikte stalen vakwerk werd zonder dek geprefabriceerd en op een ponton naar de locatie vervoerd. Daar werd het te water gelaten, recht op de bodem neergezet en vervolgens werden er palen door de poten heen geheid. Met grote zee-waardige bokken kon dan het dek worden geplaatst.

Voor grotere diepten worden deze vakwerken (jackets) direct zelfdrijvend uitgevoerd, terwijl voor de verankering aan de bodem per poot meerdere palen met lengten tot 100 meter nodig zijn. Het moge duidelijk zijn, dat de kosten en de bouwtijd enorm toenamen. Er zijn thans platforms van meer dan 20 000 ton staal in productie (vergelijk daarmee de 9700 ton zware Eiffeltoren van dubbele lengte), waaraan dan nog enkele duizenden tonnen stalen platen en dekconstructies moeten worden toegevoegd. Bovendien zijn de details van deze vakwerken zeer gecompliceerd. Knooppunten in zulke vakwerken moeten worden uitgeoefend in ovens. Stalen platen met dikten van 5 cm en meer moeten worden gebogen, bewerkt en gelast.

De prijs per ton staal wordt een veelvoud van die in de ons bekende staalconstructies. Een ander belangrijk nadeel van deze constructies is de hoeveelheid werk, die buitengaats onder vaak barre omstandigheden moet worden verricht; en dat is slechts gedurende het zomerseizoen (van 1 mei tot 1 september) mogelijk op de noordelijke Noordzee.

In een productieveld, vooral in dit gebied, is er bovendien om verschillende redenen grote behoefte aan opslagcapaciteit. Deze kan in eerste instantie worden gebruikt wanneer het olie-producerende platform nog niet door pijpleidingen met de wal (een afstand van soms honderden kilometers) is verbonden. Gedurende weersomstandigheden waaronder een tanker geen olie kan tanken, kan nu toch in de buffertank geproduceerd worden. Dergelijke tanks waren in staal reeds toegepast in de Perzische Golf bij Dubai voor een waterdiepte van ca. 50 m. Voor de Noordzee gingen de gedachten uit naar drijvende cilindervormige tanks, zgn. 'spars'. Phillips petroleum gooide echter het roer om door in 1970 aan de firma Doris en een Noors aannemersconsortium een opdracht te verlenen voor een betonnen opslagtank voor 1 miljoen vaten olie, die drie jaar later als gewichtsconstructie op staal werd gefundeerd in het Ekofiskveld.

Hiermee was het ijs gebroken en had de betonnen gewichtsconstructie zijn intrede gedaan. Er volgden nu opdrachten voor betonnen productie-eilanden met opslagcapaciteit, de zgn. 'gravity structures'.

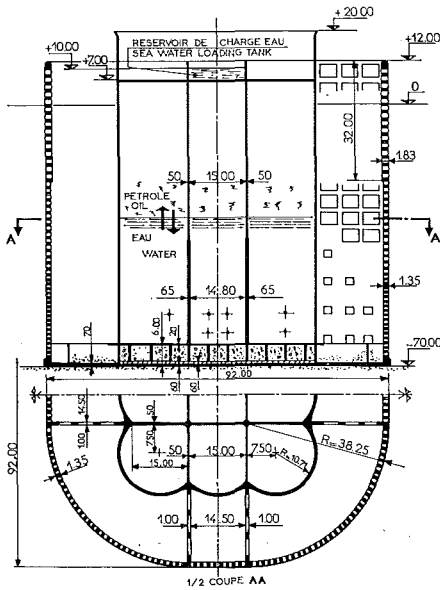
Eerlijkheidshalve moeten wij constateren, dat dit vooral mogelijk was doordat de Noordzee-bodem ter plaatse geschikt was voor funderingen op staal. Het betonnen gewichtplatform bleek minder bouwtijd op de buitengaats locatie te vergen, het heeft opslagcapaciteit geïncorporeerd, het bleek tot dusver verschillende malen in concurrentie met stalen eilanden goedkoper te zijn en het ziet er naar uit dat de totale bouwtijd korter is. Bovendien is het eenvoudig grotere en zwaardere dekconstructies op het betonnen platform te plaatsen.

Opdrachten en typen

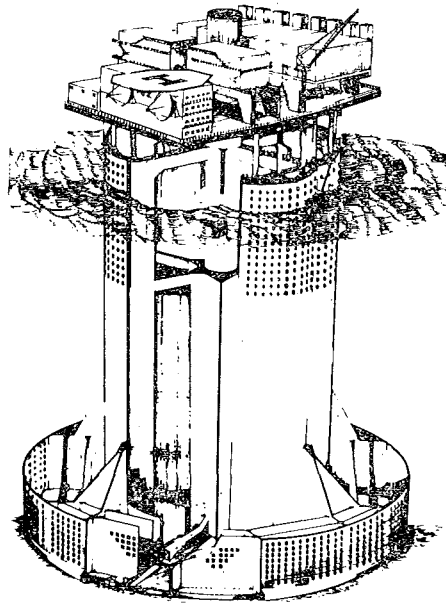
Er zijn voor de Noordzee thans elf betonnen eilanden in aanbouw van vier verschillende typen. De Franse firma Doris, ontwerper van de Ekofisktank, ging door op het idee van de geperforeerde golfbreker rondom de constructie en heeft thans samen met de Engelse firma Howard twee platforms in aanbouw. De Noorse firma's Hoyer Ellefsen en Selmer, die beide betrokken waren bij de bouw van de Ekofisktank, hebben thans met enkele andere Noorse firma's onder de consortiumnaam 'Condeep' vijf platforms in aanbouw. Deze platforms bestaan uit 19 cilinders met een hoogte van ca. 60 m, waarvan er drie doorlopen en als kolommen fungeren voor het stalen dek.

De Franse firma 'Seatank' heeft haar jarenlange ontwerpactiviteiten in deze sector bekroond gezien met drie opdrachten, die samen met de Engelse firma 'Sir Robert McAlpine' in Schotland worden gebouwd. Dit ontwerp bestaat uit een in grondvlak vierkant caisson met betonnen torens en een stalen dekconstructie.

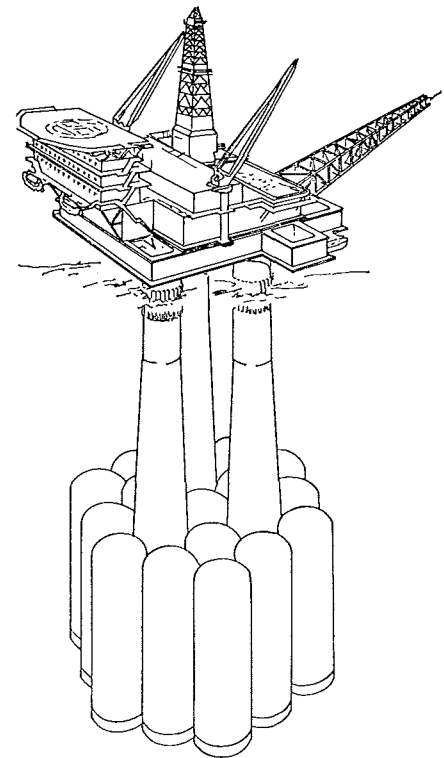
Ten slotte heeft een Nederlands-Engelse aannemerscombinatie onder de naam 'Andoc' (Anglo-Dutch Offshore Concrete) één opdracht in uitvoering in een bouwput op de Maasvlakte. Ook hier bestaat het ontwerp uit een vierkant caisson met betonnen torens en een stalen dek.



Doorsnede en plattegrond Ekofisktank
Cross section and plan Ekofisk storage vessel

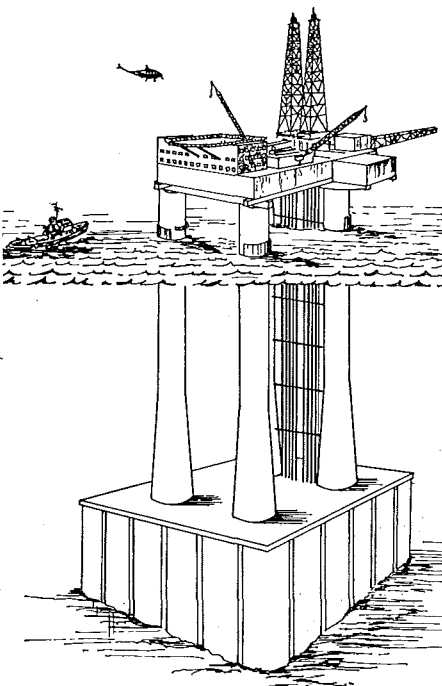


Platform dat door de groep 'Howard-Doris' gebouwd wordt
Platform designed by Howard-Doris



'Condeep-platform'

Platform van Seatank-McAlpine
Platform designed by Seatank-McAlpine



De Nederlandse partners van 'Andoc' (de aannemersgroepen Bos Kalis, HBG, Stevin en Volker) zijn verenigd in 'Offshore Concrete BV'. In deze samenstelling hebben zij reeds eerder als moedermaatschappijen van de 'Netherlands Offshore Company' (NOC) ervaring opgedaan met de olie-industrie op de Noordzee, door het leggen van pijpleidingen en het plaatsen van stalen vakwerkplatforms.

Veel andere consortia, bestaande uit ingenieursbureaus, aannemers en researchinstututen hebben ontwerpen uitgewerkt, zodat de oliemaatschappijen voor elke opdracht een flinke serie concurrenten voor een aanbesteding kunnen uitnodigen. Eenvoudig is het echter niet. Als succesvol aanbieder moet men een ontwerp hebben, dat reeds zeer ver is gedetailleerd en berekend om van een zgn. 'classification society' (Lloyds of Norske Veritas) een 'Quality Assurance' te verkrijgen. Dit houdt in dat deze maatschappijen voldoende inzicht en vertrouwen in het project kunnen krijgen ten einde de opdrachtgever te verzekeren, dat bij verdere uitwerking van het ontwerp en bij de bouw geen onaangename, de bouwtijd vertragende en kostenverhogende verrassingen te verwachten zijn. Het Nederlandse TNO-IBBC is sinds enige tijd ook als 'kwaliteitsverzekeraar' werkzaam.

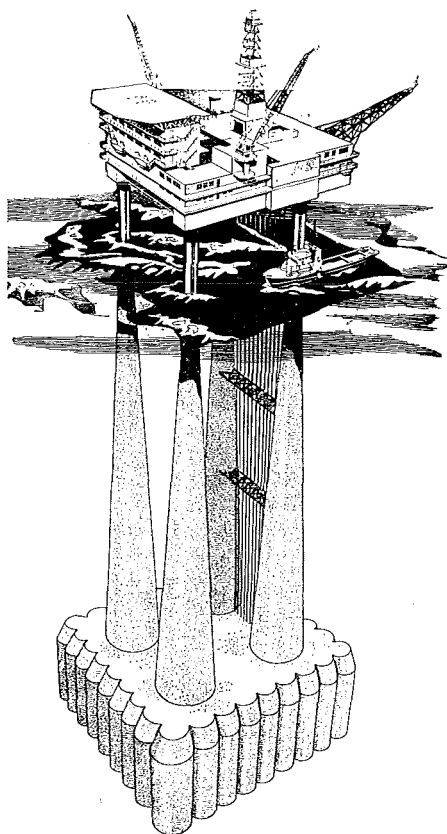
Verder dient de succesvolle aanbieder verzekerd te zijn van de nodige vergunningen om van een bouwplaats gebruik te maken. Dat laatste is voor veel groepen, met name in Schotland, een groot struikelblok gebleken.

Anatomie van een productie- en opslagplatform

Afgezien van de, eigenlijk als nevenfunctie en bijkomend voordeel beschouwde buffer-opslagcapaciteit, gaat het de opdrachtgever voornamelijk om het produktiedek; een stabiel en veilig platform om een belasting van 20 000 ton en meer te kunnen dragen. Het dek is de plaats van waaraf één of meerdere boortorens met bijbehorend materieel (generator, hijswerktuigen, boorstangopslag, boorspoeling, productie-eenheden enz.), de soms 60 vanuit het platform uitwaaiende bronnen kunnen aanboren. Daar horen dan uiteraard bemanningsverblijven, heli-copterdek, veiligheidsmateriaal als sloepen en brandweermaterieel bij.

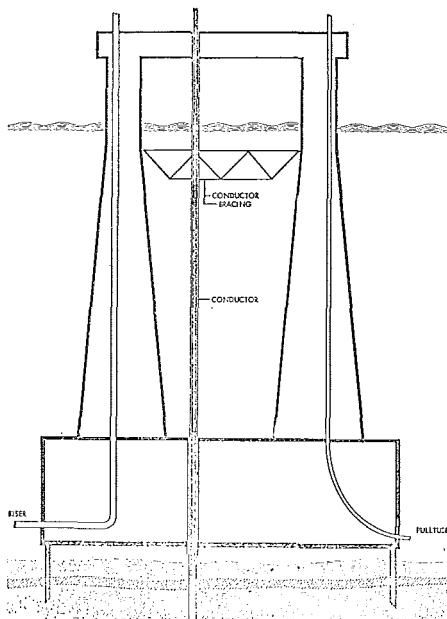
Zodra alle bronnen zijn geboord, kan zo'n eiland tot 200 000 vaten olie per dag produceren. Die olie moet worden ontgast, gekoeld, verpompt in opslag, naar tankers of in pijpleidingen. Vandaar dat het dek (en nu wordt het moeilijk verder consequent Nederlandse woorden te gebruiken) gas- en waterafscheiders, een 'flare boom' (flakkervlamuithouder), 'pigging'-eenheden (voor onderhoud van de pijpleidingen), warmte-wisselaars enz. herbergt. Deze dek-faciliteiten zullen in de naaste toekomst worden uitgebreid met de ondersteuningsfunctie van produktieboringen, die drijvend op enige afstand van het platform door 'semi submersibles' worden uitgevoerd en op het platform worden aangesloten.

Bij de stalen vakwerkplatforms moest het gehele dek buitengaats worden samengesteld, vandaar dat het hierboven genoemde produktiematerieel geprefabriceerd in eenheden tot ca. 1000 ton, zgn. 'modules', aan boord wordt gebracht. Sommige van de betonnen eilanden zijn uitgerust met een dek in de vorm van een ponton, waarin een gedeelte van de benodigde installaties van tevoren is ondergebracht. Deze zgn. 'geïntegreerde dekken' reduceren ook weer de buitengaats werkzaamheden bij de installatie.



Andoc-platform

Doorsnede van een platform met 'conductors', 'risers' en 'pull tubes'
Facilities for production



BOUWERS	OPDRACHTGEVERS	OLIEVELD	BOUWPLAATS	WATERDIEPTE	INSTALLATIE
DORIS, HOYER ELEFSEN, SELMER	PHILIPS	EKOFISK	NOORWEGEN	75	1973
DORIS-HOWARD	TOTAL	FRIGG	NOORWEGEN	95	1975
	TOTAL	ALWYN	NOORWEGEN	127	1976
CONDEEP	MOBIL	BERYL	NOORWEGEN	110	1975
CONDEEP	SHELL	BRENT	NOORWEGEN	140	1975
CONDEEP	SHELL	BRENT	NOORWEGEN	140	1976
CONDEEP	ELF	FRIGG	NOORWEGEN	120	1976
CONDEEP	MOBIL	STATFJORD	NOORWEGEN	140	1976
SEATANK - MC ALPINE	ELF	FRIGG	SCHOTLAND	105	1975
SEATANK - MC ALPINE	SHELL	BRENT	SCHOTLAND	140	1975
SEATANK - MC ALPINE	SHELL	CORMORANT	SCHOTLAND	150	1976
ANDOC	SHELL	DUNLIN	NEDERLAND	150	1976

Overzicht van de per medio november 1974
verleende opdrachten voor betonnen
productieplatforms

Position at medio November 1974 of the
platforms given in commission

Voor de productie zijn verder een aantal tegen golfkrachten bestand zijnde pijpen van belang: de 'conductors' die de geleiding vormen van de boorstangen van het dek naar de bodem, de 'risers', die de olie (of het gas) van het dek naar andere platforms, een 'spar' of een pijpleiding brengen en de 'pull tubes' die dienen voor het naar het dek trekken van kabels en pijpen met kleine diameter en naar belendende onder water uitgevoerde productieboringen (flow lines). Door de torens komen verder de benodigde leidingen omhoog om het platform zijn opslagfunctie te kunnen laten vervullen.

De torens herbergen verder in sommige gevallen de benodigde pompen voor de opslag, kortsluitleidingen met kleppen tussen de diverse 'risers' en uiteraard de daarbij behorende vloeren, trappen en liften.

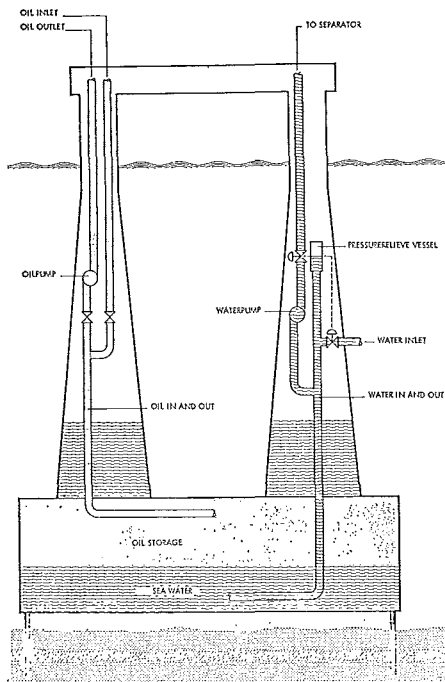
Uit dit alles wordt enerzijds de wens geboren de kolommen zo ruim mogelijk te doen zijn, maar anderzijds vragen de golfkrachten op de kolommen om een zo slank mogelijke vormgeving. De kolommen vervullen verder een bijdrage aan de stabiliteit van het drijvende eiland op weg naar zijn bestemming als het caisson zelf reeds onder water is verdwenen. Het caisson vervult naast de opslagfunctie voor de opdrachtgever diverse nevenfuncties. Het vormt het funderingsoppervlak, daarbij doorgaans geholpen door een aantal randen ('skirts'), die in de bodem kunnen dringen. Het caisson vormt verder het drijflichaam van het eiland tijdens de diverse bouwfasen en vertegenwoordigt bovendien het leeuwedeel van het gewicht, daarbij soms geholpen door de extra ballast die het herbergt, wat nodig is voor een stabiele fundering op staal. De vorm, hoogte en breedte zijn echter op zich weer van invloed op de krachten die uiteindelijk op het eiland zullen werken, maar ook op de diepgang tijdens transport en op de stabiliteit in de tijdelijke drijvende bouwfasen.

De fundering van een gewichtsconstructie

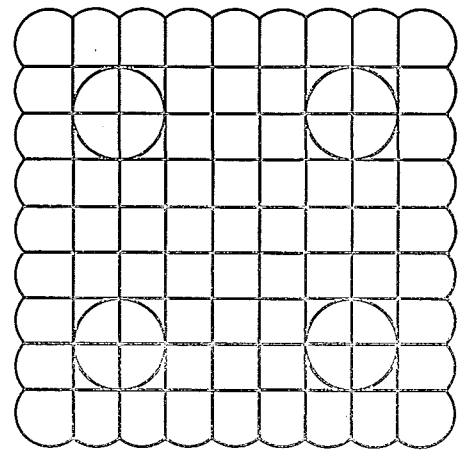
We noemden reeds het hoofdkenmerk van de betonnen eilanden, de fundering op staal. Op zich niets nieuws, maar met enkele enorme handicaps omgeven. Er zijn namelijk nog geen goede werktuigen om volgens de standaards die wij op het land gewend zijn, bodemonderzoek te verrichten. Dit geldt zowel voor de vlakheid van de bodem als voor de eigenschappen van de bovenste grondlagen. Voor zover onderzoek mogelijk is, blijkt dit buitengewoon kostbaar te zijn. Een andere verzwarende omstandigheid is, dat de belasting door golven resulteert in een tot dusver ongekend hoge wisselbelasting op de bodem. Dit kan enerzijds resulteren in wateroverspanning in opgesloten zandlagen en anderzijds in verweking van op zich uitstekende kleilagen met een cohesie van tientallen tonnen per vierkante meter. Beide fenomenen zijn bij grondmechanica-laboratoria over de gehele wereld, waaronder LGM te Delft, in serieuze studie.

De ontwerper van 'gewichtsconstructies' is vooreerst gedwongen uit te gaan van zeer voorzichtige en conservatieve aannamen. De meeste eilanden hebben betonnen of stalen schorten ('skirts') rondom, die enerzijds tot functie hebben de bodemongelijkheden te overbruggen en anderzijds schuifweerstand ontleen aan diepere en hechtere bodemlagen.

De ruimte tussen schorten, bodem en caisson wordt geïnjecteerd. Aanvullend worden ingesloten zandlagen gedraineerd door het aanbrengen van zandfilters tegen de schorten en van voorzieningen om later aanvullende drainagebronnen te kunnen aanbrengen. Gezien alle onzekerheden worden de eilanden uitgerust met een uitgebreide instrumentatie om de fundering verder te observeren. Deze bestaat onder meer uit meetinstrumenten voor onderzoek van de waterdruk in de poriën, de korrelspanning en de gemiddelde belasting op de caissonbodem.



Schema van een olie-water-verpompsysteem
Typical oil storage scheme



Plattegrond Andoc-platform
Plan of the Andoc platform

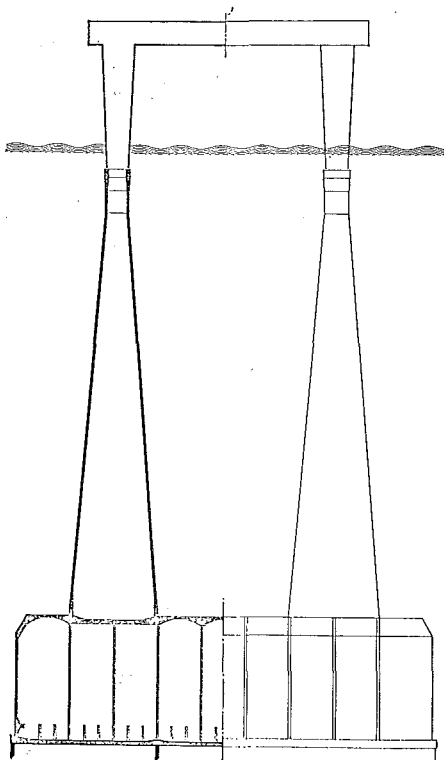
Maritieme aspecten

Van de dertig tot vijftig geplande levensjaren voor deze platforms brengen ze slechts enkele maanden in het droge door. Dat is dan doorgaans slechts de bodem met een gedeelte van de opgaande wanden, die in een droogdok worden vervaardigd. Al in een vroeg stadium laten alle huidige bouwers de constructie drijven, waarbij ter vermindering van de diepgang en dus ter beperking van diepte en kosten van het bouwdoek, een luchtkussen tussen de eventueel aanwezige schorten ('skirts') wordt aangebracht. Drijvend in dieper water, worden dan wanden en torens met behulp van een glijbekisting, en het dak gestort. Het caisson, dat na deze bouwfasen nog voldoende vrijboord heeft, wordt zo naar nog dieper water gesleept. In dit stadium is het nog een zeer stabiel drijvende doos.

Verder afgezonken komt het moment dat het caissondak onder water verdwijnt en dat is het punt, waarbij de drijf stabiliteit kritiek wordt. Deze wordt nu immers nog bepaald door het traagheidsmoment van het waterdoorsnijdende oppervlak (dus gunstig bij dikke kolommen die ver van elkaar liggen) gedeeld door het ondergedompelde volume, door de ligging van het zwaartepunt van het caisson en door de hoedanigheid van het vrije wateroppervlak in het caisson. Een juiste dimensionering, eventueel geholpen door ballast in het caisson, vormt de basis voor een stabiel gedrag.

Het caisson wordt, in het geval van Andoc, nu zover afgezonken dat met eenvoudige bokken de bovenste, stalen kolomgedeelten en het dek kunnen worden geplaatst. De voor de stabiliteit nog toelaatbare hoeveelheid dekbelasting kan dan worden gemonteerd, waarna het caisson weer, zover als voor de diepgang op de verdere zeereis nodig is, omhoog wordt gebracht door ballastwater uit het caisson te pompen. Daarna volgt de uiteindelijke locatie en de eigenlijke afzinkoperatie door middel van verder ballasten met water; een zeer zorgvuldig uit te voeren operatie, begeleid door zo'n 60 tot 80 000 pk aan sleepboten en een uitgebreid instrumentarium.

Doorsnede Andoc-platform
Cross section Andoc platform



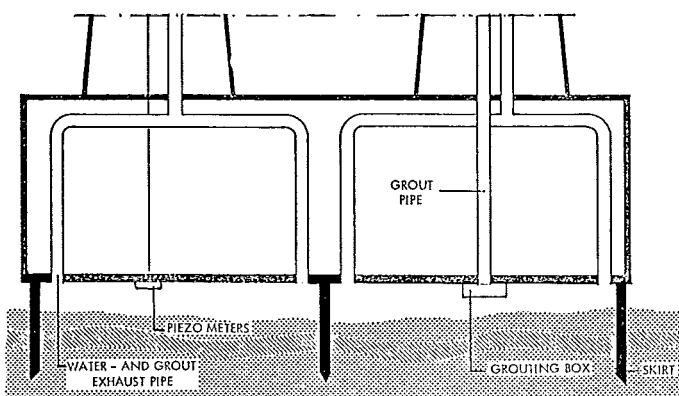
Enmaal afgezonken en gefundeerd moet het platform tot nu toe in ons vak ongekende golfbelastingen weerstaan: golven tot 30 m hoogte, die resulteren in horizontale krachten van 300 tot 600 Meganewton (35 000 tot 60 000 ton) hetgeen valt te vergelijken met de totale stormwindbelasting op alle flats in de Bijlmermeer tezamen.

Behalve de enorme horizontale sleep- en massakracht die een golf op zo'n platform uitoefent en het daardoor ontstane kantelmoment, is het dynamische gedrag van de golfbelastingen een belangrijk aspect. Enerzijds resulteren afhankelijk van de eigen frequentie van het platform en onderdelen daarvan de statisch berekende belastingen in hogere waarden en anderzijds zijn, omdat zowel het staal als het beton onderhevig is aan vermoeiing, de toelaatbare spanningen lager dan bij een statische belasting. Het moge duidelijk zijn, dat de berekening van een en ander niet eenvoudig is. De optredende golven zijn niet de mooie sinusvormige oppervlakken uit de leerboeken.

Periode, hoogte en lengte zijn geen moment hetzelfde. Statische analyse van het gedrag van zogenaamde golfspectra, aangevuld met modelproeven en het verzamelen van metingen op zee, is de laatste jaren met het oog op het offshore werk volop ontwikkeld. Het Waterloopkundig Laboratorium in Delft en het Nederlands Scheepsbouwkundig proefstation in Wageningen hebben op dit gebied internationaal vermaard werk verricht.

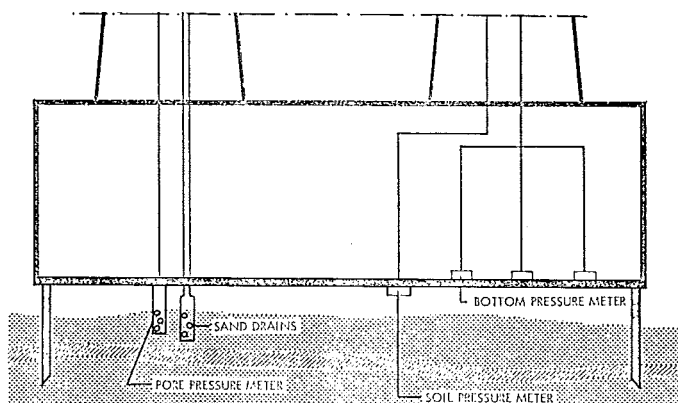
Het ontwerp

Het moge uit het voorgaande duidelijk zijn, dat het ontwerpen geen eenmanswerk is. De functionele eisen van de opdrachtgever, de funderingsaspecten, de vertaling van de dynamische golfbelastingen in statische belastingen, de statische berekening van zo'n samenstel van schijven en schalen, het nautische gedrag, en het vereiste bouwtempo van een dermate grote constructie vereisen een nauw samenwerken van veel technische disciplines om tot een realiseerbaar project te komen. Zo'n team van werktuigbouwers, betonconstructeurs, hydraulica-specialisten, trillingsdeskundigen, systeemanalisten, programmeurs, planners en ervaren projectleiders ziet zich, voordat een conceptontwerp vorm begint te krijgen, geconfronteerd met tal van tegenstrijdigheden.



Voorzieningen om een injectielaag aan te brengen onder een platform
Grouting arrangement gravity structure

Instrumenten ter observatie van de fundering onder een platform
Foundation monitoring system



Zo zal bij voorbeeld de werktuigbouwer grote kolommen wensen om alle pijpen in onder te brengen.

De constructeur van het dek zal daar gaarne mee instemmen, evenals de man die de stabiliteit tijdens het afzinken bestudeert.

Maar de hydraulica-specialist zal waarschuwen dat de golfaanval nu veel te groot wordt; de stabiliteit van de fundering wordt ongunstig, de kosten van beton worden hoger en de diepgang wordt te groot voor de bouwplaats die was uitgekozen.

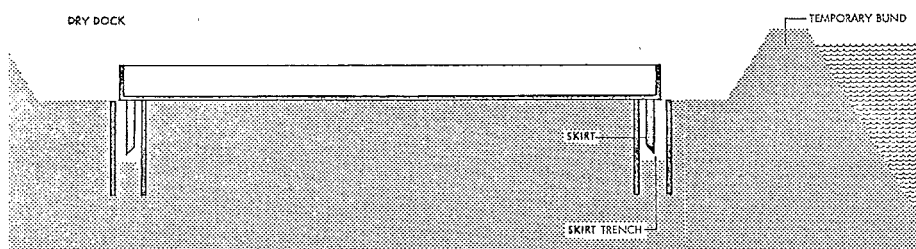
Kortom, een problematiek die men niet zonder meer in een paar uurtjes vergaderen oplost. Deze tegenstrijdigheden gelden voor in feite alle hoofdafmetingen. Het gewicht van het dek, de diameter, afstand, vorm en aantal van de kolommen, de hoogte en de breedte van het caisson en de vorm en compartimentering van het caisson vormen alle een bron van argumenten met vóór- en tegenstemmers onder de specialisten.

Is eenmaal voor een conceptvorm gekozen, dan is het ontwerpen in eerste instantie niet een onderwerp voor geniale uitvindingen, maar een enorm dimensioneringsprobleem dat alleen met hard werken, 'trial and error' en vooral met veel onderling overleg en begrip tussen de verschillende deskundigen succesvol kan worden opgelost.

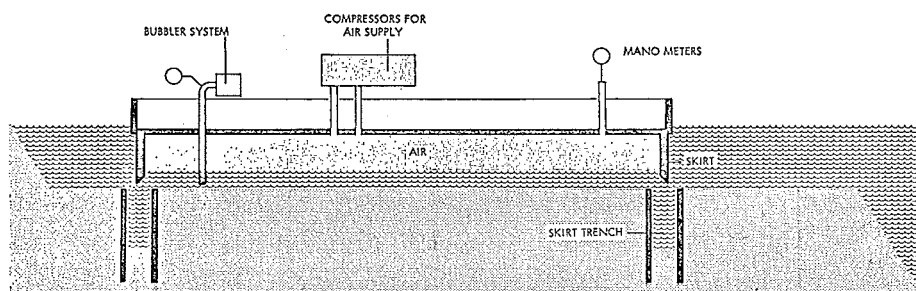
Enkele grenzen voor die ontwerpcriteria zijn vrij gemakkelijk te definiëren. De diepgang van het caisson op weg van bouwdoek naar locatie is in het algemeen een beperkende factor, evenals de minimale stabiliteit op het moment dat het caissondak tijdens het afzinken onder water verdwijnt.

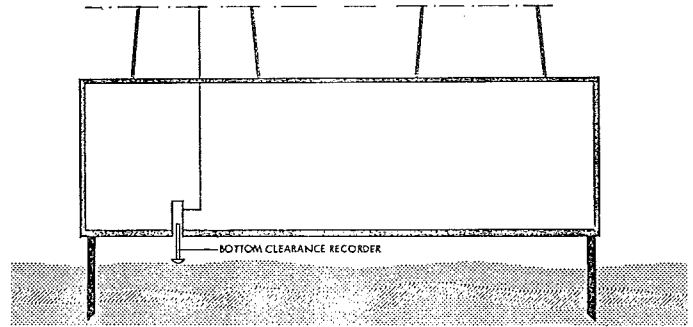
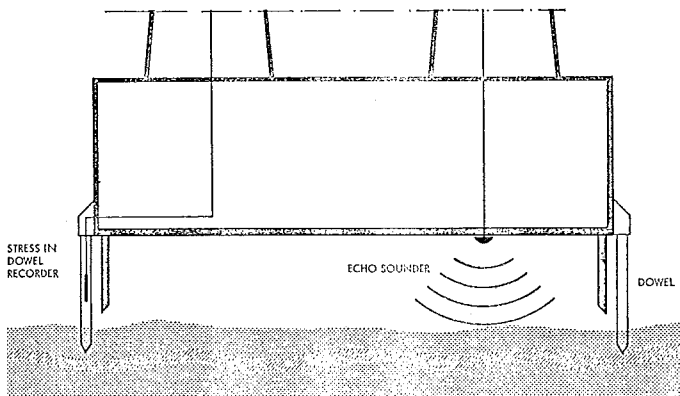
De sterkte van het eigenlijke caisson wordt gedicteerd door de wateroverdruk op het moment dat het caisson de bodem raakt; dan immers heerst er binnen atmosferische druk en buiten een overdruk van 10 tot 15 atmosfeer. Uiteraard liggen per geval ook het gewenste oppervlak en de minimale opslagcapaciteit vast, terwijl bovendien waterdiepte, golfspectra en enige indicatie van de bodem zijn gegeven. Andere ontwerpisen, zoals de bouwtijd van twee jaar en de economie vallen niet direct in concrete, mathematisch verwerkbare criteria te vertalen. Als overheersend aspect in het ontwerpproces geldt dat alle dimensies elkaar beïnvloeden. Verzwaart men bij voorbeeld het dek, dan zal voor de afzinkstabiliteit het caisson groter moeten worden, terwijl voor de sterkte de kolommen moeten worden verzwaart. Het caisson

Caissonbodem in aanbouw in het droogdok
Bottom construction in dry dock



Drijvende caissonbodem met luchtkussen
Floating caisson bottom with air cushion





Hulpmiddelen tijdens de laatste fase van het afzinken
 Touchdown monitoring instruments

Afstandbepaling tot de bodem tijdens het penetreren van de schorten in de zeebodem
 Distance recording during penetration

Overzicht van enkele variabele dimensies van een platform met hun invloed op enkele ontwerpcriteria

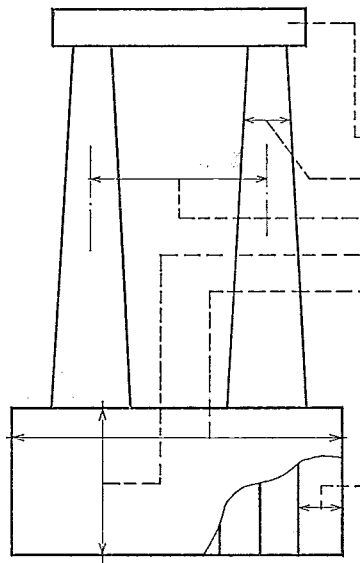
+ = een gunstige kostenverlagende invloed bij vergroting

o = indifferent

- = een ongunstige kostenverhogende invloed bij vergroting

± = gunstige c.q. ongunstige invloed, hierbij ligt de optimale dimensie tussen nauwe grenzen

Survey of some variable dimensions of a platform and the influence on some design criteria



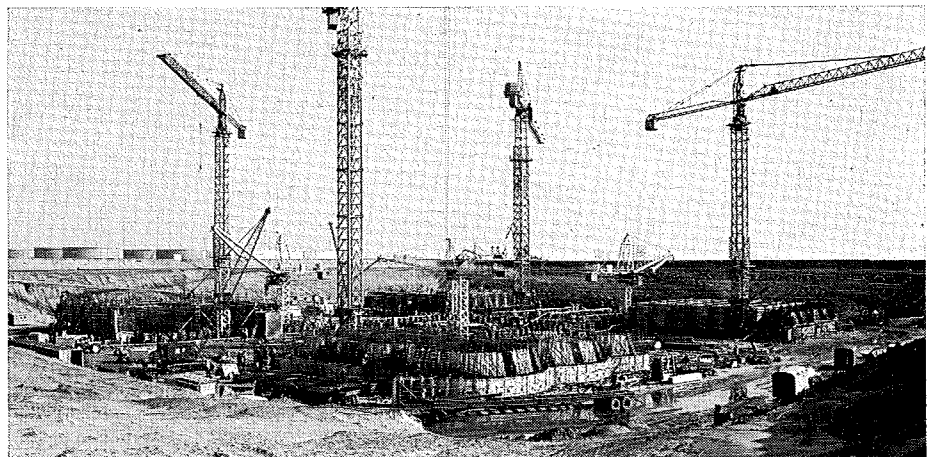
dekgewicht	+	-	o	-	-	-	-	+
kolomdiameter	-	+	-	-	±	±	-	+
kolomafstand	o	+	+	o	o	±	o	o
caissonhoogte	o	+	-	-	o	+	+	o
caissonbreedte	±	±	-	+	-	o	-	+
onderverdeling	o	-	o	o	-	o	+	+
caisson gewicht	±	±	o	-	o	o	-	o
fundering								
stabiliteit								
golf aanval								
diepgang								
installatiekosten								
dekkosten								
betonkosten								
wensen gebruiker								

vangt dan meer golfkrachten waardoor de fundering eventueel niet meer voldoet enz. Een volledige herdimensionering is dan geboden. Door kleine wijzigingen, noodzakelijk geworden door verandering van eisen of het over het hoofd zien van bepaalde aspecten bij het ontwerpen, vervalt men gemakkelijk in een spiraal, die met veel inspanning slechts weer in een nieuw evenwichtspunt van binnen nauwe grenzen op elkaar afgestemde dimensies eindigt.

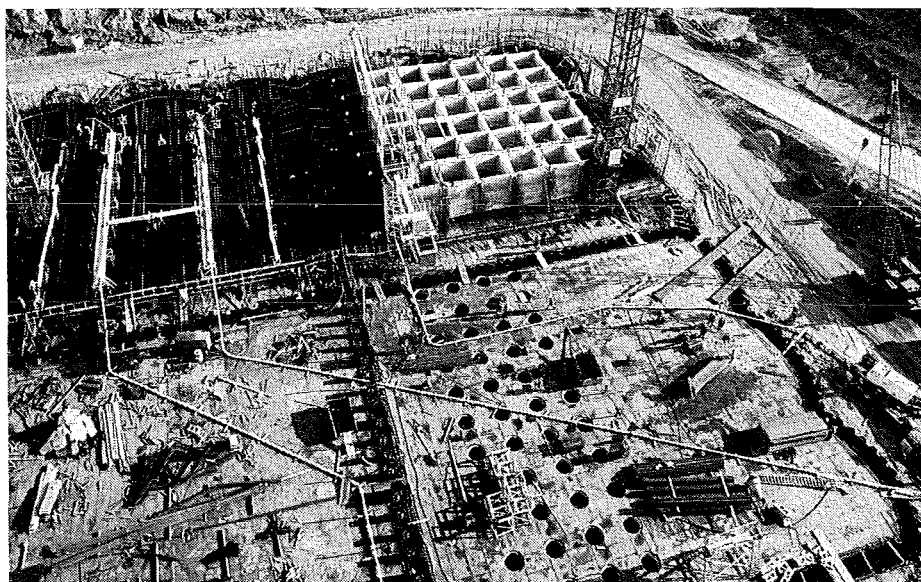
Uitvoering

Het is wat voorbarig om veel concluderends over de uitvoering te zeggen. Op vier bouwplaatsen in Europa wordt hard gewerkt om kwaliteit en planning te halen. De uitvoeringsmethodieken zijn hier en daar verschillend en afgestemd op de lokale bouwpraktijk en de ter plaatse beschikbare materialen.

Bouwdok Andoc op de Maasvlakte
 Building dock Andoc situated on the Maasvlakte, Europoort
 foto: Jack van Bodegom/Spijkenisse



Bodem Andoc-caisson in uitvoering
Caisson bottom under construction
foto: Jack van Bodegom/Spijkenisse



Betonneren van de vloerconstructie
Casting the floor structure
foto: Cement/Bob de Ruiter

Vast staat dat het nodig is een bijzonder hoge betonkwaliteit (B 50) aan te houden. Deze eis komt enerzijds uit de verlangde olie- en zeewaterbestendigheid en anderzijds uit de gevoeligheid van het ontwerp naar voren.

Tijdens het afzinken wordt het beton van het caisson immers tot in elke vezel belast; een lagere kwaliteit zou direct een omgekeerd evenredig groter caisson met alle daaraan verbonden consequenties vereisen. Voor deze betonkwaliteit is een hoog cementgehalte vereist, wat op zich weer problemen rondom de bindingswarmte met zich meebrengt. Sommige aannemers koelen daarom het verhardende beton.

De omvang van het werk geeft de grootste problemen voor de uitvoering tijdens het glijden van het eigenlijke caisson. Er moet immers, afhankelijk van het ontwerp zo'n 1200 tot 2000 strekkende meter wand met een totale inhoud van 1000 tot 1500 m³ per meter hoogte worden gegleden. Men besloot in de meeste gevallen, vooral in verband met de uitvoeringstijd en de te verwachten complicaties van stortvoegen, om het caisson in één keer te glijden.

Men kan zich voorstellen welke implicaties dit heeft voor materiaal en organisatie bij handhaving van een minimum glijdsnelheid van circa één meter per dag. De beide eerste Noorse caissons hebben deze bouwfase, gebruik makend van vier torenkranen en betontransport met behulp van jappers, inmiddels succesvol achter de rug.

Op de Maasvlakte bouwt Andoc thans met grote snelheid het eerste Nederlandse caisson. In het bouwdok, waar op 1 mei met baggeren werd begonnen, kon medio september de eerste betonspecie worden gestort. Thans, medio november, zijn de eerste 10 000 m³, circa 10% van de totale betonhoeveelheid, gestort.

Het ziet er naar uit dat dit het inspannende begin is voor een nieuwe markt van betonproducten voor de zee; een nieuw terrein voor het beton en voor allen die van het ontwerpen en uitvoeren van betonconstructies hun vak en hobby hebben gemaakt.

Literatuur

- *New Civil Engineer*, special review North Sea Oil, London, mei 1974
- *De Ingenieur*, jaargang 86, nr. 24
- Proceedings of the FIP conference Tbilisi, 1972; Concrete Sea Structures
- *Cement XXIV* (1972), nr. 12, blz. 571-576
- *Cement XXVI* (1974), nr. 2, blz. 47-51