

De tunnel onder de Oude Maas tussen Dordrecht en Zwijndrecht

Het ontwerp

ir.H.J.C.Oud
ir.J.M. van Geest
Rijkswaterstaat, directie Sluizen en Stuwen

1. Inleiding

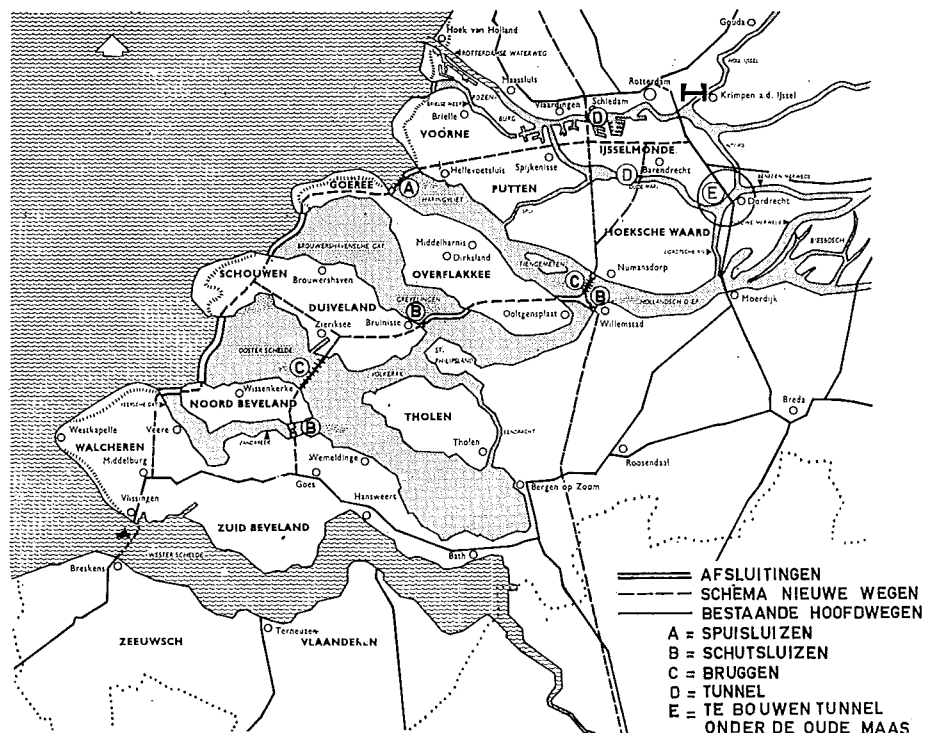
Sedert enige jaren is de Zwijndrechtse brug over de Oude Maas niet meer in staat de sterk toenemende verkeersstromen naar behoren, dat wil zeggen zonder vertragingen voor het wegverkeer, te verwerken. Vooral ook het openen van de brug ten behoeve van het eveneens drukker wordende scheepvaartverkeer, heeft voor het wegverkeer bijzonder grote vertragingen tot gevolg.

Vandaar de plannen van de Rijkswaterstaat voor een nieuwe oeververbinding. Er waren twee tracés mogelijk, namelijk een verbinding met het Eiland van Dordrecht, dus volgens de huidige rijksweg, of een tracé over de Hoekse Waard, het zogenaamde Munnikensteegtracé (fig.1). Van het verkeer, dat de brug over de Oude Maas gebruikt, heeft momenteel iets meer dan de helft betrekking op Dordrecht. Verwacht wordt dat deze relatie nog sterker zal worden. Het tracé over de Hoekse Waard zou dus voor de minderheid van de weggebruikers een oplossing vormen, maar de meerderheid zou al na enkele jaren (± 1978) weer met een overbelaste brug te maken hebben. Om onder meer deze redenen is gekozen voor een verbeterde oeververbinding over het Eiland van Dordrecht.

Aangezien een kruising van de Oude Maas, onafhankelijk van het scheepvaartverkeer, werd verlangd, waren er twee mogelijkheden, te weten een tunnel of een brug, welke laatste zo hoog zou moeten zijn dat hierin geen beweegbaar gedeelte behoeft voor te komen.

Door de Rijkswaterstaat is een plan uitgewerkt voor een tunnel als nieuwe oeververbinding inclusief een reconstructie van rijksweg 16 waaraan de minister van Verkeer en Waterstaat in januari 1970 zijn goedkeuring heeft gehecht, hierbij tevens het advies volgend, dat door de Raad van de Waterstaat is uitgebracht.

In 1966 zijn uitgebreide verkeersstellingen gehouden, waaruit een prognose tot 1990 kon worden opgesteld, rekening houdend met het toekomstige inwonertal van de verschillende

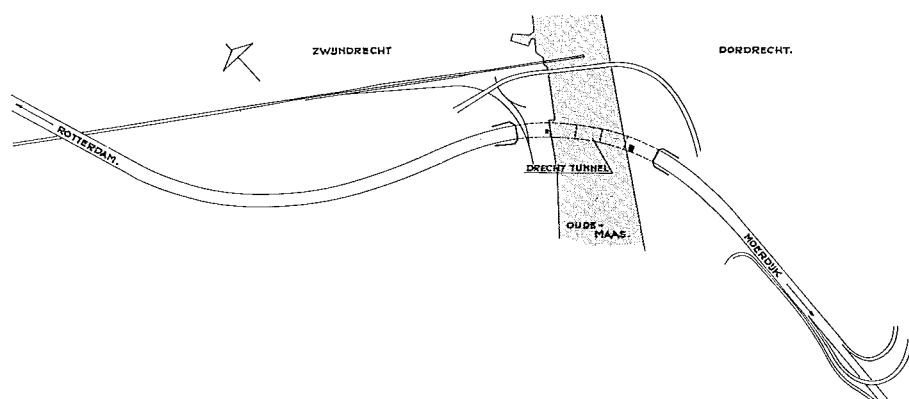


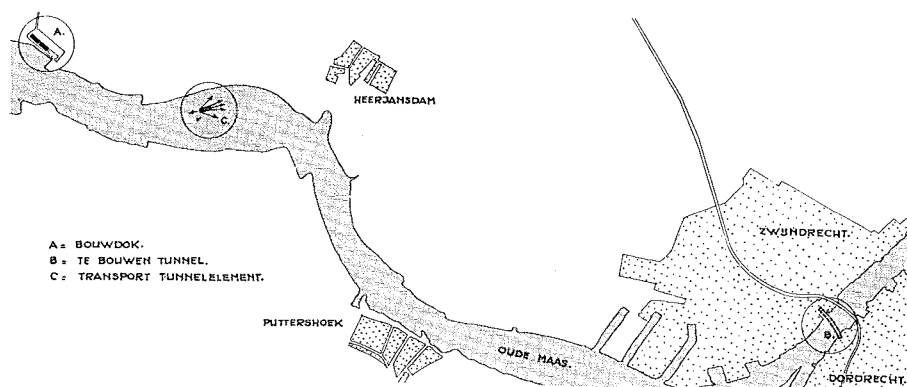


Overzicht situatie bij de brug over de Oude Maas tussen Dordrecht en Zwijndrecht
Survey of the situation near the bridge over the Oude Maas
foto: Aero-Camera, Rotterdam

gemeenten en het gereedkomen van andere wegen in Westelijk Nederland. In 1966 passeerden gemiddeld per werkdag 42 000 voertuigen de brug (beide richtingen tezamen geteld) waarbij zonder brugopeningen dagelijks tijdens de spitsuren filevorming en vertraging optrad. De prognose voor het jaar 1980 geeft ook aan dat op een verdubbeling van het aantal voertuigen ter plaatse van de rivierkruising dient te worden gerekend.

Uit het verkeersonderzoek is verder gebleken dat in 1980 een kwart van het rivierkruisende verkeer doorgaand zal zijn en dat driekwart van het rivierkruisende verkeer een herkomst of bestemming heeft in de Zwijndrechtse Waard of op het Eiland van Dordrecht. Om nu het doorgaande verkeer zo weinig mogelijk oponthoud en stagnatie te geven, is uiterste zorg besteed aan de in- en uitvoeringen van de rijksweg bij Dordrecht en Zwijndrecht. Dit betekent tevens een aanzienlijke ingreep op het stedelijke wegennet. Een oplossing van het grote verkeersprobleem kan alleen worden verkregen met een verruiming van de oeververbinding. Afweging van voor- en nadelen heeft ten slotte geleid tot de keuze van een tunnel naast de bestaande brug, waarbij alleen de tunnel in de rijksweg zal worden opgenomen. De bestaande brug zal als 'stadsbrug' een rechtstreekse verbinding gaan vormen tussen de stedelijke wegennetten van Zwijndrecht en Dordrecht (fig. 2). Voor de brug wordt in 1980 een etmaalintensiteit verwacht van 29 000 voertuigen, wat ruimschoots door deze brug kan worden verwerkt. De tunnel zal in dat jaar op een gemiddelde werkdag maximaal 59 000 voertuigen moeten verwerken.





Een tunneldoorsnede met voor elke rijrichting vier rijstroken blijkt ten minste nodig te zijn om niet spoedig weer in moeilijkheden te geraken. Een van de grootste problemen van het tunnelplan was de constructie en de bouw van een tunnel nabij de oude stadskernen van Dordrecht en Zwijndrecht, alsmede de situering van de tunnel naast de huidige brug. Als gevolg van de bouw mocht namelijk geen schade aan bebouwing in de omgeving of aan de huidige brug in rijksweg 16 ontstaan.

Gezien de geologische opbouw van de ondergrond moest worden gevreesd dat de omgeving bij gebruik van bemaling grote schade zou ondervinden. Tevens was het onmogelijk in de directe omgeving de beschikking te hebben over voldoende werkterrein.

Voor de beide landgedeelten was het noodzakelijk de bouwvolgorde af te stemmen op de in uitvoering zijnde reconstructie van de stedelijke wegnetten. De tunnelwerken en de reconstructiewerkzaamheden mochten elkaar niet hinderen. Het plaatselijke weg- en spoorverkeer moet tijdelijk omgelegd worden, maar de continuïteit van dit verkeer blijft gewaarborgd.

Deze eisen hadden tot gevolg dat voor de landgedeelten van de tunnel tot een zeer speciale bouwwijze moest worden overgegaan. Voor de hand liggende oplossingen zoals open bouwputten en omheide bouwkuipen, konden hierdoor niet worden toegepast. Vele varianten moesten naast elkaar worden gelegd om de voor- en nadelen te kunnen afwegen. Voor de landgedeelten is ten slotte een bouwmethode gekozen die voor het stedelijke verkeer het minst storend was en in de omgeving geen bemalingsschade zou veroorzaken. Dit laatste kon worden verwezenlijkt dank zij de aanwezigheid van een zeer dik kleipakket op ca. 23 m — NAP.

Het landgedeelte is op te splitsen in een open en een gesloten inrit. Het gesloten gedeelte wordt uitgevoerd volgens de 'wanden-dak' methode met diepwanden als wandconstructie. Het open gedeelte van de toeritten is een verlaagde wegconstructie tussen groene taluds waaromheen een damwandscherm is geslagen. In het gehele landgedeelte van de tunnel wordt het waterpeil kunstmatig op een lage stand gehouden van ca. 13 m — NAP.

Doordat de diepwanden en de damwanden, die gegraven, resp. geheid zijn tot in het diepe kleipakket, een gesloten kuip vormen, bestaat er geen gevaar voor grondwaterstandverlaging in de omgeving.

Het riviergedeelte van de tunnel zal, gezien het gebrek aan ruimte, elders worden gebouwd. De meest voor de hand liggende bouwplaats is het bouwdok te Barendrecht (fig. 3). De consequentie hiervan is wel dat de tunnelelementen met afmetingen van ca. 50 × 115 × 8,70 m door de rivier de Oude Maas, die een diepte heeft van 9,70 m — NAP en een vaargeul van 100 m breedte, over een afstand van ca. 13 km getransporteerd moeten worden. Toch bleek deze oplossing de enig haalbare.

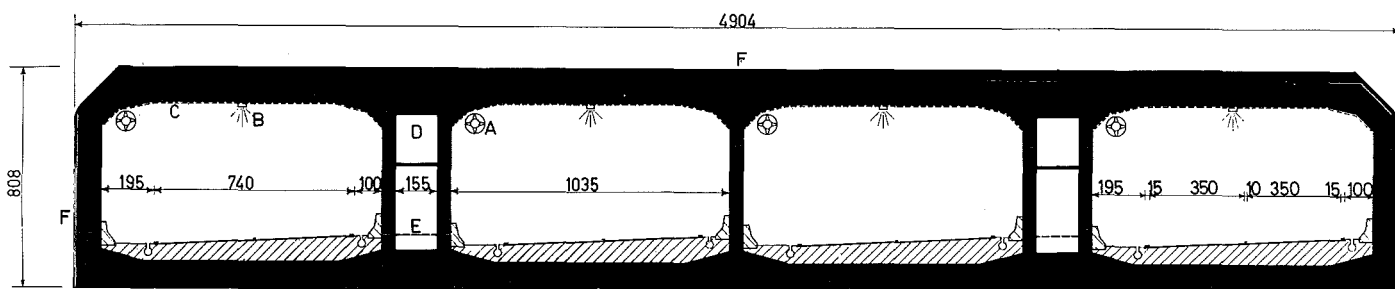
Het ontwerp van deze tunnel is in handen van de Rijkswaterstaat, directie Sluizen en Stuwen. De tunnel wordt gebouwd door de Combinatie Tunnelbouw bestaande uit de aannemers: Dirk Verstoep BV, Bouwmaatschappij Nederhorst BV en Van Hattum en Blankevoort BV. Het tunnelwerk startte in augustus 1973 en zal gereed zijn in het voorjaar van 1977.

2. Dwars- en lengteprofiel

Gezien het te verwachten verkeersniveau bleek het noodzakelijk een tunneldoorsnede te ontwerpen, die in totaal acht rijstroken kan bevatten. Een tunnel met openingen van zodanige afmetingen dat daarin vier rijstroken naast elkaar kunnen worden gelegd, levert wat betreft de diepgang voor het transport over de Oude Maas, problemen op. Bovendien vereist een tunnel met brede openingen extra constructiehoogte. De totale tunnelhoogte moet dan vanwege de toename van het gewicht en de afname van het drijfvermogen groter gekozen worden.

Het wegdek in de tunnel komt dan dieper onder de rivierbodem te liggen en zal verder landinwaarts boven komen, wat vooral door het verplaatsen van de waterkering die om de tunnelmond moet worden aangelegd, een grotere ingreep in beide gemeenten betekent.

Bovendien zal een belangrijke toename van de hoeveelheid baggerwerk om de tunnel te transporteren en op zijn plaats te krijgen het gevolg zijn. Verkeerstechnisch is het wenselijk in de tunnel dienstkanalen onder te brengen, waarin de nodige apparatuur en kabels voor ventilatie, verlichting en verkeerssignalering kunnen worden ondergebracht.



4
Dwarsprofiel
Cross section

Om de totale tunnelhoogte zoveel mogelijk te beperken, zijn de overspanningen zo klein mogelijk gehouden. De tunnel krijgt zodoende vier verkeerskokers en twee dienstgangen, welke laatste gelegen zijn tussen de buitenste verkeerskokers (fig. 4). De totale breedte van de tunnel wordt 49,50 m en is daarmee de breedste afgezonken tunnel van de wereld geworden. De totale hoogte bedraagt maximaal 8,70 m. De maximale overspanning van één tunnelbuis bedraagt 10,35 m.

Gegeven dit dwarsprofiel, denkt men in eerste instantie aan een oplossing met hoofddrijbanen voor het doorgaande verkeer door de twee middelste buizen en voor het in- en uitvoegende verkeer parallelbanen door de twee buitenste tunnelbuizen. Een nadere uitwerking van het verkeersonderzoek leerde dat bij een dergelijke oplossing de buitenste tunnelbuizen snel overbelast zullen zijn, terwijl de binnenste tunnelbuizen nog lange tijd slechts matig gebruikt zullen worden.

Gestreefd is daarom naar een oplossing waarbij zowel het doorgaande als het in- en uitvoegende verkeer in elke rijrichting zoveel mogelijk van beide tunnelbuizen gebruik kan maken. Bijzondere omstandigheden zullen het noodzakelijk kunnen maken dat tijdelijk een tunnelbuis wordt afgesloten. De oplossing met twee tunnelbuizen voor elke rijrichting heeft dan als bijkomend voordeel dat altijd ten minste één tunnelbuis in elke rijrichting berijdbaar kan worden gehouden. Als gevolg van een en ander zullen aan de verkeerssignalering hoge eisen gesteld worden.

Het lengteprofiel wordt bepaald door de vereiste rivierdiepte van 5,50 m – NAP, de dijkovergangen op 4,50 m + NAP en een onderstraal van 3000 m, een bovenstraal van 10 000 m en een maximale helling van 4,5%.

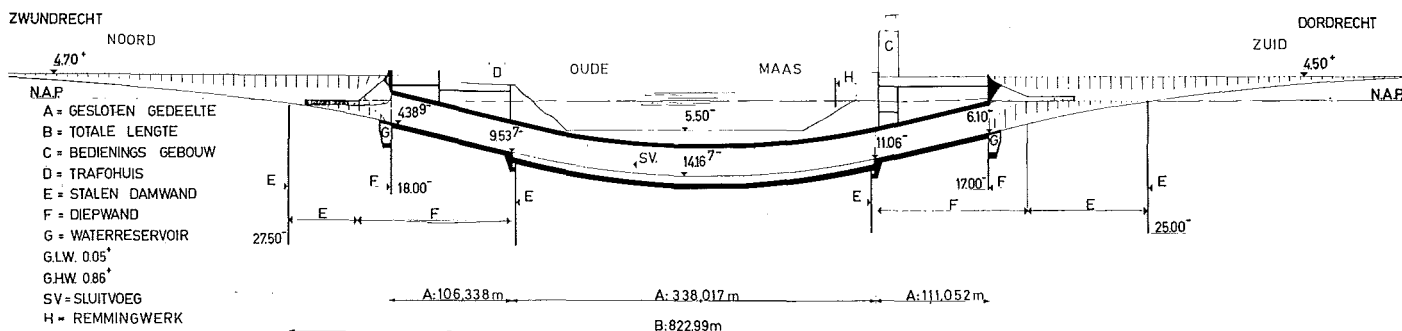
Uitgaande van de randvoorwaarden ligt het wegdek op het diepste punt op 14,17 m – NAP. De gronddekking op de tunnel is ca. 2 m (fig. 5). De lengte van de gesloten tunnel is 570 m, de lengte waarover de weg beneden de grondwaterspiegel ligt, bedraagt 823 m. De horizontale straal van de tunnel bedraagt 800 m. Om hierbij toch voldoende zicht te hebben is in de tunnel naast de rijbaan in de binnenbocht een zichtstrook van 1,5 m breedte opgenomen.

3. Ontwerp van de landgedeelten

3.1 De bouwkuipen

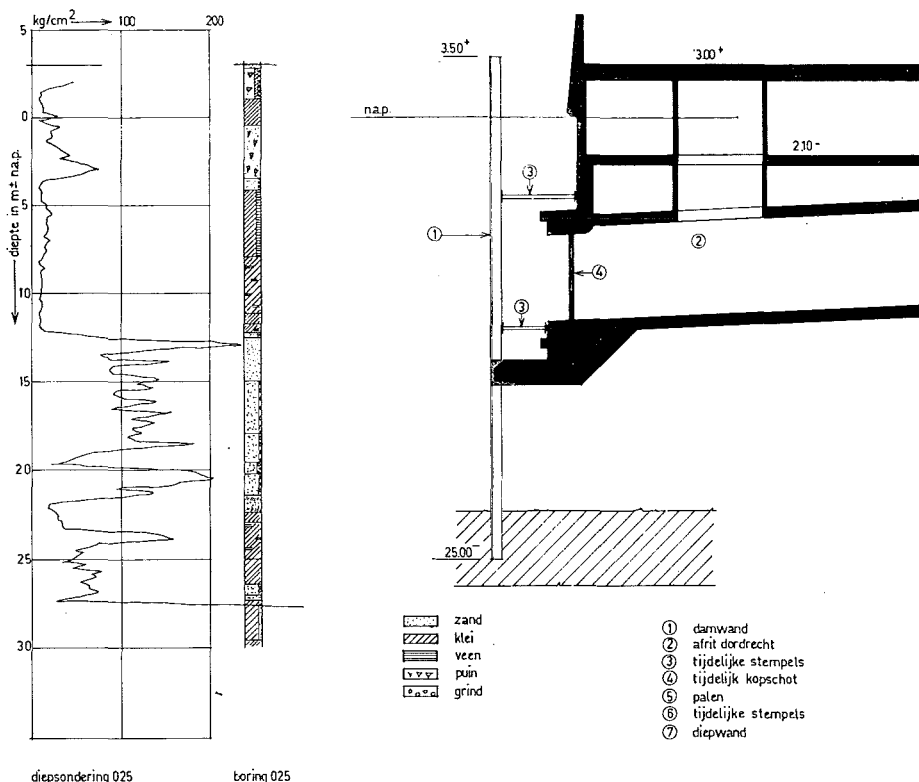
Het belangrijkste uitgangspunt voor het ontwerp was, dat er gebouwd moest worden zonder gebruik te maken van bemaling. Gezien de opbouw van de bovengrond (tot ca. 13 m – NAP een pakket zeer zettingsgevoelige lagen (slappe klei en veen) en de aanwezigheid van oude bebouwing in de onmiddellijke nabijheid, zou er bij bemaling onherstelbare schade optreden. Een grondonderzoek (fig. 6) leerde dat er beneden 13 m – tot ca. 25 m – NAP een goede watervoerende zandlaag aanwezig was, waaronder een klei-leemlaag met een dikte variërend van 3 tot 10 m (de formaties van Kedichen en Tegelen). Deze laag is zeer slecht watervoerend. Door nu rondom verticale waterdichte wanden aan te brengen tot in deze laag, was het mogelijk een bouwkuip te formeren met een grondwaterspiegel onafhankelijk van het omringende grondwater. Zelfs bij een waterstandverlaging van ca. 16 m is het verwachte waterbezwaar gering. Het is dan ook mogelijk een blijvende bemaling aan te brengen, zodat in de bouwkuip een constructie gebouwd kan worden die geen opwaartse druk van het water ondervindt. Trekpalen onder de oprit, zoals tot dusver gebruikelijk is in Nederland waren hier dus niet nodig. In de bouwkuip komt nu een oprit met een helling van 4,5%.

5
Langsdoorsnede
Longitudinal section



6
Bodemgesteldheid bij Dordrecht
Nature of the ground near Dordrecht

7
Langsdoorsnede ter plaatse van de kop-
damwand aan de Dordrechtzijde
Longitudinal section near the pile planking
on the Dordrecht side



Aan de rivierzijde (de diepste kant) waar de riviertunnel aansluit, is een stalen damwand nodig, die na voltooiing van de oprit onder water wordt afgebrand. De damwand moet ca. 16 m water keren. Aan de landzijde waar de weg boven het grondwater uitkomt is een wand nodig die eveneens 16 m water moet keren. Deze wand wordt over de volle lengte gesteund door de grond in de afrit zodat geen sterkte-eisen gesteld behoeven te worden; maatgevend is de heikbaarheid van de ca. 26 m lange damwandplanken.

De damwand aan de rivierzijde wordt zwaar belast, zelfs bij het zware profiel (het weerstandsmoment is ca. 10^4 cm^3 per meter) zijn meerdere stempels nodig. De stempelkrachten lopen op tot 90 tf/m'. Bij een breedte van ca. 50 m betekent dit dat er op een of andere manier een kracht van ca. 4500 tf overgedragen moet worden naar de grond en wel naar het zandpakket gelegen op 13 tot 25 m — NAP. De gedachte gaat dan al gauw uit naar een stevige horizontale gewapend-betonnen schijf, die op zijn beurt weer de krachten moet overdragen aan verticale wanden, die in hun vlak stijf zijn, zodat zonder noemenswaardige verplaatsingen de kracht via wrijving aan het grondmassief kan worden overgedragen.

Verticale wanden waren ook nodig om de bouwkuip te formeren. Een gewapend-betonnen diepwand voldoet aan beide eisen: waterdicht en stijf in het eigen vlak.

Aan de rivierzijde is aan weerszijden een utilitaire ruimte nodig voor het opstellen van de voor de tunnel benodigde apparatuur, zoals hoogspanningsruimten, dieselruimten, kabelkelders, bluswaterreservoirs enz. De vloeren van deze ruimten en de rijvloer zijn geschikt te maken voor het overbrengen van de grote stempelkrachten van de kopdamwand naar de diepwanden (fig. 7). Een deel van de beide opritten moet overdekt worden in verband met wegen, spoorwegen en waterkeringen, die doorsneden worden. Aan de Dordrechtzijde is dit over een lengte van 110 m, aan de Zwijndrechtzijde over een lengte van 115 m.

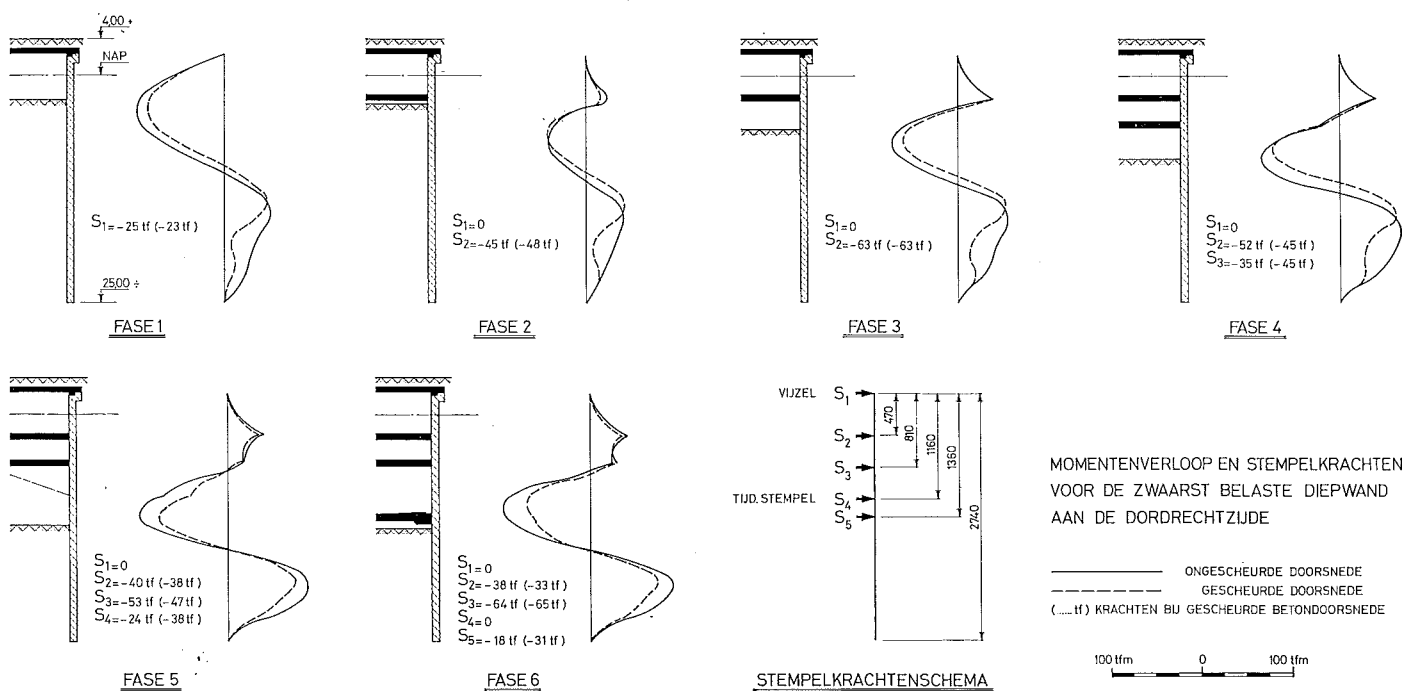
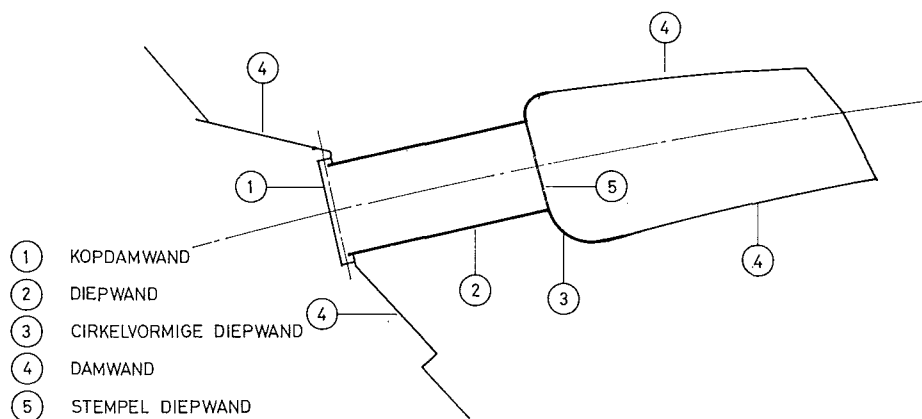
Het overige deel van de opritten kan dank zij de verlaagde grondwaterspiegel in de bouwkuipen in ingravingen komen te liggen met groene taluds. Halverwege de taluds komen, met de bovenkant juist boven de omringende grondwaterspiegel en met de onderkant in de afsluitende kleilaag, stalen damwanden die gedimensioneerd zijn op de heikbaarheid. De kuip is nu gesloten (fig. 8). Tijdens de bouw wordt de kuip drooggehouden met open bemaling. Een groot aantal grindpalen voorkomt dat in de watervoerende zandlaag (13-25 m —) wateroverdruk ontstaat.

3.2 De diepwanden

Een diepwand heeft beperkingen. Het is een gewapend-betonwand die veel stijver is dan een stalen damwand en maar een beperkt moment kan opnemen. De berekening van een damwand is gebaseerd op actieve en passieve glijdvlakken, dus op verplaatsingen.

De berekening van een meervoudig gestempelde damwand is door een constructeur, die niet bang is staal te laten vloeien, redelijk goed uit te voeren. In een diepwand echter treden momentscheuren op. De grootte van deze scheuren moet begrensd worden wegens corrosie van het wapeningsstaal. Plastische scharnieren zijn ontoelaatbaar.

Overzicht dam- en diepwanden aan de Dordrechtzijde
Survey of pile planking and foundation walls on the Dordrecht side



Achtereenvolgende ontgravingsfasen met bijbehorende momentenlijnen in de diepwand aan de Dordrechtzijde, nabij de kopdamwand
Successive stages of excavation with its moment lines in the foundation walls on the Dordrecht side

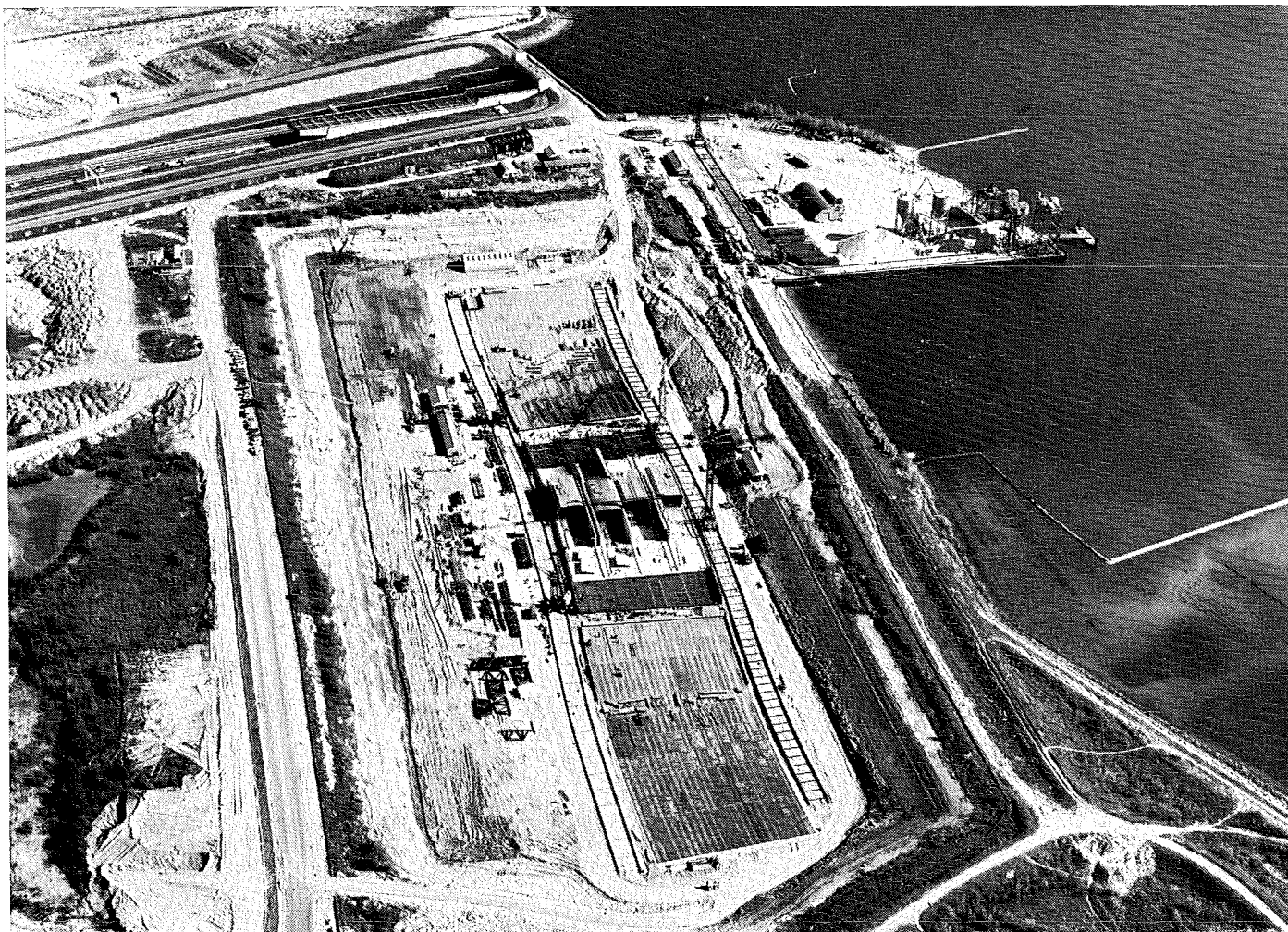
De Rijkswaterstaat beschikt over een computerprogramma waarmee meervoudig gestempelde damwanden berekend kunnen worden. Dit programma houdt rekening met het hysterisisgedrag van de grond en bovendien kan de stijfheid van de damwand ingevoerd worden. De stijfheid van een gewapend-betonwand neemt met ca. 60% af zodra het beton in de trekzone scheurt (afhankelijk van het wapeningspercentage). Dit is van invloed op de momenten. (Een relatief slappe wand geeft kleinere momenten dan een stijve wand.)

De diepwanden zijn voor de verschillende fasen doorgerekend met een stijfheid overeenkomend met een ongescheurde doorsnede en met een stijfheid overeenkomend met een gescheurde doorsnede. Het gemiddelde van de berekende waarden is aangehouden.

De beperkingen van het programma voor damwanden schuilen in de vrij gedetailleerde grondgegevens die nodig zijn, waaronder horizontale beddingconstanten. Ter bepaling hiervan bestaan geen standaardproeven. Oriënterende berekeningen leerden dat 0,80 m de meest effectieve dikte van de diepwand was. Het maximaal opneembare moment van 90 tfm wordt bepaald door de maximum hoeveelheid wapeningsstaal, waarbij verwacht mag worden dat bij de te volgen produktiewijze een gewapend-betonconstructie van goede kwaliteit ontstaat.

In figuur 9 is de ontgraving in de verschillende fasen met de bijbehorende momentenlijnen uitgezet. Het ontgraven gebeurt onder het dak waarover het verkeer geleid wordt. Het dak is het eerste stempel. Het bleek in verband met de optredende momenten noodzakelijk dit stempel na het aanbrengen van het tweede stempel te verwijderen, ten einde het veldmoment te reduceren. Daartoe zijn tussen de sloof op de diepwand en het dak platte vijzels aangebracht. De platte vijzels zijn geplaatst in uitgedrukte toestand en gevuld met een vloeistof. Na het aanbrengen van het tweede stempel wordt de vloeistof afgelaten, zodat de vijzel ingedrukt wordt en een verplaatsing van 25 mm mogelijk is. Het dak is opgelegd op de diepwandsloof door middel van rubber oplegblocken, die deze verplaatsing toelaten (fig. 10).

Daar waar de stempelvloer niet meer nodig was voor de kopdamwand, worden de diepwanden boven de rijkokers gestempeld door stempelbalken van lichtbeton (voor gewichtsbespa-



Bouwdok Barendrecht met de in aanbouw zijnde tunnelementen

Building dock at Barendrecht, in which the tunnel elements under construction are to be seen

foto: Bart Hofmeester, Rotterdam

3.7 De waterkering

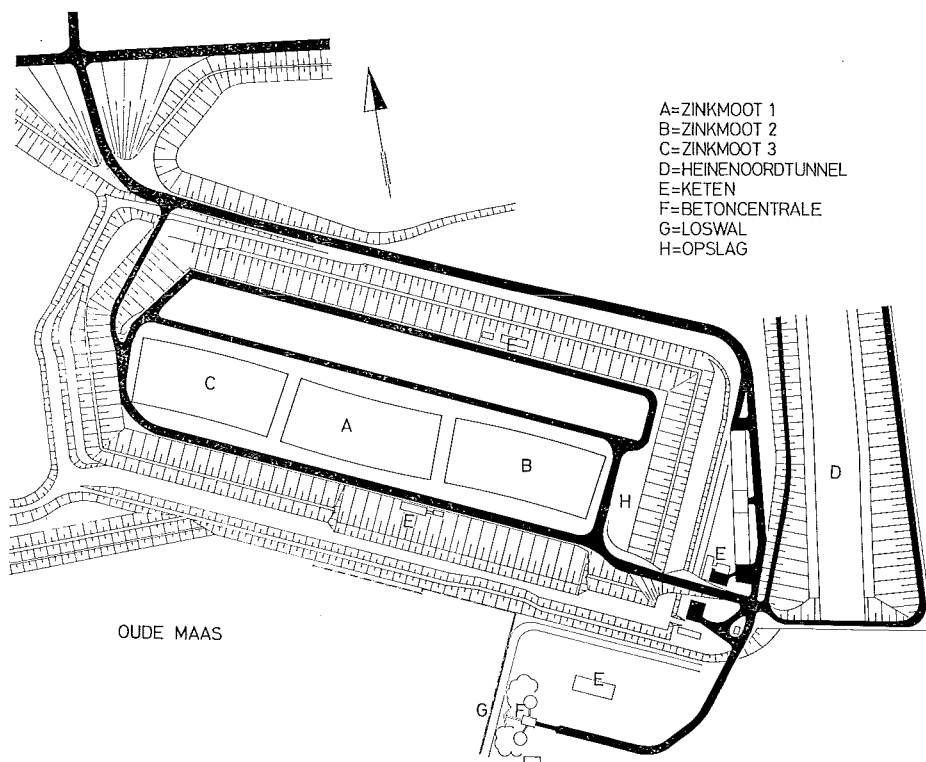
Aan beide oevers wordt de waterkering doorsneden, die weer gesloten wordt over het dak van de landtunnel. Bovendien zou het gevaar bestaan dat bij een eventuele calamiteit het rivierwater in de tunnel komt en vandaar uit in de polders achter de waterkeringen. Andersom zou bij een dijkbreuk de polder en daarmee ook de tunnel en de polder aan de overzijde van de rivier vol water kunnen komen te staan. Om dit gevaar uit te sluiten wordt rondom de open afritten een ringdijk aangelegd, die aansluit op de doorsneden waterkering. Een van de nadelen van een ringdijk is echter dat de autoweg er overheen moet.

4. Ontwerp van het riviergedeelte

4.1 De gezonken tunnel

In het bouwdok worden drie tunnelementen gebouwd, elk met een lengte van ca. 115 m, een breedte van 48,60 m en een hoogte variërend van ca. 8,20 m tot 8,70 m (fig. 13). De constructie van de tunnelementen geschiedt volgens de zo langzamerhand conventionele methode. Elk element bestaat uit zes moten, die verbonden zijn door een dwarskrachtenverbinding (deuvels). Voor de waterdichting worden in de voegen rubberen slabben aangebracht. Dit opdelen van de tunnel in korte stukken is om te voorkomen dat, in de definitieve situatie op de bodem van de rivier, de tunnel zal scheuren door te grote trekkrachten in dak of bodem. Deze trekkrachten kunnen onder meer ontstaan door grondwrijving langs de tunnel bij het kouder en korter worden van de tunnel in de winter en door langsmomenten, onder meer ten gevolge van ongelijke zettingen van het fundatiebed. Deze krachten nemen af bij het korter worden van de moten. De tunnel ligt dan als een schakelketting op zijn fundatiebed. Het tunnelement krijgt een omhullende waterdichte bekleding. Onder de bodem bestaat deze uit staalplaten (dik 6 mm), langs de wanden en op het dak uit bitumen weefsel. Het bitumen weefsel wordt afgeschermd door een betonschil. Dit ter voorkoming van beschadiging door bijv. slepende of vallende ankers.

De rijkokers worden afgesloten met kopschotten, een samengestelde constructie van stalen profielen en een betonwand, door deuvels met elkaar verbonden. De zes moten van elk zinkelement zijn dan voorzien van een transportvoorspanning die zorgt voor druk in de voegen. De kopeinden zijn rondom voorzien van stalen U-profielen. Aan één zijde is hierop het Gina-profiel bevestigd. Tegen het andere einde wordt na het afzinken het Gina-profiel van het naastliggende element aangedrukt. Water in ballasttanks in elk element zorgt gedurende de manoeuvres voor het benodigde gewicht.



Na het opdrijven wordt aan de afbouwsteiger het element uitgebalanceerd door de betonschil op het dak waar nodig te verdikken.

De dwarsdoorsnede wordt berekend bij een waterstand in de rivier van 3,5 m + en de ter plaatse aanwezige bovenbelasting (grond). Onder het element is een verende bedding aangenomen met een beddingconstante van 1 kgf/cm³.

4.2 Het afzinken

Het element wordt na het afzinken op zijn voorlopige ondersteuning (4 stuks) gezet. Dit zijn aan de ene zijde twee neusconstructies ter plaatse van de servicekanalen, die komen te rusten op oplegpunten aan het voorgaande element of aan het landhoofd.

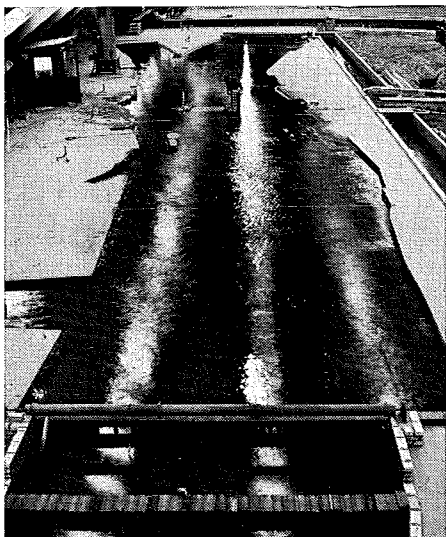
Deze oplegconstructie is zoekend uitgevoerd, zodat ter plaatse de juiste ligging in de as en de hoogteligging gewaarborgd zijn. Aan de andere zijde zijn in de servicekanalen oplegpunten opgenomen, die met verticale vijzels uitgedrukt worden op betonnen platen, die van tevoren op de bodem van de zinksleuf zijn gelegd. Met horizontale vijzels worden de elementen tegen elkaar getrokken, waarbij het zachte neusje van het Gina-profiel ingedrukt wordt. De druk op de Gina neemt toe door waterdruk weg te nemen door het laten leeglopen van de ruimte tussen de kopschotten. Het Gina-profiel neemt de druk over en wordt daarbij ca. 8 cm ingedrukt. Een waterdichte verbinding is ontstaan.

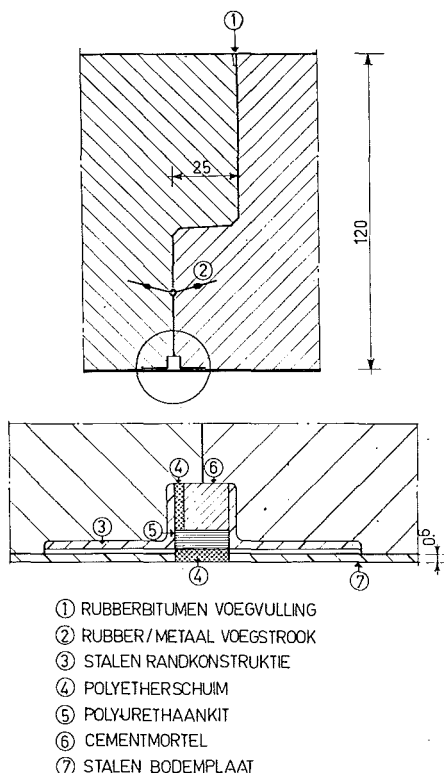
De as van het element behoort dan precies op de plaats te liggen. Het is echter mogelijk dat bijv. door maatafwijkingen in de koprand of door materiaalverschillen in de Gina, een horizontale of verticale correctie nodig is. Een verticale correctie is vrij eenvoudig uit te voeren door met de vijzels in de oplegpunten aan het vrije uiteinde te manipuleren. In die richting kan door het relatief geringe weerstandsmoment van de Gina om de horizontale as, met kleine krachten gecorrigeerd worden. In horizontale richting corrigeren is door het grote weerstandsmoment van de Gina om de verticale as (door de grote breedte van de tunnel) veel moeilijker.

Er kan niet volstaan worden met de gebruikelijke methode, waarbij krachten aan het vrije uiteinde uitgeoefend worden. Het is wel mogelijk de elementen excentrisch uit elkaar te drukken waardoor een hoekverdraaiing ontstaat. Hiertoef kan tussen de buitenwanden van de elementen een set platte vijzels aangebracht worden die tezamen een drukkracht van ca. 1000 tf kunnen uitoefenen. Deze grote kracht is nog niet voldoende om te kunnen corrigeren. De Gina gaat zich stijver gedragen naarmate de belasting toeneemt. Door de belasting per m² te verminderen kan dus met kleinere krachten gecorrigeerd worden. Daarom is op de middenwanden (in de neutrale lijn!) een stuk Gina-profiel zonder zachte neus van een zwaarder type (10 cm breder) aangebracht.

Door dit profiel ten opzichte van de rondgaande Gina iets naar voren te plaatsen, wordt een groot deel van de kracht via de middenwanden overgedragen. Voor de diepste voeg (het profiel is daar 6 m lang), is dit bijna 50% van de totale drukkracht van ca. 5000 ton. Voor de rondgaande Gina kan dan tevens worden volstaan met een lichter profieltype (155 mm breed, 167 mm hoog inclusief het neusje van 38 mm). Dit profiel wordt ca. 8 cm ingedrukt. De druk die overblijft in de rondgaande Gina, is voldoende om ook na het eventueel corrigeren de waterdichtheid te waarborgen.

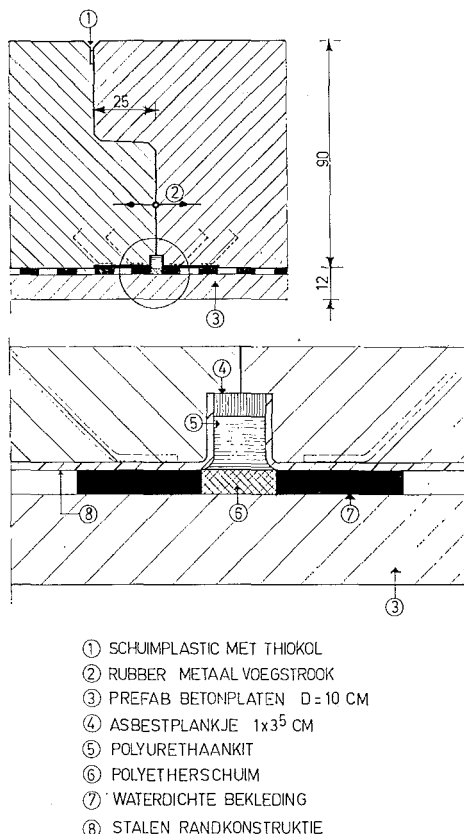
Metingen in Waterloopkundig Laboratorium 'De Voorst', naar stroomkrachten tijdens de afzinkmanoeuvre
Measurements for current forces during immersing are carried out in the Laboratory for Hydraulic Research 'De Voorst'





14
Detail dilatatievoeg in de vloer
Detail dilatation joint in the floor

15
Detail dilatatievoeg in de wand
Detail dilatation joint in the wall



De laatste voeg, de sluitvoeg, wordt afgesloten door rondom waterdichte schotten aan te brengen. Om te voorkomen dat na het leegpompen van de ruimte tussen de kopschotten de elementen naar elkaar toe komen, worden eerst wiggen aangebracht. Door de grote drukkracht is een viertal wiggen met elk een doorsnede van $0,50 \times 3,5$ m nodig, die aangebracht worden tussen de 4 wanden van de servicekanalen.

4.3 Het onderstromen

De definitieve funderingslaag wordt aangebracht door in de ruimte tussen de tunnel en de bodem van de zinksleuf een zand-watermengsel te pompen volgens de onderstroommethode. Deze methode wordt ook voor de Vlaketunnel gebruikt en is al eerder gebruikt om een afgezonden landhoofd van de leidingtunnel onder de Oude Maas te funderen. In de bodem van elk element zijn daartoe 16 injectiedoorgangen opgenomen.

Water in de ballasttanks zorgt voor een drukkracht van 300 tf op elk steunpunt afzonderlijk. Dit is nodig in verband met de extra opwaartse druk tijdens het onderstromen. De starre opleggingen van de tijdelijke ondersteuning worden teniet gedaan door het aflaten van vijzels. De transportvoorspanning kan worden verwijderd. Het definitieve gewicht van de tunnel (ca. 500 kg/m^2) wordt bereikt na het aanbrengen van ballastbeton in de rijkokers.

Na voltooiing van het grondwerk en nadat de verwachte zettingen zijn opgetreden, wordt in de zinkvoegen en de sluitvoeg een dwarskrachtverbinding aangebracht.

4.4 De voegen

In elke voeg wordt een dubbele waterkering aangebracht. In de voegen tussen de moten onderling is dit een rubber-metalen voegstrook en als eerste kering een elastische kit tussen stalen profielen om de bodemplaten en de asfaltbitumen bekleding aan weerszijden te verbinden (fig. 14 en 15).

In de zinkvoegen doet het Gina-profiel dienst als eerste kering en het zgn. omega-profiel, dat na het afzinken wordt aangebracht, als tweede kering. Het omega-profiel kan in het werk gelast worden (fig. 16). Bij de sluitvoeg dienen de waterdichte schotten als eerste kering. Als tweede kering is een nieuw profieltype ontwikkeld (fig. 17), dat veel breder is dan de omega-profielen en ook in het werk gelast kan worden.

5. Afwerking en inrichting van de tunnel

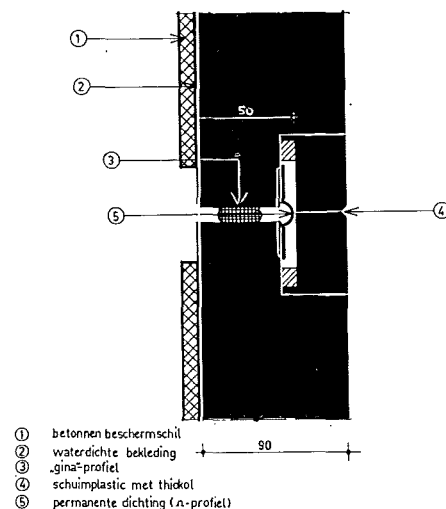
De wanden van zowel landtunnels als gezonken tunnels worden bekleed met geëmailleerde asbestcementplaten. Dit wordt ook de enige bekleding van de diepwanden. Achter deze platen kan eventueel lekwater worden afgevoerd. De beplating kan goed gewassen worden, wat belangrijk is voor het lichtniveau in de tunnel. Het lekwater en het waswater van de wanden wordt afgevoerd naar een waterkelder midden in de tunnel, die is uitgespaard in ballast- en constructiebeton. Persleidingen voeren het water af.

Het dek wordt voorzien van een akoestisch plafond.

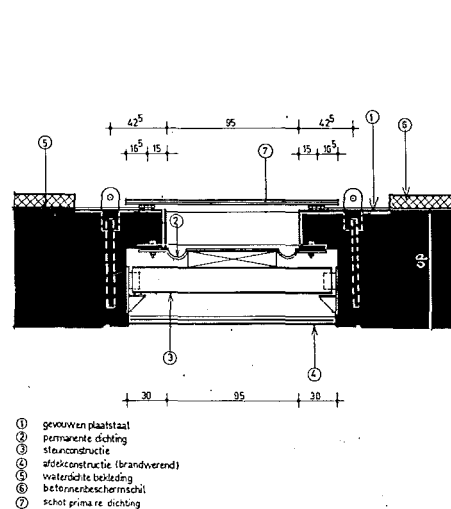
De tunnel krijgt bij de ingang een overgangsverlichting van ca. 6000 lux, die moet zorgen voor een geleidelijke overgang van daglicht (100 000 lux) naar het verlichtingsniveau in het midden van de tunnel (300 lux). Er komen dus geen zonwerende roosters.

Aan weerszijden van de rijbaan komt in plaats van een vangrail een betonconstructie, het zogenaamde 'General Motors' profiel.

Bij normaal gebruik zorgt de verkeersstroom voor voldoende ventilatie. Een rookmuur bij de ingang voorkomt hinderlijke circulatiestromen. Indien het verkeer niet voldoende snelheid heeft, wordt de luchtstroom gaande gehouden door aanjaag-ventilatoren. Volgens de plannen zullen dit er twaalf in de buitenkokers en negen in de binnenkokers zijn. Het gezamenlijk vermogen van de 42 ventilatoren zal ca. 700 pk bedragen.

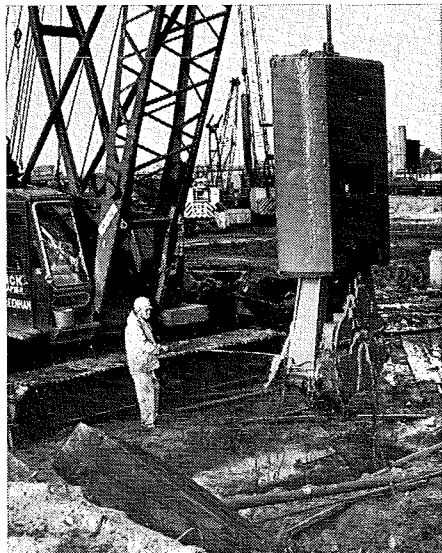


16
Detail zinkvoeg in de wand
Detail joint in the wall between two
immersed tunnel elements



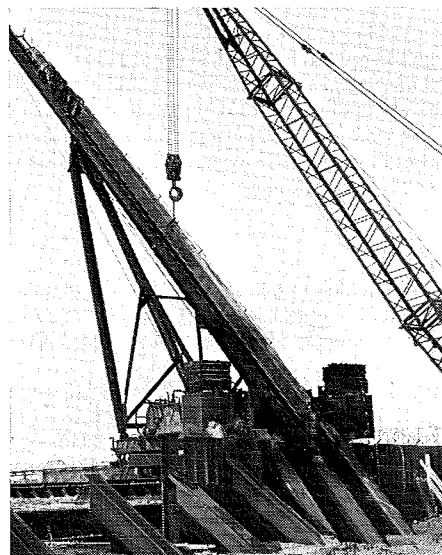
17
Detail sluitvoegen in de wand
Detail final joints in the wall

De uitvoering van de Drechtunnel



1
Grijper voor ontgraving t.b.v. een diepwand-paneel; de stalen kast waaraan de grijper hangt dient voor de verticale geleiding
Excavation for the foundation wall panels; the steel case around the grab is for vertical conducting
foto's: Van Hattum en Blankevoort

2
Stelling waarmee de ruim 40 m lange stalen palen onder een helling van 1:1 in de grond geheid worden
Pile driving equipment for more than 40 m long steel piles, which are rammed under an angle of 45°



De inritten

1. De bouwplaats

Het ontwerp en de constructie van de inritten is hiervoor reeds nader belicht. Bij de uitvoering is de situering van de inritten midden in de steden Dordrecht en Zwijndrecht een factor waarmee terdege rekening gehouden dient te worden. De dichte bebouwing en het grote aantal wegen behorende bij de op- en afritten van de brug over de Oude Maas beperken het werkterrein tot een minimum. Bovendien mag het verkeer over deze wegen niet gestremd worden. Veel omleggingen zijn daarvoor noodzakelijk en het werkterrein wordt voortdurend door deze omleggingen doorkruist.

2. De diepwanden

Het eerste, wat bij de bouw van de inritten aangepakt diende te worden, was het maken van de waterdichte schermen rondom de bouwplaats. Deze schermen bestonden gedeeltelijk uit diepwand en gedeeltelijk uit damwand. Beide lopen tot in de waterdichte kleilaag, die zich bevindt tussen 25 en 30 m —NAP. De werkzaamheden waren zo op elkaar afgestemd dat, wanneer men op de zuidoever bezig was met de diepwanden, er op de noordoever werd geheid. Dit om de sleuven van de diepwanden niet door de heitrillingen ineen te laten vallen. Het maken van deze diepwanden waarvan het bouwstelsel wordt verondersteld bekend te zijn, heeft weinig problemen gegeven. Tussen gewapend betonnen geleidewanden wordt met speciale grijpers (foto 1) een paneel ontgraven, dat maximaal ca. 6 m lang, 0,80 m breed en 30 m diep is. Om de sleuf in stand te houden wordt deze voortdurend gevuld gehouden met een bentonietoplossing die een soortelijk gewicht heeft van ongeveer 1,04. In deze bentonietoplossing wordt eerst de wapeningskorf geplaatst en vervolgens wordt de sleuf gevuld met beton.

De wapeningskorf is in tweeën gedeeld om de eenheden niet te zwaar te maken en ze nog enigszins hanteerbaar te houden. Het beton wordt aangebracht volgens de contractormethode die veel wordt toegepast bij onderwaterbeton.

Het aanbrengen van de diepwanden bleek weinig belemmerd te worden door het vele puin dat tot op grote diepte in de grond aanwezig was. De gebruikte grijpers waren in het algemeen van voldoende gewicht om dit puin te breken. Eventueel kon men nog gebruik maken van een zware beitel, die men hangend in de kranen, in de sleuf kon laten zakken. De voegen tussen de diepwandpanelen werden hol en dol in elkaar grijpend uitgevoerd. Bij het ontgraven zijn geen lekken geconstateerd.

3. Het heien

Totaal dient 7000 ton damwand geheid te worden. Vooral het heiwerk voor de waterdichte wanden aan de rivierzijde verliep niet zonder problemen. Met extreem zwaar materieel werden de damwanden in de grond geslagen. Bij ontgraving bleek, dat de Peinerprofielen door hele rioolgewelven zijn heen geslagen.

Tussen de diepwanden zijn voorgespannen betonpalen met verzwaarde voet geheid. Deze palen hebben tezamen met de diepwand tot taak om het gewapendbetondak van de inrit te dragen. Als verankering van de vleugelwanden grenzend aan de zinksleuf, moesten ruim 40 m lange Peinerpalen onder een helling van 1:1 de grond in geslagen worden (foto 2). Dit gebeurde met een speciaal geconstrueerde stelling. De palen werden in twee stukken aangevoerd en op de stelling aaneengelast nadat het eerste stuk geheid was.

4. Het ontgraven

Om de ruimte onder het dek te ontgraven zijn hierin sparingen gelaten. Nadat ca. 4 meter ontgraven is wordt de eerste rij lichtbetonnen stempels geplaatst. Vervolgens wordt de volgende 4 meter ontgraven enz. Dat deze werkwijze zeer bewerkelijk is spreekt voor zich. Het in de grond aanwezige water wordt zonder problemen door middel van een open bemaling afgevoerd.

De tunnelementen

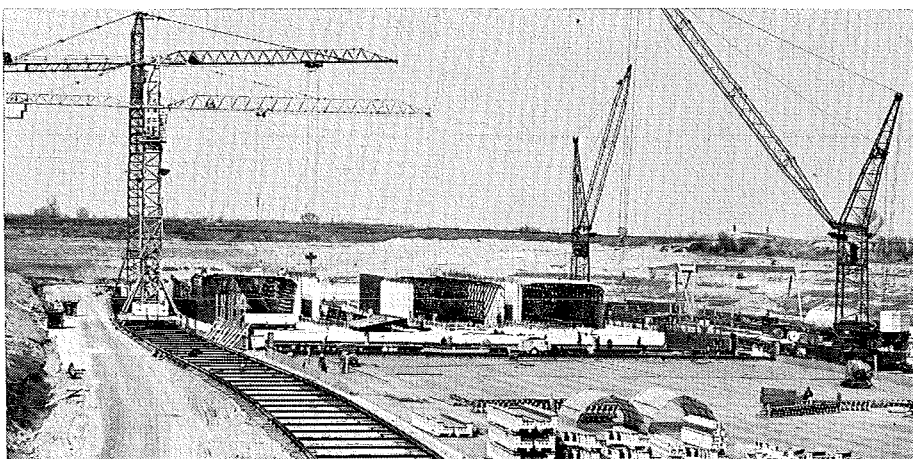
1. De bouwplaats

Als bouwplaats is door de opdrachtgever het bouwdok te Barendrecht aangewezen (foto 3). Dit bouwdok is eerder gebruikt voor het bouwen van de elementen van de Heinenoordtunnel en de leidingtunnels onder het Hollandsch Diep en de Oude Maas.

In de eerste plaats diende het bouwdok weer afgesloten te worden. Een stalen damwand werd daartoe in het sluitgat geslagen. Vervolgens werd aan weerskanten van deze damwand een grondnam aangebracht. De bronbemaling, bestaande uit 22 diepwelbronnen, werd hersteld en de bouwput werd leeggepompt. De bodem van de bouwput werd voorzien van een laag grind ter dikte van 30 cm. Deze laag grind dient als fundatie van de tunnelementen en om het toestromen van het water onder de elementen bij het opdrijven mogelijk te maken. Zonder deze grindlaag zou het tunnelement aan de dokbodem blijven 'kleven'.

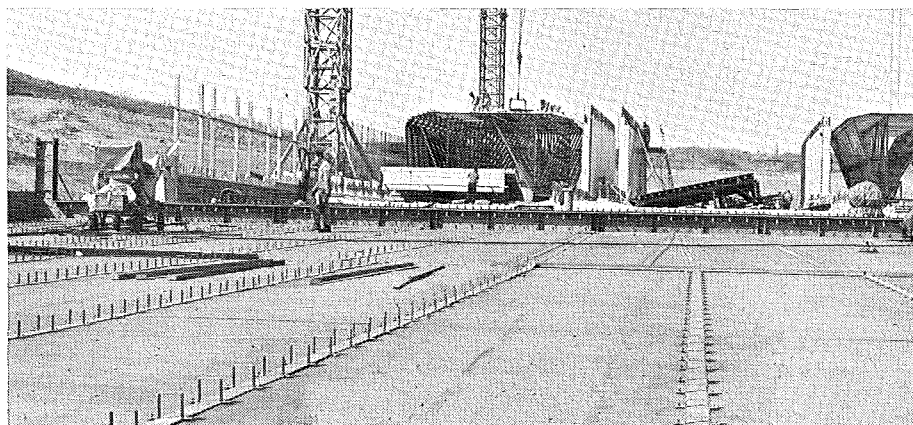
3

Bouwdok Barendrecht
Building dock at Barendrecht



4

Stalen platen met vaste en flexibele voegen
Steel plates with rigid and flexible joints



2. Het betonwerk

Op het grindbed worden stalen platen gelegd. Deze platen worden voorzien van een stelsel voegen, die beurtelings star en flexibel zijn (foto 4). Dit samenstelsel van platen en voegen dient volledig waterdicht onder het element te blijven zitten.

Op de beplating wordt de betonvloer gestort, vervolgens de binnenwanden en ten slotte in één fase de buitenwanden en het dak. Op deze wijze wordt het aantal stortnaden zoveel mogelijk beperkt. De drie tunnelementen bezitten elk een lengte van gemiddeld 115 m en zijn opgebouwd uit secties van circa 19 m. Deze secties grijpen in elkaar door middel van een tandconstructie en worden bijeengehouden door tijdelijke voorspankabels.

De betonspecie wordt gefabriceerd door een nieuw gebouwde betoncentrale met een maximum capaciteit van 120 m³/uur. Truckmixers brengen het beton in de bouwput.

De einden van de tunnelementen worden waterdicht afgesloten door gewapend betonnen kopschotten, steunend tegen stalen stijlen. In de tunnelementen zijn gewapend betonnen ballasttanks aangebracht.

3. Waterdichte bekleding

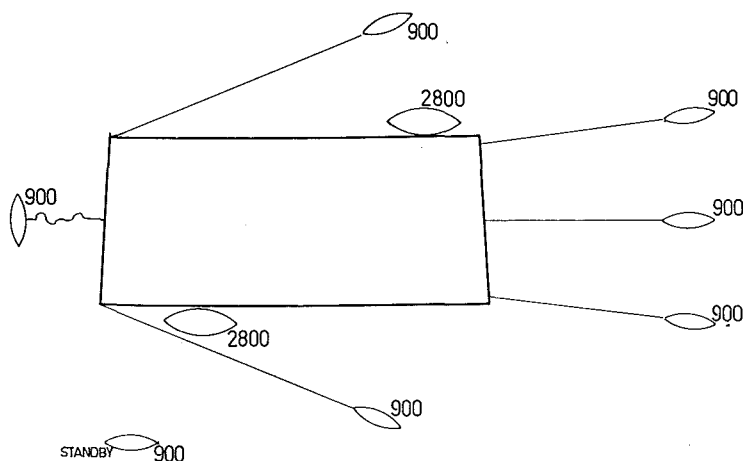
Als het betonwerk gereed is, worden de tunnelementen voorzien van de waterdichte bekleding die uit verschillende lagen asfaltbitumen bestaat. Deze lagen moeten aansluiten op de stalen beplating onder de tunnelementen, die ook een onderdeel vormen van de waterdichte bekleding. Ten einde de waterdichte bekleding te beschermen tegen mechanische beschadiging, wordt er bovenop een ca. 30 cm dikke laag beton gestort. De wanden worden bekleed met prefabbetonplaten. Een schuimlaag doet dienst als drukverdeler.

Het afzinken

1. Opdrijven en afbouwen

Wanneer de tunnelementen gereed zijn, wordt het bouwdok onder water gezet. De elementen worden nauwkeurig gecontroleerd op waterdichtheid. De dam tussen de Oude Maas en het bouwdok wordt daarna verwijderd. Doordat de ballasttanks met water zijn gevuld, blijven de elementen op de bodem rusten.

Boven de hijsogen die op het element zijn gemonteerd, worden de twee aan twee gekoppelde afzinkpontons gemanoeuvreed. Deze pontons zijn met de lierdraden van de op de pontons gemonteerde lieren aan de rondom de bouwput aanwezige bolders verankerd. De hijsdraden op de pontons worden aan de hijsogen van de elementen bevestigd. Door afsluiters in de pontons te openen, vullen deze zich met water en komen te rusten op de daken van de tunnelementen. De ballasttanks worden leeggepompt en de elementen komen aan het wateroppervlak drijven.



Met de lieren van de pontons wordt het geheel nu gemanoeuvreerd naar de zich in de dok-uitgang bevindende afbouwsteiger. Daar worden de elementen in gereedheid gebracht voor transport en afzinken. De afzinktorens worden door bokken geplaatst. Het plaatsbepalingssysteem wordt hierna gemonteerd. De diverse communicatienetten worden geïnstalleerd enz.

2. Het baggerwerk

Ten behoeve van het transport worden grote delen van de rivier op diepte gebracht. Tussen de inritten in Dordrecht en Zwijndrecht wordt de zinkgeul gebaggerd. Een en ander dient zo te gebeuren dat hinder voor de scheepvaart zoveel mogelijk beperkt blijft. Zeker door de aanwezigheid van de brug vlak naast het tunneltracé zal een en ander nauwkeurig gefaseerd moeten worden.

Het hele ongeveer 13 km lange traject van Barendrecht naar Dordrecht wordt zeer nauwkeurig afgepeild. In verband met de geringe ruimte tussen de bodem van de rivier en de onderkant van het tunnelement zal de rivier nauwkeurig opgeschoond dienen te worden. Eventuele verloren ankers en wrakken zouden een risico betekenen door beschadiging van het Gina-profiel.

3. Slepen van de elementen

Ten behoeve van het transport van de tunnelementen zijn proeven verricht in het Waterloopkundig Laboratorium 'De Voorst' in de Noordoostpolder. De hier bepaalde optredende sleepkrachten en de eis van snelle manoeuvreerbaarheid hebben ons er toe gebracht om in totaal ca. 11 000 pk aan sleepboten in te zetten. De sleepboten worden om het element gegroepeerd zoals is aangegeven in figuur 5. Twee sleepboten van het type Voigt Schneider, elk met 2800 pk vermogen, worden aan het tunnelement bevestigd. Deze boten hebben de mogelijkheid om hun schroeven en dus de stuwkracht 360° rond te draaien.

Voor en achter komen drie sleepboten van elk 900 pk. Het transport van de elementen zal plaatsvinden op de hoogwater golf. De stroomsnelheden in de Oude Maas zijn niet groot.

4. Het plaatsbepalingssysteem

Het transport van de elementen in de rivier dient zeer nauwkeurig te geschieden. De vrije ruimte aan weerszijden van het tunnelement bedraagt ongeveer 30 m. Komt het element daarbuiten, dan zal het door ondiepte van de rivier vastlopen. Het gebruik van de normale visuele navigatiemiddelen is hier dan ook volstrekt onvoldoende.

Als systeem voor plaatsbepaling is het Artemissysteem gekozen. De nauwkeurigheid hiervan is aanzienlijk groot en de werkwijze is snel. Het Artemissysteem is gebaseerd op afstand- en hoekmeting door middel van radar. Er wordt naar gestreefd om de positie van het element weer te geven door een plotter op een kaart waarop van tevoren de ideale vaarweg is aangegeven. De walkapitein kan dan snel de commando's aan de sleepboten doorgeven.

5. Het afzinken

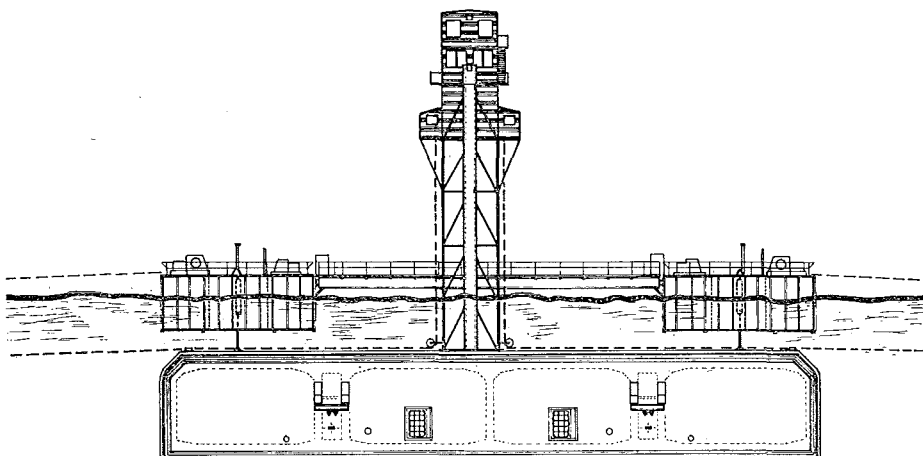
Wanneer het transport bij de zinkgeul is aangekomen, wordt het tunnelement door een van tevoren in de rivier aangebrachte verankering overgenomen (fig. 6). Deze ankers zijn dezelfde als die waaraan in het gebied van de Nieuwe Waterweg de grote zeeschepen worden verankerd. Het zijn patentankers en ze worden door heien in de rivierbodem geslagen.

Ter bepaling van de zwaarte van de ankerdraden zijn proeven in het Waterloopkundig Laboratorium verricht. De keuze werd uiteindelijk bepaald door de eis dat het systeem nog te hantieren diende te zijn, maar het moest zo sterk zijn, dat er ook bij aanzienlijke stroomsnelheden nog afgezonken kon worden. De ankerdraden zijn met een systeem van draden en schijven verbonden met lieren boven in de afzinktorens. Met deze lieren kan men het element zowel in dwars- als in langsrichting bewegen. De verticale beweging geschiedt door middel van de lieren op de pontons en het vullen van de ballasttanks.

Aan één eind wordt het tunnelement op het landhoofd of op het voorgaande tunnelement opgelegd. Deze oplegging bestaat uit een geleidende taatsconstructie.

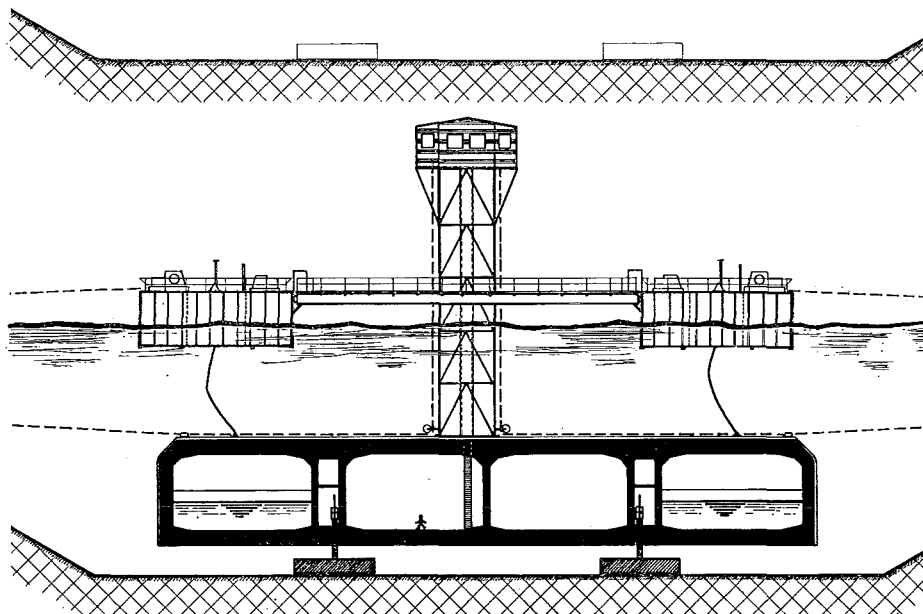
6

Tunnelement uitgerust met afzinkpontons en torens
Tunnel element equipped with sinking
pontons and towers



7

Tunnelement op de rivierbodem
Tunnel element on the river bottom



Het vrije eind komt via twee vijzels te rusten op betonplaten die van tevoren op de bodem van de sleuf zijn gelegd (fig. 7).

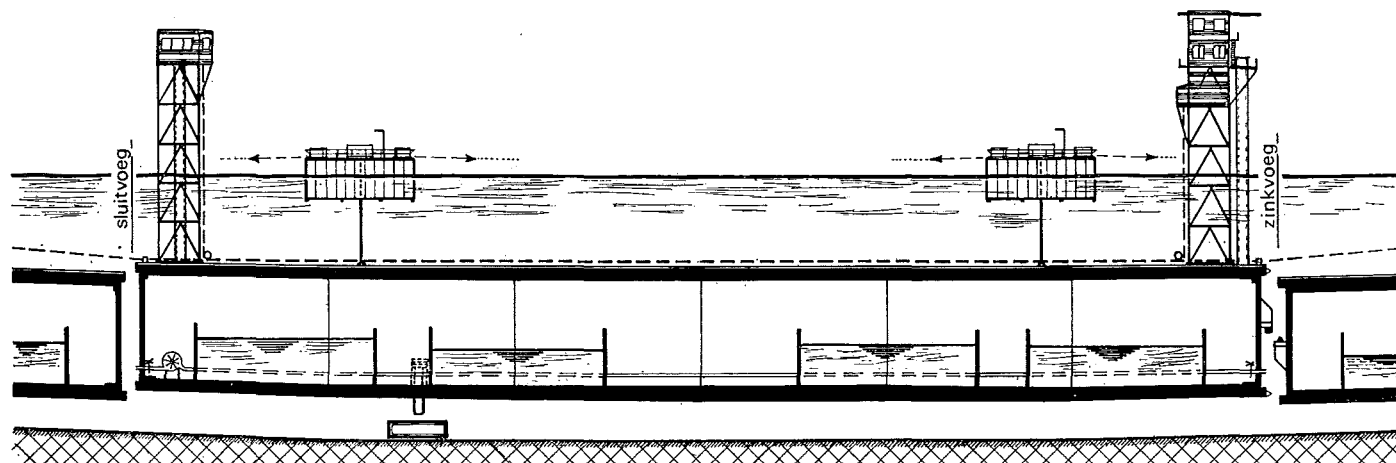
De voeg wordt gevormd door het zogenaamde Ginaprofiel, dit is een speciaal voor tunnels ontwikkeld rubber profiel. Door het tunnelement met behulp van een hamerkop met een vijzel tegen het voorgaande element (fig. 8) of het landhoofd aan te trekken, sluit men de voeg over de gehele omtrek met dit rubber profiel af.

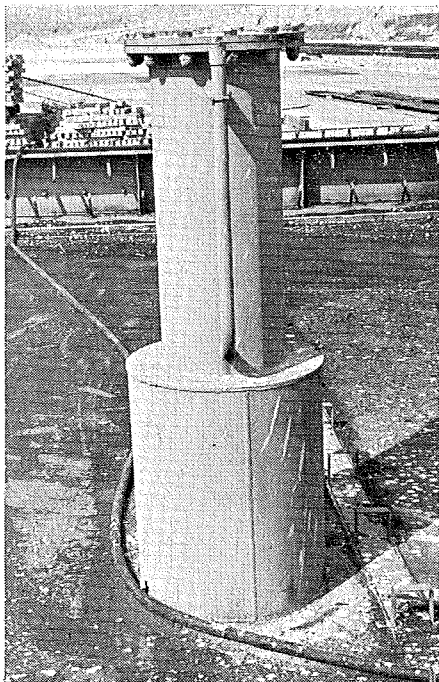
De ruimte tussen de kopschotten is nu nog gevuld met water, dat uit deze ruimte wordt gepompt. De waterdruk valt hierdoor weg. De waterdruk op het vrije einde blijft aanwezig en drukt het element verder aan.

De voeg wordt nu verder afgesloten door een tweede rubber profiel, het Omegaprofiel. In de voeg wordt verder de gewapend-betondeuvel gemaakt.

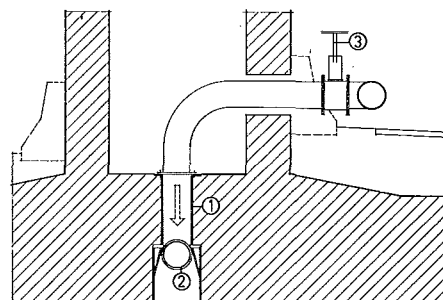
8

Aansluiting laatste tunnelement op de
twee elementen ter weerszijden
Assembling the last tunnel element





9
Aanzicht onderstroomopening
Inlet in the bottom of an element for
pressing the foundation layer



- ①= ONDERSTROOMOPENING IN VLOER
②= BALAFSLUITER
③= AFSLUITER
↓ = STROOMRICHTING ZAND-WATER MENGSEL

10
Doorsnede onderstroomopening
Section of the inlet

6. De sluitvoeg

Na het afzinken van het laatste element houdt men nog een voeg van ca. 1 m over. In deze voeg brengt men een wig aan, waardoor de andere voegen onder spanning blijven. Rondom de sluitvoeg worden stalen schotten aangebracht, die ook door rubber profielen een waterdichte afsluiting vormen. Vervolgens wordt de ruimte in de sluitvoeg leeggepompt en wordt de definitieve voegconstructie aangebracht.

7. De fundering

De tunnelementen worden gefundeerd op een zandlaag, die na het afzinken onder de tunnelementen wordt aangebracht. Hiervoor zijn in de tunnelbodem stalen doorvoeropeningen opgenomen. Deze openingen worden door een drijvende rubberbal afgesloten.

Op deze openingen (foto 9) worden persleidingen aangesloten, waardoor een nauwkeurig gedoceerd zand-watermengsel wordt geperst. Nadat dit mengsel uit de doorvoeringen komt zet het zand zich op de bodem van de sleuf af. Op deze wijze wordt rondom het onderstroompunt een zandpannekoek opgebouwd, die dicht tegen de onderkant van het element aansluit. Wanneer door het hele patroon van onderstroompunten de tunnel volledig is onderstroomd, worden de vizels afgelaten en wordt de voorspanning verwijderd. De secties waaruit de elementen zijn opgebouwd rusten nu volledig op de fundatie.

8. De afwerking

Tot slot wordt het water in de ballasttanks vervangen door een laag ballastbeton, dat nauwkeurig volgens het profiel van de weg wordt afgewerkt. Op dit ballastbeton komt de asfaltlaag, die het wegdek zal vormen.

Stand van de werkzaamheden in het bouw-
dok, eind november '74
Elements under construction, end of Novem-
ber 1974, in the building dock
foto: Cement/Bob de Ruiter

