

CEMENT

Maandblad
gewijd aan cement en beton
tevens
officieel orgaan
van de
Betonvereniging

Jaargang XXVIII nr. 4, april 1976

Inhoud

- 143 Tunnel onder het Prinses Margrietkanaal in rijksweg 43 tussen Sneek en Joure
A. Het ontwerp
door [redacted]
- 151 B. Uitvoering Margrietunnel
door [redacted]
- 155 Drukvoorspanning
A. Het principe
door [redacted]
B. Berekeningsvoorbeeld
door [redacted]
- 161 Beton in beeld
- 165 Berichten uit de betonwereld
- 169 Continu weeg- en mengproces voor betonspecie
door [redacted]
- 174 Ontwerp van een methode ter verbetering van het optisch waarnemen onder water
door [redacted]
- 176 Beton als bescherming tegen verkeerslawaaï
- 178 Moderne technieken bij de bouw van tunnels
door [redacted]
- 181 Uit de researchlaboratoria
- 183 VARCE aflevering 4
- 184 In memoriam [redacted] - Een persoonlijke herinnering
door [redacted]
- 185 Publikaties van de Stichting Professor Bakkerfonds
Cement en Beton deel 15: Kwaliteitscontrole van beton
- 186 Contents - Sommaire - Inhoud

Redactie



Redactie-adres

Herengracht 507, postbus 10, Amsterdam
tel. (020) 23 85 31

Ontwerp omslag



Overname van artikelen en illustraties
alleen na schriftelijke toestemming

Druk: B.V. 't Koggeschip, drukkers- en
uitgeversbedrijf, Amsterdam

Redactieraad



Uitgave

Verkoopassociatie Nederlands Cement
Encl-Cemij-Robur B.V., Amsterdam
Herengracht 507, postbus 10
Advertenties: afdeling Exploitatie,
tel. (020) 23 85 31, toestel 244
Abonnementen: afdeling Publikaties,
tel. (020) 23 85 31, toestel 245
postgiro 21 29 50

Abonnementenprijs per jaar (incl. 4% btw)

Nederland, Suriname, Ned. Antillen en
België: f 44,20
Andere landen: f 60,—
Leden van de Betonvereniging: f 41,60
Studieabonnementen voor studenten TH en
HTS (dagschool) en militairen: f 25,—
Prijs van losse nummers: f 4,75



Een bijzondere bouwplaats voor een tunnelement: de aansluitende afrit
foto: Cement/Bob de Ruitter

Tunnel onder het Prinses Margrietkanaal

Rijkswaterstaat, directie Sluizen en Stuwen

A. Het ontwerp

1. Inleiding

In het kader van de stimulering van de infrastructuur van het noorden des lands en ter verhoging van de verkeersveiligheid werd in 1965 besloten tot ombouw van rijksweg 43 tot autosnelweg. Deze rijksweg loopt van de Afsluitdijk via Sneek naar Groningen. Naar het zich thans laat aanzien zal in 1978 het gedeelte Afsluitdijk-Groninger grens geheel gereed zijn, met dien verstande dat langs Sneek voorshands wordt volstaan met een zogenaamde stadsrondweg, wat betekent dat hier de bestaande wegen en de spoorlijn Sneek-Staveren gelijkvloers worden gekruist. Deze kruispunten zijn voorzien van respectievelijk verkeerslichten en een Ahob-installatie.

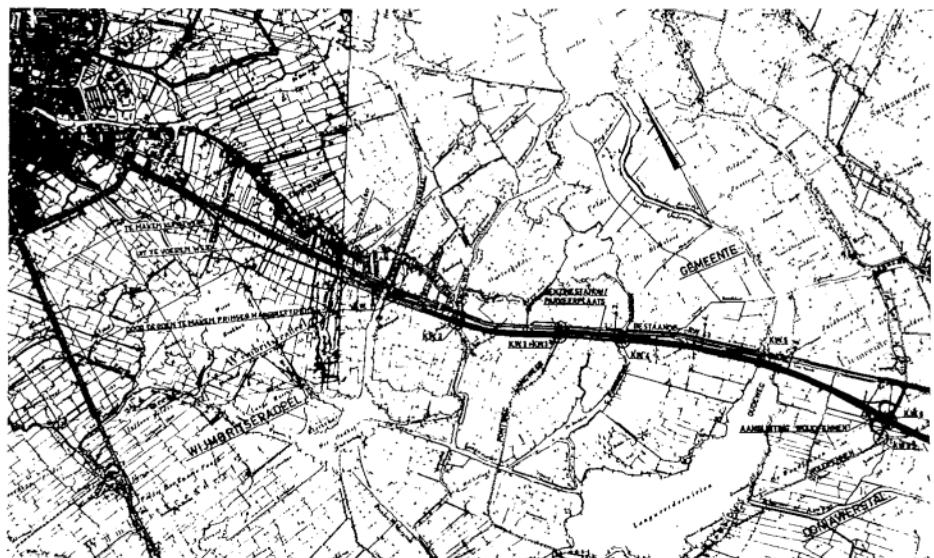
Naast de genoemde stadsrondweg, alsmede het gedeelte van ca. 6 km tussen Bolsward en de kop van de Afsluitdijk en het wegvak tussen Sneek en Joure, wordt de ombouw tot autosnelweg uitgevoerd als een verbreding van de bestaande weg.

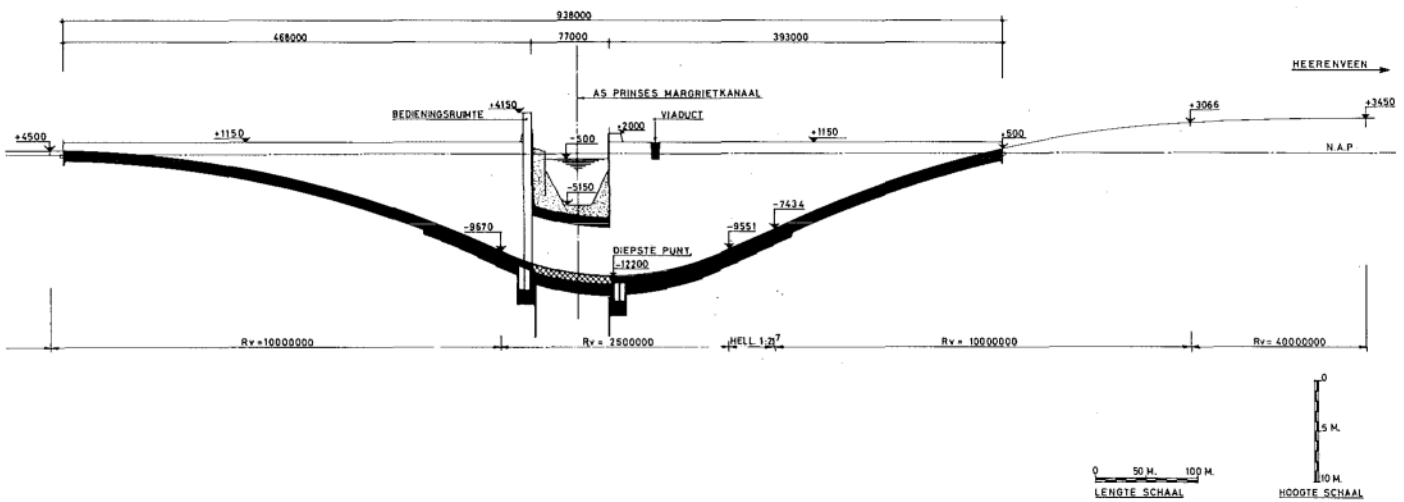
Het gedeelte Sneek-Joure kruist nabij Uitwellingerga (gemeente Wymbritseradeel) het Prinses Margrietkanaal. Dit kanaal, dat de verbinding vormt tussen verschillende Friese meren, zoals de Grote Brekken, het Koevorder Meer, het Sneeker Meer en het Pikmeer, is een onderdeel van de vaarroute Lemmer-Groningen. Mede vanwege de drukke recreatievaart op dit gedeelte van het kanaal (Uitwellingerga ligt nabij de zuidwestelijke oever van het Sneeker Meer), is voor de kruising van de rijksweg met het kanaal gekozen voor een tunnel (fig. 1). Het ontwerp van de tunnel is gemaakt door de Rijkswaterstaat, directie Sluizen en Stuwen. Het project wordt uitgevoerd door de 'Aannemerscombinatie Prinses Margrietunnel (APM), gevormd door B.V. Dura Aannemingsmaatschappij en B.V. Aannemingsmaatschappij v/h H. & P. Voormolen, beide te Rotterdam. Met de bouw van de tunnel werd begonnen in juni 1974. Het werk dient in mei 1977 gereed te zijn.

2. Dwars- en lengteprofiel

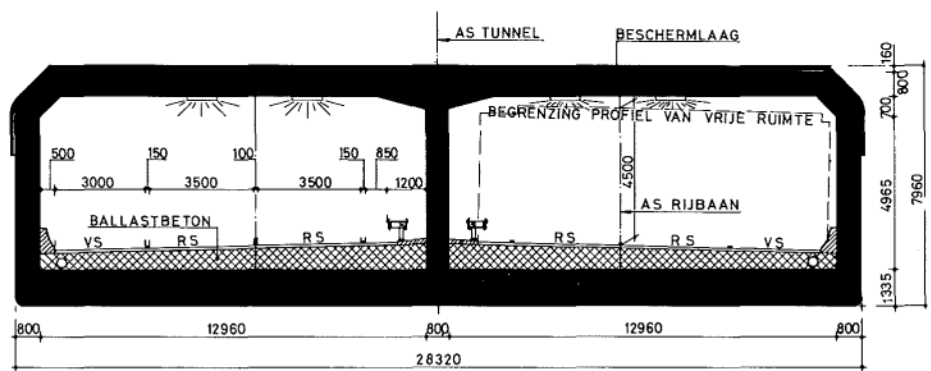
Het gesloten tunneldeel is 77 m lang. Dit gedeelte is tevens het zinkelement van het in totaal 938 m lange kunstwerk (fig. 2). De rest wordt gevormd door twee open afritten van resp. 468 en 393 m lengte.

De verschillende lengten van de open afritten kunnen worden verklaard uit het lengteprofiel van de aansluitende weggedeelten. Aan de noordwestzijde moet worden aangesloten op een vrijwel horizontaal gelegen weglichaam, aan de zuidoostzijde klimt de weg verder naar een brug



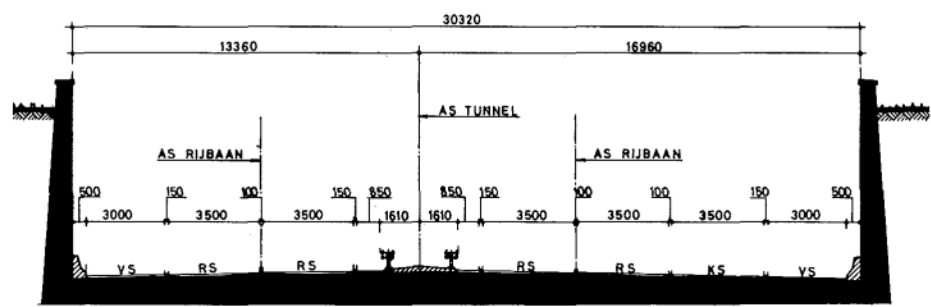


2
Langsprofiel
Longitudinal section



3
Dwarsdoorsnede zinkmoot (RS = rijstrook,
VS = vluchtstrook)
Cross section tunnel element

4
Dwarsdoorsnede afrit (KS = kruipstrook)
Cross section ramp



op een niveau van 3,45 m + NAP. De maximale helling bedraagt ca. 4,5%, terwijl aan de onderzijde van de tunnel een verticale straal van 2500 m en aan de bovenzijde een straal van 10000 m wordt toegepast. Genoemde randvoorwaarden en het feit dat een kanaalbodem op 5,15 m – NAP werd vereist, gevoegd bij een minimaal vereiste gronddekking van 0,50 m, waren bepalend voor het lengteprofiel. Wegens de korte lengte van het gesloten gedeelte kon een pompkelder in het zinkelement worden weggelaten, waardoor in verband met de afwatering, het diepste punt in de zuidoostelijke afrit moest worden geprojecteerd. Het gesloten gedeelte bestaat uit twee verkeerskokers, gescheiden door een tussenwand (fig. 3). Elke verkeerskoker bevat twee rijstroken en een vluchtstrook. In de open afritten zijn voor het dalende verkeer twee rijstroken en een vluchtstrook beschikbaar, voor het stijgende verkeer is dit aantal uitgebreid met een kruipstrook voor het zware verkeer, dat hier teveel snelheid verliest (fig. 4).

3. Ontwerp van het zinkelement

Bij alle tot nu toe gerealiseerde en in aanbouw zijnde tunnels in Nederland volgens de zinkmethode worden de elementen gebouwd in een speciaal daartoe gemaakt bouwdok. Soms zijn deze bouwdokken in de directe omgeving van de tunnel gesitueerd (bijv. Heinenoordtunnel, Vlaketunnel, Coentunnel), soms ook op enige afstand (zoals bij de Drechtunnel, Kiltunnel en Ijtunnel). Beide mogelijkheden stuiten in het geval van de in dit artikel beschreven tunnel op grote problemen. Immers, een zinkelement dat langer is dan de kanaalbreedte (de reden daarvan wordt verderop in dit artikel verklaard), terwijl de hoogte ervan groter is dan de kanaal diepte, zal – zelfs als het bouwdok in de directe omgeving is gelegen – grote moeilijkheden met betrekking tot de manoeuvreerbaarheid tijdens het verhalen en afzinken veroorzaken. In elk

geval zou ter plaatse van het bouwdok, de transportroute en bij de zinksleuf, uitgebreid baggerwerk moeten worden verricht. Daarnaast zou een tijdelijke verlegging van de waterkering langs het kanaal eveneens onvermijdelijk zijn, omdat het kanaalpeil gelijk is aan het boezempeil, dat echter hoger is dan de maaiveldhoogte in de omgeving van de bouwplaats. Dank zij de korte lengte van het gesloten tunneldeel deed zich de gelukkige omstandigheid voor dat het zinkelement in één van de beide afritten kon worden gebouwd.

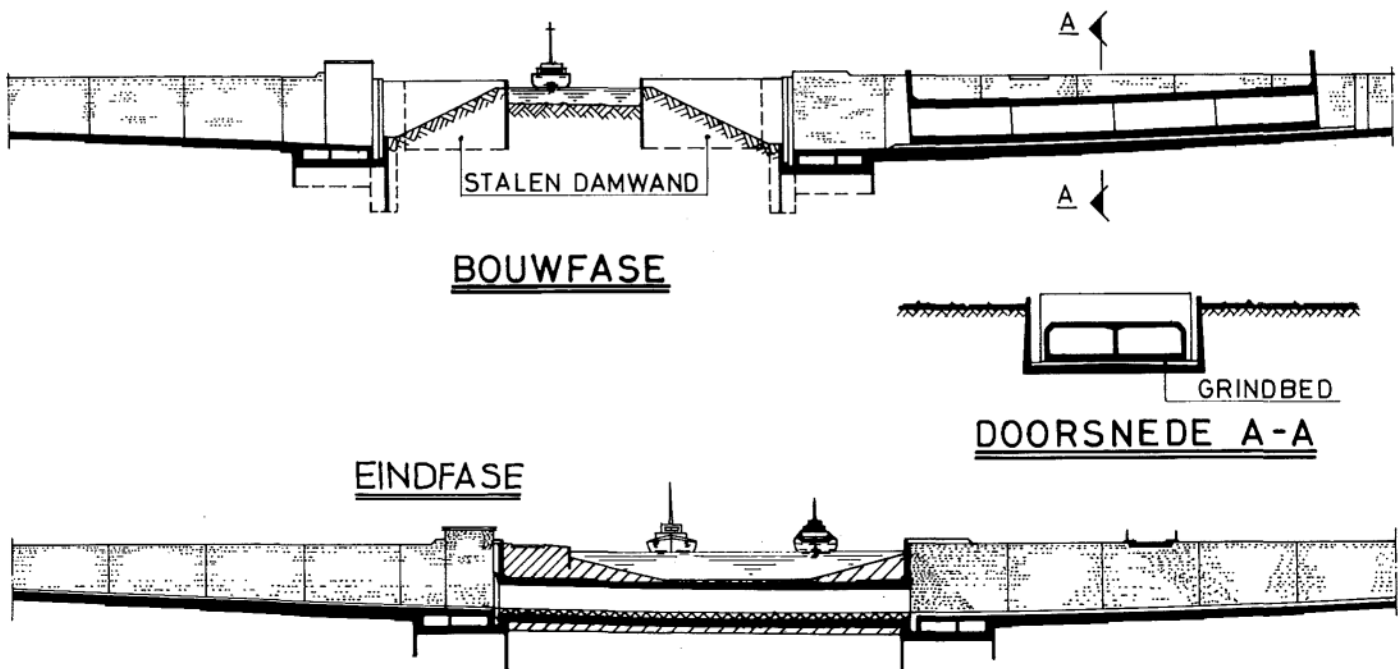
Door na het gereedkomen van het zinkelement de desbetreffende afrit vol water te zetten, fungeert deze als bouwdok, waarbij de eerder genoemde bezwaren worden vermeden. Zoals reeds vermeld, is het dwarsprofiel van de afritten door het toepassen van een kruipstrook breder dan dat van het gesloten gedeelte. Om echter de beschikking te krijgen over voldoende 'dokbreedte' moest de zuidoostelijke afrit ter plaatse van de zes moten waar het zinkelement wordt gebouwd ca. 3 m breder worden gemaakt (fig. 5). De wens om uit kostenoverwegingen een zo kort mogelijk gesloten gedeelte te verkrijgen, gevoegd bij de onmogelijkheid om een gesloten landgedeelte aan de 'bouwdokzijde' te maken (het element zou dit bij de zinkmanoeuvre niet kunnen passeren), noodzaakt tot het toepassen van een primaire dichting, afwijkend van de tot nu toe gebruikelijke Gina-profielen. De dichting bestaat uit een pneumatisch rubberprofiel dat langs de vloer en de wanden van de afritten wordt gemonteerd en na het afzinken wordt opgepompt (fig. 6). Het feit dat alleen het zinkelement het gesloten gedeelte van het kunstwerk vormt, brengt de noodzaak met zich mee dat dit onderdeel tevens de waterkerende functie voor zijn rekening moet nemen. Dit wordt bereikt door het zinkelement als een aquaduct uit te voeren, dat wil zeggen aan de beide uiteinden te voorzien van opstaande wanden (fig. 5). Het spreekt vanzelf dat het eerder genoemde pneumatische profiel langs deze opstaande wanden ook voor de primaire dichting moet zorgen.

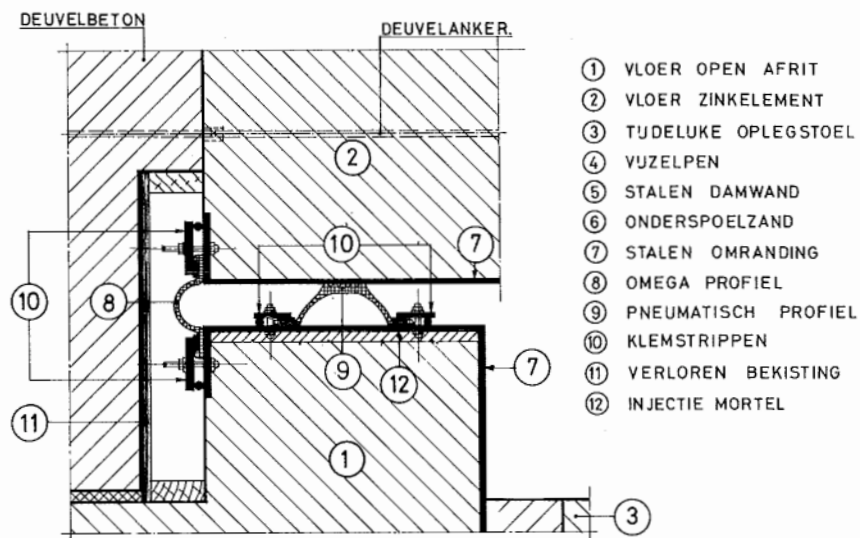
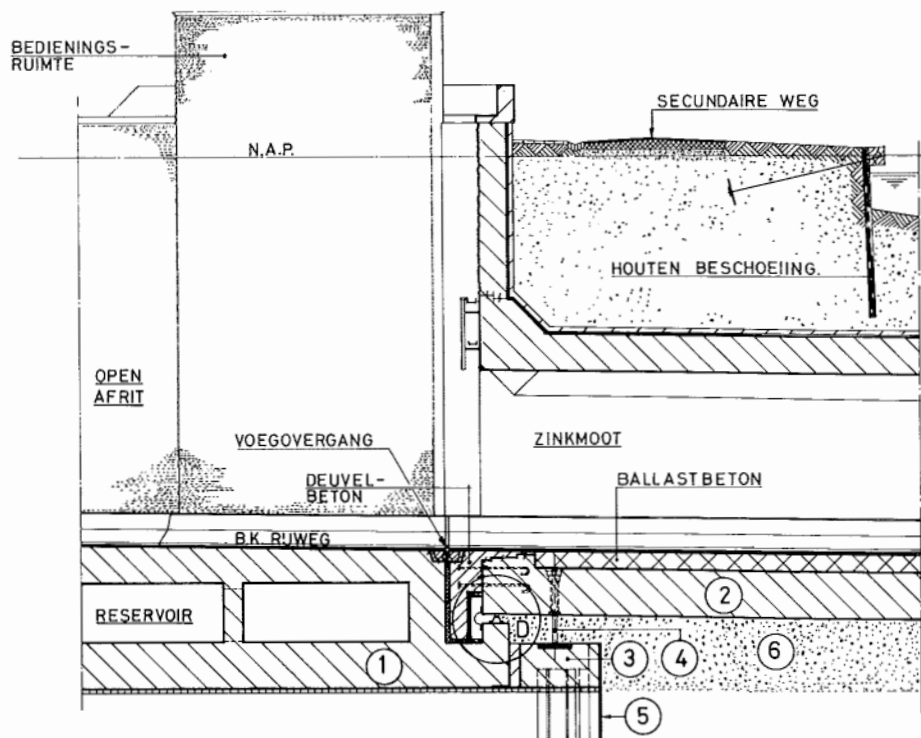
Hoewel het in eerste instantie aantrekkelijk leek het gesloten gedeelte niet langer te maken dan de kanaalbreedte (ca. 55 m), onder meer omdat dan een kunstmatige verlichting van hoog niveau overbodig zou zijn geweest (het omslagpunt tussen 'lage' en 'hoge' dagverlichtingsniveaus ligt ongeveer bij 60 m lengte, bij de toegepaste helling en onderstraal), is toch gekozen voor een grote lengte. Bij de kortst mogelijke lengte van 55 m zouden zware damwandconstructies met verankeringen voor de kering langs de kanaalzijde van de afritten nodig zijn geweest.

De gekozen lengte van 77 m volgt uit de benodigde breedte van de gronddammen, met aan weerszijden stalen damwanden, en de minimaal vereiste doorvaartbreedte van 25 m in het kanaal tijdens de bouw. Deze doorvaart dient bovendien in het verlengde van de beweegbare opening van de brug in de huidige rijksweg, 100 m naast de bouwputten, te liggen. Deze lengte heeft bovendien het voordeel dat de kruising van de landbouwweg aan de noordwestelijke oever van het kanaal over het zinkelement kan worden geprojecteerd en niet via een kostbaar viaduct de afrit hoeft te kruisen. Vergelijkende kostprijsberekeningen, waarin de reeds genoemde factoren werden betrokken, wezen uit dat de gekozen lengte de goedkoopste oplossing bood. Een eventuele toekomstige verbreding van het kanaal in verband met het geschikt maken voor duwvaart blijft op deze wijze ook mogelijk.

Het zinkelement bestaat uit vier moten van elk 19,50 m lengte; tandopleggingen in dak en vloer zorgen voor de overbrenging van de dwarskracht. Bij de voegen wordt een dubbele waterkering aangebracht. In de voegen tussen de moten is dit de bekende rubber-metalen voegstrook, aan de buitenzijden van vloer en wanden het, bij deze tunnel voor het eerst toegepaste,

Figuur 5



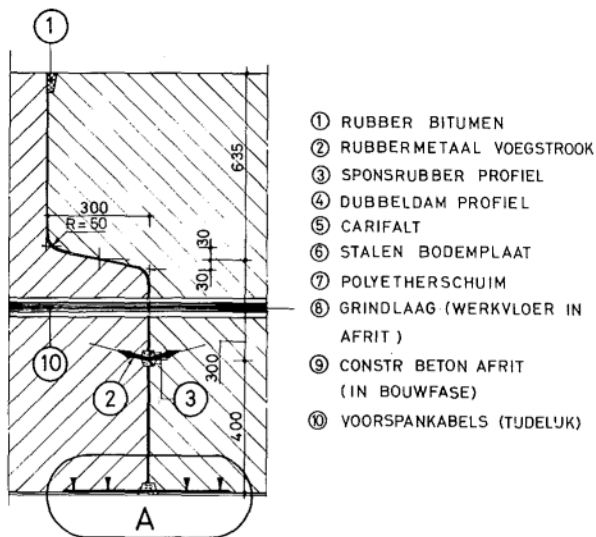


DETAIL D

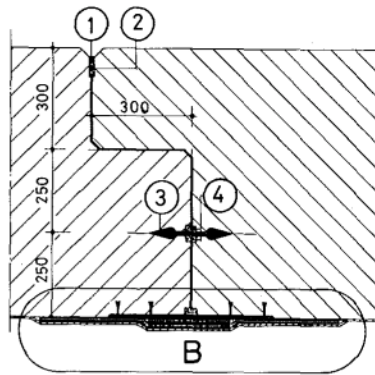
zogeneten dubbeldam-profiel. Dit laatste profiel bestaat uit een rubber strook van 500 mm breedte, met aan weerszijden van de voeg twee wigvormige ribben (fig. 7 en 8). Op het dak wordt alleen de rubber strook, dus zonder ribben, toegepast; het zal duidelijk zijn dat dit om uitvoeringstechnische redenen is gedaan (fig. 9).

Het opdelen in korte moten wordt eveneens gedaan om uitvoeringstechnische redenen (bekistingslengte), om het optreden van krimp- en temperatuurscheuren te beperken en om de tunnel als een schakelketting op het zandbed onder de tunnel te laten dragen. Door dit laatste wordt voorkomen dat ongewenste grote langsmomenten door ongelijke zetting van de ondergrond worden geïntroduceerd.

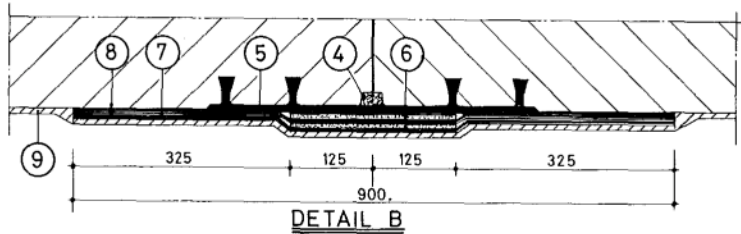
Zoals gebruikelijk bij gezonken tunnels, wordt het element afgezonken in de van tevoren gebaggerde zinksleuf, waarbij het voorlopig wordt geplaatst op vijzels. De vijzels bevinden zich in dit geval aan beide einden van het zinkelement, waardoor de oplegpunten voor de vijzelpennen direct naast de afritten in den droge konden worden aangebracht. Het zou mogelijk zijn geweest om deze oplegpunten ook definitief als starre opleggingen te gebruiken voor het gezonken gedeelte. Indien echter bij deze oplossing door een calamiteit de gehele tunnel vol water zou komen te staan, zou het gehele extra gewicht door de opleggingen aan de einden worden opgenomen en zouden grote momenten ontstaan. Wil men aan deze situatie het hoofd bieden, dan moet een zeer zware langsvorspanning aanwezig zijn. Het is dan ook goedkoper om hier het schakelketting-principe toe te passen.



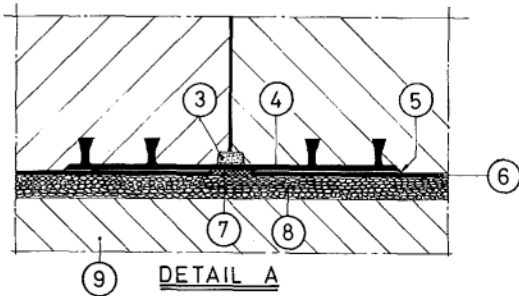
- ① RUBBER BITUMEN
- ② RUBBERMETAAL VOEGSTROOK
- ③ SPONSRUBBER PROFIEL
- ④ DUBBELDAM PROFIEL
- ⑤ CARIFALT
- ⑥ STALEN BODEMPLAAT
- ⑦ POLYETHERSCHUIM
- ⑧ GRINDLAAG (WERKVLOER IN AFRIT)
- ⑨ CONSTR BETON AFRIT (IN BOUWFASE)
- ⑩ VOORSPANKABELS (TUDELUK)



- ① THIOKOL
- ② AIREX
- ③ RUBBERMETAAL VOEGSTROOK
- ④ SPONSRUBBER PROFIEL
- ⑤ DUBBELDAM PROFIEL
- ⑥ HITTEBESTENDIG SCHUIMPLASTIC
- ⑦ P.V.C FOLIE
- ⑧ RUBEROID VITRIX
- ⑨ WATERDICHE BEKLEDING



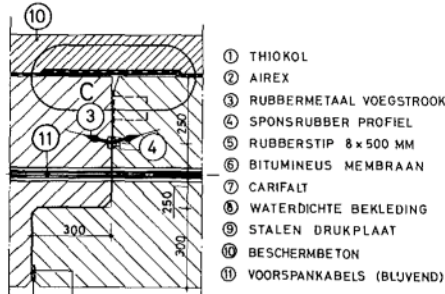
8
Dilatatievoeg in wand zinkelement
Expansion joint in wall tunnel element



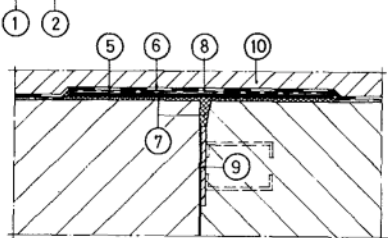
DETAIL A

7
Dilatatievoeg in vloer zinkelement
Expansion joint in floor tunnel element

9
Dilatatievoeg in dak zinkelement
Expansion joint in roof tunnel element



- ① THIOKOL
- ② AIREX
- ③ RUBBERMETAAL VOEGSTROOK
- ④ SPONSRUBBER PROFIEL
- ⑤ RUBBERSTIP 8 x 500 MM
- ⑥ BITUMINEUS MEMBRAAN
- ⑦ CARIFALT
- ⑧ WATERDICHE BEKLEDING
- ⑨ STALEN DRUKPLAAT
- ⑩ BESCHERMBETON
- ⑪ VOORSPANKABELS (BLUVEND)



DETAIL C

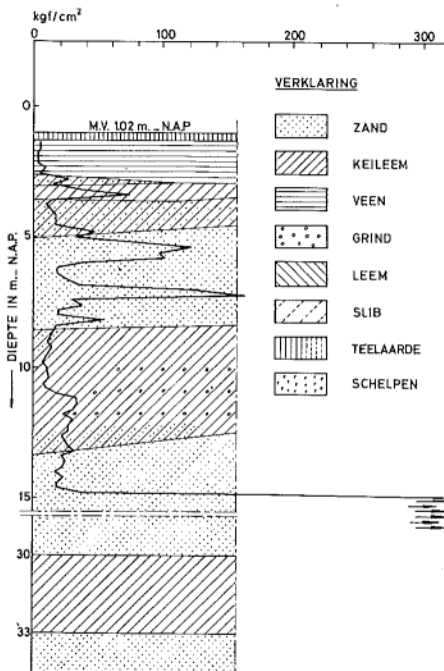
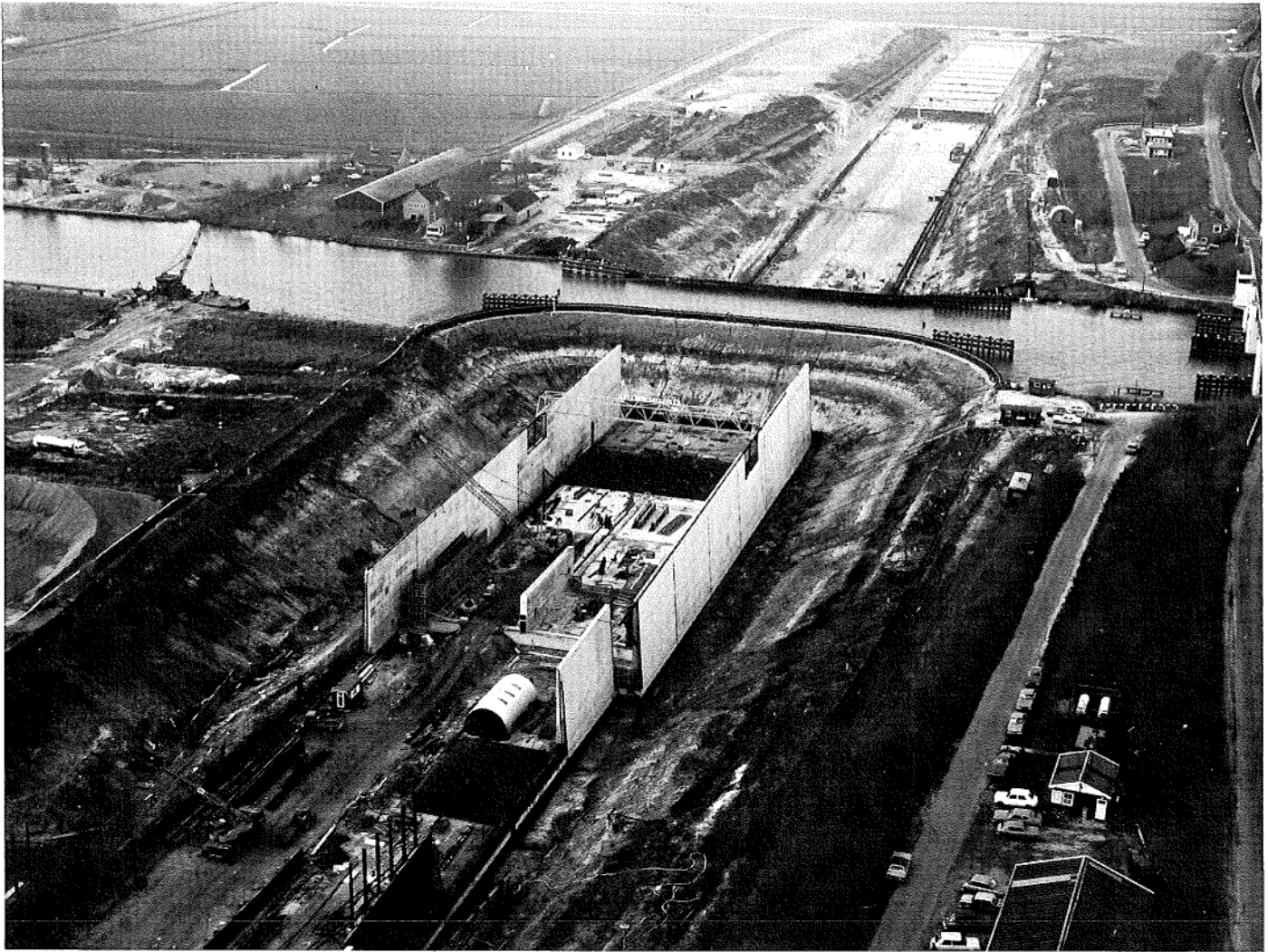
Ten behoeve van het verhalen en het afzinken wordt het tunnelement voorzien van een tijdelijke voorspanning die zorgt voor een drukspanning in de voegen, zodat het zich gedurende die periode als een monolietconstructie gedraagt. De voorspanning bestaat uit 23 BBRV-kabels, type CC 234, elk met een blijvende voorspankracht van ca. 1800 kN. Ballasttanks worden tijdens de zinkmanoeuvre gevuld met water ten einde over voldoende gewicht te beschikken. De grond- en waterdruk, het gewicht van de opstaande wanden en het gewicht van de grond op de tunnel, die het grootst is aan de uiteinden, hebben de neiging om een 'opbuigend moment' in de tunnel te veroorzaken. Daardoor zullen enerzijds de voegen in het dak gaan openstaan, anderzijds zullen de beide uiteinden van het zinkelement meer zettingen ondergaan dan het middengedeelte. Met name dit laatste verschijnsel dient te worden vermeden om het dragen van het gewicht van de buitenste moten op het pneumatische profiel tegen te gaan. Om nu dit effect te neutraliseren, worden de voorspankabels in het dak niet verwijderd, doch tot op ca. 30% van de transportvoorspanning afgelaten en daarna geïnjecteerd. De voorspankabels in de vloer worden na het aflaten verwijderd.

Het spreekt vanzelf dat tijdens het verhalen en afzinken het tunnelement aan de kopzijden moet worden afgesloten. Dit gebeurt door middel van kopschotten, die bestaan uit verticale stalen liggers, opgelegd tegen daartoe aangebrachte aanslagen, en een gewapend-betonwand. Het tunnelement wordt verder voorzien van een waterdichte bekleding. Onder de bodem bestaat deze uit staalplaten ter dikte van 6 mm, tegen de wanden en op het dak uit twee lagen gebitumineerd vezelvlies (fig. 7, 8 en 9). Op het dak wordt deze bekleding afgeschermd door een betonschil ter voorkoming van beschadiging door slepende of vallende ankers.

4. Ontwerp van de open afritten

a. De bouwputten

De bouwputten zijn gerealiseerd door middel van open ontgravingen met taluds. Voor de bemaling worden onderwaterpompen gebruikt. De opbouw van de grond is globaal aangegeven in figuur 10. Hoewel uit een pompproef was gebleken dat de keileemlaag tussen ca. 8 en 14 m – NAP niet volledig afsluitend is, is toch ter beperking van de directe onttrekking van het grondwater uit de eerste zandlaag en het afdekkend veenpakket (het zijn deze lagen die zettingsgevaar opleveren), besloten rondom de bouwputten gesloten damwandschermen aan te brengen. Deze damwandschermen, die één geheel vormen met de damwanden langs de kanaalzijde van de gronddammen, zijn 1 m in de genoemde keileemlaag geheid. Hoewel op deze wijze een weerstand is gevormd tegen onttrekking van grondwater uit de bovenlagen, is toch enige verlaging van de stijghoogte in de omgeving van de bouwputten niet uitgebleven en is schade in de omgeving veroorzaakt. Een door de Minister van Verkeer en Waterstaat ingestelde onafhankelijke commissie van deskundigen beoordeelt een en ander aan de hand van uitgebreide meetgegevens. Indien het oorzakelijk verband met de wateronttrekking is vastgesteld, wordt de gemelde schade vergoed.

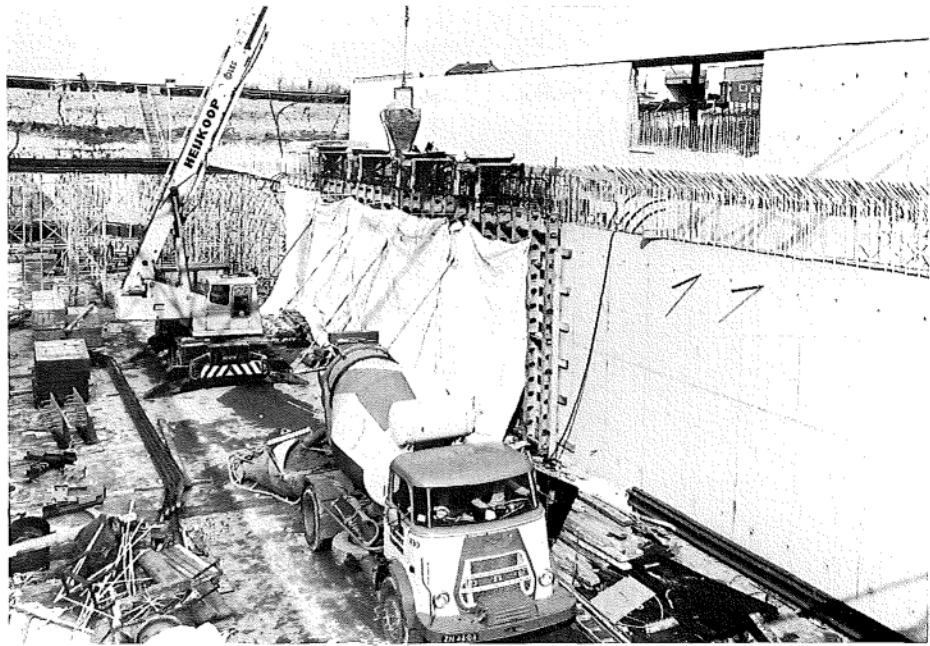


Overzicht van beide bouwputten; zinkelement is reeds in aanbouw
 Survey of both the building pits; tunnel element under construction
 foto: KLM Aerocarto BV

b. De constructie

De afritten worden gevormd door een gewapend betonnen bak, gedeeltelijk gefundeerd op palen volgens het systeem Vibro, gedeeltelijk op staal gefundeerd. Elke afrit bestaat uit moten van 18 m lengte. De diepste moten zijn gefundeerd op trekpalen die worden voorgespannen door middel van een centrale Dywidagstaaf \varnothing 36 mm. Minder diep gelegen moten worden voorzien van trekpalen met een centrale Dywidagstaaf \varnothing 32 mm. De hoogst gelegen moten zijn, nadat een grondverbetering is aangebracht, op staal gefundeerd. Bij de trekpalen worden de Dywidagstaven na het afspannen in de reeds verharde vloer verankerd, waardoor per paal resp. 600 en 450 kN trek kan worden opgenomen. De palen zijn zodanig geplaatst dat alle palenrijen in een dwarsdoorsnede, uitgezonderd de buitenste (onder of direct naast 'de wanden), op dezelfde trek worden belast. De berekening hiervoor is uitgevoerd met behulp van het computerprogramma FUNBAK van de Dienst Informatie Verwerking van de Rijkswaterstaat. Dit programma berekent, aan de hand van de momenten op de wanden ten gevolge van de grond- en waterdruk, de opwaartse waterdruk onder de vloer, het gewicht en bij toelaatbare paalbelasting de vereiste paalafstanden. Ook is het mogelijk aan de hand van opgegeven paalafstanden de optredende paalbelastingen te berekenen. Niet moeilijk is het in te zien dat bij groter wordende verhouding tussen wandmomenten en opwaartse waterdruk de palen meer in het midden van de vloer worden geconcentreerd. Dit is uiteraard het geval bij toenemende diepte van de moten. De diepste moot van elke afrit is voorzien van een water- en pompkelder. Deze kelders zijn onder de rijvloer in een extra verdieping van de bouwputten geprojecteerd. Deze verdiepingen zijn rondom afgeheid met een stalen damwand. Boven de pompkelders worden bedieningsruimten gemaakt. Zoals reeds in de inleiding is gesteld, fungeert de kelder in de zuidoostelijke afrit ook als opvang voor het water uit het gesloten gedeelte onder het kanaal (waswater van de wanden enz.). Evenals bij het zinkelement, worden de voegen voorzien van een dubbele waterkering. Ook hier wordt deze gevormd door een rubber-metalen voegstrook en het dubbeldamprofiel.

Betonneren van de tussenwand van het zinkelement
Casting the separation wall of the tunnel element

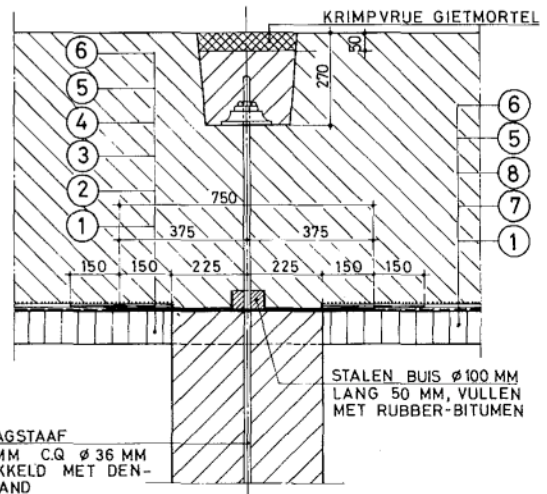


Verder worden de afritten voorzien van een waterdichte bekleding. In het bestek was voorgeschreven dat de vloerbekleding op traditionele wijze moest worden uitgevoerd, dat wil zeggen op een vlak afgewerkte werkvloer van 100 mm dikte een laag paraffinepapier met daarop twee lagen gebitumineerd glasvilt, afgedekt door een 30 mm dikke werkvloer ter voorkoming van beschadiging van deze kwetsbare bekleding bij het vlechten van de wapening. Volgens een alternatieve aanbieding van de aannemer wordt de vloerbekleding thans uitgevoerd in gietasfalt. Dit geschiedt als volgt: op de 100 mm dikke werkvloer wordt ter voorkoming van aanhechting een laag paraffinepapier aangebracht, vervolgens wordt in twee lagen gietasfalt met een temperatuur van ca. 160 °C uitgegoten en met een spaan vlak uitgestreken. Het gietasfalt koelt vrij snel af en wordt daarna zo hard, dat het aanbrengen van een tweede werkvloer overbodig is. Beschadiging bij het vlechten van de wapening treedt dan ook niet op, terwijl daarnaast het materiaal bestand is tegen de belasting van het wapeningsnet dat via de betonblokjes op de bekleding rust. Bij de aansluiting van de wanden met de vloer wordt tussen de twee lagen gietasfalt een laag gebitumineerd glasweefsel opgenomen dat tegen de wand wordt opgezet tot boven de stortnaad.

In het bestek werd voorgeschreven dat de waterdichting boven de trekpalen moest bestaan uit een 4 mm dikke laag epoxymortel waarin langs de rand een rondgaande strook glasweefsel moest worden opgenomen, die tussen de twee bekledingslagen diende te worden geplakt. Om de Dywidagstaven moest een stalen busje \varnothing 100 mm worden aangebracht dat gevuld moest worden met voegvullingsmassa.

Thans wordt op en rondom de palen een stalen plaat ter dikte van 6 mm, met een opgelast busje \varnothing 100 mm in de gietmortel gesteld, terwijl langs de rand van de plaat een strook gebitumineerd glasweefsel wordt geplakt, die tussen de twee lagen gietasfalt wordt opgenomen (fig. 11). De wanden van de afritten worden niet voorzien van een waterdichte bekleding in de vorm van plaklagen zoals bij het zinkelement, doch hier worden slechts de opgetreden krimp scheuren afgeplakt met een strook gebitumineerd glasweefsel, terwijl de buitenzijde geheel wordt bespoten met een 7 mm dikke laag geblazen bitumen.

- ① WERKVLOER
- ② WAPEX
- ③ STAALPLAAT DIK 6 MM \varnothing 750 MM
- ④ LODORITE BITUMENWEEFSEL (VASTPLAKKEN OP STAALPLAAT)
- ⑤ BOVENLAAG DUROFALT DIK 15 MM
- ⑥ FUNGRIND - BITUMEN
- ⑦ PARAFINE PAPIER
- ⑧ ONDERLAAG DUROFALT DIK 15 MM



Uit de beschrijving van het zinkgedeelte zal duidelijk zijn geworden dat niet alleen de als bouw-dok fungerende afrit ten behoeve van het afzinken vol water wordt gezet, doch ook de andere afrit. Omdat het maaiveld van de beide polders aan weerszijden van het kanaal lager ligt dan het boezempeil in het kanaal, is het dan ook noodzakelijk dat vóór het vol water zetten de afritten in ruwbouw gereed zijn, zodat geen inundatie optreedt.

c. *Het viaduct*

In het voorgaande is reeds vermeld dat aan de noordwestzijde van het kanaal op vrij eenvoudige wijze een kruising van een lokale weg met de nieuwe autosnelweg kan worden gemaakt door deze over de 'overlengte' van het gesloten gedeelte te projecteren. Op dezelfde wijze de aan de zuidoostzijde liggende landbouwweg over de tunnel voeren is niet mogelijk, vanwege de daarvoor benodigde extra lengte, die niet in de afrit gebouwd kan worden. Het is dan ook noodzakelijk over de zuidoostelijke afrit een viaduct te maken. Dit viaduct wordt uitgevoerd in ca. 34 m lange geprefabriceerde voorgespannen liggers met een ter plaatse te storten druklaag. Wegens het grote hoogteverschil tussen de vloer van de afrit en het viaduct (ca. 12 m) is het economisch niet verantwoord een ter plaatse gestort viaduct te maken. Het viaduct kan pas gemaakt worden nadat de afzinkwerkzaamheden hebben plaatsgevonden, omdat één van de opstaande wanden van het zinkelement deze plaats tijdens het verhalen moet passeren. Hieruit blijkt dat ook uit tijdsoverweging het toepassen van geprefabriceerde liggers aantrekkelijk is, immers de afritten zijn in ruwbouw klaar voor het afzinken.

5. **Het afzinken en onderstromen**

Zoals reeds vermeld, wordt het gesloten gedeelte afgezonken in een tevoren gebaggerde sleuf in het kanaal. Hiertoe worden, nadat het zinkelement gereed is en de afritten 'waterkerend' zijn, deze tot het kanaalpeil vol water gezet. Daarna worden de gronddammen en damwanden langs het kanaal verwijderd en wordt de zinksleuf gebaggerd. Het tunnelement, dat geballast met water op de bodem van de afrit ligt, wordt daarna door het uitpompen van ballastwater opgedreven en verhaald naar de afzinkplaats. Door weer ballastwater toe te voegen wordt het daarna afgezonken en neergezet op de vier tijdelijke steunpunten. Na het oppompen van de pneumatische profielen bij de zinkvoegen, worden de beide afritten gelijktijdig leeggepompt. Hierna worden de secundaire dichtingen (omega-profielen) aangebracht en de kopschotten gesloopt. De definitieve funderingslaag wordt in de ruimte tussen de tunnel en de bodem van de zinksleuf aangebracht door een zand-watermengsel te pompen via een achttal injectie-openingen in de bodem van het zinkelement. Deze, vrij nieuwe, methode werd eerder toegepast bij de Vlakte-tunnel onder het Kanaal door Zuid-Beveland.

Na het zogeheten onderstromen worden de vizels afgelaten en de transportvoorspanning verwijderd, met dien verstande dat, om de eerder genoemde redenen de voorspanning in het dak wordt afgelaten tot ca. 30% van de transportvoorspanning.

6. **Afwerking en inrichting van de tunnel**

Ook bij deze tunnel is het noodzakelijk de overgang van het daglicht naar het lage lichtniveau in het gesloten gedeelte zo geleidelijk mogelijk te laten verlopen. Dit wordt bereikt door bij de ingang een hoog verlichtingsniveau (ca. 4000 lux) toe te passen die een geleidelijke overgang van het daglicht (ca. 100 000 lux) naar het niveau in de tunnel (ca. 1200 lux) waarborgt. Deze methode wordt thans veelal toegepast in plaats van de vroegere oplossing met zonwerende roosters, die onder meer het nadeel hebben snel te vervuilen en dan minder licht doorlaten.

In de middenberm van de afritten worden voorzieningen getroffen om het plaatsen van lichtmasten mogelijk te maken. Langs de buitenwanden van de tunnel en de afritten komt, in plaats van een vangrail, een betonnen geleideconstructie, die naar de ontwikkelaar General-Motors genoemd wordt. Langs de middenwand van het gesloten gedeelte en de middenberm in de afritten worden vangrailconstructies aangebracht.

*Gedeeltelijk aanzicht zinkelement; er is weinig ruimte tussen afritwand en element
A part of the tunnel element; the space between the wall of the ramp and the tunnel element is small*



B. Uitvoering van de tunnel

Op 11 juni 1974 werd aan de Aannemerscombinatie Prinses Margrietunnel opdracht verleend tot het maken van een tunnel in Rijksweg 43 nabij Sneek onder het Prinses Margrietkanaal. De aannemerscombinatie wordt gevormd door DURA Aannemingsmaatschappij BV te Rotterdam – waarvan dochteronderneming Algemeen Aannemersbedrijf ir.A.F.U. Krikke BV te Zeist belast is met de uitvoering – samen met BV Aannemingsbedrijf v/h H. & P. Voormolen te Rotterdam.

De totale bouwtijd zal bijna drie jaar bedragen; de oplevering is gepland op 5 mei 1977.

De uit te voeren werkzaamheden zijn globaal te splitsen in:

- het heien van damwanden rond de bouwkuipen;
- het plaatsen van bronbemalingen (die pas in werking gesteld mogen worden na het sluiten van de kuipen);
- het ontgraven van de bouwkuipen;
- het heien van in de grond gevormde palen;
- het betonwerk;
- het baggeren van de zinksleuf en het afzinken van het tunnelelement, inclusief onderstromen en aanvullen;
- de afbouw.

Gezien de beperkte bouwtijd en het feit dat de zuidoostelijke afrit fungeert als bouwdoek voor het af te zinken tunnelelement, wat inhoudt dat de beide afritten geheel klaar moeten zijn voordat tot onder water zetten kan worden overgegaan, diende men de verschillende werkzaamheden tot aan het onder water zetten volledig te integreren. Daarom wordt aan de zuidoostzijde ca. 70 m na het heiwerk dat van boven naar beneden loopt, al gestart met het betonwerk, terwijl op het diepere gedeelte nog volop wordt ontgraven (foto 1).

Met het betonwerk van de vloeren wordt begonnen ter plaatse van de vijfde wandmoot van bovenaf, zodat naar twee kanten kan worden uitgebouwd in een tweeweekse cyclus. Daarbij worden de moten om en om gestort en als de uiteinden van de afrit bereikt zijn, worden de tussenliggende moten gestort.

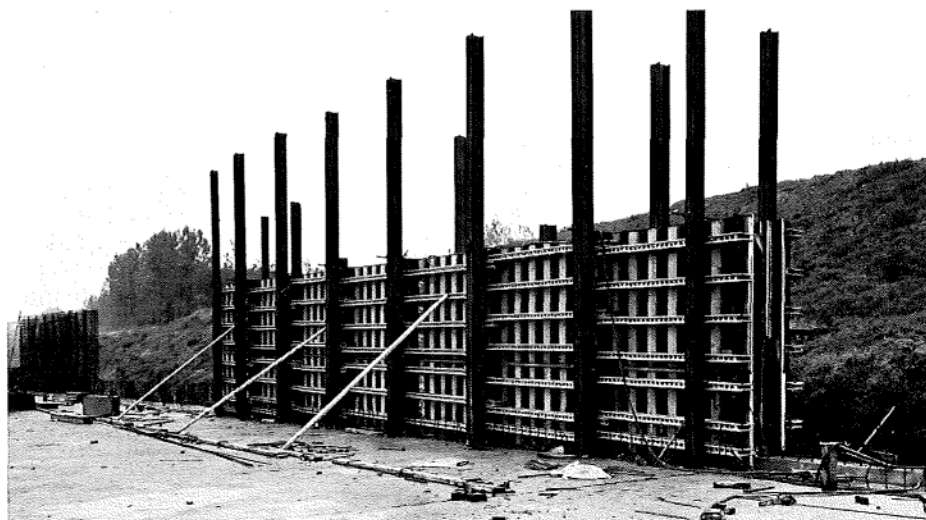
Aan de noordwestelijke afrit was de situatie gunstiger: met heien kon worden begonnen na het grondverzet en met het betonwerk werd begonnen na het heien. Toch is ook hier met betonwerk begonnen bij een hoger gelegen moot om naar twee kanten uit te kunnen

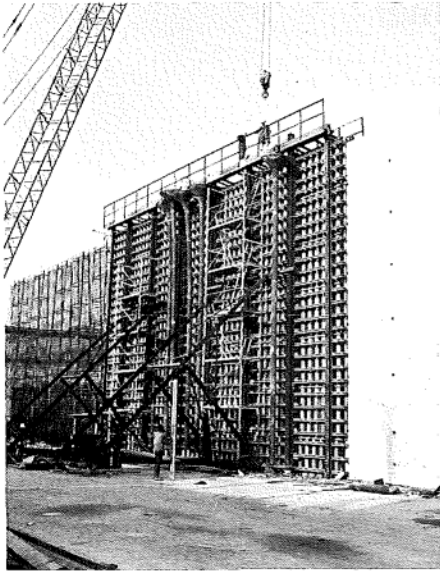


werken. Het voordeel daarvan is dat de te maken vloermoot altijd vanaf een voldoende verharde eerder gestorte moot te bereiken is. Daartoe wordt bij elke 'beginmoot' in de zijkant van de vloer een oprit vanaf de langs de teen van het bouwputtalud lopende werkweg gemaakt. Voor de in een periode van $1\frac{1}{2}$ jaar te verwerken hoeveelheid betonspecie van $55\,000\text{ m}^3$, is een semi-permanente betoninstallatie met een capaciteit van 60 m^3 per

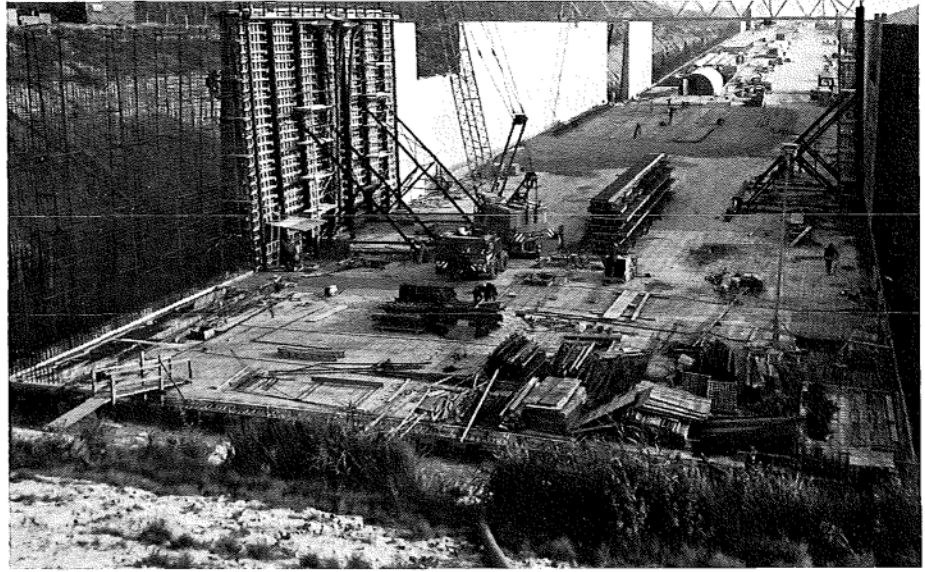
1
Gelijktijdige uitvoering van grondwerk, heiwerk en betonstorten
Simultaneous activities of excavating, pile driving and concreting
foto's: Rijkswaterstaat

2
Bekistingssysteem toegepast bij de lage wanden
Formwork system for the low walls





3
Bekistingssysteem toegepast bij de hoge wanden
Formwork system for the high walls



4
De zuidoostelijke afrit: het bouwdok voor het zinkelement
The south-eastern situated ramp: building dock for the under water tunnel element

uur op het werk geplaatst. Om in de winter tijdens vorstperioden door te kunnen werken, is de installatie voorzien van een lagedruk stoominstallatie. Tevens is een mobiele lagedruk stoominstallatie aanwezig voor het warm houden van het gestorte beton.

Omdat ca. 65% van de totaal te verwerken hoeveelheid beton in de zuidoostelijke bouwput gestort moet worden, staat de betoninstallatie dan ook aan deze zijde van het kanaal. Zand en grind worden per schip aangevoerd en gelost in een trechter met behulp van een loskraan die vanwege de geringe kanaaldiepte aan de oever op een drijvende bak is geplaatst. Met vrachtwagens wordt het materiaal vervolgens naar de opslag gereden. De betonspecie wordt in truckmixers naar de stortplaats gebracht. Voor het in het werk brengen van de betonspecie voor de hoge wanden (8 tot 13 m'), de vloeren van de afritten en de vloer van de zinkmoot, wordt een 50-tons mobiele vakwerkkraan gebruikt. De overige storten worden voorzien van betonspecie met behulp van een lichtere eveneens mobiele hydraulische kraan. Overwogen is nog om de betonspecie te verpompen, maar dit bleek niet mogelijk vanwege de speciale in het bestek geëiste samenstelling van de toelagmaterialen.

Op dagen dat er geen betonwerk plaatsvindt, wordt de 50-tons kraan ingezet voor verplaatsing van de wandbekisting. Deze bekisting is opgebouwd uit geprefabriceerde schotten, groot 2 x 18 m, die op hun beurt bestaan uit horizontale Hünnebeck AZ-dragers met daarop verticale baddings 'op z'n plat' en 18 mm dik betonplex. De keuze van dit type bekis-

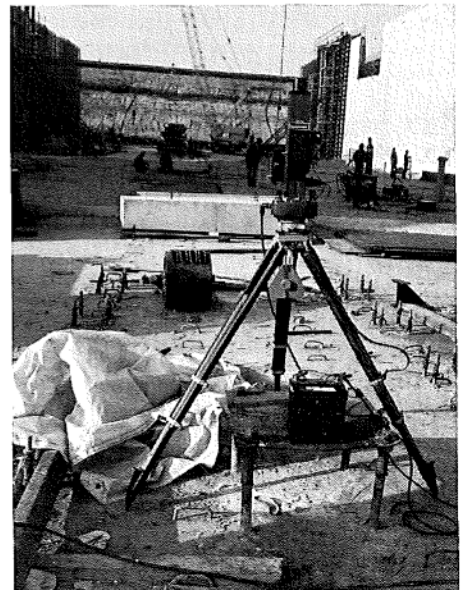
ting hing samen met de aan de binnenzijde van de afritwanden toegepaste rubber structuurmatten, groot 1 x 1 m'. Deze structuurmatten worden waterpas in halfsteensverband in de bekisting opgenomen. Om zo min mogelijk centerpennen toe te moeten passen, en een juiste vlakverdeling te verkrijgen, worden Dywidag centerpennen Ø 26,5 mm dubbelgeribd schroefdraadstaal 85/105 toegepast, met in het midden een opgelijmde stalen waterkering en met speciaal ontwikkelde gehard-stalen conussen die een maximale afwijking ten opzichte van de verticaal van 1 : 30 op kunnen nemen. Deze combinatie is geschikt voor een maximale trekkracht van 32 tf. Uitgegaan wordt van een bekistingdruk van 60 kN/m² bij een stijgsnelheid van storten van 1,20 m' per uur, wat aan conusgaten een stramienmaat oplevert van 2,67 m' verticaal en 2,00 m' horizontaal.

Het stortschema van de wanden is in twee stromen opgezet, waarbij in principe het storten van de lage wanden bij de laagste begint en de hoge wanden bij de hoogste. De bekistingsschotten kunnen nu onderling uitgewisseld worden, waardoor met een minimum aan schotten kan worden volstaan. Om aan een zo strak mogelijk tijdschema te kunnen voldoen, worden supportconstructies in de vorm van torentjes van hoekstaal toegepast waartegen binnen- en buitenwapening, opgebouwd uit geprefabriceerde netten met een maximum gewicht van 9 ton, kunnen worden aangebracht zonder dat een bekistingswand daarbij aanwezig is.

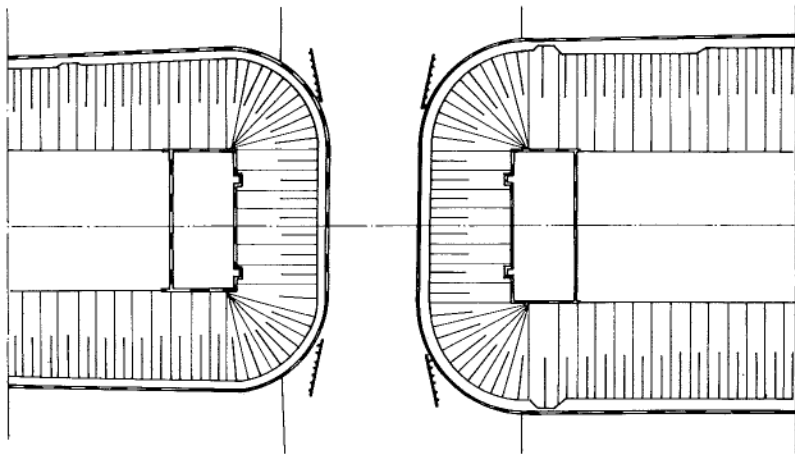
De moten waaruit het zinkelement wordt opgebouwd, worden op traditionele wijze bekist. Voor de wanden is gekozen voor verplaatsbare schotten. Voor het dak echter worden ook de bovengenoemde torentjes toegepast. Overigens moet voor één dakmoot een extra bekisting worden gemaakt. Daar vanwege de korte bouwtijd er drie van de vier dakmoten tegelijk in de bekisting zullen staan, moet voor één dakmoot de bekisting opnieuw worden gesteld. Toepassing van een verrijdbare bekisting is daarbij uitgesloten. Opgemerkt moet nog worden dat wanden en dak separaat gestort worden.

De zeer korte bouwtijd van het tunnelement was mede het gevolg van het in het vorige artikel reeds genoemde feit dat als bouwdok de zuidoostelijke afrit was gekozen (foto 4). Eerst moesten daarom wanden en vloer van deze afrit klaar zijn alvorens met het tunnelement kon worden begonnen. Daarbij doet zich de moeilijkheid voor dat de helling waaronder het tunnelement wordt gebouwd precies tegengesteld is aan de helling na het zinken. Om dit probleem op te lossen wordt vanaf het op hoogte brengen van het grindbed met daarop de stalen bodemplaten, gebruik gemaakt van een roterende laser die niet alleen zich zelf waterpas stelt, maar ook het vermogen heeft een van tevoren ingesteld hellend vlak aan te houden (foto 5).

5
Leggen van stalen bodemplaten voor het zinkelement, met behulp van roterende laser
Placing the steel bottom plates for the under water tunnel element, with the aid of a rotating laser

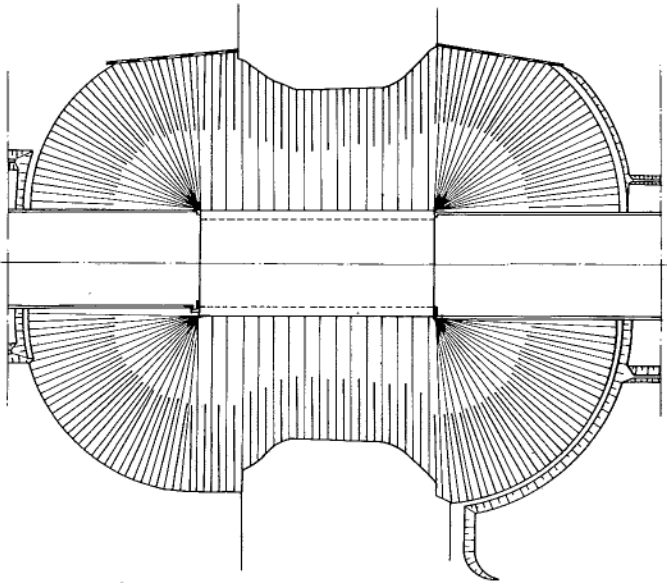


Plattegrond bouwputten van de afritten
Plan of the building pits for the ramps



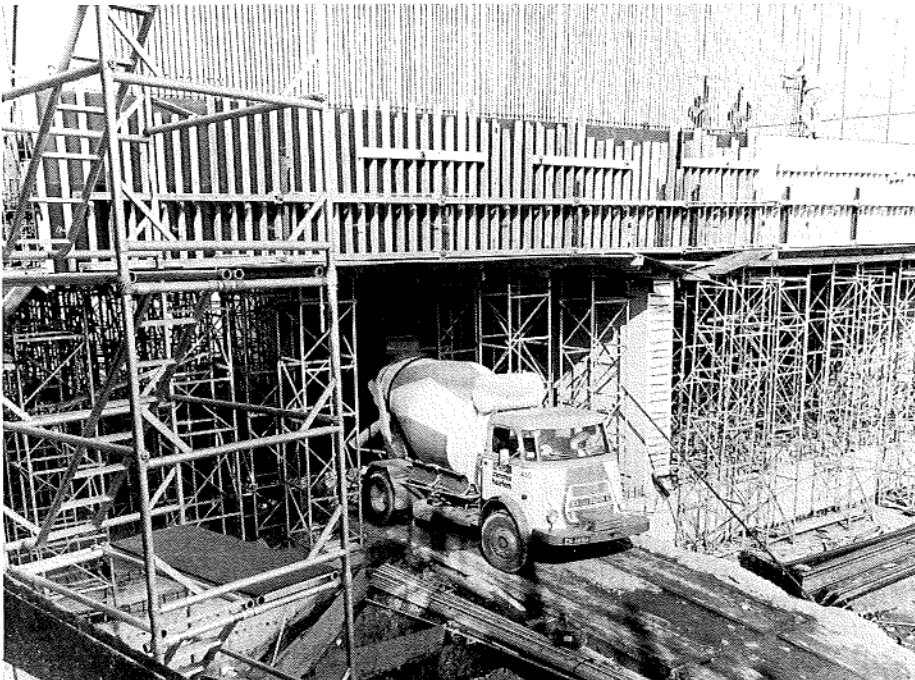
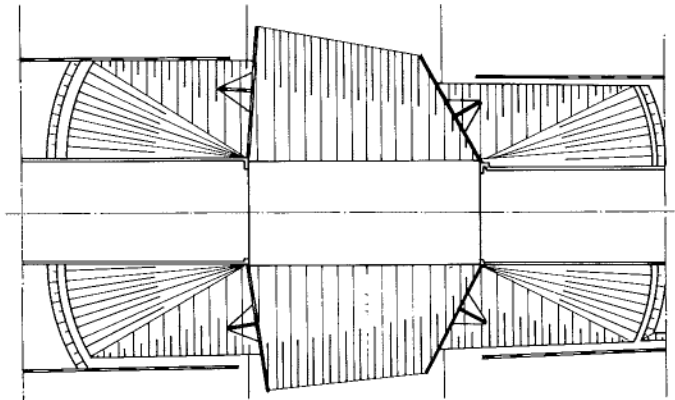
7a

Baggersleuf met natuurlijke taluds
Dredged trench with natural slopes



7b

Baggersleuf met tijdelijke hulpvleugels
Dredged trench with auxiliary pile planking



Bekisting dak zinkelement
Formwork roof tunnel element

De ruimte tussen het tunnelelement en de wanden van de afrit, variërend van 1,20 tot 1,90 m, beperkt de bereikbaarheid tijdens de uitvoering in hoge mate. Daarom is een bovenloopkraan met een overspanning van 34 m en een hefvermogen van 5 ton, op de wanden van de afrit geplaatst.

Na het gereedkomen van de afritten en het zinkelement, omstreeks eind juni 1976, twee jaar na het geven van de opdracht, zullen de beide afritten onder water worden gezet. Als daarna de kopdamwanden uit het kanaal zijn getrokken, wordt de zinksleuf gebaggerd. Hiervoor zal een alternatieve uitvoeringswijze worden toegepast. Het was oorspronkelijk de bedoeling dat in verband met de geringe kanaalbreedte, een diep het land instekende 'vioolvormige' put gebaggerd zou worden (fig. 7a). Door echter van tevoren zo ver mogelijk in den droge hulpdamwandschermen te heien, met de bovenkant op de hoogte van de sluitwanden van de afritten (fig. 7b), wordt een belangrijke vermindering van de hoeveelheid baggerwerk verkregen. De vrijkomende specie zal via een bakkenzuiger als aanvulling voor de noordoostelijke bouwput worden gebruikt. De zuidoostelijke bouwput is dan reeds in den droge aangevuld. De uit de ontgraving overblijvende grond zal als aanvulling van de baggersleuf worden gebruikt.

8a-f
 Afzinkprocedure
 Way of sinking the tunnel element

In de tijd dat er gebaggerd wordt, moet het pneumatisch afdichtingsprofiel worden beschermd door tijdelijke stalen platen, die pas na het baggeren en schoonmaken door duikers worden verwijderd.

Overigens zal het tunnelement tijdens het baggerwerk met gevulde ballasttanks op de bodem van de afrit liggen. Voordat met de afzinkprocedure (fig. 8a-f) wordt begonnen, zal men eerst het tunnelement wegeen door het uitdrukken van de vier vizelpennen. Dit is nodig om de verdeling en de hoeveelheid water in de acht ballasttanks voor alle fasen te kunnen bepalen. De ballasttanks worden overigens gevormd door geprefabriceerde betonplaten van $5 \times 3 \text{ m}^2$ met een dikte van 15 cm, die later in het ballastbeton zullen worden opgenomen. Bij het wegeen van het tunnelement wil men ook de theoretische uitkomsten van de berekeningen ten aanzien van het soortelijk gewicht van water en beton, toetsen aan de praktijk.

Het opdrijven, verhalen en afzinken van het tunnelement worden samen in één operatie gepland, die eind september 1976 zal moeten plaatsvinden. Nadat de scheepvaart in het kanaal is stilgelegd, worden de verhaaldraden van de lieren aan het tunnelement bevestigd en wordt door het uitpompen van water uit de ballasttanks het element opgedreven in een stand die evenwijdig is aan de helling van de afrit. Vervolgens wordt het element horizontaal gelegd en verhaald naar de afzinkpositie. Gezien de zeer kleine doorvaartopening worden zowel aan het tunnelement als aan de koppen van de wanden geleideconstructies aangebracht, waarna de speling aan beide zijden nog maar $4\frac{1}{2} \text{ cm}$ zal bedragen. Boven de afzinkplaats wordt het tunnelement vervolgens in de gewenste langshelling voor het afzinken gebracht, zodanig dat de beide kopwanden verticaal staan.

Het afzinken gebeurt in trappen van 22 cm door het gelijktijdig vullen van de ballasttanks met in totaal 13 m^3 water per trap. Op het moment dat de afstand tot de definitieve oplegging 20 cm bedraagt, wordt het afzinken gestopt en worden de vizelpennen uitgedrukt tot deze contact maken met de tijdelijke opleggingen. Het afzinken van de laatste 20 cm gebeurt daarna met behulp van de vizels. Bij het afzinken van dit tunnelement zijn verticale lieren niet nodig, vanwege de waterdoorsnijdende oppervlakte van de kopwanden die eigenlijk fungeren als afzinkpontons.

Wanneer het tunnelement op z'n plaats ligt, wordt het tijdelijke pneumatische afdichtingsprofiel opgepompt, de definitieve afdichtingen worden aangebracht en het tunnelement wordt via een negental openingen onderstroomd.

In de laatste fase vinden de afbouwwerkzaamheden plaats zoals het aanbrengen van ballastbeton, het maken van de pompkamers, het aanbrengen van schampranden en het asfalteren, inclusief het monteren van de vangrail.



FIG. 8 a ZINKELEMENT IN AFRIT



FIG. 8 b ZINKELEMENT OPGEDREVEN EVENWUDIG AAN AFRIT

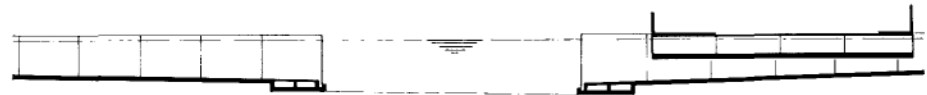


FIG. 8 c ZINKELEMENT WATERPAS

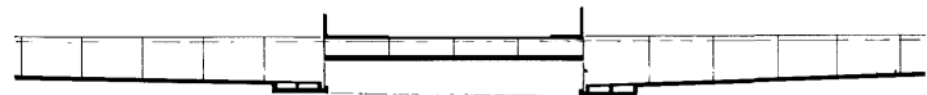


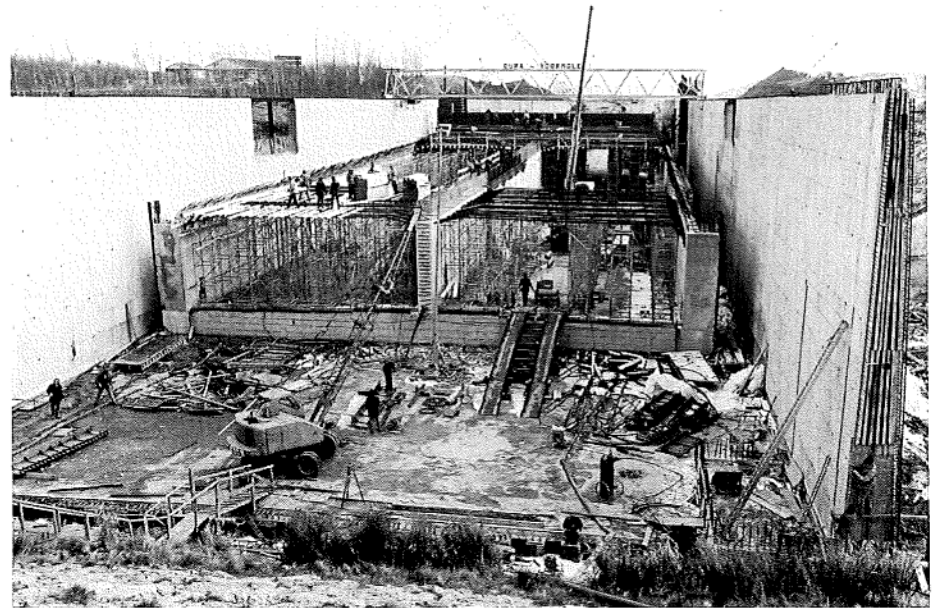
FIG. 8 d ZINKELEMENT WATERPAS BOVEN ZINKSLEUF



FIG. 8 e ZINKELEMENT EVENWUDIG AAN ZINKSLEUF



FIG. 8 f ZINKELEMENT AFGEZONKEN



Stand werkzaamheden begin maart '76
 Photograph, dated March 1976

Als belangrijkste onderaannemers voor het onderhavige project, werken mee: Cekasol BV te Maassluis voor de waterdichte bekledingen, Christiaan & de Koning BV te Nieuwegein voor het betonvlechtwerk, Neder-

horst Grondtechniek BV te Gouda voor de in de grond gevormde palen, Aannemingsbedrijf J.G.Nelis & Zn. BV te IJmuiden voor grond- en baggerwerken en heikwerk stalen damwanden, BV Grondboorbedrijf Tjaden te Haarlem voor bron- en retourbemalingen en Visser & Smit BV te Rotterdam voor het begeleiden, afzinken en onderspoelen van het tunnelement.