



ing. Hans Mortier PMSE
COMOLS / DIMCO
Bart Peerdeman MSc
COMOLS / RHDHV
ir. Arjan van der Put
Provincie Zuid-Holland

- 1 Impressie van de nieuwe Rijnlandtunnel
- 2 Overzicht van de N434
- 3 3D-model van schacht met techniekgebouw en E-modulen

Boortunnel in de RijnlandRoute kent diverse uitdagingen, onder meer ten aanzien van lining, dwarsverbindingen en boorterpen

Boren tussen de A4 en de A44

De provincie Zuid-Holland werkt momenteel aan de RijnlandRoute. Dit project bestaat uit drie onderdelen. Het eerste deel bestaat uit de aanleg van de N434, een nieuwe provinciale weg tussen de A44 en de A4 bij Leiden, met een dubbele boortunnel onder Voorschoten. Het ontwerpproces is in volle gang. Veel aandacht gaat uit naar de dwarsverbindingen en de positie van de boorterpen.

Een deel van de nieuwe verbindingsweg tussen de A4 en de A44 wordt uitgevoerd als een geboorde tunnel met een lengte van 2247 m. De keuze voor een boortunnel is de inzet van de provincie Zuid-Holland om de inpassing van de weg in het polderlandschap zo goed mogelijk te maken. Van de nieuwe N434 is een groot deel nauwelijks of niet te zien. Door deze keuze behoudt Voorschoten het groen, sportvoorzieningen, monumenten als landgoed Berbice, en is de sloop van huizen en bedrijven in Voorschoten voorkomen. Aan de westzijde ligt de westelijke gesloten toerit met een lengte van 80 m (fig. 3), die vloeiend overgaat in een deel dat verdiept is aangelegd over 1346 m. In dit deel van de weg worden zowel de A44 als de Veenwatering (met een aquaduct) onderlangs gekruist. De gesloten oostelijke toerit is 96 m lang, waarmee de totale lengte van het gesloten deel, conform contract, 2423 m bedraagt. De open toerit aan de oostzijde heeft een lengte van 237 m. In een optimalisatieslag is de lengte van de boortunnel verlengd met 57 m. Op deze wijze wordt de maximaal toegestane tussenafstand tussen twee opeenvolgende dwarsverbindingen van 250 m volledig benut. In dit artikel wordt het ontwerp van de tunnel nader toegelicht.

Geotechnische randvoorwaarden

Het geotechnisch lengteprofiel is weergegeven in figuur 4. De bovenste 15 tot 20 m van de ondergrond valt grotendeels onder de Formatie van Naaldwijk (lagunaire afzettingen). Deze is weer onder te verdelen in een overwegend kleiige/humeuze aard van de Laag van Walcheren (de bovenste 2 tot 5 m) en overwegend siltiger/zandiger lagen uit de Laag van Wormer. Tussen beide pakketten bevindt zich een discontinuë veenlaag. Lokaal is de Laag van Zandvoort (duinzand) aangetroffen. Op circa 15 tot 20 m diepte bevindt zich een basisveenlaag (Formatie van Nieuwkoop). Daaronder ligt de circa 25 m dikke pleistocene zandlaag. Tijdens de aanbesteding waren slechts enkele sonderingen beschikbaar met een sonderdiepte lager dan NAP -45 m waarmee de bovenkant van de klei-/leemlaag (Kedichem, onder de pleistocene laag) werd vastgesteld. Aanvullend grondonderzoek wordt uitgevoerd om de exacte dikte van het pleistocene zandpakket langs het (boor)tunneltraject nader in kaart te brengen.

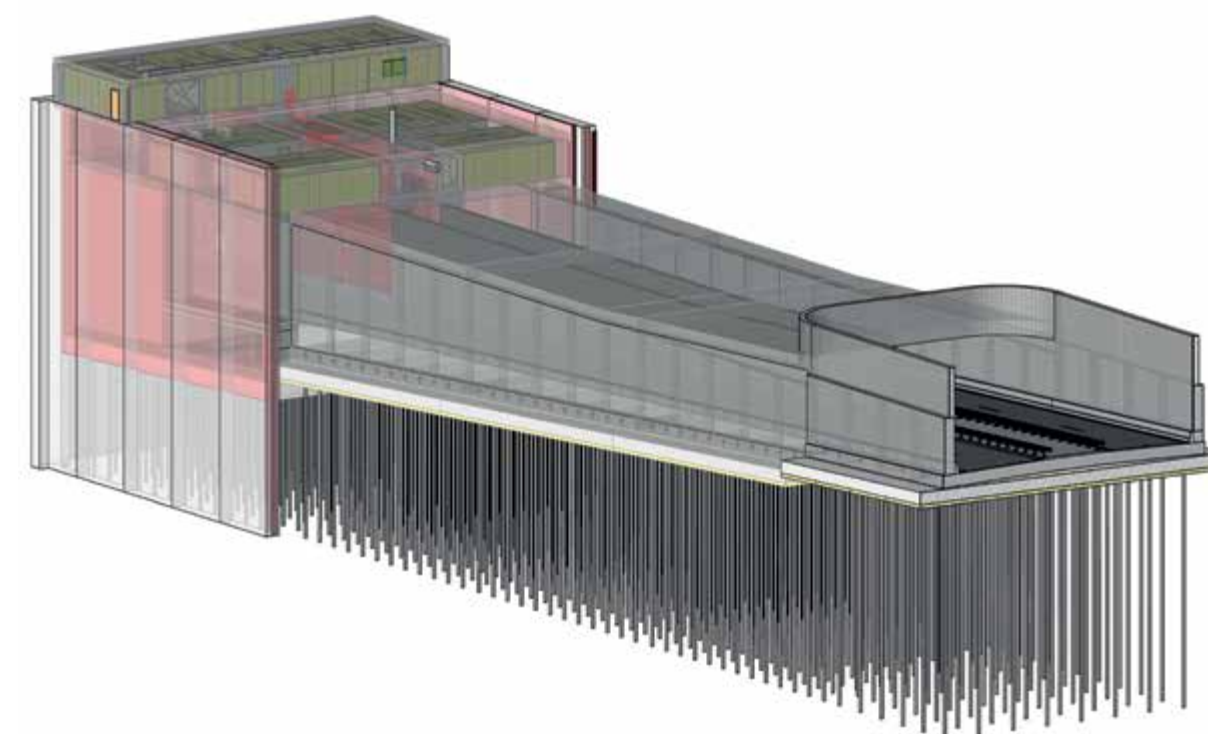
De boortunnel gaat onder een voormalige zilverfabriek door. Op deze locatie is een vinylchloride (VOCL) vervuiling in de bodem aanwezig waarvoor aanwijzingen zijn dat deze zich in de tijd verplaatst door grondwaterstroming. Risicoanalyses

Eerste projectdeel RijnlandRoute

Het eerste projectdeel RijnlandRoute bestaat uit meer dan alleen een boortunnel. Het omvat in hoofdlijnen:

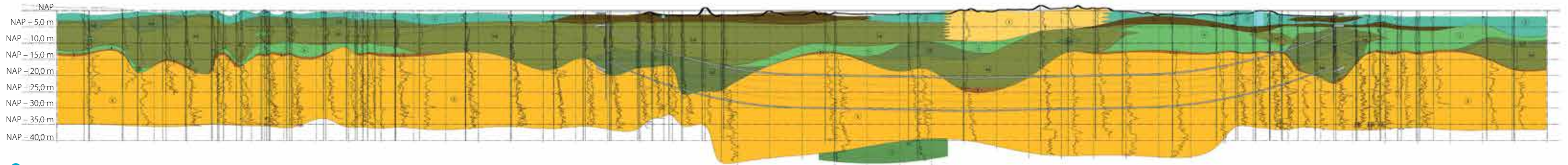
- Een 4 km lange verbindingsweg (N434) van 2x2 rijstroken van de A4 naar de A44, tussen de nieuwe knooppunten Hofvliet (A4) en Ommedijk (A44). Om de impact op de omgeving te minimaliseren, wordt de verbindingsweg grotendeels ondergronds aangelegd met een boortunnel van circa 2,5 km en een verdiepte ligging van circa 1,4 km.
- De realisatie van knooppunt Hofvliet (A4) met twee fly-overs met een lengte van 300 m en 220 m.
- De realisatie van knooppunt Ommedijk (A44) met een onderlangse kruising van de N434 en een ecopassage.
- De verbreding van de A4 tussen Vlietland en de N14 van 2x3 naar 2x4 rijstroken.
- Herinrichten van de A4 tussen Zoeterwoude-Dorp en (nieuw) knooppunt Hofvliet.
- De verbreding van de A44 van 2x2 naar 2x4 rijstroken over circa 2,5 km, inclusief vervanging en uitbreiding van bestaande kunstwerken (dit betreft onder andere de bouw van een nieuwe brug van 230 m over de Oude Rijn).
- Ombouw van aansluiting Leiden-West op de A44.

Kijk voor meer informatie op www.rijnlandroute.nl.



- 4 Geotechnisch lengteprofiel N434; de oranje laag is de pleistocene zandlaag, de kleilaag van Kedichem ligt hieronder
- 5 Principe doorsnede boortunnel

- 6 De lining bestaat uit circa 2 m brede uniforme ringen
- 7 Segmenten boortunnel met in zwart de voorziene aanzetvlakken voor de vijzels van de TBM



hebben aangetoond aan dat deze vervuiling een gevaar voor mensen kan betekenen wanneer gasen vrijkomen in besloten ruimten als de TBM (tunnelboormachine) en de scheidingsinstallatie. Om die reden zijn er diverse aanpassingen aan de TBM en de scheidingsinstallatie en de te doorlopen processen doorgevoerd. Om tijdig te kunnen signaleren wanneer de zone met de verontreiniging wordt bereikt, zal een dicht net van peilbuizen worden geïnstalleerd waarin op regelmatige basis grondwatermonsters genomen kunnen worden. Op de TBM zullen ook detectiesystemen worden aangebracht.

Doorsnede boortunnel

De boortunnel bestaat uit twee afzonderlijke buizen met elk een interne diameter van 9710 mm. Hierbinnen past het profiel van vrije ruimte (incl. verkantingen) in combinatie met de maximale dikte van het wegdek en de prefab kabelkoker (fig. 5). Bij het bepalen van de diameter is rekening gehouden met voldoende ruimte voor het plaatsen van aanrijdbeveiligingen, tunneltechnische installaties en de vereiste bouwtoerantie van 100 mm op de straal.

De lining bestaat uit circa 2 m brede uniforme ringen (fig. 6). De breedte van de ringen varieert over de diameter van 1983 tot 2017 mm (fig. 7). Met deze tapse maatvoering kunnen alle bochtstralen (verticale en horizontale) van het alignment worden uitgevoerd. De liningdikte is gelijkgesteld aan 400 mm, zodat de buitendiameter op 10510 mm komt.

Elke ring bestaat uit zeven nagenoeg even grote segmenten van circa 4717 mm lengte (gemeten langs buitenomtrek lining). Door het toepassen van alleen maar grote segmenten, in tegenstelling tot ringen met de traditionele kleine sluitsteen, is er op elk moment van de ringopbouw minimaal één vijzelpaar aanwezig op elk segment. Ontspanning van het afdichtingsprofiel in de ringvoegen (tussen de ringen) treedt op die manier niet op. De afzetkracht van de TBM wordt als het ware ingebouwd als blijvende voorspankracht.

De langsvoeugen van de elementen hebben een tapse hoek van 10°. De segmenten S5 en S6 (de *counterkeys*) hebben eenzijdig een iets grotere hoek van 12° om de plaatsing van het tussenliggende *keysegment* S7, die als laatste wordt geplaatst, nog iets te vergemakkelijken. Daarmee wordt ook het risico op oprollen van het afdichtingsprofiel vermeden dat ontstaat door gebrek aan ruimte.

Om het optreden van *stepping* (een plaatsingsverschil tussen twee opeenvolgende ringen) en *lipping* (een plaatsingsverschil tussen twee naburige elementen in eenzelfde ring) te vermijden, worden kunststofgeleidestaven in de langsvoeugen en zelfgeleidende kunststofdeuvels in de ringvoegen toegepast (fig. 8).

De betonsterkte van de lining is C40/50. Deze keuze is gebaseerd op een optimale combinatie van duurzaamheid, snelle ontkistingstijd, sterkte en gereduceerd risico op afsputten bij brand.

Splijtwapening

Een van de EMVI-criteria in de aanbestedingsfase was het zo goed mogelijk garanderen van een schadevrije lining. Naast diverse operationele maatregelen is 10% extra splijtwapening toegepast ten opzichte van wat rekentechnisch benodigd is. Daarbovenop wordt op kritieke locaties, in de hoeken van de segmenten, de wapening versterkt met fijnmazige glasvezelwapeningskorven, die in de dekking rondom de stalen korf kunnen worden aangebracht (fig. 9). Door deze maatregel wordt voorkomen dat hoge betoncontactspanningen tijdens het bouwen van de tunnel zouden leiden tot het afsputten van grote betonschollen waardoor de stalen wapening vrij komt te liggen.

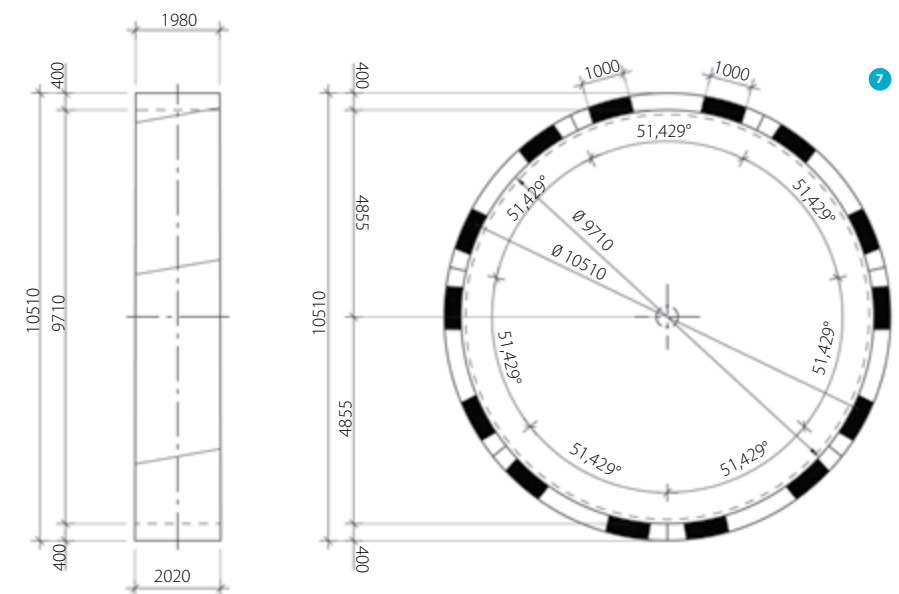
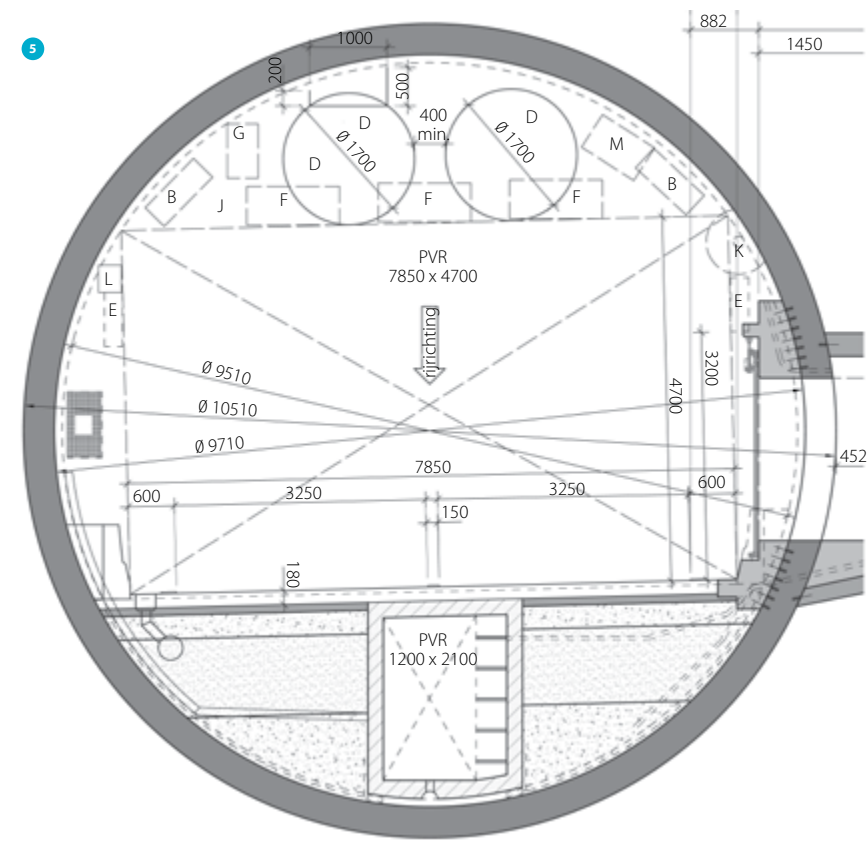
Dwarsverbindingen

In de tunnel is een horizontaal vluchtconcept voorzien. Dat houdt in dat er acht dwarsverbindingen tussen de beide boortunnels worden aangebracht, die vluchten mogelijk maken van de buis waar een calamiteit heeft plaatsgevonden naar de veilige buis.

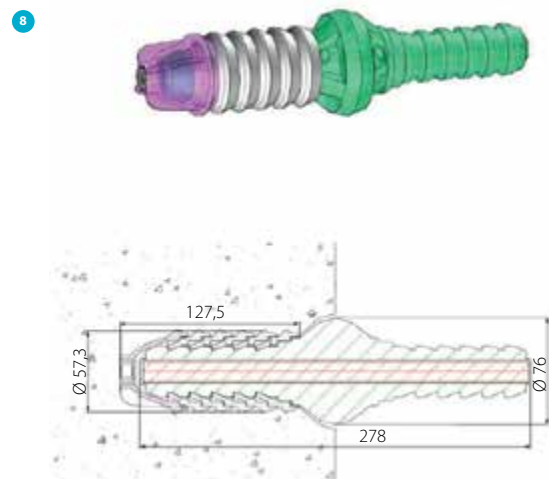
Het gevraagde oppervlak van de dwarsverbindingen is relatief groot: circa 26 m² per dwarsverbinding. Dit zorgt ervoor dat, in geval van een calamiteit, er voldoende capaciteit is om een volle bus met mensen op te vangen totdat het verkeer in de veilige buis is stilgelegd.

Realisatie dwarsverbindingen

De dwarsverbindingen worden gerealiseerd met behulp van een vrieslichaam. Bij deze methode worden vanuit een tunnelbuis vrieslansen in de richting van de naastgelegen tunnelbuis geboord in een patroon rondom de te realiseren dwarsverbinding. Door deze vrieslansen laat men vervolgens in een gesloten circuit een koelvloeistof (vloeibaar stikstof of pekelwater)



- 8 Zelfgeleidende kunststofdeuvels, toegepast in de ringvoegen voorkomen stepping en lipping
- 9 Glasvezelwapeningskorven in de hoeken van de segmenten



circuleren. Hierdoor gaat het grondwater in de omringende grond bevrozen. Zodra de bevroren grondmassa's rondom elke vrieslans een gesloten ring vormen, is er een waterdicht en voldoende sterk massief gevormd waar de dwarsverbinding kan worden uitgehakt of uitgegraven.

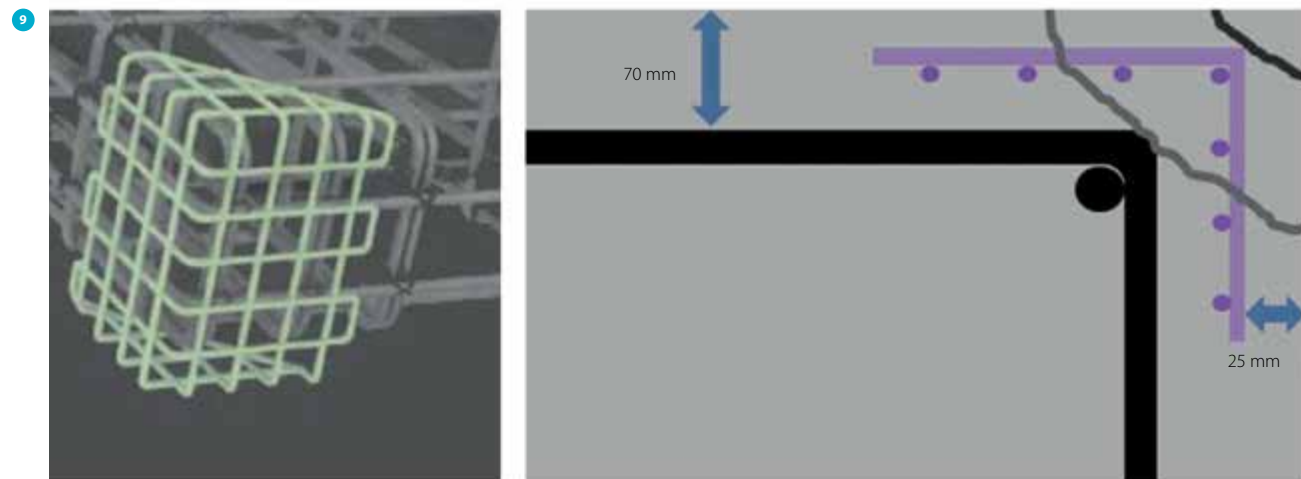
Ten behoeve van de verbindingen worden sparingen in de tunnels aangebracht. Normaal gesproken worden aan de buitenzijde, rondom de doorbraakopeningen, betonnen kraagconstructies aangebracht waarop de dwarsverbindingen aansluiten. Deze aansluitingen brengen doorgaans veel uitvoeringsproblemen met zich mee, met name op het gebied van waterdichtheid. Bovendien kunnen deze constructies pas worden aangebracht nadat de doorbraakopening is gerealiseerd. Dit maakt een tijdelijke stempeling van de lining van de hoofdtunnel noodzakelijk. In plaats daarvan wordt voorafgaand aan de doorbraak een betonvolume rondom de deuropen-

ning aan de binnenzijde van de hoofdtunnels aangebracht (fig. 5). Het aanbrengen van een waterdicht membraan is hierbij eenvoudiger. Op deze volumes kan een beroep worden gedaan in zowel de tijdelijke als de permanente fase.

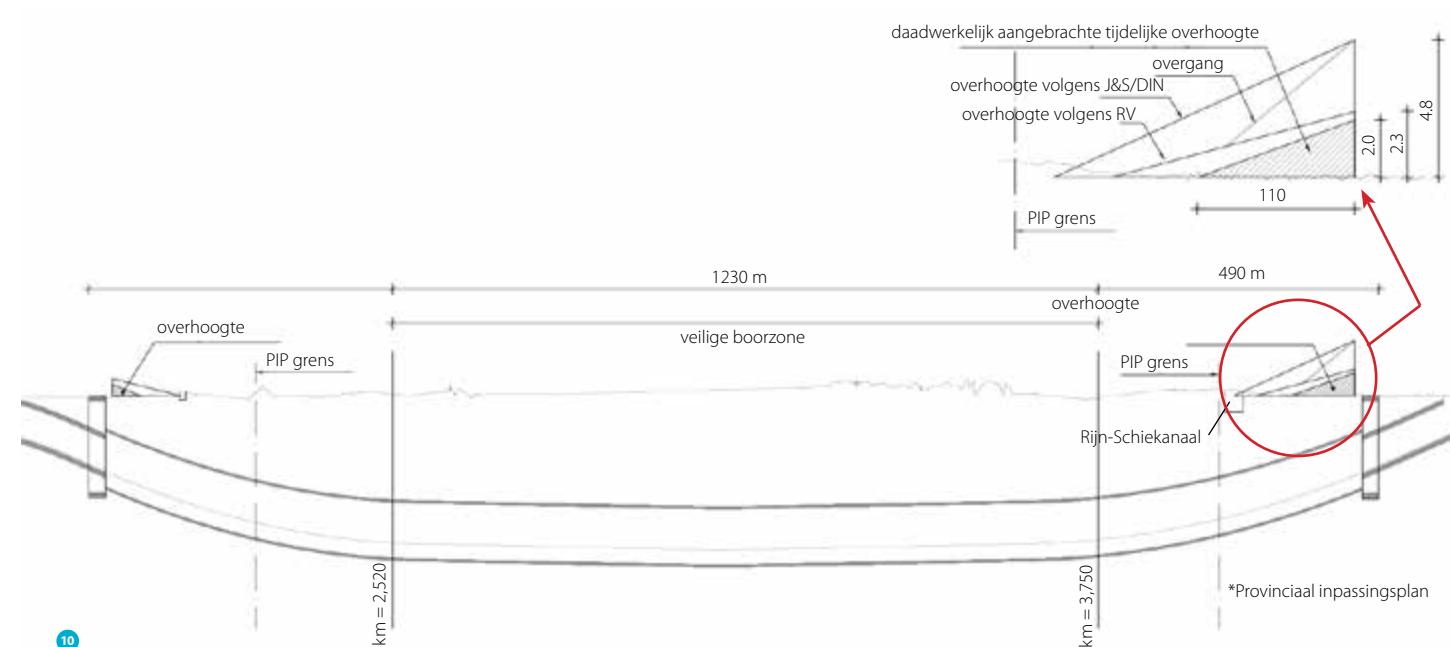
Ervaringen binnen het project Liefkenshoekspoortunnel (B) toonden aan dat bicones in de ringvoegen van de naburige ringen tot 50% van de axiale ringbelasting (hoop force) konden opnemen. Bicones zijn tweezijdig conisch gevormde deuvels in de ringvoegen van de segmenten aangebracht, die dwarskrachten van de ene op de andere ring kunnen overbrengen. Een conservatieve aanname van 70% van deze ringkracht kon door de inwendige betonnen kraag worden opgenomen. Aangezien de plaatsing van de deuren precisie vereist qua maatvoering, wordt een extra betondekking voorzien. Zo blijft achteraf frezen tot de correcte maten mogelijk zonder de duurzaamheid in gevaar te brengen.

Boorfrontstabiliteit

Het alignment van de tunnel verloopt van circa 5 tot 20 m dekking. Voor het verkrijgen van de benodigde boorfrontstabiliteit worden speciale ontvangst- en startconstructies toegepast waarbij de TBM in een gesloten ruimte boort. Tevens zijn tijdens het boorproces tijdelijke boortermen op het maaiveld nodig die ervoor zorgen dat een hoger gewicht boven de tunnel aanwezig is. Zo kan een hogere druk in de graafkamer worden aangebracht zonder het risico dat de bovenliggende grond wordt weggeblazen (blow-out). Met toepassing van conservatieve rekenmethoden van Jancsecz & Steiner of de DIN4126/ DIN4085 (JS/DIN) zouden de benodigde tijdelijke boortermen voorbij het Rijn-Schiekanaal moeten reiken, het kanaal dat zich op circa 250 m van de startschacht bevindt. Tevens zou een grondverbetering van de bodem van het Rijn-Schiekanaal moeten worden uitgevoerd.



- 10 Boorfrontstabiliteit nabij start- en ontvangtschacht



10

Er is een oplossing gevonden door het toepassen van een alternatieve berekeningsmethode volgens Ruse-Vermeer, die wereldwijd ook al succesvol is toegepast. Deze methode resulteerde in minder hoge tijdelijke terpen die niet voorbij het kanaal zouden reiken. Na kalibratie van deze rekenmethode aan het eigen rekenmodel binnen VCGP-DITS (de afdeling ondergronds bouwen binnen VINCI Construction Grands Projets) is voorgesteld deze rekenmethode daadwerkelijk te hanteren. Om deze methode te valideren, wordt de boorterp dusdanig gedimensioneerd dat het boorproces kan starten met de conservatieve/veilige overhoogten op basis van de eerdergenoemde JS/DIN. Onder begeleiding van intensieve monitoring wordt, voorafgaand aan de kruising met het Rijn-Schiekanaal, geleidelijk overgestapt op de methode Ruse-Vermeer (fig. 10). In geval van tegenvallende resultaten zijn tijdig uitvoerbare mitigerende maatregelen reeds uitgewerkt.

Toeritten en schachten

Voor een geluidsarme en trillingsvrije uitvoeringswijze zijn de schachten gerealiseerd met een diepwand in plaats van een in deze situaties gebruikelijke combiwand. Voor het overige deel van de toerit wordt gebruikgemaakt van een tijdelijke damwandkuip.

Om ruimte te bieden aan de TBM is het aanlegniveau in beide schachten lokaal dieper over een lengte van circa 28 m (fig. 3). De bovenkant van de vloeren in de schachten bevindt zich op een diepte van NAP -18 m. De diepwanden aan de kop van de schacht (boorzijde) worden aan de binnenzijde voorzien van

een voorzetwand: de brilwand. Dit is een in situ geplaatste betonwand die de stabiliteit garandeert van de doorboorde diepwandpanelen.

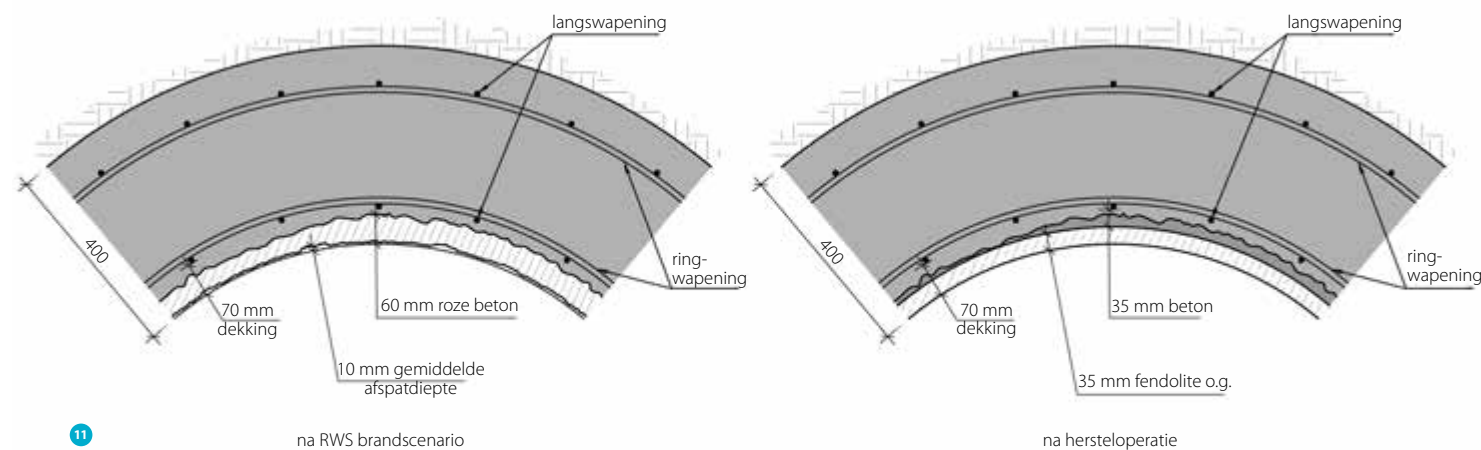
Aan de buitenzijde wordt een ongewapende cement-bentonietwand geplaatst om de waterdichtheid tijdens de doorbraak van de TBM te verhogen. Op deze locatie bevat de diepwand kunststofwapening, het zogeheten soft eye, om de passage van de TBM te faciliteren.

Opstellen TBM

Voor beide buizen start het boorproces vanuit de oostelijke toerit (A4). Om deze reden is de toerit over een lengte van 75 m met een verdiepte constructieve vloer uitgevoerd waarop in de eindfase vulbeton wordt aangebracht. Hierdoor is het mogelijk de TBM met alle volgagens op te stellen en het boorproces vanaf de start continu te laten doorgaan. Ervaring leert dat oponthoud in het boorproces ten gevolge van het aankoppelen van volgagens aanleiding kunnen geven tot grotere maaiveldzettingen en/of schade aan liningsegmenten.

Ontvangtschacht

De westelijke toerit (A44) omvat de ontvangtschacht. In de schacht wordt een zandcementstabilisatie aangebracht, iets hoger dan de onderzijde van de tunnelboormachine. Deze zorgt voor een ondersteuning van de TBM. Daarna wordt de schacht geheel (eerste tunnelboring) of gedeeltelijk (tweede tunnelboring) onder water gezet. De TBM wordt zodoende 'in den natte' ontvangen waarbij de machine haar eigen weg graaft in het zandcementmassief. Bij de tweede aankomst van de



11

na RWS brandscenario

na hersteloperatie

TBM zijn er al zoveel afbouwwerkzaamheden in de eerste tunnelbuis gaande dat niet de volledige ontvangtschacht onder water kan worden gezet.

Techniekgebouwen

De schachten worden in de eindfase gebruikt als techniekgebouw. In de kelder is ruimte voor de waterberging, een blusreservoir en de toegangsruimten tot de kabelkokers van de boortunnel. Om een snelle afbouw te garanderen, worden alle tunneltechnische installaties op een andere locatie in vooraf geproduceerde E-modulen gerealiseerd en getest. Na het succesvol doorlopen van alle testprocedures worden deze E-modulen in het dienstgebouw geplaatst in de ruimten boven de verkeertunnels. Vervolgens wordt het dak gerealiseerd met behulp van volstortliggers. Een 3D-model van de schacht is zichtbaar in figuur 3.

Brandbestandheid

De gesloten tunnel dient twee uur bescherming te bieden tegen een brand volgens de RWS-brandkromme. Voor de diepwallen zorgt de minimale dekking van 100 mm voor voldoende veiligheid. De lining van de boortunnel moet niet alleen bestand zijn tegen de twee uur durende RWS-brand, maar ook moet worden gegarandeerd dat de tunnel na de brand relatief eenvoudig is te herstellen tot zijn oorspronkelijke sterkte. De combinatie van polypropyleenvezels en een voldoende grote betondekking op de hoofdwapening zorgen ervoor dat er enerzijds geen excessief spatgedrag tijdens de brand optreedt, en anderzijds dat de temperatuur in de wapening niet dusdanig hoog oploopt dat de staalsterkte zou gaan afnemen. Deze aanpak maakt het mogelijk na de brand het 'roze' beton (beton dat een te hoge temperatuur tijdens de brand heeft opgelopen en dus niet meer bijdraagt aan de sterkte van de doorsnede) te

verwijderen, nieuw (spuit)beton aan te brengen en de oppervlakte af te werken met brandwerende bespuiting type Fendolite of gelijkwaardig, zodat de constructie een nieuw brandscenario succesvol kan doorstaan (fig. 11).

2022 gereed

COMOL5 is begin 2017 gestart met het ontwerpproces. Vanaf maart 2018 wordt begonnen met de bouw van de startschacht van de TBM. De aanvang van het boorproces wordt in de zomer van 2019 verwacht en zal circa twee jaar in beslag nemen. De laatste twee jaar wordt gebruikt voor de afbouw van de tunnel en het testen van de tunneltechnische installaties. Eind 2022 zal het project gereed zijn. ☒

PROJECTGEGEVENS

project Boortunnel RijnlandRoute

opdrachtgever Provincie Zuid-Holland

opdrachtnemer COMOL5, bestaande uit TBI-ondernemingen Mobilis B.V. en Croonwolter&dos B.V., VINCI Construction Grands Projets SAS en DEME Infra Marine Contractors B.V.

vaste partners Royal HaskoningDHV, wUrck Architecten, Van Gelder, Arthe

contract DBM-contract met een waarde van circa 500 miljoen en een onderhoudstermijn van vijftien jaar