



# Beperking hinder bepaalt ontwerp Maasdeltatunnel

Maasdeltatunnel uitdagend onderdeel Blankenburgverbinding



## PROJECTGEGEVENS

### project

Blankenburgverbinding

### opdrachtgever

Rijkswaterstaat

### opdrachtnemer

BAAK, consortium van

Ballast Nedam, DEME

Group en Macquarie

### contractvorm

Design, Build, Finance

and Maintain (DBFM)

### geplande opening

2024

*Onderdeel van de Blankenburgverbinding is de Maasdeltatunnel, een 900 m lange zinktunnel onder het Scheur. Belangrijk doel in het ontwerp was het verminderen van bouwhinder. Dit werd onder meer bereikt door het aantal zinktunnelementen terug te brengen van zes naar twee.*

*Hoewel het oorspronkelijk de bedoeling was om deze elementen bovenop de toeritten te bouwen, is, om vertraging door COVID te beperken, uiteindelijk gekozen voor een andere locatie voor de bouw.*

## **De Blankenburgverbinding is een nieuwe, circa 4 km lange snelweg (A24) met 2x3 rijstroken tussen de A20 bij Vlaardingen en de A15 bij Rozenburg (fig. 2).**

De snelweg loopt deels onder het Scheur, een tak van de delta van de Rijn en de Maas. De nieuwe snelweg is bedoeld om het steeds meer dichtslibbende wegennet in de regio Rijnmond te ontlasten. Er worden zo'n 95.000 motorvoertuigen/vrachtauto's per etmaal verwacht in 2030. Het werk is in veel opzichten een uitdaging, onder meer vanwege de locatie: midden in één van de drukste delen van het Rotterdamse havengebied.

Het project bestaat uit verschillende onderdelen. Allereerst twee tunnels: de Hollandtunnel, een landtunnel van 510 m, en de Maasdeltatunnel, een zinktunnel onder het Scheur van bijna 900 m. Verder kent het project twee grote knooppunten als verbinding met de bestaande snelwegen. Om dit alles te realiseren is ook een aanpassing van de A20 tussen het Kethelplein en Maassluis noodzakelijk: verbreding van de weg en viaducten, vernieuwing van het wegdek en het aanbrengen van geluidschermen.

Dit artikel gaat in op de details van het ontwerp en de bouw van de Maasdeltatunnel.

## **Concept Maasdeltatunnel**

Oorspronkelijk bestond het referentieontwerp van Rijkswaterstaat voor de tunnel uit zes tunnelementen, die in een uitgebaggerde sleuf tussen de noord- en zuidoever zouden worden afgezonken. Idee hierbij was de elementen te bouwen in een droogdok in Barendrecht en deze vervolgens te transporteren naar de plaats van bestemming.

De aanbesteding werd uitgeschreven volgens de EMVI-richtlijnen (Economisch Meest Voordelige Inschrijving), met als incentive de hinder voor de omgeving en scheepvaart tijdens de bouw te minimaliseren. Dit was voor het consortium een belangrijke stimulans voor een compleet nieuw voorstel. In plaats van zes, worden slechts twee tunneldelen afgezonken. Ook is het gesloten deel van de toeritten aan beide kanten van de Maasdeltatunnel verlengd tot in het Scheur (fig. 3, foto 4).

De tunneldelen zouden in dit ontwerp aan weerszijden van het Scheur gebouwd worden in de bouwkup van de toeritten. →



Voor de bouw van toeritten zijn kistdammen geplaatst, grotendeels gerealiseerd met combiwallen. Deze kistdam dient ter bescherming tegen de impact van het scheepvaartverkeer en als kademuur, zodat materiaal over water in plaats van over de weg kan worden aangevoerd. Hiermee wordt hinder op het land verder beperkt.

Figuur 3 geeft een schematisch overzicht van zowel het referentieontwerp als het nieuwe concept. De wijzigingen hebben niet alleen tot minder bouwimpact geleid, maar ook tot een aanzienlijke vermindering van de CO<sub>2</sub>-voetafdruk.

### Positionering van de zinktunnel

De Maasdelatunnel is circa 42 m breed en kent een maximale diepte van NAP -28 m. De tunnel is 385 m lang en exact gepositioneerd binnen de marges van de vaarweg in het Scheur (fig. 5). De twee verschillende tunneldelen zijn niet even lang: het zuidelijke tunneldeel is ongeveer 180 m lang en het noordelijke deel 205 m, met daarbij ook nog 5 m ruimte voor de sluitvoeg. De sluitvoeg bevindt zich aan de noordzijde buiten de vaargeul.

### Ontwerp dwarsdoorsnede

De tunnelementen zelf zijn opgebouwd uit verschillende segmenten. Zoals gezegd zou

de productie hiervan oorspronkelijk plaatsvinden op het dak van de tunneltoeritten, vlak naast de vaarweg. Hierbij moest het dak van de tunnel dienen als vloer van het bouwdok. De grote uitdaging hierbij was om de juiste balans te vinden tussen voldoende hoogte voor het profiel van vrije ruimte voor het verkeer in de tunnels van de toeritten en voldoende kielspeling (afstand tussen onderkant element en bovenkant water) om de zinktunnelementen uit te laten varen (rekening houdend met een getijdeneffect van ongeveer 1,5 m).

Aangezien het profiel van vrije ruimte ongewijzigd moest blijven, werd de oplossing gevonden in het minimaliseren van de hoogte van de zinktunnels. Om dit te bewerkstelligen is een dwarsdoorsnede ontworpen, waarbij het ballastbeton niet onder de weg is gepositioneerd, maar aan beide kanten van het element in ballastkokers (fig. 6).

Om de hoogte van het element verder te beperken, is de dikte van het dak en de vloer geoptimaliseerd voor een zo 'slank' mogelijk ontwerp. Figuur 7 geeft de relatie tussen de slankheid en de belasting op het dak van verschillende tunnels. In de figuur is duidelijk te zien dat het dak van de Maasdelatunnel bijzonder slank is. Om deze slankheid mogelijk te maken, is dwarsvoor-

auteurs



**IR. EELCO VAN PUTTEN**

Ontwerpleider  
DEME Infra / BAAK

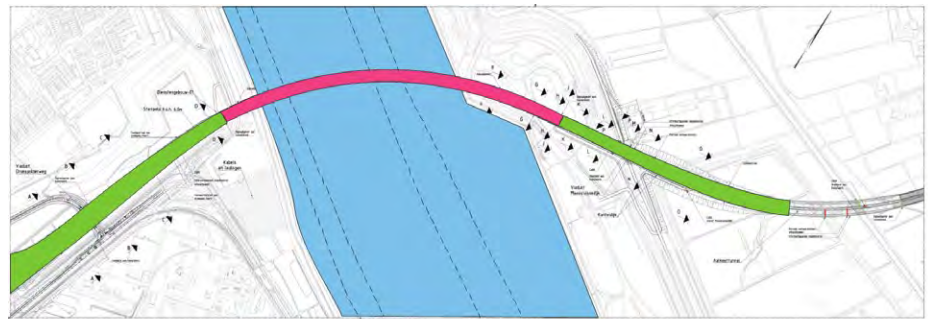


**PATRICK VAN OS**

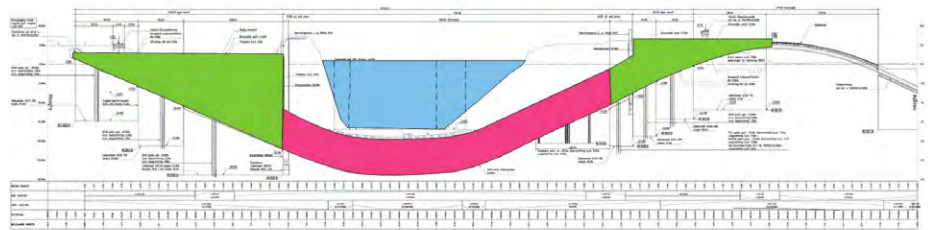
Adjunct directeur BAAK  
Ballast Nedam / BAAK

*Een tijdelijke ballastlaag op het onderwaterbeton was nodig om opbarsten van de bodem te voorkomen*

### Referentieontwerp

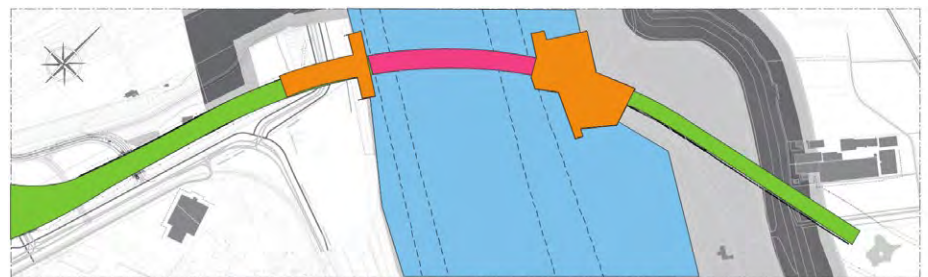


Rivier 't Scheur Toeritten Zinktunnel Bouwdokken in toeritten

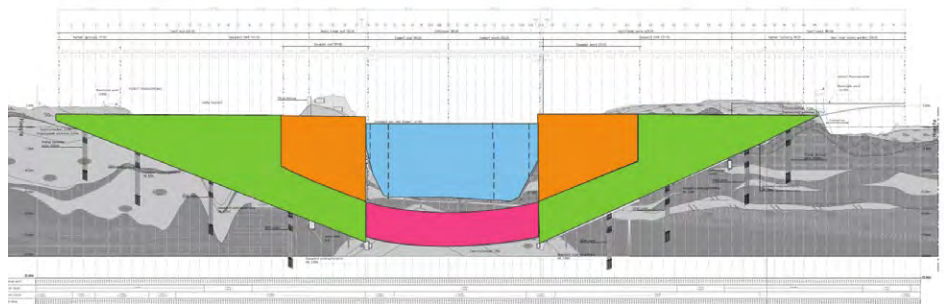


3a

### Tenderontwerp



Rivier 't Scheur Toeritten Zinktunnel Bouwdokken in toeritten



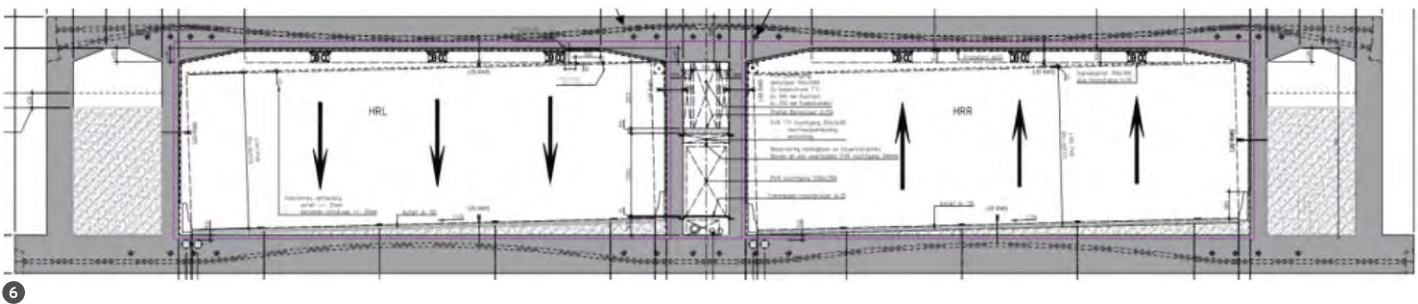
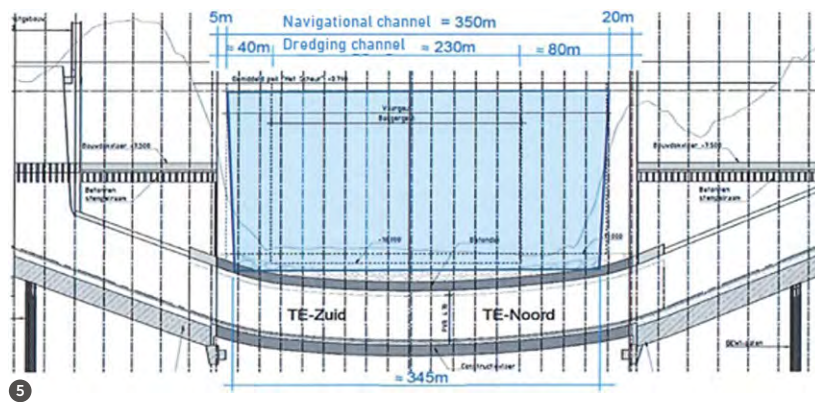
3b

spanning in dak en vloer noodzakelijk. Ook is langvoorspanning voorzien. Deze loopt tijdens het transport door over alle segmenten, om te voorkomen dat deze uit elkaar drijven. Als de tunnel op zijn definitieve plek ligt, wordt deze langvoorspanning tussen de segmenten doorsneden, zodat de tunnel zich kan zetten op de bodem.

### Verbinding afzinktunnel met toeritten

Aan de kopse kant van de tunnel, aan zowel de noord- als de zuidkant, is een dubbele combiwand gemaakt om een dubbele afscheiding tussen de bouwput van de toeritten en de tunnel te realiseren. Dit is een veiligheidsmaatregel, aangezien de bouwers →

*De leka-palen onder de stempels zorgen voor een steunpuntmoment in de onderwaterbetonvloer*



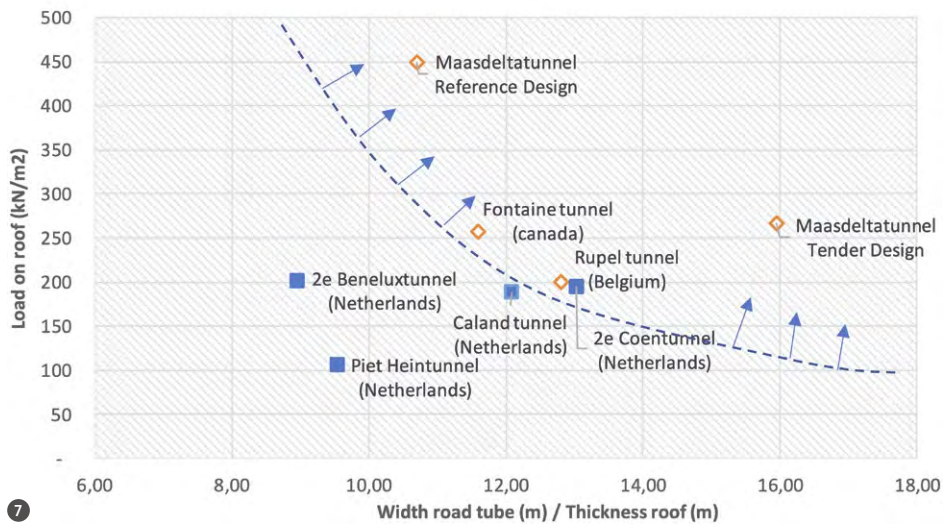
aan het werk zijn onder de waterspiegel vlak naast de vaarweg. In een later stadium worden deze combiwanden deels verwijderd en zal de zinktunnel worden aangesloten.

Het zuidelijk element wordt verbonden met de toerit via een zinkvoeg (Gina-profiel). Vervolgens wordt het noordelijk zinkdeel afgezonken en verbonden met het

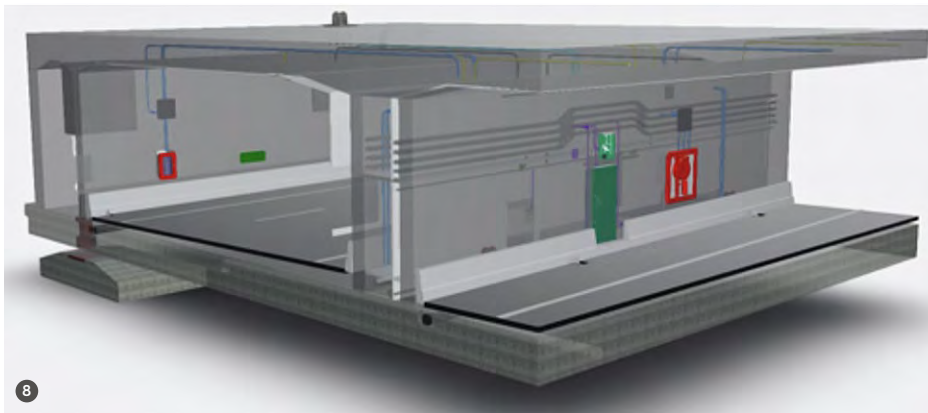
zuidelijke deel, ook weer via een zinkvoeg. De laatste meters naar de noordelijke toerit worden overbrugd met een gebruikelijke sluitvoeg.

Er zijn gedetailleerde analyses gemaakt van de verbinding tussen de zinktunnelementen en de toeritten. Hierbij is gebruikgemaakt van een 3D-plaxismodel (fig. 10). Dit →

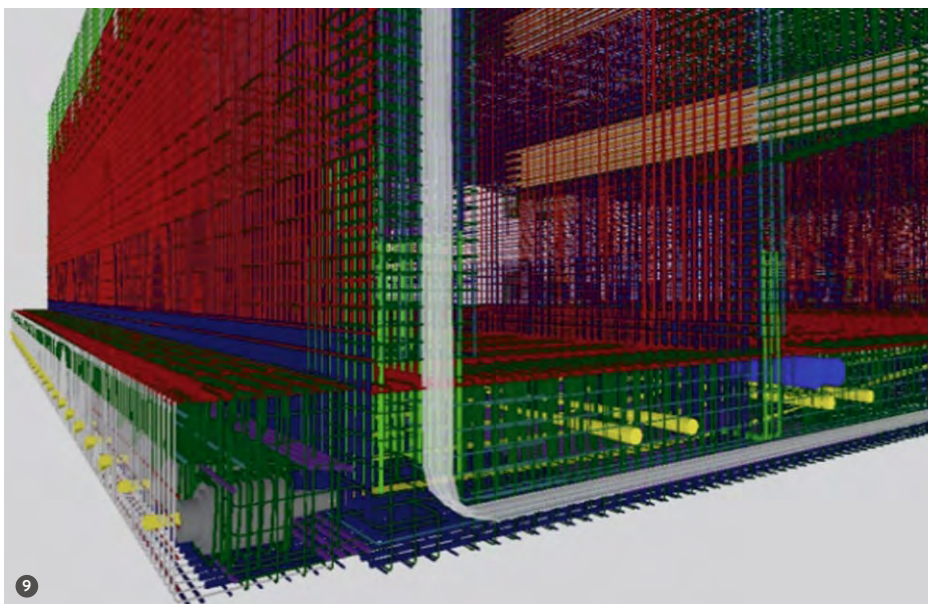
## SLENDERNESS



7



8



9

## BIM

Het ontwerp van de zinktunnel maakt gebruik van gedetailleerde 3D-BIM-modellen. Dit is noodzakelijk omdat de dwarsvoorspanning moet worden geïntegreerd met de langsvoorspanning (in de lengte van het element) en tegelijk met veel in te storten onderdelen, zoals de mechanische en elektrische installaties en drainage. Figuur 8 laat de ingestorte mantelbuizen rond de deur van de nooduitgang zien.

De tijdelijke voorzieningen die nodig zijn voor het afzinken, zijn eveneens geïntegreerd in het 3D-model om conflicten met andere reeds gemaakte in te storten onderdelen te voorkomen. Bovendien is de wapening geïntegreerd in het 3D-model, gebaseerd op de locaties van de dwars- en langsvoorspanning en van de voorzieningen voor de drainagebuizen, voor het onderspoelen en de afzinkvoorzieningen (fig. 9).

*Door de COVID-pandemie zijn de zinkelementen in plaats van op het dak van de toeritten gebouwd in een droogdok*

om een realistisch beeld te krijgen van het deformatiegedrag op lange termijn en in de bouwfasering.

Uit deze modellen werd duidelijk dat met name de grondbelasting op het laatste segment relatief hoog is. Dit zal in combinatie met een diepe kleilaag resulteren in grote zettingen, voortschrijdend in de tijd. In samenhang met de starre toerit, die niet zakt, zouden er te grote verschilzettingen ontstaan.

De verschilzettingen worden in dit ontwerp begrensd door de tunnelementen gedeeltelijk op de buitenste combiwand (gezien vanaf het land) te funderen. Deze worden afgebrand tot het niveau van de tunnelbodem.

### Ontwerp toeritten

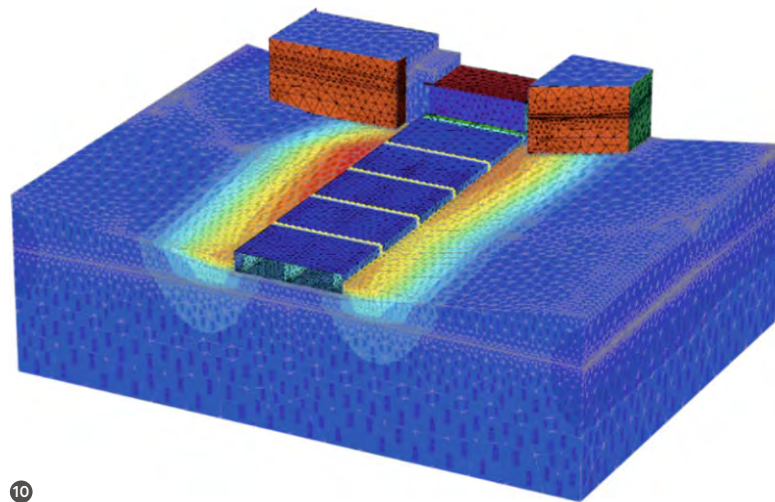
De diepste bouwkuip van de toerit moest tot NAP -27 m worden uitgegraven om de aansluiting met de zinktunnel te kunnen realiseren. De vloer is uitgevoerd als een 2 m dikke gewapende onderwaterbetonvloer, verankerd

met groutankerpalen tot NAP -57 m in een dicht raster van  $2,1 \times 1,9 \text{ m}^2$ . Deze palen bestaan uit een GEWI-stalen kern met een diameter van 63 mm in een groutplug met een diameter van 250 mm.

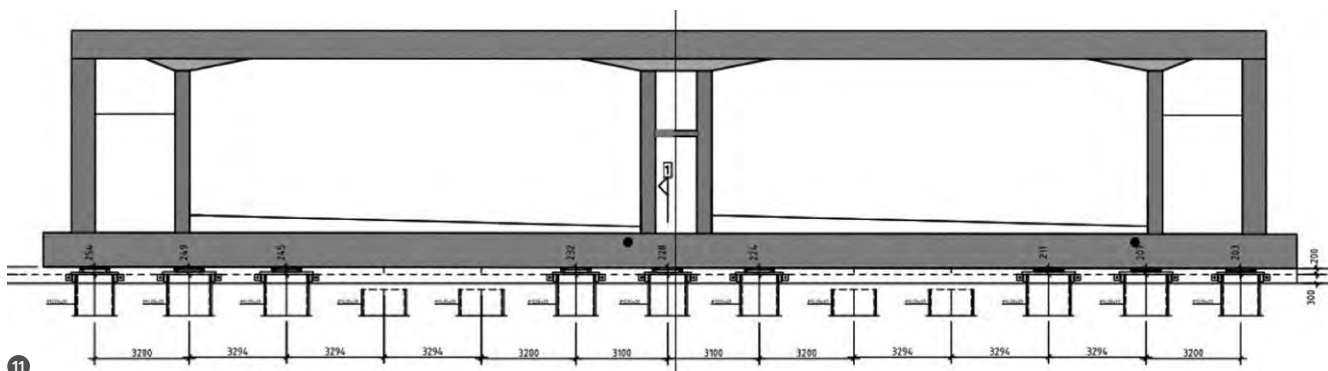
Dit was echter onvoldoende om de bouwkuip volledig te kunnen beschermen tegen opbarsten van de vloer. Het verder reduceren van de afstand tussen de palen, het dikker maken van de vloer of het verlengen van de trekpalen was niet voldoende. Een tijdelijke ballastlaag bood uitkomst. Deze ballastlaag op de onderwaterbetonvloer kon worden verwijderd nadat er met de voortgang van het betonwerk voldoende tegen-druk was gerealiseerd.

### Uitvoering toeritten

Een ondoordringbare laag op een diepte van NAP -20 m – dus hoger dan de onderkant van de bouwput – maakte het mogelijk om tot een niveau van NAP -10,5 m droog uit te graven binnen de kistdammen. Op dit



10



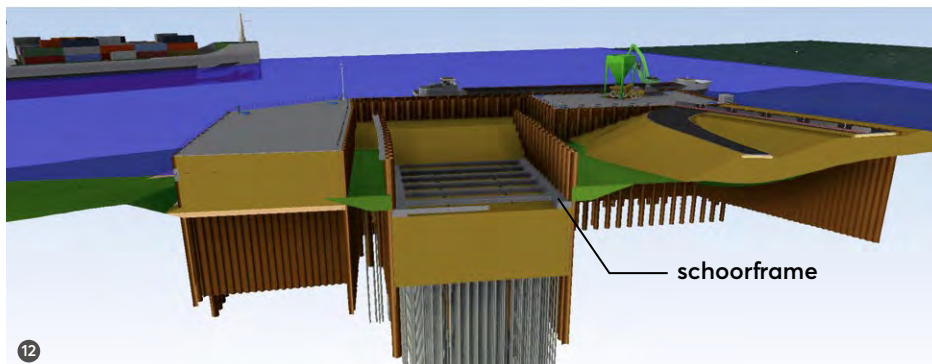
11

niveau is een betonnen stempelframe aangebracht, bestaande uit betonnen balken en stempels op een afstand van 6,30 m (fig. 12). Aangezien de afstand tussen de kistdammen ongeveer tussen 36 en 40 m breed was, was het nodig om de stempels te ondersteunen door twee vooraf geïnstalleerde Leka-palen ( $\text{\O}559$  mm). Een Leka-paal is een stalen buis, die met grout wordt gevuld nadat hij is geboord tot de geplande diepte.

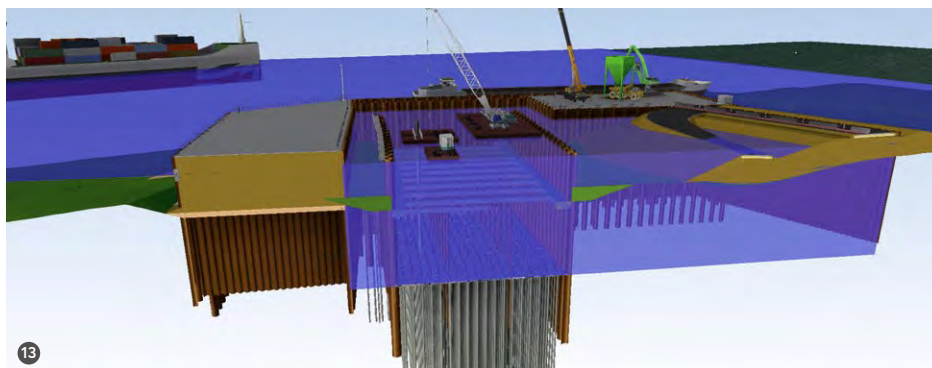
Nadat het stempelframe voldoende was uitgehard, is de bouwput opnieuw gevuld met water, om te voorkomen dat de bodem zou opbarsten zodra verder werd ontgraven en de waterdichte laag werd verwijderd. De

natte ontgraving is voortgezet tot de uiteindelijke gewenste diepte, waarna gewapend onderwaterbeton is gestort (fig. 13). Eenmaal uitgehard werd hierop een hoeveelheid magnadense, een zwaar mineraal, gestort, voordat de bouwkuip kon worden drooggepompt.

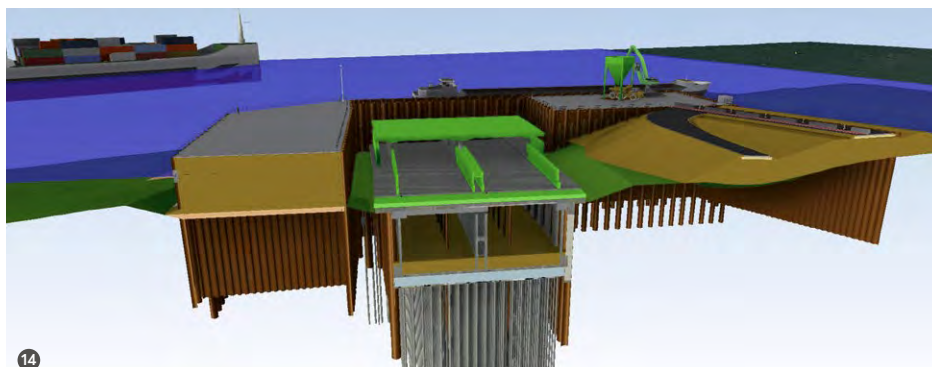
**Dakplaat** De openingen tussen de betonnen stempels zijn afgesloten door prefab-betonplaten en vervolgens is hier een in-situ top-laag op gestort. Deze dakplaat was tevens bedoeld als vloer voor het bouwdok van het daar te bouwen zinktunnelelement (fig. 14). Zodra de vloerplaten voor alle segmenten →



12



13



14

12 Constructie van schoorframe op NAP -10,5 m (na droge ontgraving)

13 Storten van onderwaterbetonvloer (na natte uitgraving)

14 Maasdeltaatunnel gebruikt als dokvloer voor het zinktunnelelement

## WERKEN OP DIEPTE

Alle werkzaamheden voor de gewapende onderwaterbetonvloer moesten door duikers op extreme diepte worden uitgevoerd. Het werken op deze diepte zorgde voor een beperking van de effectieve werktijd van één duik, met het oog op veiligheid van de duikers. Daarom moest het werk waar mogelijk vanaf de oppervlakte worden uitgevoerd. Om de nauwkeurigheid en efficiëntie van alle stappen van de uitvoering te onderzoeken, werd een uitgebreide reeks tests uitgevoerd.



van de zinktunnel zouden zijn gestort, zou er voldoende neerwaarts gewicht aanwezig zijn in de onderwaterbetonvloer, door middel van de verbinding via de Leka-palen, om het ballastzand te kunnen verwijderen.

Na het afzinken wordt de dokvloer opgevuld om het oorspronkelijke maaiveld te herstellen.

### Ontwerp permanent gewapende betonvloer

Gezien de noodzaak een 2 m dikke onderwaterbetonvloer te gebruiken voor de tijdelijke fase, is deze ook gebruikt als onderdeel van de uiteindelijke tunnelconstructie. Hiermee kon de totale constructiedikte en dus ook de ontgravingsdiepte worden beperkt. Een onderwaterbetonvloer met alleen staalvezelwapening was niet voldoende om alle belastingen op te kunnen nemen, zeker niet in het eindstadium. Daarom moest het onderwaterbeton gewapend worden uitgevoerd.

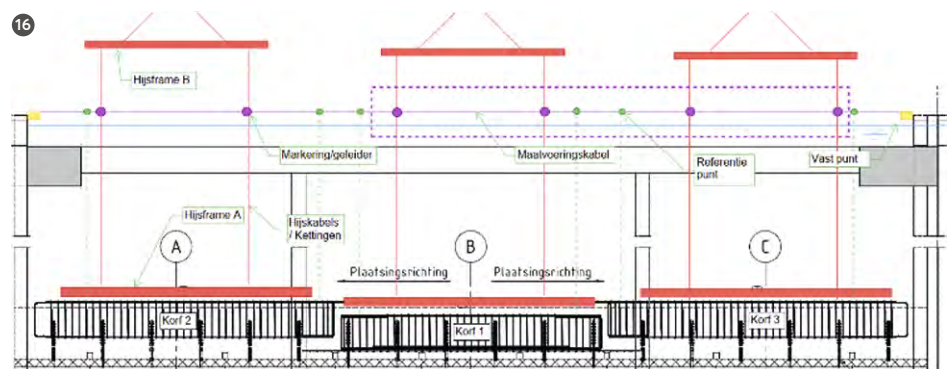
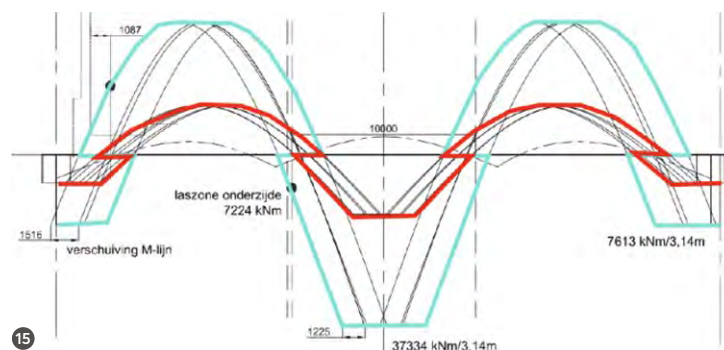
**Momentennulpunten** De Leka-palen, en in een later stadium de wanden van het mid-dentunnelkanaal, fungeren als tussensteun-

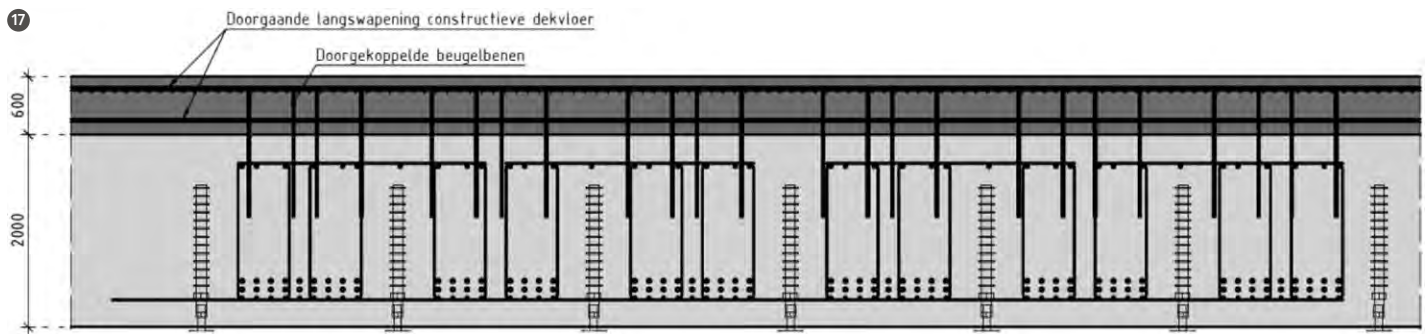
punt voor de onderwaterbetonvloer. Hierdoor ontstaat naast een veldmoment ook een steunpuntmoment. In dwarsrichting zijn er daardoor twee locaties met een buigend moment dichtbij 0, waardoor een beperkte hoeveelheid wapening nodig is (fig. 15).

Deze locaties zijn gebruikt voor de grens tussen de geprefabriceerde wapeningskorven. Eerst werd de centrale wapeningskorf neergelaten, met uitstekende staven aan de onderkant van de plaat. Daarna zijn de twee korven aan de zijkanten geïnstalleerd, beiden met uitstekende staven in het bovennet (fig. 17). Deze wapeningskorven zijn geïnstalleerd over de ankerpaalkoppen. Bij het op maat maken van deze wapeningskorven is rekening gehouden met de tolerantie van de GEWI-ankerpalen.

Vanwege dezelfde tolerantie bleek het niet mogelijk om de wapeningskorven in langsrichting te laten overlappen.

**Constructievloer** De waterdichtheid van de onderwaterbetonvloer in dwarsrichting wordt geborgd door voldoende normaal-





kracht. In langsricting gaat het ontwerp uit van gecontroleerde scheurvorming gecombineerd met injectievoorzieningen. Dit laatste was echter geen oplossing voor de eindsituatie. Daarom werd er een extra betonconstructievloer met een dikte van 600 mm gestort op de onderwaterbetonvloer nadat de bouwput was drooggepompt (foto 18). Deze vloer is in lengtericting gewapend waarmee de scheurwijdte binnen de toegestane maat voor zelfherstel blijft (volgens de methode Lohmeyer). De constructievloer werd verankerd met deuveldie in de onderwaterbetonvloer zijn geboord. Het aantal ankers is gebaseerd op het scenario dat de volledige waterdruk tussen beide vloeren zou kunnen optreden.

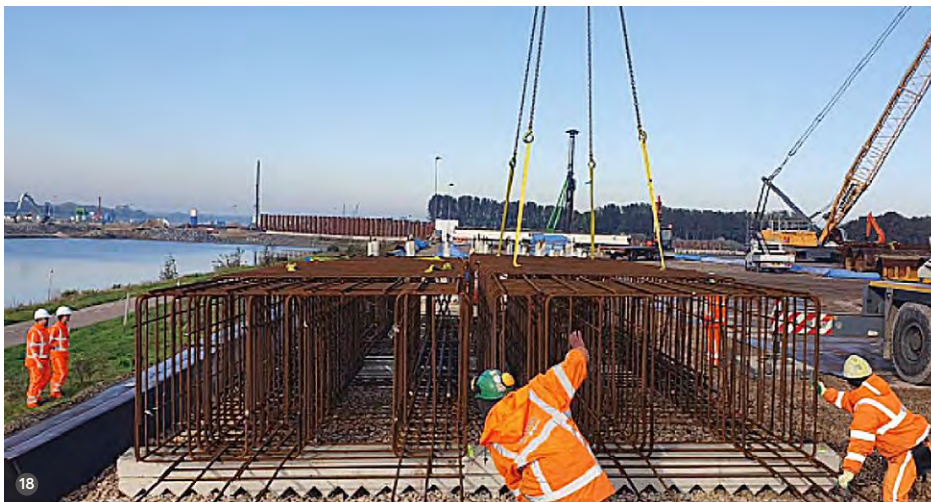
Ten slotte was het noodzakelijk, aangezien de dwarskrachten in de dwarsrichting in de eindsituatie veel hoger waren dan die in tijdelijke situatie, om sommige ankers te laten overlappen met de beugels van de wapeningskorven van het onderwaterbeton.

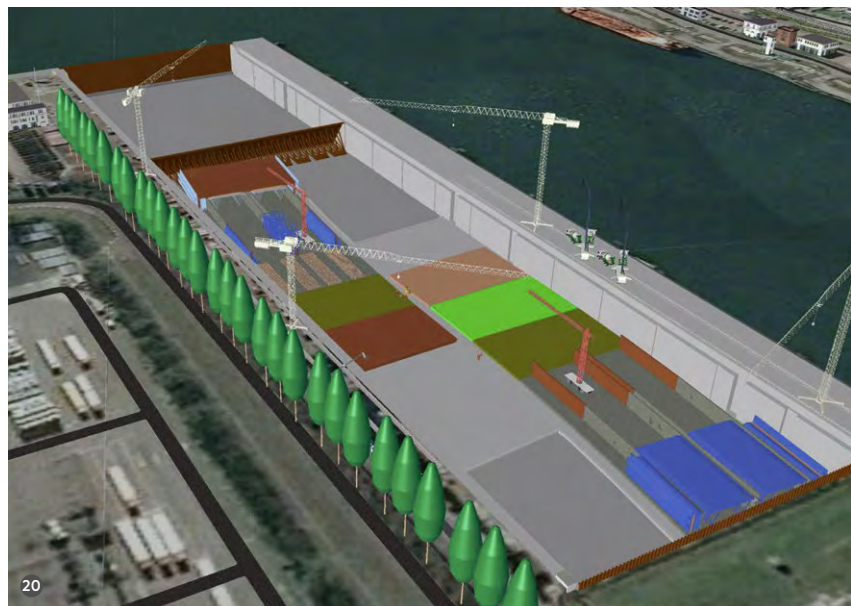
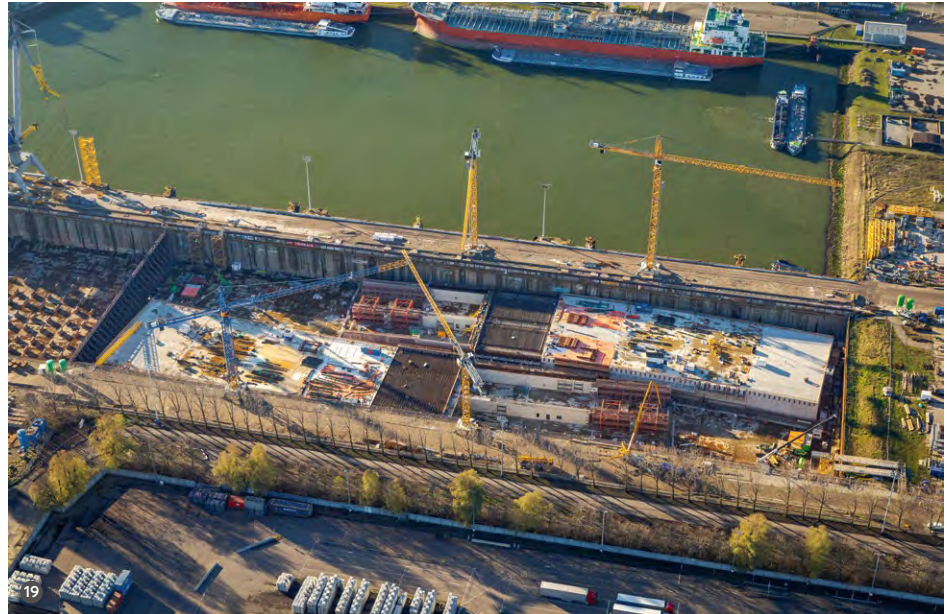
### Alternatief plan voor de bouw van de zinktunnel

Begin 2020 waren alle funderingselementen zoals ankers, ankerpalen en combiwanden geplaatst en waren de graafwerkzaamheden net begonnen, toen de COVID-19-pandemie toesloeg. Dit had een enorme impact op de wereldwijde samenleving. Ook de bouwactiviteiten voor de Blankenburgverbinding werden hier door getroffen.

In plaats van het oorspronkelijke plan om de tunnelementen bovenop de toeritten van de Maasdeltatunnel te bouwen, heeft BAAK in overleg met Rijkswaterstaat alternatieve mogelijkheden bekeken. Na contact met Damen Verolme Rotterdam is een alternatief plan opgesteld, waarbij de twee tunnelementen zijn gebouwd in een deel van hun droogdok (foto 19 en fig. 20).

Omdat het ontwerp zelf niet werd herzien, kon de bouw van de tunnelementen eerder beginnen, waardoor het effect van COVID beperkt bleef. →





### Constructie in een droogdok

De grootste uitdaging van de constructie van de twee elementen in het droogdok was het gebrek aan ruimte. De tunnelementen pasten er maar net in (foto 21).

De ruimte naast de elementen werd verkleind van 5 m tot slechts 0,5 m in het droogdok. Op twee plekken waren kleine aanpassingen aan de tunnelvloer nodig om de elementen in te passen. Een ander gevolg van de beperkte ruimte was dat het naspan-

nen niet meer van beide kanten kon worden gedaan. Dit werd herberekend en gecompenseerd met extra wapening.

De elementen werden in segmenten van ongeveer 26 m gebouwd op een horizontale laag grind met daarop multiplex platen.

De bodemplaat, buitenmuren en het dak van de tunnel zijn uitgevoerd in beton met sterkteklasse C45/55 en de vier binnenmuren in C40/50. Om thermische scheurvorming tijdens het uitharden van het beton



te voorkomen, werden de buitenmuren en het dak gekoeld met een waterkoelingsstelsel.

## Afzinken

Nadat alle segmenten waren gestort, werden de tunnelementen voorbereid op het afzinken door alle afzinkapparatuur en de ballasttanks te installeren. Ten slotte werden de elementen afgesloten met kopschotten (fig. 22).

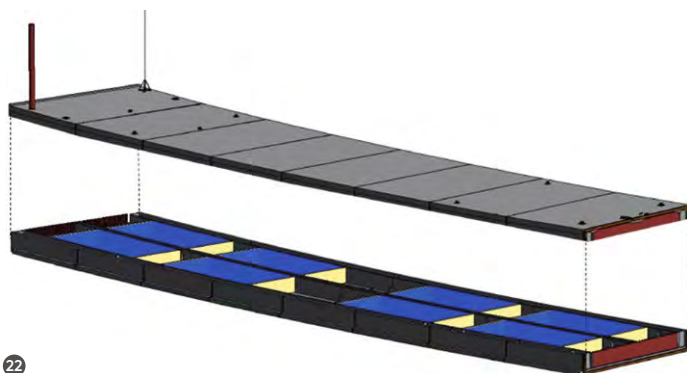
Zodra de ballasttanks in de elementen werden gelegd, dreeven beide elementen omhoog en konden ze worden gesleept naar een tijdelijke parkeerplek in een havenbassin nabij het droogdok (foto 23).

De haven van Rotterdam is de grootste haven van Europa en zal tijdens de afzinkoperatie grotendeels worden geblokkeerd voor het normale scheepvaartverkeer. Met

de havenautoriteiten wordt voor elke afzinkoperatie een 24-uurs scheepsvrije periode afgesproken. Omdat het dok dichtbij is, kan het transport en het afzinken binnen deze 24 uur plaatsvinden.

**Afzinkoperatie** De omgevingsomstandigheden op de afzinklocatie zijn uitdagend. De stromingen worden beïnvloed door het getij en de afvoer van het water, en veranderen ongeveer elke zes uur van richting (eb- en vloedstroom). Het element wordt daarom verbonden met ankerpalen in de vaarweg, om de positie te controleren.

Om te hoge stroomsnelheden en fluctuaties in het zoutgehalte te voorkomen, is het noodzakelijk om gebruik te maken van doortij; daarvoor is een 24-uurs venster beschikbaar. →



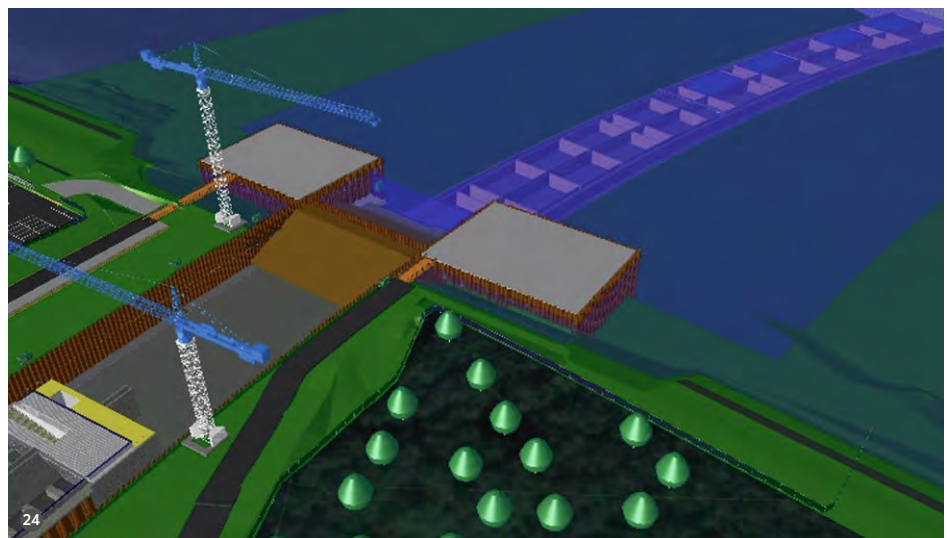


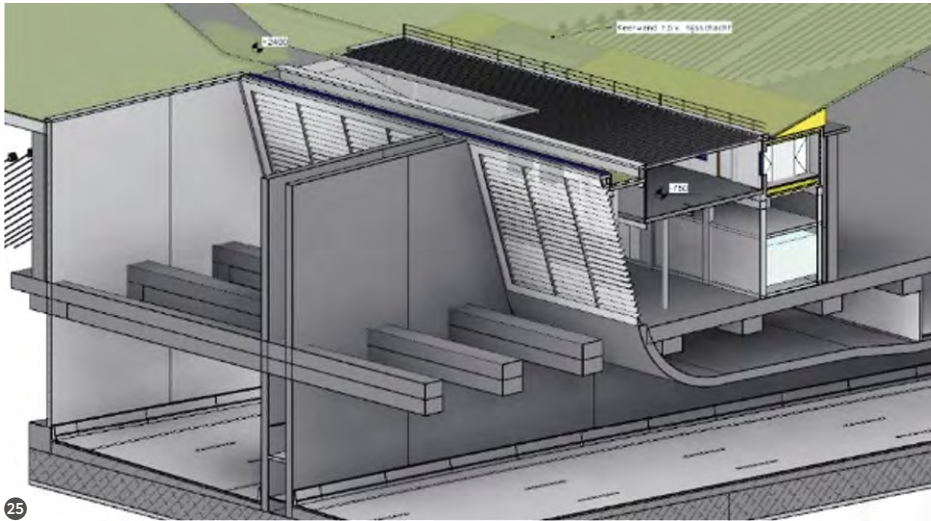
Op het dak van het element worden pontons geplaatst om de elementen tijdens het afzinken gecontroleerd te laten zakken. Tijdens de getijdencyclus hebben het zoute (zee)water en zoete (rivier)water een grote invloed op het drijfvermogen van elementen (zout water is zwaarder). Door te ballasten met behulp van de waterbassins en de elementen te laten zakken, kunnen de belastingen tijdens het afzinken worden gecontroleerd.

Op de afzinklocatie zijn voor elk element, op zes betonnen funderingstegels, tegels in de baggersleuf geplaatst. Na het plaatsen van de elementen op deze tegels en het leegpompen, worden de elementen onderspoeld met zand. Hiervoor wordt een

mengsel van zand en water onder de tunnel gepompt, met behulp van de ingestorte leidingen in de bodemplaat en tijdelijke leidingen in een van de ballastbuizen.

**Afrondende werkzaamheden** Wanneer de elementen zijn geplaatst (april 2023), kan het betonwerk voor de sluitvoegen beginnen en zal het beton in de ballastbuizen worden gestort. Hierna kan de langsvoorspanning worden doorsneden en worden de waterbassins gelegegd. De laatste werkzaamheden in de tunnelsleuf bestaan uit het opvullen van de sleuf en het aanbrengen van de steenbescherming boven op de tunnel.





## Dienstgebouwen en brandwering

De hoogte van de toeritten van de Maasdelta-tunnel is veel groter dan de vereiste hoogte voor de tunnelbuizen, wat interessante voordelen oplevert. Deze ruimte wordt gebruikt door deze zoveel mogelijk te transformeren tot dienstgebouwen en technische ruimten (fig. 25). Er is een extra lichtgewicht plafond ontworpen om als brandwerende laag voor de tunnelbuis te fungeren, waardoor er een ruimte met lucht ontstaat tussen het plafond en het betonnen dak (fig. 26). Dit is een effectieve manier om het betonnen dak te beschermen tegen extreme branden. De extra lucht tussen het plafond en het betonnen dak fungeert bovendien als natuurlijke koeling voor de apparatuur in de service-ruimtes.

Na het installeren van de hittewerende bekleding, dienstgebouwen en alle installaties en na een succesvolle testperiode en inbedrijfstelling kan de tunnel worden geopend voor het verkeer.

## Nieuw concept

Het ontwerp van de Maasdelta-tunnel leidde tot een vermindering van de impact van de bouwactiviteiten en verminderde de CO<sub>2</sub>-voetafdruk in vergelijking met het referentieontwerp aanzienlijk. Het nieuwe ontwerp heeft niet alleen geleid tot het winnende bod, maar ook tot een nieuw concept voor zinktunnels in intensief gebruikte vaarwegen in grote havens. Het project ligt ondanks de tegenslagen van onder meer COVID nog steeds op koers voor opening in 2024. ●

