



MINUTIEUZE MONITORING AANLEG NOORD-ZUIDLIJN ONDER AMSTERDAM CENTRAAL

Check, check, dubbelcheck

AANNEMERSCOMBINATIE STRUKTON/VAN OORD LAAT BIJ DE AANLEG VAN DE METROTUNNEL VOOR DE NOORD-ZUIDLIJN ONDER STATION AMSTERDAM CENTRAAL NIETS AAN HET TOEVAL OVER. SENSOREN, PEILBUIZEN, DEBIETMETERS, ZETTINGSSLANGEN EN HANDMATIGE METINGEN HOUDEN HET BOUWPROCES NAUWLETTEND IN DE GATEN. 'WE WILLEN ER SNEL BIJ ZIJN ALS ER WAT AAN DE HAND IS.'

SLAPELOZE NACHTEN HEBBEN DE heren niet van de aanleg van de metrotunnel voor de Noord-Zuidlijn onder station Amsterdam Centraal. 'Ook al is nooit 100 % uit te sluiten dat er iets misgaat, want het blijft ondergronds bouwen', zegt projectengineer ir. Carlos Bosma. 'Dat is de reden dat we alles goed controleren en metingen doen.' Werkvoorbereider ing. Matthijs Pitlo vult aan: 'Juist bij een complex project als dit is risicobeheersing de sleutel tot succes. We willen er snel bij zijn als er wat aan de hand is.'

Zo ontstond op 21 januari een kleine lekkage in één van de voegen van de diepwanden in de bouwput voor het stationsgebouw. 'Toen de waterspanningsmeters aan de buitenkant een waterhoogte vaststelden die lager was dan in het ontwerp stond, ging bij ons meteen het alarm af', vertelt Bosma. Binnen tien minuten dichte aannemer Combinatie Strukton/Van Oord (CSO) het gat door eerst de al gereedstaande kleizakken en vervolgens grond tegen de voeg te schuiven. Inmiddels is het lek definitief gedicht met een harsvulmiddel.

Boven de grond hebben zich geen verzakkingen voorgedaan.

De aannemerscombinatie, waarvan Strukton de penvoerder is, werkt al sinds 2002 aan de bouw van de tunnel onder Amsterdam Centraal. Inmiddels heeft het monumentale stationsgebouw uit 1889 een nieuwe fundering gekregen, zijn de diepwanden voor het metrostation onder het Stationsplein geplaatst, evenals de wanden onder de perrons en sporen voor de toekomstige tunnel richting het IJ. In deze zinksleuf wordt op dit mo-

ment alle grond afgegraven, zodat eind 2010 de nieuwe metrotunnel (136 m lang, 21 m breed en 8 m hoog) vanaf het IJ kan worden ingevaren en afgezonken.

Bij dit ontgraven van de zinksleuf wordt de waterdichtheid van de bouwkuipwanden op de proef gesteld. In de wand onder de sporen zitten onder meer negentig stalen palen van 30 m lang en 1,80 m in doorsnee. Deze buispalenwand is met een innovatieve microtunnellingstechniek aangelegd, die nog nergens ter wereld was toegepast. Met deze methode worden normaal gesproken buizen horizontaal in de grond geboord. In dit geval kwam CSO op het idee om de boorkop een kwartslag te draaien en deze naar beneden te laten boren, verticaal dus. Door een boorkop in het onderste deel van de buizen te plaatsen konden ze rotatievrij en dichter bij elkaar worden

Ontgraving onder het stationsplein.

gezet dan aanvankelijk in het ontwerp was beschreven. Volgens het oude ontwerp moesten de buizen naar beneden worden gewrikt. In dat geval zouden ze echter niet dicht genoeg op elkaar kunnen worden gezet, waardoor het risico op lekkages groot was. De verticale microtunnellingstechniek heeft dat risico sterk verkleind.

Voor de bouwkuipwand onder het stationsgebouw geldt eigenlijk hetzelfde principe: deze bestaat uit twee rijen van stalen palen. Hier is alleen een ander type wand gemaakt: een sandwichwand. Daarbij zijn groutkolommen in een 3 m brede ruimte 'gesandwich' tussen de stalen palen. 'Er is voor een andere wand gekozen omdat er onder het station een andere fundering zit', verklaart Bosma. 'Daar staan zo veel houten palen dat er eigenlijk geen ruimte was om microtunnelling toe te passen. Bovendien is de buispalenwand niet sterk genoeg om het stationsgebouw te dragen.' De wand moet daarvoor namelijk, naast voldoende horizontale kracht om als bouwkuipwand te fungeren, voldoende verticale kracht hebben. 'Met name deze sandwichwand heeft heel wat hoofdbreken gekost'.

Zo bleek het waterdicht maken van de wand een enorme puzzel. Om te meten of de 30 m diepe palen wel recht stonden is een hellingmeter gebruikt. Daarbij meet een sensor die met geleidewieltjes in de stalen paal afdaalt, elke 0,5 m de hoekverdraaiing. 'Na de meting is niets meer aan de positie te doen, maar is wel precies bekend hoe de paal staat', zegt Bosma. 'Op basis daarvan konden we het ontwerp van de groutkolommen nog aanpassen'. Het maken van die kolommen gebeurde met een jetgrouttechniek. 'Daarbij wordt eerst een injectiestang de grond in geboord. Als die op diepte is, wordt er door die stang onder hoge druk een water-cementmengsel de grond in gespoot. Bij het omhoog draaien van de stang ontstaat een cirkelvormige kolom van water, cement en grond, die door verharding de juiste sterkte krijgt.'

SPINMETING

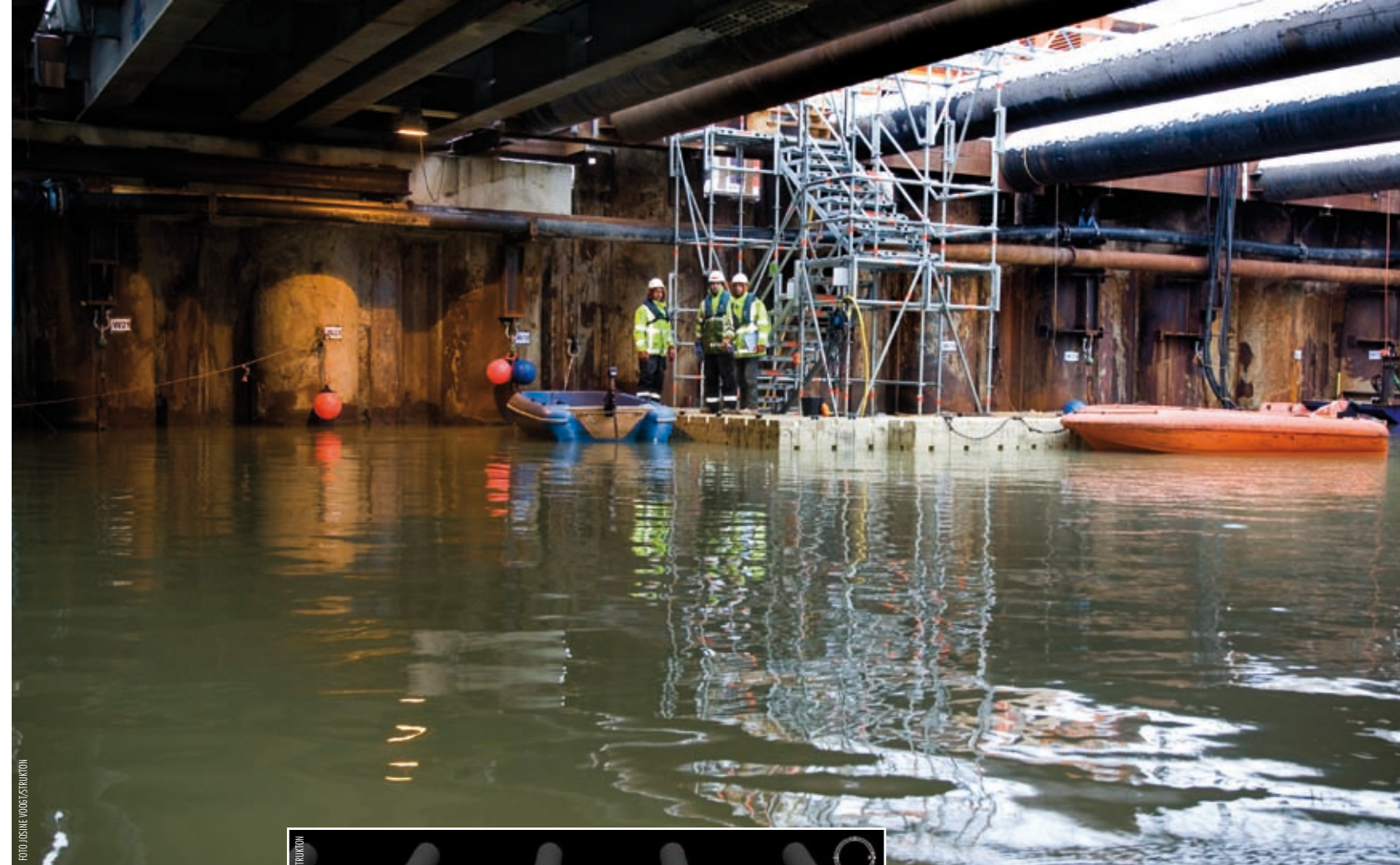
Bij het maken van elke groutkolom is in de nabijgelegen paal een microfoon gehangen om een hydrofoonmeting te doen. 'Als de groutstraal tegen de paal aankomt, is dat te horen', legt Bosma uit. 'Als er geen aansluiting hoorbaar was, moesten we maatregelen nemen, bijvoorbeeld door extra materiaal in te spuiten en de kolom groter te maken.' Om te bepalen hoe groot de groutkolom precies was, heeft CSO onder meer gebruikgemaakt van een spinmeting. Hierbij hangt een mechanische apparaatje in het vloeibare cement van

de kolom, dat werkt als een paraplu die wordt opgevouwen tot de randen van de kolom. Daarnaast zijn nog veel andere metingen uitgevoerd, zoals de controle van de materiaaleigenschappen, het grondwater en zelfs van de boormeesters zelf. Bosma: 'Al met al lijkt de sandwichwand het meest gemonitorde onderdeel tot nu toe, gezien het aantal metingen'.

Desondanks besloot de opdrachtgever, de Dienst Noord-Zuidlijn van de gemeente Amsterdam, om bij het ontgraven van de zinksleuf meer monitoringsinstrumenten in te zetten. Dit alles om het risico verder te beperken. 'Elke koppeling tussen de palen kan in principe een lekweg vormen', legt Pitlo uit. 'Pas bij ontgraven is fysiek controle mogelijk of de verbindingen tussen de palen voldoende waterdicht zijn. Dat moeten we dus goed blijven volgen.' De werkvoorbereider van CSO verzorgt in overleg met de opdrachtgever de uitbreiding en instandhouding van het monitoringsysteem. Achter de funderingswanden van elk 30 m diep zijn bijvoorbeeld meer meetbuizen geplaatst. Daarin zitten honderden sensoren die de waterspanning en de grondformatie meten, alsmede de doorbuiging van de wanden. Dit zijn trouwens dezelfde soort sensoren die ook in de diepwanden voor het station zitten en die in januari het lek constateerden. Inmiddels is de bovenste 6 m onder de sporen en de stationsvloer droog ontgraven. Op die hoogte is een tijdelijk stalen stempelraam aangebracht dat de wanden uit elkaar houdt.

De tweede ontgravingsslag gebeurt onder water. Eind september is er water in de bouwkuip gelaten, waarna de aannemerscombinatie is begonnen om de grond er uit te baggeren. Daarbij is een extra meetsysteem ingezet. 'Als basis hebben we een online meetprogramma dat overal bereikbaar is via internet. Hiermee bewaken we continu of er waterstandveranderingen optreden. Daar hebben we een alarmeringssysteem aan gehangen', legt Pitlo uit. 'Op het moment dat we de waterstand buiten de wand zien dalen, is het mogelijk dat water de kuip binnenloopt en er ergens een lek zit.' Het vaststellen van de exacte locatie van een lek blijkt in de praktijk echter lastig, want een duiker ziet onder water geen hand voor ogen. Hierdoor was het tot op heden alleen mogelijk om grote lekkages op de tast te lokaliseren. Naar aanleiding van de adviezen van de commissie-Veerman heeft de

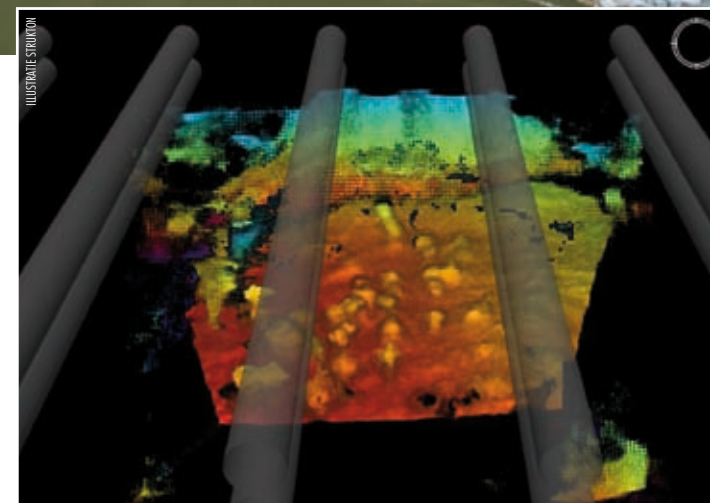
'De sandwichwand is het meest gemonitorde onderdeel tot nu toe'



De onder water gezette zinksleuf achter het station.

VOF Stationseiland, het samenwerkingsverband van Movares en Arcadis dat verantwoordelijk is voor het ontwerp en het bouwtoezicht, een meetmethodiek ontwikkeld om ook kleine lekkages op te kunnen sporen. Het systeem is gebaseerd op een camera die infraroodmetingen onder water kan doen. Omdat het grondwater achter de wand een hogere temperatuur heeft dan het uit het IJ afkomstige water dat in de zinksleuf staat, kan de aannemer hiermee – indien nodig – vaststellen waar er water door de wand heen stroomt en een lek snel dichten.

Op 12 m diepte bevestigen de bouwers straks het tweede tijdelijke stalen stempelraam, waarna de sleuf tot 20 m diepte wordt ontgraven. Op deze diepte stort CSO een onderwaterbetonvloer die de stempelfunctie overneemt. De twee tussenstempels kunnen er dan weer uit – anders past het tunnelelement er straks niet in. Op beide stempels zitten trouwens ook sensoren, die de druk tussen de wanden monitoren. Verder staan op 20 m diepte peilbuizen om te bepalen wat de grondwaterspanning binnen en buiten de bouwkuip is. Debietmeters geven vervolgens



een inschatting van de hoeveelheid kwel- of lekwater. 'Het waterniveau in de kuip bevindt zich op 3 m onder NAP, terwijl het water buiten de wanden op 0,40 m onder NAP staat', geeft Pitlo aan. 'Dit zijn dus communicerende vaten, maar ze worden aan de zijken afgesloten door de bouwkuipwanden en aan de onderkant door de waterafsluitende Eemklei.' De wanden zijn tot ongeveer 2 m in deze kleilaag geplaatst. Ook de nog te realiseren onderwaterbetonvloer zelf zal in de gaten worden gehouden met zettingslangen, horizontaal in de vloer aangebrachte strengten. 'Het weghalen van 20 m grond heeft minder belasting op de bodem eronder tot gevolg, waardoor die gaat uitzetten', verklaart Bosma. De betonvloer kan daardoor gaan opbollen.'

Naast al deze automatische monitoringssystemen wordt er ook nog veel handmatig gemeten, met een traditionele meetploeg.

Met echoscopie gemaakte opname van resten van de houten funderingspalen in de met water gevulde bouwkuip. De palen zijn bij het ontgraven niet uit de grond getrokken om zettingen te voorkomen.

'Met een theodoliet lopen we het terrein af om te zien of bepaalde punten zijn veranderd. We bepalen de hoogte-, breedte- en lengtecoördinaten van verschillende meetpunten', legt Pitlo uit. 'Zo meten we tijdens het ontgraven de nieuwe vloeren waarop het spoordek en het stationsgebouw liggen en die rusten op de bouwkuipwanden. Doordat we aan de binnenkant van de wanden de grond en dus de druk weghalen, treedt vervorming van de constructie op. We moeten zeker zijn dat die binnen de randvoorwaarden van het constructief ontwerp blijft.'

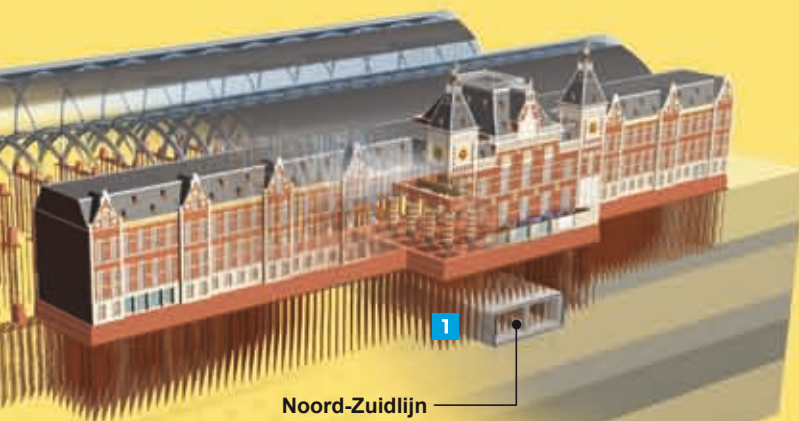
'Voordat de metro in 2017 over de Noord-Zuidlijn rijdt, moeten we nog veel technische hoogstandjes realiseren', zegt Bosma met een glimlach.

'Het nat ontgraven, het onder water aanbrengen van de tijdelijke stem-

pels, het storten van het onderwaterbeton, het afzinken van het tunnelelement, het maken van alle voegen, het aansluiten van de tunnel op de diepwanden; dat zijn nog zeer cruciale momenten.' Het blijft voorlopig spannend onder station Amsterdam Centraal. ●

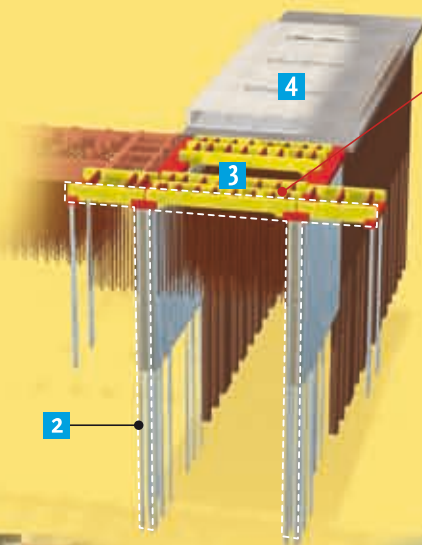
'Elke koppeling tussen de palen is potentieel een lekweg'

PROJECT METROSTATION CS



Noord-Zuidlijn

Het traject van de Noord-Zuidlijn loopt precies onder het midden van het centraal station in Amsterdam, dwars door de houten funderingspalen 1. Om de metrotunnel aan te kunnen leggen moeten alle houten palen onder het middendeel verdwijnen. De palen kunnen echter niet zomaar worden gesloopt, want dan zou het station wegzakken en instorten. In drie stappen (I, II, III) wordt de klus geklaard.



I Nieuwe stationsfundatie

Door Combinatie Strukton/Van Oord is vanaf 2003 onder het station een kolossale betonnen tafel 2 gebouwd die de functie van de houten palen, die in de baan van de Noord-Zuidlijn liggen, moet overnemen. Medio 2009 was het nieuwe fundament gereed en is de belasting van het stationsgebouw 3 en de emplacements 4 succesvol overgedragen van de oude metselfundering op de tafelconstructie. De drieduizend palen onder de nieuwe fundering hebben nu geen draagfunctie meer en kunnen plaatsmaken voor de metrolijn.

II Ontgraven zinksleuf en centrale bouwkuip

Medio 2009 is begonnen met ontgraven tussen de funderingswanden en slopen van de houten palen. Terwijl 250 000 reizigers dagelijks het stationseiland passeren, wordt onder hun voeten – direct onder de vloer van de centrale hal en de voetgangerstunnel – een ondergronds kanaal gegraven (zie ook pagina 30). Binnen een jaar moet het kanaal gereed zijn.

III Invaren en afzinken tunnelelement

Medio 2011 wordt vanaf het IJ een drijvend tunnelelement onder het station gevaren en naar de bodem afgezonden. Nadat het kanaal is volgestort met zand, wordt het element verbonden met de afzinktunnel onder het IJ en de boortunnel onder het Rokin. In 2017 kan de metro gaan rijden.

-15 m tot -28 m
Tweede Zandlaag met kleilagen

-55 m en dieper
Derde Zandlaag

9000 PALEN

De Amsterdamse bodem bestaat uit drie zandlagen, die geschikt zijn voor fundering, afgewisseld door slappe kleilagen. Op de voormalige IJbodem onder het station ontbreekt de eerste en deels de tweede zandlaag. Het stationsgebouw en de kappen staan met 9000 eiken houten palen (17-24 m lang, boven 30 cm in doorsnee en onder 14 cm) op de tweede zandlaag. Op de palen liggen grenen balken en een houten vloer. De gemetselde stationsfundering rust op de houten vloer.

F Nat ontgraven tot -19,15 m

Onderwaterpompen ontgraven tot -19,15 m. De Floris ontgraaft tot -20,65 m.

A Droog ontgraven tot -6,2 m

Kleine gravers halen de bovenste 6 m grond tussen de wanden weg. Houten palen worden afgezaagd en oud metselwerk wordt gesloopt. Dumpers voeren de grond af naar de centrale bouwkuip. Een kraan schept de grond daar in vrachtwagens.

B Aanbrengen gordingen

Aan de wanden worden consoles 5 gemonteerd. Aan deze consoles wordt onder het station een betonnen gording 6 (langsbalk) gestort. Onder het emplacement worden stalen gordingen opgehangen. Met stalen stangen wordt een tweede rij langsbalken 7 aan de bovenste gordingen opgehangen.

C Monteren buisstempels

De uitvoerder plaatst met drie bovenloopkranen stalen buizen tussen de gordingen. De buizen worden vastgebouwd of gelast. In een aantal buizen zitten drukmeters die de druk van de wanden registreren.



D Nat ontgraven tot -12,25 m

In september 2009 is de kuip onder water gezet (waterpeil -3 m NAP). Twee onderwaterpompen 8 zuigen de grond tussen de houten palen weg. Een speciale palenrees 9 zaagt de houten palen. De palen worden niet getrokken omdat dit tot zettingen van de grond naast de funderingswanden zou kunnen leiden. Een drijvend kraantje 10 verzamelt de afgezaagde palen. Het zand-watermengsel wordt naar transportschepen (slijtbakken) in het IJ gepompt. In de centrale bouwkuip achter het station ontgraft de drijvende zuiger Floris 11 tot -13,1 m.

E Laten zakken tijdelijke stempelramen

Om te voorkomen dat de fundatiewanden tijdens het ontgraven naar binnen worden gedrukt, wordt een stalen tussenstempel 12 aangebracht op -11,75 m. Met de bovenloopkranen laat de uitvoerder de tijdelijke stempelramen sectie voor sectie zakken. Omdat er onder het station maar één bovenloopkraan is, wordt daar gebruik gemaakt van pontons 13. Vooraf zijn tussen de gordingen kabels 14 aangebracht, zodat de onderste aan de bovenste stempels blijven hangen. De verwachte doorbuiging van de 30 m hoge wanden onder het stationsgebouw is 15 mm.

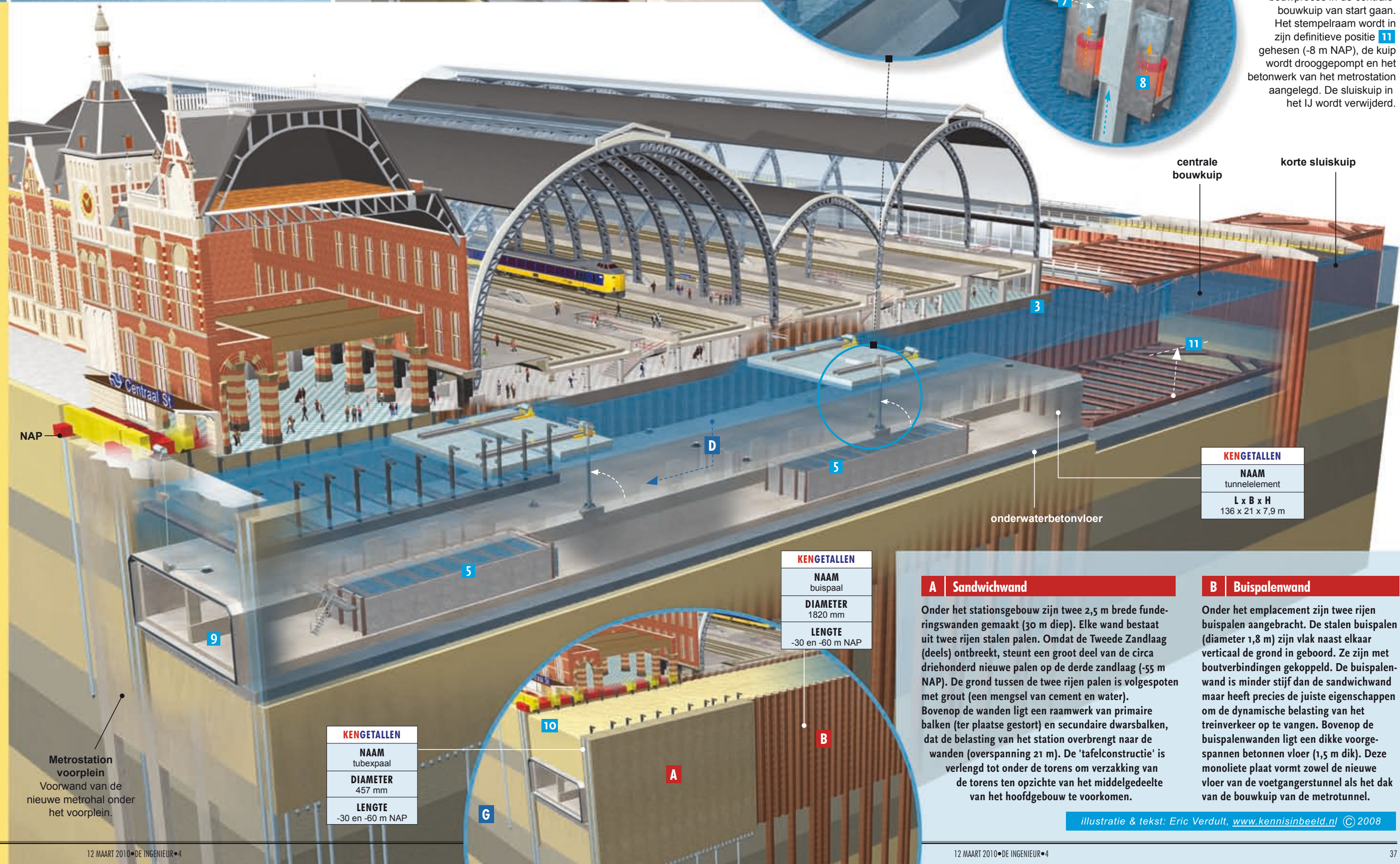
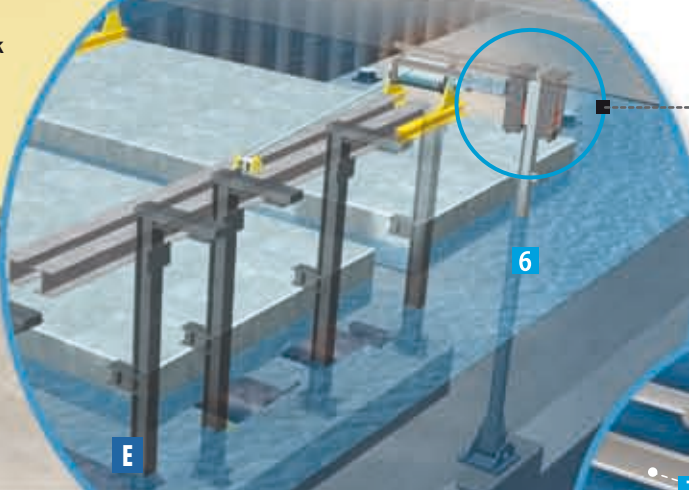
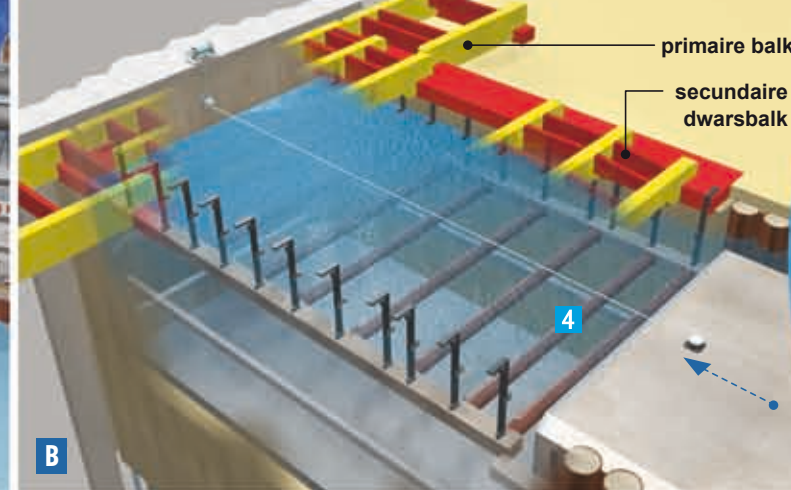
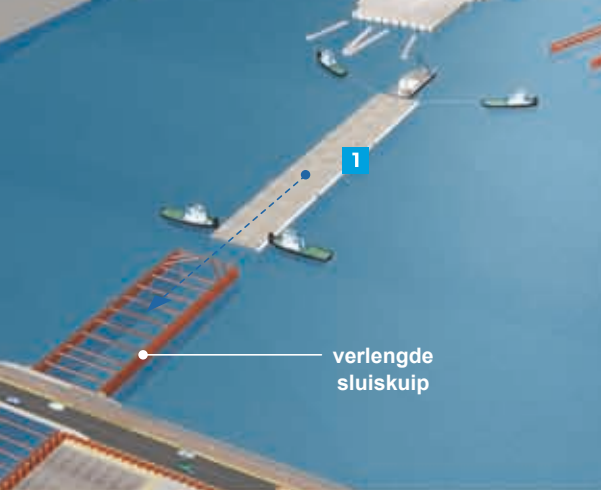
G Storten onderwaterbetonvloer

Als de zinktunnel op diepte is (-19,15 m), wordt eerst een grindlaag aangebracht (30 cm dik) en daarna een onderwaterbetonvloer gestort (1,10 m dik). De betonvloer moet de bouwputwanden horizontaal uit elkaar houden.

H Verwijderen stempelramen

De tijdelijke stempels hebben geen functie meer en kunnen worden verwijderd. Duikers moeten alle bout- en lasverbindingen losmaken om de stempel te demonteren. Alleen de permanente bovenste stempel onder het station blijft achter. Ook de bovenloopkraan wordt verwijderd. In de centrale bouwkuip laat de uitvoerder het stempelraam zakken tot -16,55 m omdat het later opnieuw gebruikt wordt. De zinksleuf is gereed voor het invaren van het tunnelelement.

illustratie & tekst: Eric Verdult, www.kennisinbeeld.nl © 2010



A Invaren tunnelement in sluiskuip

Vanuit het IJ **1** wordt het 136 m lange (drijvende) tunnelement de verlengde sluiskuip ingevaren tot aan het station **2**. Het element kan daar niet verder omdat het tegen de monoliete plaatvloer **3** zou botsen. De sluiskuip wordt weer afgesloten van het IJ met een kopscherm.

B Doorvaren tot definitief stempel

Het waterpeil wordt verlaagd tot -1,5 m NAP zodat het element onder het station kan varen. Het element wordt met behulp van lieren en trekdraden tot vlak voor het definitieve stempelraam **4** onder het stationsgebouw getrokken. Een damwand sluit de bouwkuip van de sluiskuip af.

C Opbouwen afzinkpontons

De waterstand wordt verlaagd tot -3 m NAP zodat er ruimte ontstaat voor twee pontons. Op het dek van het element worden vier hangstaven horizontaal geplaatst en onder aan de vloer van de voetgangers-tunnel worden vier vizelstoelen bevestigd.

D Afzinken en doorvaren tot eindpositie

Hangend aan de twee pontons wordt het tunnel-element afgezonken tot de definitieve diepte, terwijl het met lieren onder het stempelraam wordt getrokken. Via pompen en ballasttanks **5** in het tunnelement (op afstand aanstuurbaar) kan het drijvend vermogen en de stabiliteit van het tunnel-element worden geregeld.

E Nauwkeurige positionering element

De hangstaven **6** worden in de verticale stand gezet en met grote schuifblokken **7** verbonden met de vizelstoelen. Het tunnelement hangt nu aan de vloer van de voetgangerstunnel. Met vier keer twee vizels **8** is het tunnelement nauwkeurig te positioneren.

F Tunnelement onderspoelen

Via een leidingsysteem in de tunnel wordt het element onderstroomd: onder de tunnel vormen zich grote zandpannenkoeken. De uitvoerder verwijdert de pontons, de hangstaven en de vizelstoelen. Pas als het betonwerk onder het voorplein klaar is, wordt de diepwand tussen tussen het voorplein en het tunnelement doorgebroken **9**. In verband met het grondwater wordt dan eerst de tussenliggende grond bevroren zodat een betonnen aansluiting is te maken.

G Nat en droog aanvullen

Als laatste stap wordt de zinksleuf volgestort met zand. Tot -4 m NAP vindt dit hydraulisch plaats (zand opspuiten). Ten slotte wordt de grondwaterstand verlaagd naar -4,5 m NAP en wordt de ruimte rondom het tunnelement droog aangevuld **10** tot circa 0 m NAP.

H Start bouw in centrale kuip

Nadat het tunnelement onder het station is gevaren, kan het bouwproces in de centrale bouwkuip van start gaan. Het stempelraam wordt in zijn definitieve positie **11** gehesen (-8 m NAP), de kuip wordt drooggepompt en het betonwerk van het metrostation aangelegd. De sluiskuip in het IJ wordt verwijderd.

KENGETALLEN	
NAAM	tubexpaal
DIAMETER	457 mm
LENGTE	-30 en -60 m NAP

KENGETALLEN	
NAAM	buispaal
DIAMETER	1820 mm
LENGTE	-30 en -60 m NAP

KENGETALLEN	
NAAM	tunnelement
L x B x H	136 x 21 x 7,9 m

A Sandwichwand

Onder het stationsgebouw zijn twee 2,5 m brede funderingswanden gemaakt (30 m diep). Elke wand bestaat uit twee rijen stalen palen. Omdat de Tweede Zandlaag (deels) ontbreekt, steunt een groot deel van de circa driehonderd nieuwe palen op de derde zandlaag (-55 m NAP). De grond tussen de twee rijen palen is volgespoten met grout (een mengsel van cement en water). Bovenop de wanden ligt een raamwerk van primaire balken (ter plaatse gestort) en secundaire dwarsbalken, dat de belasting van het station overbrengt naar de wanden (overspanning 21 m). De 'tafelconstructie' is verlengd tot onder de torens om verzakking van de torens ten opzichte van het middelgedeelte van het hoofdgebouw te voorkomen.

B Buispaalwand

Onder het emplacement zijn twee rijen buispalen aangebracht. De stalen buispalen (diameter 1,8 m) zijn vlak naast elkaar verticaal de grond in geboord. Ze zijn met boutverbindingen gekoppeld. De buispaalwand is minder stijf dan de sandwichwand maar heeft precies de juiste eigenschappen om de dynamische belasting van het treinverkeer op te vangen. Bovenop de buispaalwanden ligt een dikke voorgespannen betonnen vloer (1,5 m dik). Deze monoliete plaat vormt zowel de nieuwe vloer van de voetgangerstunnel als het dak van de bouwkuip van de metrostation.