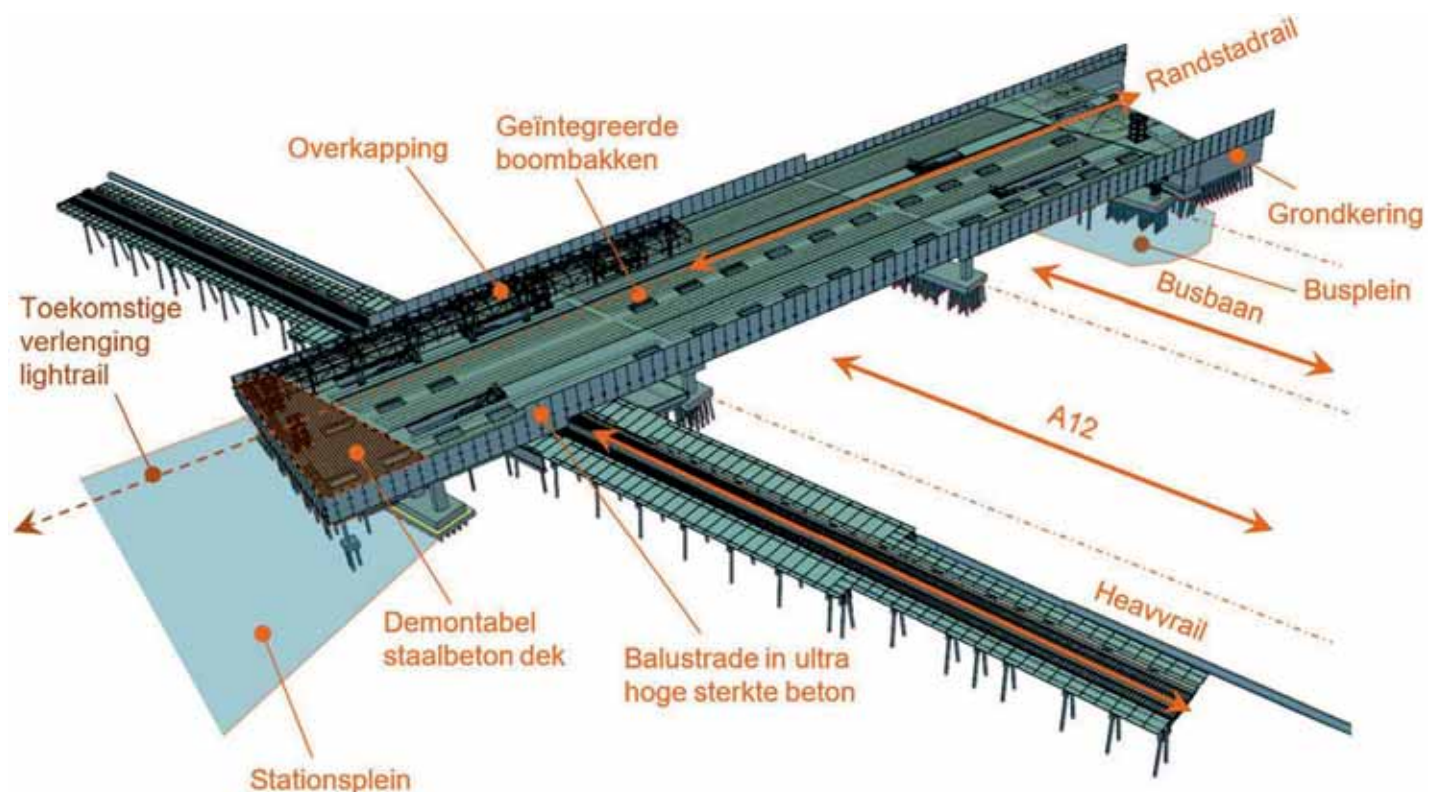
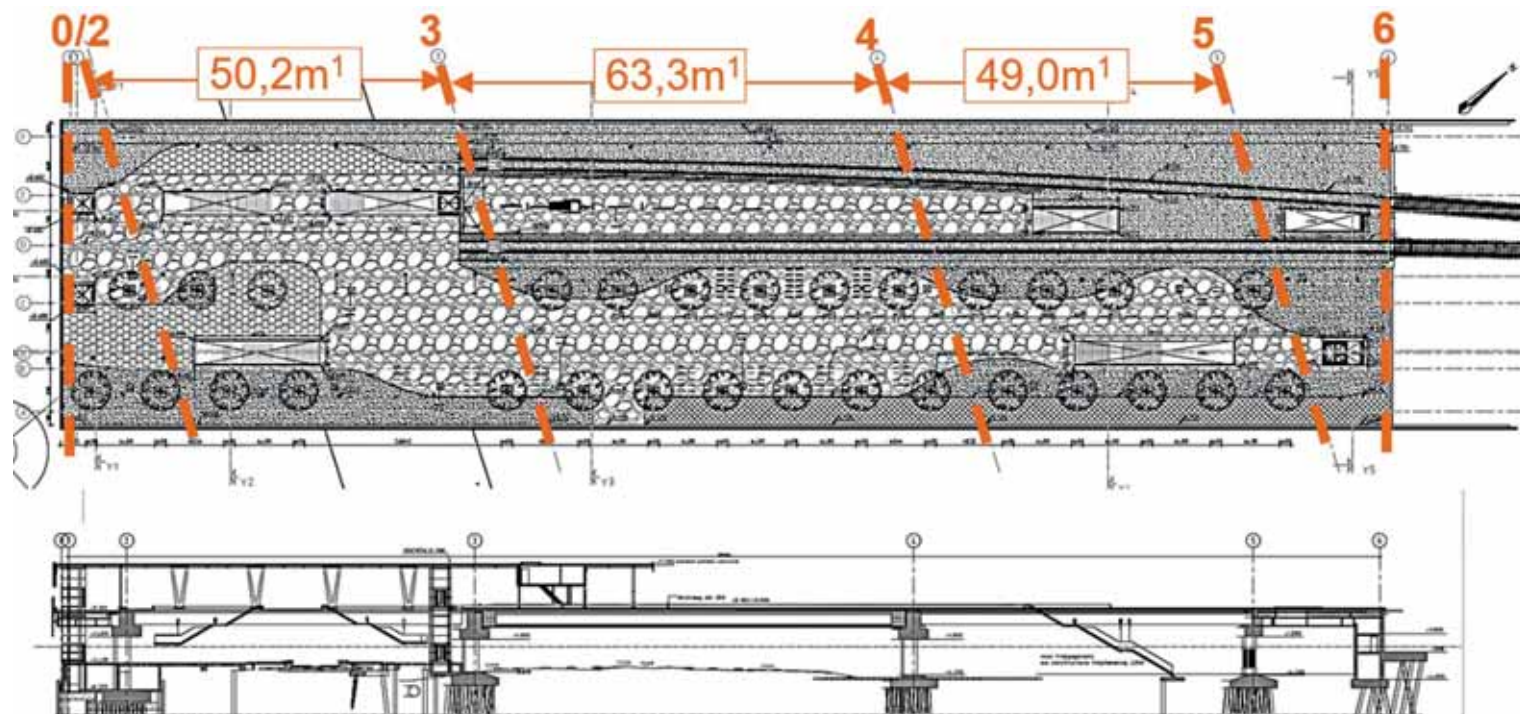


DUURZAAM CONSTRUEREN MET SLIMME CONSTRUCTIE

Auteurs: Harry M.F. Beertsen, Pieter Bout en Dennis W.C.J. Kooijman, Arcadis

Station Lansingerland-Zoetermeer grenst aan de A12 en vormt een overstappunt tussen het landelijke spoornet (heavyrail), Randstadrail (lightrail) en de regionale buslijnen. Bij het ontwerp van het station was één van de speerpunten het functioneel en toekomstvast ontwerpen van het kunstwerk. Door vroegtijdig in het ontwerpproces te anticiperen op het mobiliteitsvraagstuk van de toekomst, is er een ontwerp tot stand gekomen met maximale flexibiliteit qua doorgroeimogelijkheden van deze infra-hub. Zo is er rekening gehouden met verbreding van de A12, een verdubbeling van het heavyrail spoor, en het doortrekken van de lightrailverbinding richting Rotterdam.





Bovenaanzicht en langsdoorsnede kunstwerk

DEKCONSTRUCTIE

Om voldoende vrije ruimte op het maaiveld te creëren voor de toekomstige uitbreiding van het spoor- en wegennet, was het noodzakelijk om te werken met grote overspanningen. De overspanning over de A12 is met 61 m de grootste overspanning van het kunstwerk, al zijn ook de aangrenzende

velden van 48 m relatief groot. Het dek is 44,5 m breed en heeft ruime vides waarin slanke stalen trappen opgehangen zijn aan het dek. De overspanning is gerealiseerd met voorgespannen betonnen kokerliggers welke voorzien zijn van een druklaag. Aan de rand van het dek zijn tot 8 m hoge betonnen randelementen opgehangen welke met hun

takkenstructuur het kunstwerk een 'groen' aanzicht geven.

In de zones waar de trappen zijn gerealiseerd, zijn geen dragende kokerliggers aanwezig, echter er werkt in deze strook wel belasting op de constructie. Tevens zijn er in het dek zwaar belaste zones met bomen opgenomen waar, door de toepassing van grote verzon-



Tussensteunpunt is asymmetrisch belast in bouwfase.



Laatste moot is ontworpen op toekomstige verlenging van het kunstwerk.

ken boombakken, lokaal geen kokerliggers toegepast konden worden. Deze belasting wordt middels de druklaag afgevoerd naar de aangrenzende zones van het dek welke hierdoor relatief zwaar belast worden. Hetzelfde geldt voor de hoge belastingconcentratie uit de randelementen.

Door de uitzonderlijke breedte van het dek (44,5 m), was de afwatering van het dek een bijzonder aandachtspunt. In dwarsrichting is het afschot gerealiseerd door iedere voorgespannen kokerligger op een verschillende hoogte onder een dwarshoek op de opleg-blokken te plaatsen. Door deze aanpak zijn onnodige uitvullagen op het dek voorkomen en werd de rustende belasting op het dek beperkt. Doordat het hoofdspoor aan de onderzijde van het dek, en de Randstadrail aan de bovenzijde dwangpunten vormen, was er slechts een beperkte constructiehoogte beschikbaar.

De toegepaste voorgespannen kokerliggers hebben boven de A12 een hoogte van 2,25 m wat overeenkomt met 1/27 van de overspanning. Door de hoge belastingconcentratie naast de trappen en bij de rand van het dek, gecombineerd met de grote overspanning, mag gesteld worden dat er sprake is van een zeer slanke constructie. In de ontwerpfase werd reeds geconcludeerd dat de randvoorwaarden de toepassing van een slanke constructie dicteerden. Zodoende zijn er vroegtijdig enkele leveranciers benaderd om de haalbaarheid te toetsen. Er is een druklaag (0,25 m) toegepast om in dwarsrichting van het dek belasting te kunnen spreiden. Normaliter wordt de dwarsspreiding bewerkstelligd door de toepassing van dwarsvoorspanning ter hoogte van de bovenflens van de kokerlig-

Laatste veld van het dek is uitgevoerd als staalbetonconstructie.

ger, maar dit was in deze situatie niet overal mogelijk door de vides en de variabele scheefstand/afschot van de liggers.

Naast de technische haalbaarheid van de kokerliggers, is in de ontwerpfase ook reeds nagedacht over de benodigde buitendienst-

stellingen van de A12 en het spoor. Er is hierbij gedacht aan de benodigde tijd van een buitendienststelling, eventuele uitloopscenario's (bijvoorbeeld verschuiving van de werkzaamheden door extreem weer) en de uitvoerbaarheid van de hijswerkzaamheden. Bij de uitvoerbaarheid van de hijswerkzaamheden is in de ontwerpfase gekeken naar de beschikbaarheid van het materieel, het hijsvermogen/bereik, de aanvoerroutes, de mogelijke opstellocaties en de opbouw-tijd. Door vooraf voorgenoemde zaken op haalbaarheid te controleren, was het mogelijk de belanghebbenden vroegtijdig te informeren over de benodigde tijdsvakken en voldoende ruimte te reserveren.

Bij het meest zuidelijke tussensteunpunt van het dek ligt in de huidige situatie slechts aan één zijde een betonnen dek met een grote overspanning. Bij het ontwerp van het desbe-



treffende steunpunt is reeds geanticipeerd op het kunnen doortrekken van de Randstadrail. In de huidige situatie is aan de zuidzijde een kort dek aanwezig bestaande uit een lichte staalbetonconstructie welke relatief eenvoudig gedemonteerd kan worden. In de toekomst kan voorgenoemde staalconstructie eenvoudig vervangen worden door een betonnen dek met eveneens een grote overspanning zonder dat hiervoor de hoofdconstructie ingrijpend gewijzigd moet worden.

FUNDERING EN GRONDKERING

Net als in het grootste deel van de Randstad zijn er op de locatie van het kunstwerk slappe lagen aanwezig in de ondergrond. Het kunstwerk is zodoende op palen gefundeerd. Bij de keuze van het paalsysteem is er per paalgroep afgewogen in welke mate er trillingen in de



De liggers boven de A12 zijn geplaatst in een weekend waarbij de snelweg buiten dienst was gesteld.

omgeving acceptabel zouden zijn en welke uitvoeringsrisico's er waren. Zo zijn er langs het spoor geboorde buispalen met groutinjectie toegepast, terwijl op locaties waar trillingen acceptabel zijn, voorgespannen betonnen heipalen zijn toegepast. Door de keuze van het paalsysteem te koppelen aan

de plaatselijke randvoorwaarden, is er tot een economisch verantwoord funderingsontwerp gekomen.

Aan de noordzijde van het station grenst het kunstwerk aan de verhoogde aardenbaan van de Randstadrail. Om aan te sluiten op de aardenbaan is er een 8 m hoge grondkering gerealiseerd. Deze grondkering is uitgevoerd met 18 m lange vleugelwanden en is voorzien van een ontlastplaat. De ontlastplaat zorgt ervoor dat de gronddruk op de onderste helft van de grondkerende wand sterk gereduceerd wordt, waardoor er minder palen benodigd zijn voor de opname van de horizontale gronddruk. Tevens levert de ontlastplaat een moment dat tegen het grondmoment in werkt. Tegen de grondkerende wand is een meerlaagse, technische ruimte gerealiseerd. Doordat er reeds een forse funderingsconstructie benodigd is voor de grondkering, is er voor de realisatie van de technische ruimten slechts een beperkte investering nodig.

TUSSENSTEUNPUNTEN

De tussensteunpunten van het kunstwerk zijn voorzien van een betonnen poer van ca. $46,2 \times 6,5 \times 1,8 \text{ m}^3$ met 5 rijen palen. Boven op de poer staan 6 betonkolommen van ca. $1,0 \times 2,0 \text{ m}^2$ met een variabele hart op hart afstand. De positie van de kolommen is bepaald door de locatie van de trappen, boomzones, loopstromen en zichtlijnen. In de bouwfase zijn de kolommen asymmetrisch belast doordat er tijdelijk slechts aan één zijde van het tussensteunpunt een dek aanwezig is. In de ontwerpfase is in de hoofdberekening rekening gehouden met de bouwfasen omdat deze veelal maatgevend zouden worden voor de optredende momenten. Om de opdrachtnemer maximale vrijheid





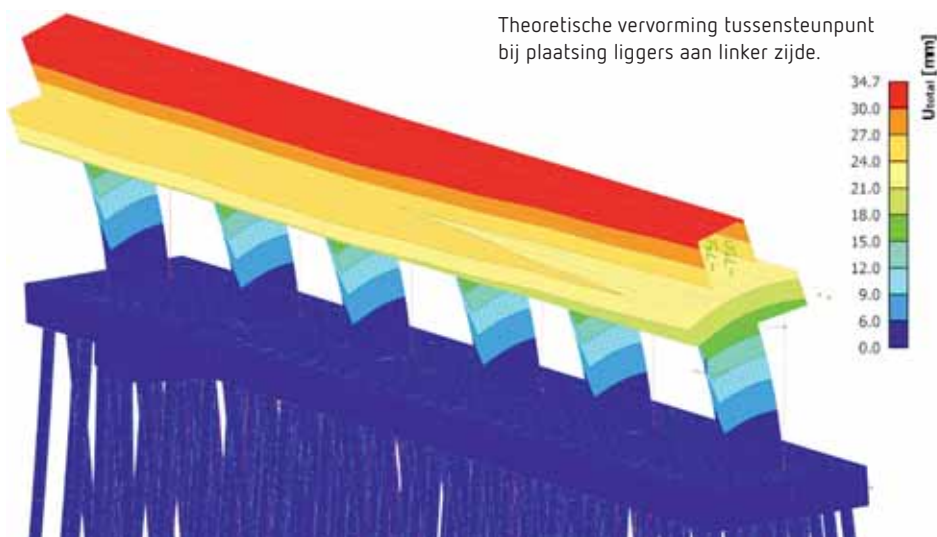
In de tussensteunpunten is gebruik gemaakt van koeling om hydratatie-warmte uit de kern van de doorsnede af te voeren.

te geven, is de constructie dusdanig ontworpen dat het mogelijk is om eerst het dek van 61 m en daarna het dek van 48 m te realiseren (en vice versa). Vanwege het grote aandeel van het eigengewicht leidt deze montagevolgorde tot een grote asymmetrische belasting op de poeren.

In de uitvoeringsfase is tijdens de plaatsing van de kokerliggers het vervormingsgedrag en de scheurwijdte van de tussensteunpunten gemonitord. De vervormingen en scheurwijdtes die op zijn getreden, waren kleiner dan die middels de berekeningen zijn voorspeld.

Mogelijke redenen hiervoor zijn:

- De belasting was tijdens de monitoring pas sinds korte tijd aanwezig waardoor de fundering zich nog relatief stijf gedroeg.
- De vervorming van diverse bouwdeelen is berekend als zijnde buigelementen, terwijl deze in werkelijkheid neigen naar gedrongen elementen waardoor deze zich stijver gedragen. Qua wapeningsconfiguratie was reeds rekening gehouden met de gedrongen aard van het tussensteunpunt waarmee beide buigvormen zijn afgedekt.



Theoretische vervorming tussensteunpunt bij plaatsing liggers aan linker zijde.



- Ondanks de gedrongen aard van de tussensteunpunten bestaan deze uit relatief slanke doorsneden; als gevolg hiervan is er relatief veel wapening toegepast. De constructie bevindt zich hierdoor aan de rand van het toepassingsdomein van de stijfheidsprognoses uit de rekenvoorschriften.

KOELING BETON

De balk van het tussensteunpunt heeft een omgekeerde T-vorm met een breedte van 4 m en een hoogte van 3,5 m. Door de grote afmetingen ontstaan er in het beton tijdens het verhardingsproces door hydratatie warmte hoge temperaturen. In de loop der tijd zal deze warmte wegvloeien uit de constructie en zal de balk verkorten en krachten uitoefenen op de onderliggende betonkolommen. Om te voorkomen dat de verkorting van de balk resulteert in te grote krachten in de betonkolommen, is ervoor gekozen koeling

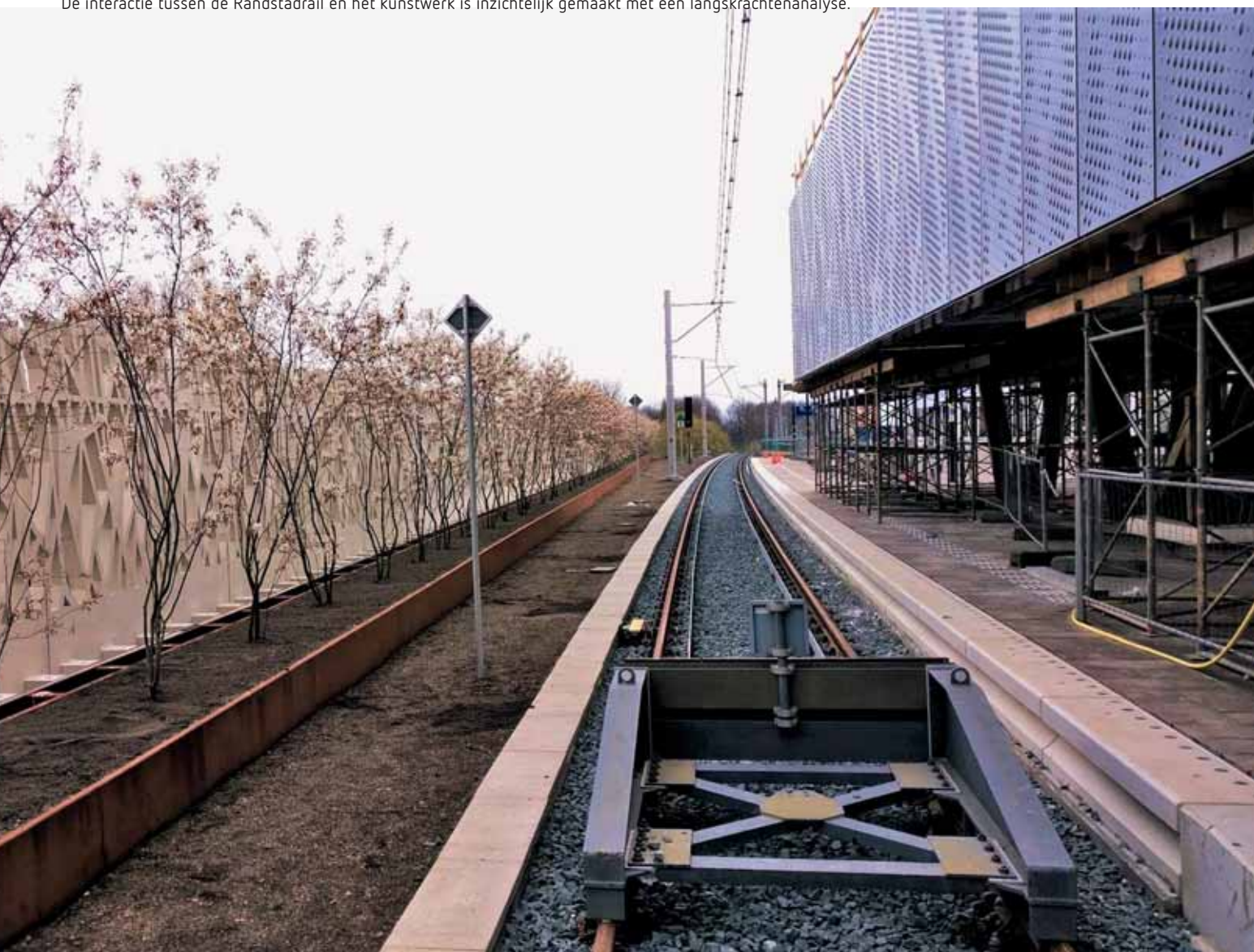
tijdens het verhardingsproces toe te passen. In de balk zijn koelsslangen opgenomen waar koelvloeistof doorheen gepompt werd; de constructie kon zo niet alleen aan de buitenzijde zijn warmte kwijt, maar ook aan de binnenzijde waardoor de opwarming van de constructie beperkt bleef.

INTERACTIE SPOORCONSTRUCTIE MET KUNSTWERK

Bij de dimensionering van de dekconstructie vormt de hoogteligging van de Randstadrail een dwangpunt. Naast de hoogteligging vormt ook de fysieke aanwezigheid van de spoorstaven zelf een voorwaarde waar bij het ontwerp van het kunstwerk rekening mee gehouden moet worden. Als gevolg van de seizoenen treden er temperatuurveranderingen in de constructie op met verlenging of verkorting als gevolg. Om hoge spanningen en grote vervormingen in de constructie te voorkomen, zijn er in de dekconstructie dila-

taties opgenomen boven ieder tussensteunpunt, en zijn de kokerliggers opgelegd op gewapende rubber oplegblokken. In de spoorconstructie zijn echter geen dilatatie opgenomen aangezien deze vrij kostbaar zijn qua realisatie en onderhoudskosten. Bij een verandering van de temperatuur in de spoorstaven of het kunstwerk zullen deze invloed op elkaar uitoefenen. In de ontwerpfase is een langskrachtenanalyse gemaakt om inzicht te krijgen in de interactie tussen het kunstwerk, de spoorstaven en het aansluitende spoorlichaam. Een langskrachtenanalyse is een iteratief proces waarbij aan de hand van de resultaten het ontwerp van de onderbouw bijgesteld wordt wat vervolgens weer invloed heeft op de langskrachtenanalyse zelf. Door kritisch te kijken naar het gedrag van het totale systeem is tot een interactie gekomen waarbij de vervormingen/krachten in zowel het kunstwerk als de spoorstaven binnen de

De interactie tussen de Randstadrail en het kunstwerk is inzichtelijk gemaakt met een langskrachtenanalyse.





Randelementen, oplegnokken en uitvoeringstoleranties.

toelaatbare grenswaarden bleven. Het vervormingsgedrag heeft niet enkel invloed op de krachtswerking in de betonnen onderbouw, maar ook op de bouwkundige detaillering en het ontwerp van de staalconstructie op het dek.

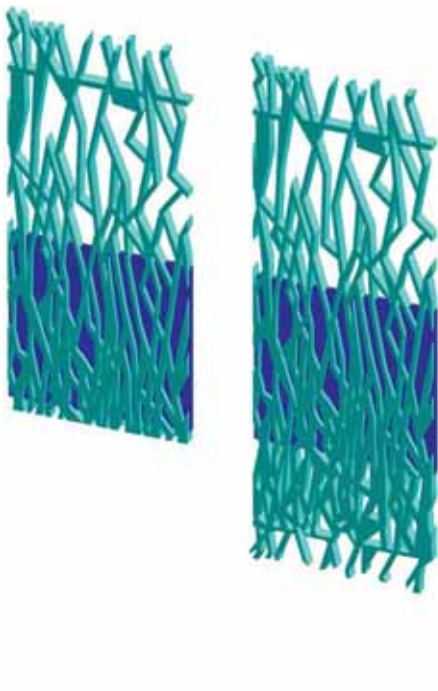
RANDELEMENTEN

Het viaduct wordt rondom voorzien van randelementen, uitgevoerd in een takkenstructuur. Deze elementen zijn vervaardigd uit zeer hogesterktebeton (ZHSB). Over de hoogte van het brugdek zijn de elementen

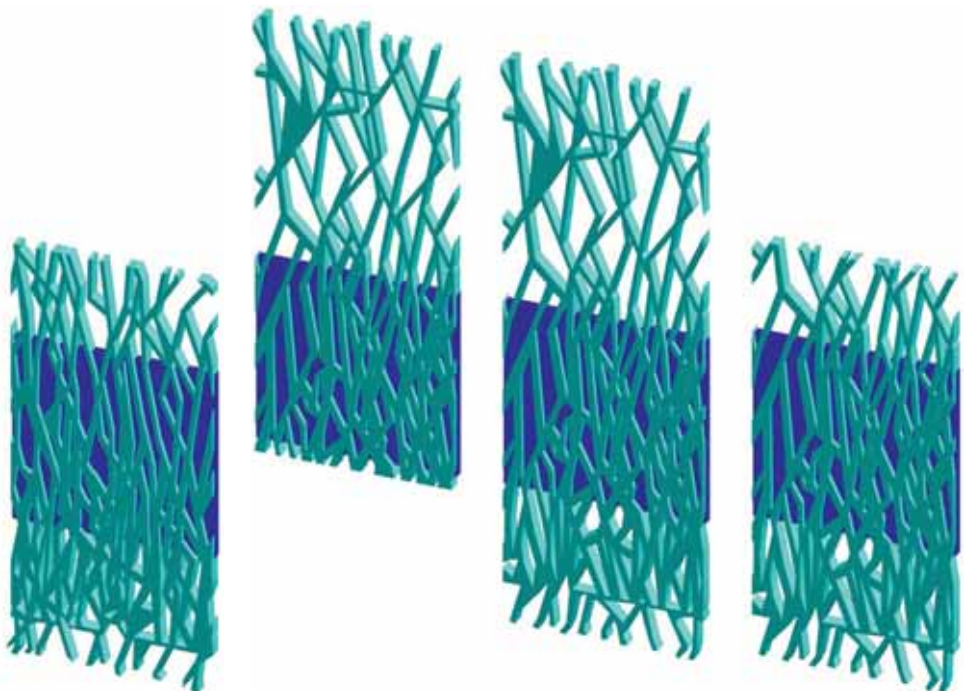
massief uitgevoerd. Dit dichte deel van de elementen is nabij de bovenzijde voorzien van drie oplegnokken en nabij de onderzijde van twee horizontale afstandhouders. In het dichte deel is thermisch verzinkte wapening in de vorm van een dubbel kruisnet aanwezig. In elke tak is een thermisch verzinkte wapeningstaaf aangebracht. Deze wapening is niet benodigd vanwege de optredende (buigtrek)spanningen, maar om te voorkomen dat bij calamiteiten stukken van de takken in het spoor dan wel op de weg vallen (a.g.v. brosse breuk).

Alle elementen hebben een breedte van 2,50 m. De hoogte varieert tussen 6,00 m en 7,60 m. Het open gedeelte van de elementen heeft een dikte van 160 mm, het dichte deel is 100 mm dik. Dit is minimaal benodigd om bevestigingsmiddelen in het beton te kunnen opnemen.

De massa van het lichtste element bedraagt 3200 kg, die van het zwaarste 4100 kg. Naast eigen gewicht en windbelasting dienen de elementen ook een leuningbelasting van 3,00 kN/m te kunnen opnemen op een hoogte van 1,0 m boven dekniveau.



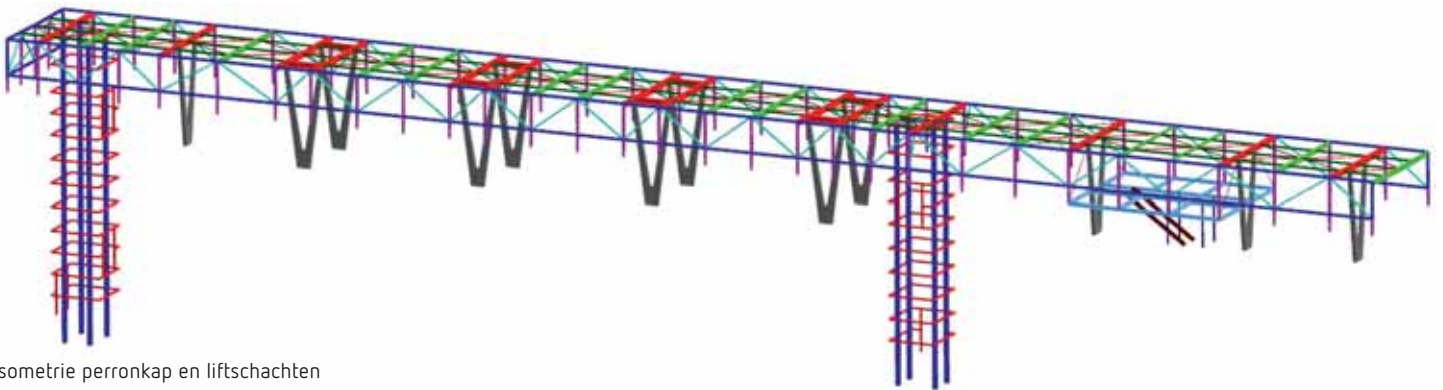
Randelementen 01B, 01 en 01C



Randelementen 02B, 02 en 02C



Aanzicht dragend schort van perronoverkapping.



Isometrie perronkap en liftschachten

Om tot een economisch ontwerp van de randelementen te komen is er gewerkt met standaardisatie. In de basis bestaan de elementen uit 2 hoofdvormen welke afhankelijk van de positie op het kunstwerk is verkort of verlengd. In figuur 11 zijn drie subvormen van hoofdvorm 1 weergegeven, in figuur 12 zijn drie subvormen van hoofdvorm 2 weergegeven. Door met hoofdvormen en modulaire maten te werken is voorkomen dat er voor ieder randelement een unieke bekisting gemaakt moest worden.

Er zijn twee typen randelementen, ieder in drie verschillende hoogten.

Om schade aan de randelementen tijdens transport te voorkomen, is in een later stadium besloten de takken aan de onderzijde van de elementen te koppelen met een horizontale HSB-regel. Een zelfde regel is toegevoegd ter hoogte van de leuning.

CONSTRUCTIE PERRONKAP

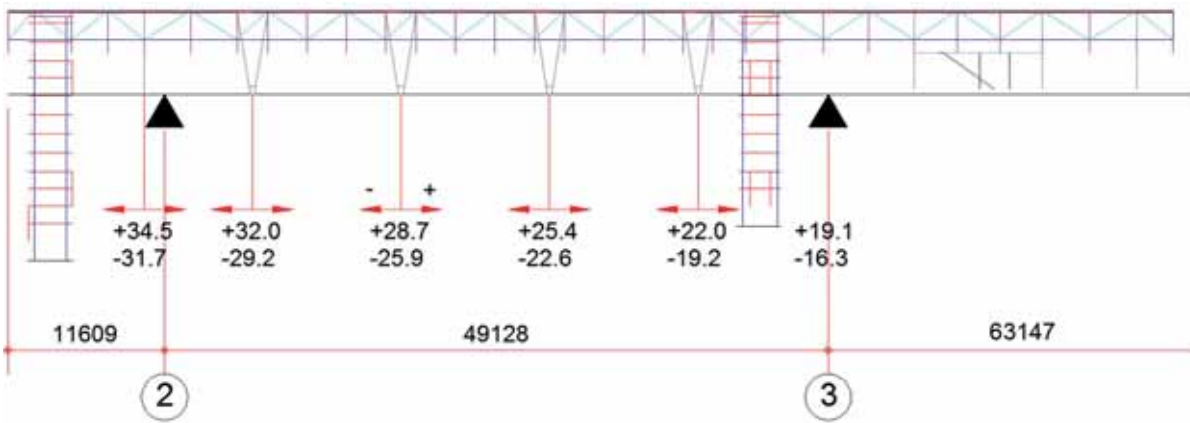
De perronkap heeft een lengte van 86 m, een breedte van 8,10 m en een maximale hoogte

boven het perron van 6 m. De kap is rondom voorzien van 'schorten' met een hoogte van 3,50 m met als doel de reizigers zo veel mogelijk te beschermen tegen weersinvloeden. De schorten zijn opgehangen aan het dak van de overkapping. De overkapping is aan de buitenzijde afgewerkt met een aluminium beplating met een takkenstructuur en aan de binnenzijde met houten stroken op een houten regelwerk.

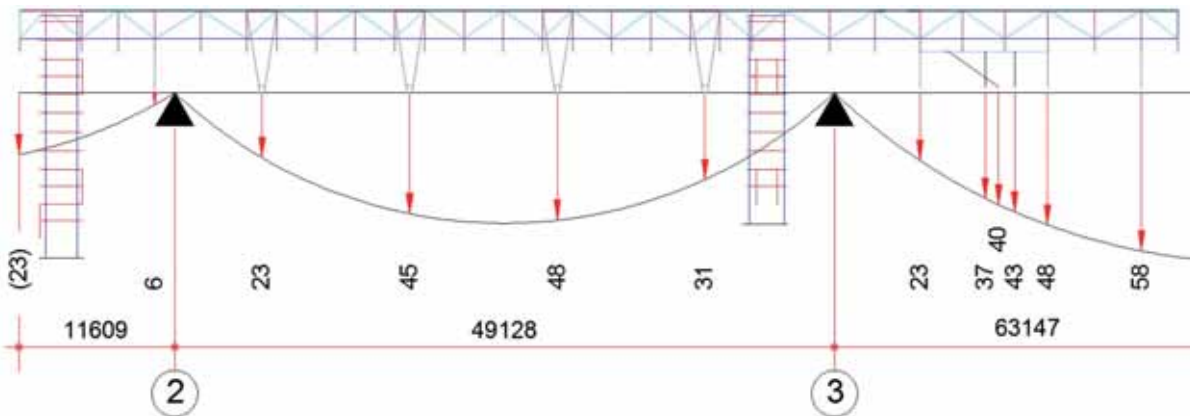
In de kap is plaats gemaakt voor een wacht/schaftruimte voor personeel van de HTM. Deze ruimte is ook (deels) opgehangen aan het dak van de overkapping. De wachtruimte is toegankelijk via een afsluitbaar trappenhuis op het perron, dat tevens voor extra ondersteuning van de wachtruimte zorgt.

Onder de perronkap zijn twee liftschachten aanwezig. Beide liftschachten dienen als horizontale en verticale steun voor de perronkap. De liftschachten zijn rondom voorzien van glas. De liftschachten steken door de brugdekken heen en zijn daar niet aan bevestigd. De horizontale verplaatsingen van de dekken

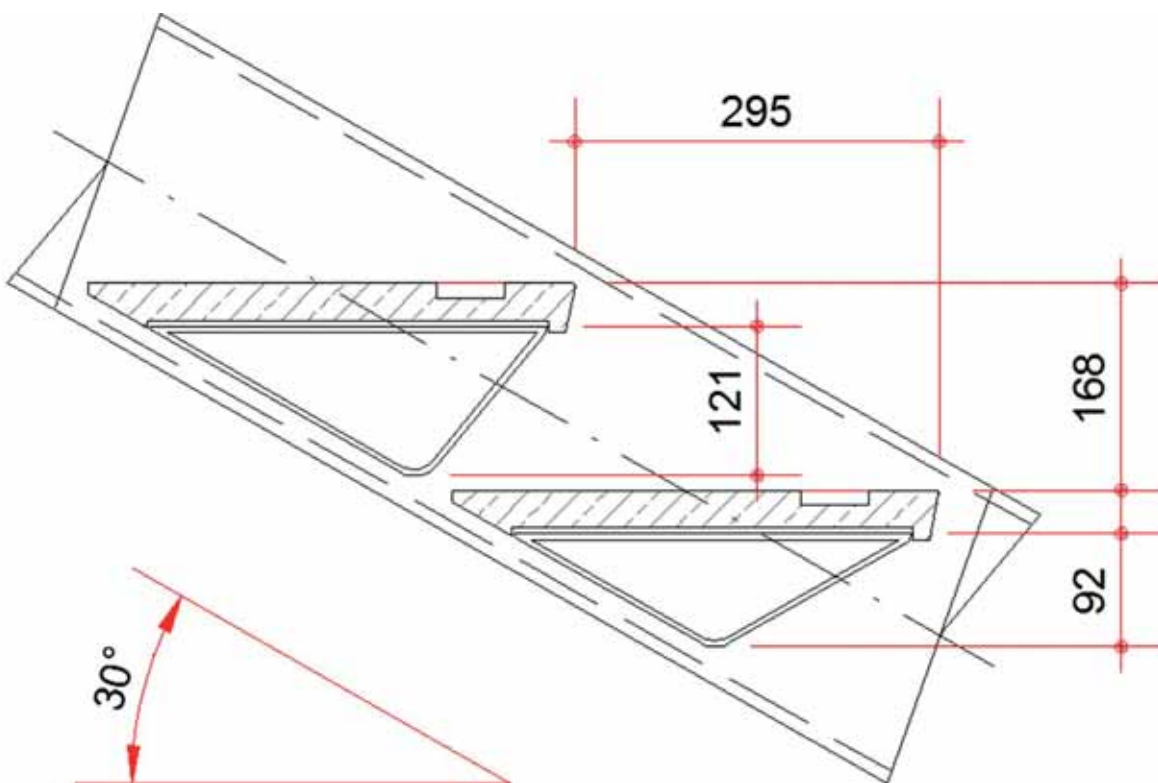
zijn dusdanig groot dat, indien zij wel bevestigd zouden zijn, de liftkooien door de opgelegde hoekverdraaiing klem zouden kunnen lopen in hun geleidingen. De constructie van de perronkap is opgebouwd uit V-vormige kolommen waarover enkele of dubbele spantliggers lopen (afhankelijk van de stand van de V-kolom). De spantliggers ondersteunen drie gordingen. Aan het uiteinde van de spantliggers zijn de schorten bevestigd. Deze zijn uitgevoerd als vakwerkliggers om voldoende stijfheid te verkrijgen bij een zo laag mogelijk gewicht. De overkapping rust op twee aansluitende betondekken die in lengterichting ten opzichte van elkaar kunnen bewegen ten gevolge van temperatureffecten en het remmen en aanzetten van de trams. Hierdoor is het noodzakelijk in de kap een dilatatie aan te brengen die deze bewegingen kan opnemen. De dilatatie is direct naast de noordelijke liftschacht (as 3) aangebracht.



Horizontale verschuivingen brugsegment 2-3 in mm.



Verticale doorbuiging brugsegmenten in mm.



Doorsnede over hoge en lage trede



Figuur 18: Isometrie trap met onderkwart

Naast horizontale verplaatsingen moet de constructie van de perronkap ook nog de verticale verplaatsingen van de dekken door veranderlijke- en verkeersbelastingen kunnen volgen. Ten gevolge hiervan buigt het dek ca. 1/1000 van de overspanning door.

Dat geeft de verplaatsingen ter plaatse van de steunpunten van de overkapping zoals aangegeven in de figuren op bladzijde 16. Vanuit het bevoegd gezag is aanvullend nog de eis gesteld dat de hoofddraagconstructie van de perronkap een brandwerendheid tegen bezwijken dient te bezitten van 30 minuten door een externe brand.

CONSTRUCTIE STALEN TRAPPEN

De trappen zijn geheel vervaardigd uit staal en zijn opgebouwd uit twee kokervormige trapbomen aan de buitenzijde van de trap, met daartussen driehoekig gevormde treden. De treden komen in twee verschillende uitvoeringen voor, lage driehoeken voor het onderste trapdeel, hoge driehoeken voor de overige trapdelen en bordessen. Dit om op perronniveau een zo groot mogelijk doorzicht tussen de treden te verkrijgen. Dit vergroot de sociale veiligheid op het station.

Drie trappen zijn uitgevoerd als rechte steektrappen, twee zijn voorzien van een onderkwart (zie figuren blz. 16). Gezien de grote lengte van de trappen, wat een enorme constructiehoogte zou vergen indien deze in één keer zouden overspannen,

zijn tussensteunpunten aangebracht. De tussensteunpunten zijn niet uitgevoerd als kolommen die afdragen op de onder gelegen constructies, maar als hangers die worden bevestigd aan de boven gelegen draagconstructie van de combibrug. Hiertoe zijn uithouders aan de buiten-/onderzijde van de trapbomen aangebracht, vervaardigd uit dik plaatstaal, waaraan de hangers zijn bevestigd. De hangers zijn uitgevoerd als nastelbare windverbandstaven en kunnen dus alleen trek opnemen.

De treden zijn afgewerkt met natuursteen. De leuningen zijn bevestigd aan glazen platen die als balustrade dienst doen. De glasplaten zijn aan de onderzijde geklemd tegen de buitenzijde van de trapbomen.

Ten gevolge van temperatureffecten en rem- en aanzetkrachten van de Randstadrailvoertuigen zullen de betonnen brugsegmenten horizontaal in lengterichting verplaatsen. Omdat de trappen zijn bevestigd aan de brugsegmenten, zullen deze dezelfde horizontale verplaatsing ondergaan. Om grote horizontaal krachten op de fundering en grote normaalkrachten en buigende momenten in de trapbomen te vermijden, is de aansluiting met de fundering in lengterichting van de brug glijdend uitgevoerd. Hiertoe wordt gebruik gemaakt van slobgaten in combinatie glijdplaten van RVS en POM-C.

Overeenkomstig de perronkap, is ook hier

rekening gehouden met de (grote) doorbuigingen van de brugdekken waaraan de trappen zijn opgehangen.

Vanuit het bevoegd gezag zijn nog de volgende aanvullende eisen aan de constructie gesteld:

- de hoofddraagconstructie van de trappen dient een 'tweede draagweg' te bezitten. Bedoeld wordt dat rekening moet worden gehouden met het wegvallen van één van de bevestigingspunten waarmee de trap is opgehangen aan het betondek. Dit dient voor alle bevestigingspunten apart te worden beschouwd.
- de hoofddraagconstructie van de trappen dient een brandwerendheid tegen bezwijken te bezitten van 30 minuten door een externe brand.

AFSLUITING

Begin 2017 zijn de eerste palen van station Lansingerland Zoetermeer ingebracht door aannemer VOBI. In de korte periode van circa twee jaar heeft men aan de oostzijde van Zoetermeer een complex kunstwerk gerealiseerd welke een belangrijke knoop in het alsmaar fijner wordende infranet van de Randstad wordt. Het is te danken aan de nauwe samenwerking tussen de opdrachtgever, opdrachtnemer, producenten, gemeente, de vervoerders en de directe belanghebbenden dat het project in een dergelijk korte tijdsperiode gerealiseerd is. Bij onvoorziene obstakels kwamen het projectbureau en de opdrachtnemer bijeen om met elkaar een oplossing uit te werken. Het is dankzij deze proactieve houding van alle betrokkenen dat er een oplossing op complexe vraagstukken werd gevonden zodat het verloop van het project niet of zo min mogelijk werd verstoord. In de huidige bouwpraktijk is het realiseren van een compleet nieuwe infra-hub een uitzonderlijke situatie. Wanneer men de gelegenheid heeft om in het ontwerp reeds rekening te houden met toekomstige uitbreidingen, is dit het ultieme voorbeeld van duurzaamheid aangezien hiermee toekomstige sloop wordt voorkomen. Door vooraf bij het ontwerp van de constructie rekening te houden met de toekomst is een economisch en duurzaam ontwerp ontstaan.



Aanzicht opgehangen trapconstructie



Aanzicht van het kunstwerk.

PROJECTGEGEVENS

| STATION LANSINGERLAND-ZOETERMEER (2019) | |
|---|---|
| Opdrachtgever en financiers | Metropoolregio Rotterdam Den Haag (MRDH) Gemeenschappelijk Regeling Bleizo, waarin begrepen de gemeenten Zoetermeer en Lansingerland |
| Ontwerp en Architectuur | Arcadis Architecten (Beate Vlaanderen) i.s.m. Team V Architectuur (Jeroen van Schooten) |
| Hoofdconstructeur | Arcadis |
| Engineering | Arcadis Iv-Infra (UO) |
| Hoofdaannemer | Aannemingsmaatschappij VOBI bv |
| Levering balken | Spanbeton |
| Prefab Randelementen | Concrete Valley/Mbx |

Door bij het ontwerp van de constructie rekening te houden met de toekomst, is een economisch en duurzaam ontwerp ontstaan.