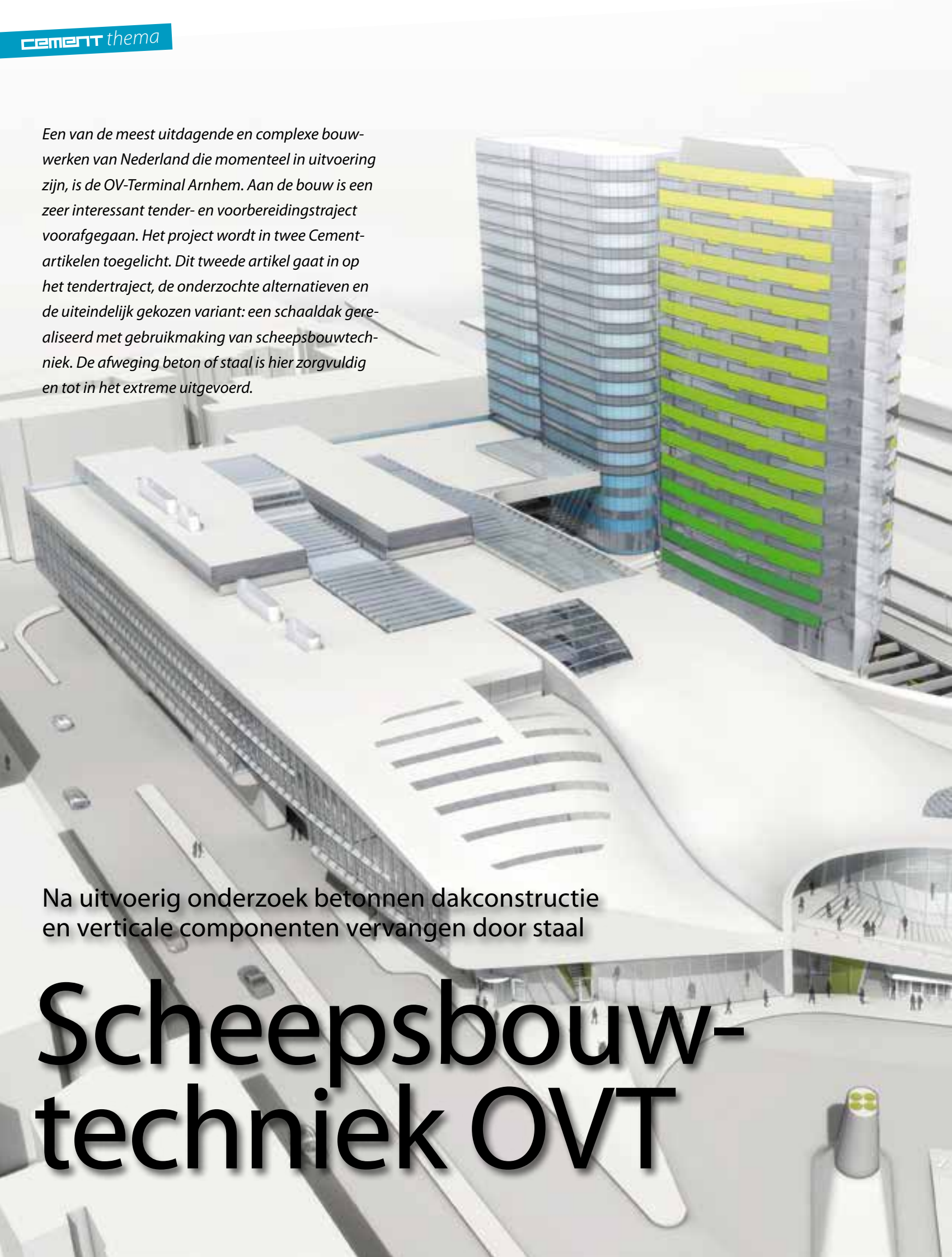


Een van de meest uitdagende en complexe bouwwerken van Nederland die momenteel in uitvoering zijn, is de OV-Terminal Arnhem. Aan de bouw is een zeer interessant tender- en voorbereidingstraject voorafgegaan. Het project wordt in twee Cement-artikelen toegelicht. Dit tweede artikel gaat in op het tendertraject, de onderzochte alternatieven en de uiteindelijk gekozen variant: een schaaldak generaliseerd met gebruikmaking van scheepsbouwtechniek. De afweging beton of staal is hier zorgvuldig en tot in het extreme uitgevoerd.

Na uitvoerig onderzoek betonnen dakconstructie en verticale componenten vervangen door staal

Scheepsbouw- techniek OVT



Willem van Dijk
Ballast Nedam Bouw & Ontwikkeling
ir. Mischa Falger,
ir. René Sterken RO
BAM Advies & Engineering

1 OV-Terminal van
Arnhem Centraal
foto: UNStudio



De OV-Terminal is het laatste onderdeel van de aanpak van het stationsgebied Arnhem. De aanbesteding van dit deel is begin 2011 gestart. Opdrachtgever ProRail heeft ervoor gekozen het project volgens het integrale UAV-GC-principe aan te besteden. De aanbiedende partijen kregen hierdoor maximale ruimte om hun expertise op het gebied van constructies, bouw- en uitvoeringstechniek en logistieke vaardigheden in te brengen. Voor een beschrijving van het project wordt verwezen naar het Cementartikel 'Ontwerp van een complex schaaldak'.

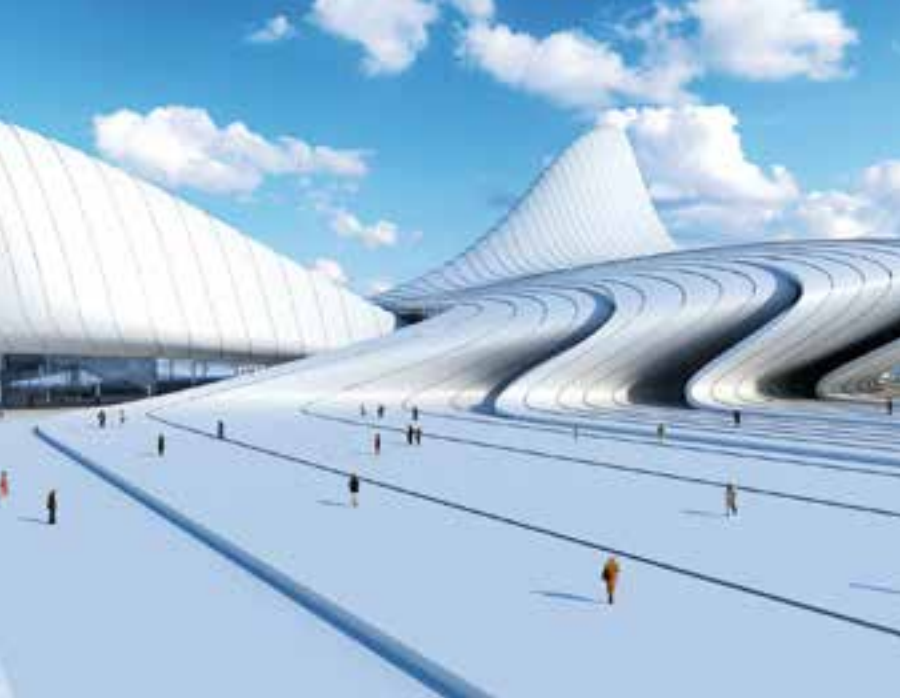
Dialogoogesprekken

Als onderdeel van de aanbestedingsmethodiek werden in het tendertraject zogenaamde dialogoogesprekken georganiseerd. Dit zijn proactieve gesprekken tussen opdrachtgever en potentiële opdrachtnemer met als doel het beste uit het ontwerp te halen en een optimale aanbieding te kunnen doen.

Een van de aanbiedende partijen was bouwcombinatie OVT, bestaande uit Ballast Nedam en BAM. Deze partijen zijn bekend met deze dialogoogesprekken vanuit de DBFMO-contractvormen. Deze gesprekken worden als zeer positief ervaren. In dit project heeft ProRail zogenoemde VTW's (Voorstellen Tot Wijziging) geïntroduceerd. Dit was een mooie kapstok om de alternatieve voorstellen ten aanzien van esthetica, constructie, beheer en onderhoud duidelijk te omschrijven om zo de opdrachtgever een objectieve afweging te kunnen laten maken. In deze fase kwam het idee naar voren het project uit te voeren in staal. Tijdens de ontwikkelfase van de staalalternatieven zijn, in het derde dialogoogesprek, voorbeelden van projecten getoond die zijn uitgevoerd in staal (foto 2 en 3). De bouwcombinatie heeft hiermee willen toetsen hoe de opdrachtgever hierop zou reageren. De reacties waren positief.

Complexiteit en risico's

In het hele aanbestedingstraject was de zoektocht naar kansen en het blootleggen van risico's onderwerp van gesprek. De complexiteit van dit project dwong tot een integrale aanpak, maar vroeg tegelijkertijd ook om enige mate van zelfstandigheid op de vlakken van tijd, techniek en geld. Op basis van de complexiteit van het project is gekozen om clusters in het leven te roepen. Deze clusters – op basis van Bouwkunde, Construc-



2, 3 Heydar Aliyev Cultural Centre in Baku, Azerbaijan, Zaha Hadid Architects
 4 Uitvoering van het muziektheater van de Art University, de MUMUTH in Graz (Oos)
 foto: UNStudio



2

De prijzen van woningbouw en complexe utiliteitsbouw lopen al behoorlijk uiteen, van respectievelijk € 21 tot € 71 per m², een factor 3 tot 4. Als je aan deskundigen de vraag stelt wat de gemiddelde prijs van een dubbelgekromd vlak is, wordt het stil. Voor dit soort projecten zijn uitschieters te melden naar € 1000 tot € 1200 per m².

In het cluster Bouwmethodeken en bekistingen is daarom contact gezocht met de Steiner Bau uit Graz, onder meer verantwoordelijk voor de realisatie van het Universiteitstheater in Graz (foto 4). Hier waren de principes toegepast voor het bekisten van dubbelgekromde vlakken op basis van gefreesd EPS. Bij dat project waren de te besteden manuren overschreden ten opzichte van de begroting. De twijfels die over deze oplossing bestonden, zowel technisch als financieel, werden door deze ervaringen uit Oostenrijk bevestigd. Om een bekisting op traditionele manier te onderzoeken, is een mock-up gemaakt op basis van multiplex en ondersteunende schenkels. Mede op basis hiervan zijn de kosten voor de bekisting bepaald.

Wapening

Hetzelfde geldt voor de wapening. Voor het wapenen van de dubbelgekromde, verticale elementen zijn stalen hulpconstructies nodig om de wapening te ondersteunen en de juiste kromming te geven. De minder gekromde dakvlakken kunnen worden opgebouwd uit losse gekromde staven in beide richtingen. Door het ontbreken van ervaring op enig vergelijkbaar project is het bepalen van kosten en benodigde bouwtijd risicovol. Ook is het moeilijk zekerheid te verkrijgen ten aanzien van het behalen van de vereiste kwaliteit. De opeenvolging van vele handelingen, waaronder het produceren en positioneren van de

3

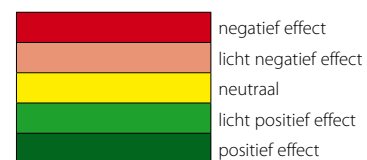
tie, Bouwmethodeken en bekistingen, Logistiek en Uitvoering en kosten – waren allemaal ingericht met deskundigen op het desbetreffende vakgebied. De voorzitters van deze clusters kwamen wekelijks samen om de desbetreffende voorstellen en uitkomsten met elkaar te delen en te coördineren.

Bekistingen

Hoewel de bouwcombinatie gewend is betonconstructies te ontwerpen, te begroten en de afschrijving voor de bekisting te bepalen met de bijpassende normeringen voor het bekisten en ontkisten, was dat bij dit project gezien de moeilijkheidsgraad van een andere orde. Er zijn diverse bekistingstechnieken onderzocht, van volledig traditionele bekistingen tot geavanceerde dubbelgebogen, geprefabriceerde bekistingselementen. Door het ontbreken van ervaring met het gebruik van dit soort bekistingen is het bepalen van de normen een hachelijke, risicovolle onderneming.



4



Onderbouw – bovenbouw

In dit artikel wordt vooral gesproken over de dakconstructie, die is omgezet van een betonontwerp naar een staalontwerp. Het project kent echter ook een interessante onderbouw. Deze is ook in het uiteindelijke ontwerp uitgevoerd in beton. In een later artikel wordt nader op deze onderbouw ingegaan, met in het bijzonder aandacht voor de maatvoering.

bekisting, het bouwen van de ondersteuningsconstructie, het moeilijke vlechtwerk en het gefaseerd, onder uiteenlopende condities, storten van het beton zijn mede bepalend voor die risico's. Ook het grote aantal partijen wat bij deze handelingen is betrokken, draagt bij aan het verhoogde risicoprofiel.

Beton of staal

In het tendertraject werd dus duidelijk dat de bouw van het referentieontwerp in beton gepaard zou gaan met een hoog risicoprofiel ten aanzien van de te realiseren kwaliteit, de bouwkosten en de bouwtijd. In de tender werd maximaal ruimte geboden voor het indienen van alternatieven. Er is dan ook naarstig gezocht naar alternatieven passend binnen de esthetische randvoorwaarden en het beschikbare budget, maar met een beter risicoprofiel. Door 'out-of-the-box' te denken zijn tijdens de brainstormfase de meest wilde alternatieven de revue gepasseerd. Uiteindelijk zijn naast het referentieontwerp twee alternatieven in staal serieus onderzocht (fig. 5).

Het eerste alternatief betreft een ruimtevakwerkconstructie met een aan de binnenzijde bevestigde staalplaat. De constructiehoogte is ongeveer 800 tot 1000 mm en de dikte van de staalplaat aan de binnenzijde bedraagt 4 mm.

Het tweede alternatief is een constructie als een binnenstebuiten gekeerd schip. Bij een schip zit de stalen sloop aan de buitenzijde, met verstijvingsribben aan de binnenzijde. Als de constructie wordt omgekeerd, ontstaat een stalen huid aan de binnenzijde van de hal met verstijvingsribben aan de buitenzijde. De constructiehoogte is ongeveer 550 mm en de dikte van de stalen sloop bedraagt 10 mm (fig. 6).

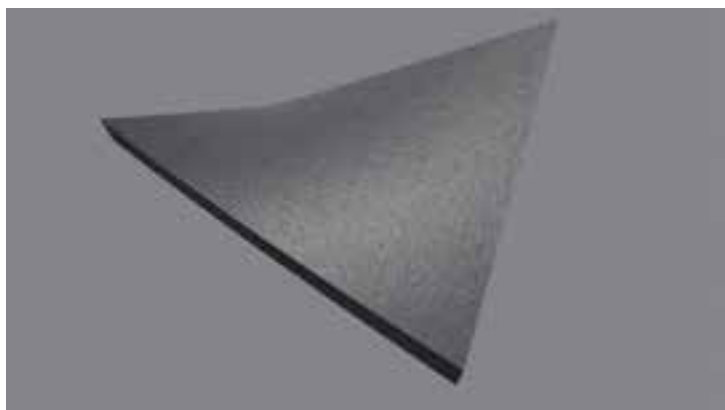
De staalalternatieven worden in de werkplaats in grote, over de weg vervoerbare, elementen geprefabriceerd en op de bouwplaats geassembleerd. Op beide alternatieven wordt een houten dakbeschot aangebracht met daarop isolatie, dakbedekking en betonpanelen als afwerking. Het architectonische beeld en de vorm blijven intact, waarbij de afwerking uiteraard wel afwijkt. De overgangen van staal op beton en de aan te brengen coating op de staalplaat zouden in goed overleg met de architect moeten worden uitgewerkt.

Tabel 1 Trade-off matrix dakalternatieven

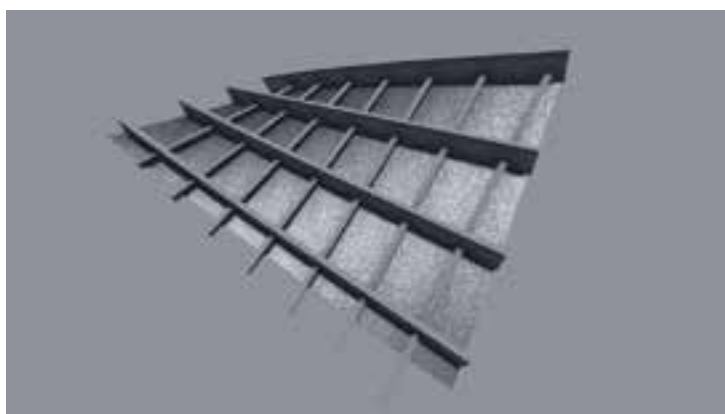
criteria	omschrijving van de oplossing	alternatief 1	alternatief 2	alternatief 3
		betonschaal	ruimtevakwerk	sloop
toepassing - vormgeving en materialisatie				
inpassing in ontwerp, constructiehoogte/slantheid		geel	rood	lichtrood
inpassing in ontwerp, eigen gewicht		geel	donkergroen	groen
inpassing in ontwerp, afwerking/schoon beton		geel	lichtrood	lichtrood
inpassing in ontwerp, raakvlakken en aansluitingen bouwkuil		geel	rood	rood
inpassing in ontwerp, raakvlakken en aansluitingen constructie		geel	rood	lichtrood
robuustheid		geel	rood	lichtrood
brandwerendheid		geel	geel	geel
geluidwering		geel	geel	geel
akoestiek		geel	geel	geel
integratie installaties		geel	geel	donkergroen
beheer en onderhoud				
vandalismegevoeligheid		geel	lichtrood	geel
repareerbaarheid		geel	donkergroen	groen
aanpasbaarheid		geel	geel	groen
reinigbaarheid		geel	geel	groen
duurzaamheid				
totaal duurzaamheid		geel	geel	donkergroen
risicobeheersing				
kwaliteitsbeheersing		geel	geel	donkergroen
veiligheid		geel	geel	donkergroen
tijdelijke ondersteuning		geel	geel	donkergroen
hinder voor de omgeving		geel	geel	donkergroen
maatbeheersing en toleranties		geel	geel	donkergroen
vormvastheid, tijdsafhankelijke vervormingen		geel	geel	donkergroen
vormvastheid, invloed temperatureffecten		geel	lichtrood	lichtrood
bouwtijdrisico, voorbereidingstijd		geel	geel	donkergroen
bouwtijdrisico, weersinvloeden		geel	geel	donkergroen
bouwtijdrisico, organisatiegraad op bouwplaats		geel	geel	donkergroen
bouwtijd				
voorbereidingstijd		geel	rood	rood
bouwsnelheid		geel	geel	donkergroen
totale bouwtijd		geel	geel	donkergroen
kosten				
directe bouwkosten		geel	lichtrood	lichtrood
beheer- / onderhoudskosten		geel	geel	geel

Keuze

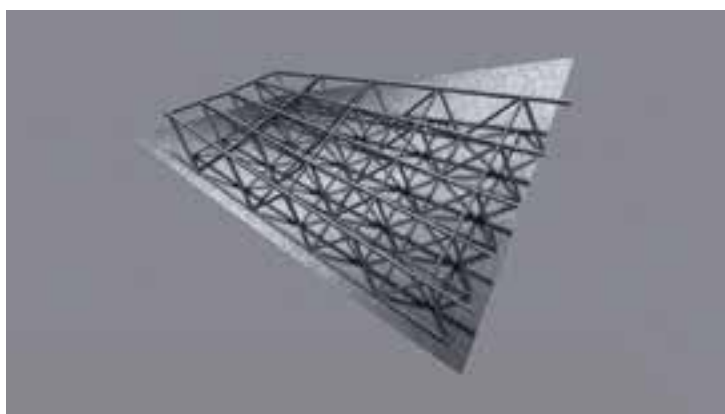
Nadat de staalalternatieven en het referentieontwerp in beton nader waren uitgewerkt, zijn de effecten van de alternatieven ten opzichte van de opgestelde beoordelingscriteria onderzocht. Hierbij is gebruikgemaakt van effectbepaling met behulp van een scoringsmatrix of trade-off matrix. Deze beoordeling is een kwalitatieve inschatting van scores op de schaal negatief effect (rood) tot positief effect (donkergroen) (tabel 1).



5a



5b



5c

Onderzoek staalalternatieven

Wat betreft de esthetische eisen op het gebied van vormgeving en materialisatie is de beoordeling uiteraard subjectief omdat het een inschatting betreft van het oordeel van de architect. Hoewel het mogelijk is om de staalplaten aan de binnenzijde te voorzien van een laag spuitbeton, is ervoor gekozen om bij de staalalternatieven een coating aan te brengen ter keuze van de architect. De betonlook vervalt daarmee en hoe zwaar dit zou wegen was niet bekend. De extra benodigde constructiehoogte voor het ruimtevakwerk is nadelig in verband met de inpassing in het ontwerp en de

aansluitingen op bestaande constructies. Ook de constructieve aansluitingen op de betonconstructies zijn complexer. Mede hierdoor is het ruimtevakwerk afgefallen.

Een potentieel nadeel van staal, de noodzaak tot het aanbrengen van brandwerende bekledingen, was hier niet aan de orde. Door het ontbreken van brandbaar materiaal in het gebouw kan zich namelijk geen brand ontwikkelen die schade kan veroorzaken aan de constructie. De staalconstructies voldoen daarom zonder extra voorzieningen aan de gestelde brandwerendheidseis van 90 minuten in de gebruiksfase. Dit was overigens in de tenderfase nog niet duidelijk.

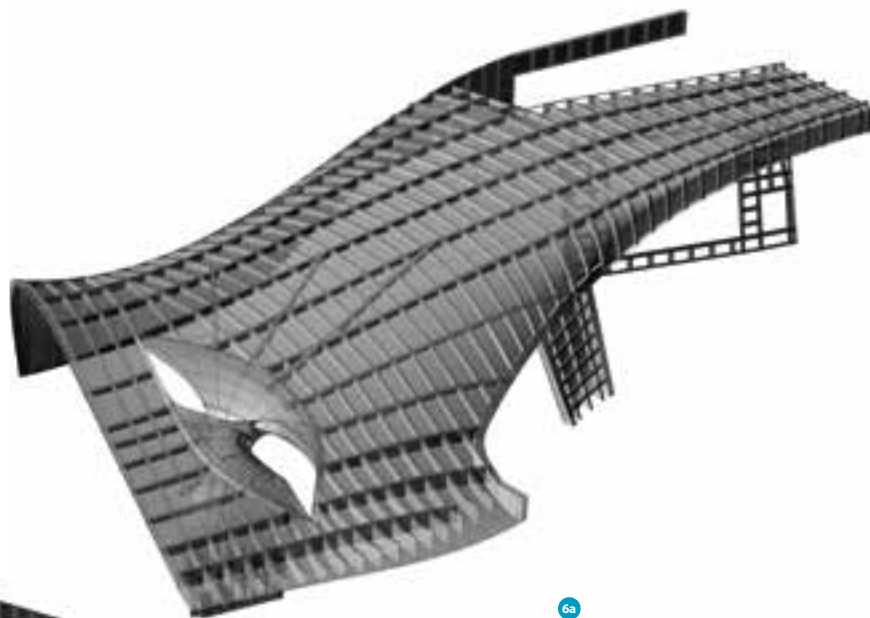
Op het gebied van beheer en onderhoud scoren de staalalternatieven volgens de Bouwcombinatie kwalitatief beter dan het referentieontwerp in beton. Door de enorme materiaalreductie zijn de staalconstructies wat betreft duurzaamheid ook in het voordeel, een criterium dat in de tenderfase eveneens nog geen rol speelde.

Risicobeheersing

Een belangrijk criterium voor de Bouwcombinatie was risicobeheersing. Bij het referentieontwerp in beton waren grote risico's aanwezig wat betreft de bekisting, het vlechten van de wapening en de invloed op de vormvastheid door de tijdsafhankelijke vervormingen. Wat betreft de maatbeheersing en vormvastheid heeft beton het nadeel van het optreden van tijdsafhankelijke vervormingen die in dit geval konden oplopen tot wel 70 mm en bovendien lastig voorspelbaar bleken. Dit betekent een groot risico met betrekking tot het realiseren van de gewenste vorm en de maatvoering van de afbouw. Het bleek moeilijk haalbaar de bouwkundige afwerking binnen de architectonische randvoorwaarden zo te detailleren, dat deze grote vervormingen opgenomen konden worden. Het toepassen van een vormvaste staalconstructie, die voor een groot deel in geconditioneerde omstandigheden in de fabriek wordt gebouwd, resulteert in een bouw met slechts drie bewerkingen. Dit zijn productie van de elementen, aanbrengen van een relatief lichte ondersteuningsconstructie en assemblage op de bouwplaats. Dit in tegenstelling tot de betonconstructie met een complexe ondersteuningsconstructie en bekisting, zeer moeilijk vlechtwerk, onder lastige omstandigheden storten van beton en een complexe ontkisting.

Bouwtijd

De nauwkeurigheid van het bouwen van de staalconstructie is groter en het behoeft geen betoog dat de bouwtijd van de staalconstructie veel korter is dan die van de betonconstructie, in dit geval circa vijf maanden. Ook het bouwtijdrisico is door de technisch complexe uitvoering met bijbehorende hoge organisatiegraad op de bouwplaats hoger voor de betonvariant. De voorbereidingstijd is voor de betonvariant korter, maar het tijdrisico tijdens de uitvoering is weer groter door de vele afhankelijke, risicovolle werkzaamheden. Temeer omdat de handelingen opvolgend door verschillende partijen worden uitgevoerd.



6a



6b

Alle handelingen voor een staalvariant, van productie tot montage, worden door één partij gedaan.

Bouwkosten

Hoewel de directe bouwkosten voor de staalvarianten hoger waren dan de bouwkosten voor de betonvariant, is in verband met de veel kortere bouwtijd en het gunstigere risicoprofiel gekozen voor de staalvariant met scheepsbouwtechniek. Een rol daarbij speelde dat aan eventuele overschrijding van de gegeven doorlooptijd een boeteclausule was gekoppeld. De staalvariant resulteerde in de meest economische aanbidding met het laagste risicoprofiel en de grootste kans om de gewenste kwaliteit te realiseren.

Opzet dakconstructie

Zoals eerder gezegd bestaat het voor de dakconstructie gekozen 'scheepsbouwalternatief' uit een dubbelgekromde schaalconstructie, uitgevoerd in staal, met een gesloten staalplaat aan de binnenzijde van de hal (zichtzijde) waarop aan de buitenzijde

op regelmatige afstanden ribben zijn gelast. Op deze ribben zijn weer flenzen aangebracht zodat een grotere momentcapaciteit ontstaat. Tussen de ribben worden vervolgens weer op regelmatige afstanden verstijvers gelast om plooi van de huidplaat tegen te gaan. De constructie draagt de hoofdzakelijk verticale belasting uit het eigen gewicht, afwerking en sneeuw af naar de (vele) steunpunten, via een combinatie van buiging en schaalwerking (normaalkracht). Door het ontbreken van een steunpunt aan de voorzijde van het dak is geen echte opsluiting van de schaal mogelijk en is de schaalwerking daarom ondergeschikt aan het buiggedrag.

Afstemming constructief gedrag

Omdat de betonconstructie en de staalconstructie door twee verschillende bedrijven binnen afgebakende verantwoordelijkheden wordt uitgewerkt, is in de berekening van het gebouw noodgedwongen een harde knip gemaakt tussen de onderliggende nieuw te bouwen betonconstructie van fase 2 en het stalen dak. Vanuit constructief oogpunt is dit niet voor de hand liggend. De vervormingen van beide onderdelen onder diverse externe belastingen beïnvloeden elkaars gedrag. Zo zal een vervorming van de onderliggende betonconstructie door het dak worden ervaren als een opgelegde verplaatsing van zijn steunpunten, met een gewijzigde krachtsverdeling tot gevolg. De belasting uit het dak bepaalt echter ook weer de vervorming van de betonconstructie zelf, terwijl de stijfheid van het stalen dak deze vervormingen weer tegengaat, enzovoort. Omdat zowel de staal- als de betonconstructie veelvoudig statisch onbepaald zijn, is de constructie als geheel gevoelig voor dit soort interacties.

Om deze interactie voor beide onderdelen te onderkennen en juist te verwerken, is een iteratieproces doorlopen waarbij vervormingen van de betonconstructie en het schaaldak op de aansluitpunten op elkaar zijn afgestemd. Wanneer onder willekeurige belasting bij gelijke verplaatsing in deze punten voor beide constructiedelen evenwicht wordt gevonden, is daarmee in beide delen de krachtsverdeling bekend. Via deze methode is

het mogelijk gebleken om de complexe interactie tussen betonconstructie en omgeving aan de ene kant en tussen het stalen dak en de betonconstructie aan de andere kant goed op elkaar af te stemmen. Hiermee zijn effecten van bijvoorbeeld een variatie van steunpuntstijfheid onder de betonconstructie meegenomen in de bepaling van maatgevende staalspanningen in het dak (fig. 7).

Twist

Naast het dubbelgekromde dak zijn ook andere constructieve elementen in staal uitgevoerd. Het meest opvallende element is ongetwijfeld de twist. Dit sterk dubbelgekromde element staat centraal in de hal en draagt een groot deel van het dak. Circa 20% van het gewicht wordt via dit bijzonder gevormde steunpunt gedragen. De complexe vorm van de twist is een van de aanleidingen geweest om in een ander materiaal dan beton te gaan denken. Het spreekt dan ook voor zich dat naast het dak ook dit constructiedeel in staal is uitgevoerd. Ook hierbij is optimaal gebruikgemaakt van de mogelijkheden die het vervor-

men van staal biedt. Door de complexe uitwendige vorm, de hoge belastingen en de benodigde inwendige verstijvingen is veel staal in de twist verwerkt. De plaatdiktes, die in het dak over het algemeen 10 mm bedragen, lopen in de twist op tot 50 mm. Ook deze plaatdiktes kunnen door de leverancier in de juiste vorm worden gebogen (fig. 8).

Aansluitingen beton en staal

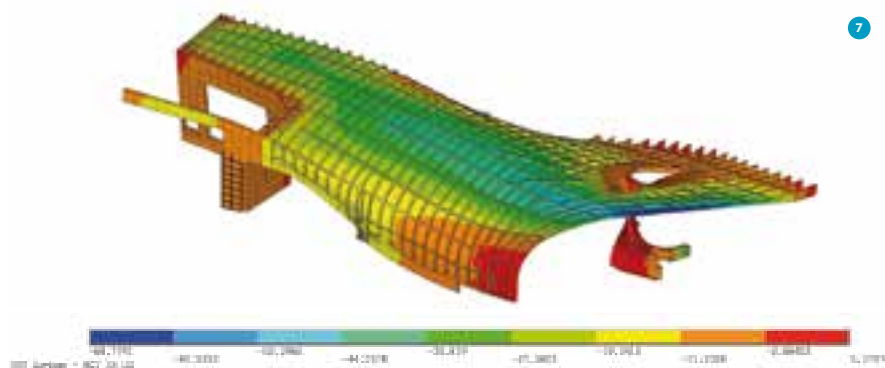
Het referentieontwerp ging uit van een vloeiende overgang van fase 1 (gerealiseerd) naar fase 2 (nog te bouwen), beide vormgegeven in beton. Dit gold niet alleen voor de architectonische vorm maar ook voor alle constructieve aansluitingen. Als gevolg van de keuze het dak in staal uit te voeren, moet een verbinding gemaakt worden tussen staal en beton. Dit geldt ook voor een aantal andere constructieve onderdelen van fase 2, waarvan in de demarcatie uiteindelijk is besloten deze in staal uit te voeren. Omdat op veel plaatsen de aansluiting zichtbaar is, worden hoge eisen gesteld aan de architectonische waarde van de verbinding. Constructief gezien moeten in veel aansluitingen grote krachten uit het staal afgedragen worden op het beton. Beide aspecten hebben ertoe geleid dat veel aandacht is besteed aan de uitwerkingen van de staal-betonverbindingen.

Verbindingsprincipe

In de verbindingen treden grote normaalkrachten en horizontale krachten in diverse richtingen op, die ontstaan uit de scheefstanden van de steunpunten. Vooral deze combinatie van krachten heeft tot grote ontwerpuitdagingen geleid. De architectonische randvoorwaarden laten het niet toe met een standaardvoetplaatverbinding krachten over te dragen. De flenzen die zouden uitsteken buiten de stalen vorm zijn om begrijpelijke redenen niet acceptabel. Daarnaast zijn de horizontale krachten te groot om via ankers op het beton te worden overgedragen. De gevonden oplossing is relatief eenvoudig waarbij maximaal gebruikgemaakt is van de mogelijkheden die het bouwen volgens het scheepsbouwprincipe met zich meebrengt.

Scheepsbouwtechniek

De term 'scheepsbouwtechniek' voor de uiteindelijk gekozen variant wordt om diverse redenen gehanteerd. De eerste reden laat zich raden wanneer men simpelweg de vorm van het dak beschouwt. Het is niet zo moeilijk voor te stellen dat deze vorm door een scheepsbouwer in staal gerealiseerd zou kunnen worden. Het volledige productieproces van de dakelementen is overeenkomstig de manier waarop schepen worden samengesteld uit schijnbaar ontelbare stukken staalplaat. De elementen worden op een scheepswerf uit losse staalplaten geassembleerd en vervolgens in het werk volledig aan elkaar gelast door hoog gekwalificeerde scheepsbouwlassers, vergelijkbaar met de wijze waarop een schip op een werf wordt samengelast. De krommingen in het staal die nodig zijn om de gewenste vorm van het dak te behalen, kunnen met standaardtechnieken uit de scheepsbouw worden gerealiseerd. Het staal wordt hierbij als het ware in de juiste vorm gekneed. Een belangrijke, meer constructieve reden is, dat in het geval van deze dakconstructie de volledige huidplaat wordt benut in het afdragen van de belastingen. Overeenkomstig de huid van een schip worden de belastingen via de ribben en verstijvers over de gehele huidplaat verdeeld. Dit in tegenstelling tot veel (vlakke) staalconstructies die voor gebouwen dan wel bruggen worden gebruikt, waarbij het begrip 'meewerkende breedte' de effectief in rekening te brengen staaldoorsnede beperkt. Het aantal ribben en verstijvingen is in deze dubbelgekromde dakconstructie dan ook groter dan men op basis van vlakke constructies uit de bouw zou verwachten.



● PROJECTGEGEVENS

project OV-Terminal Arnhem

opdrachtgever ProRail

architect UNStudio

opdrachtnemer Bouwcombinatie OV Terminal Arnhem

VOF (Ballast Nedam en BAM)

constructeur fase 1 (onderbouw) Arup

constructeur o.a. parkeerkelder (onderbouw) Van der

Werf en Lankhorst

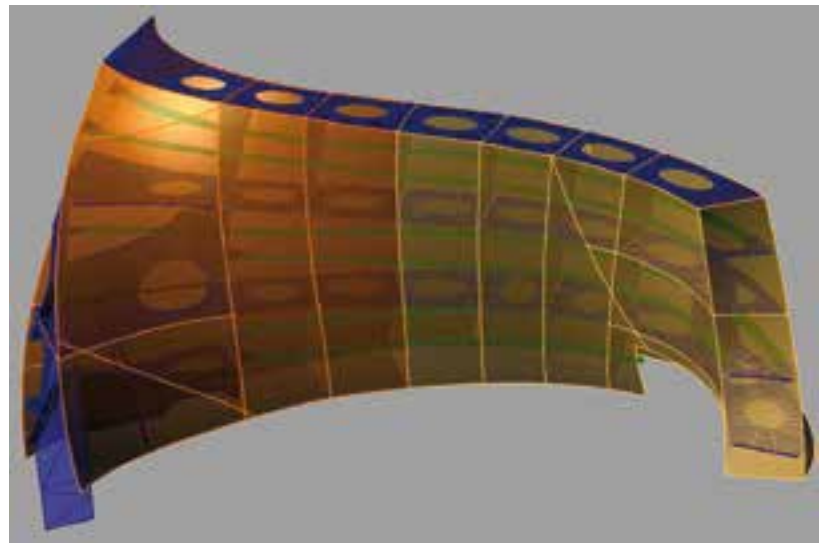
Constructeur fase 2 (bovenbouw) BAM Advies &

Engineering

Toetsend constructeur fase 2 namens

Bouwcombinatie ABT

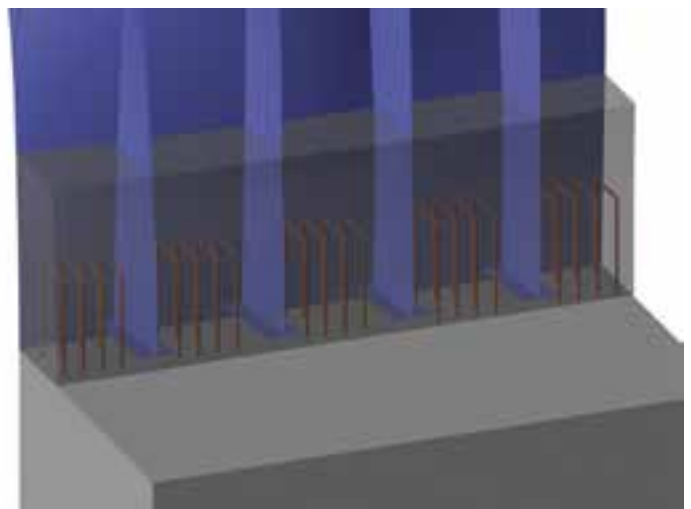
Producent stalen dak Centraalstaal Construction



8

Volgens dit principe zijn alle stalen elementen aan de binnenzijde op regelmatige afstanden voorzien van ribben. Door het aanbrengen van een voetplaat onder deze ribben kunnen de verticale belastingen aan het beton worden afgedragen. De horizontale belastingen worden via betondeuvels opgenomen. Dit zijn betonnen opstorten die zich tussen de ribben van het staalement bevinden. Om deze opstorten te kunnen realiseren, is uitstekende beugelwapening in de onderliggende betonconstructie opgenomen. De uiteindelijke verbinding tussen staal en beton wordt gemaakt door na positionering van het staalement deze over een hoogte van circa 1 m vol te storten met beton. Voldoende vrije ruimte onder de voetplaat en het juiste betonmengsel garanderen de vullingsgraad onder de voetplaat. Bijkomend voordeel is dat met deze methode geen ankers nodig zijn om verbinding te maken tussen staal en betonnen ondergrond. De elementen kunnen met behulp van stelblokjes worden gesteld en vervolgens afgeschoord. Het is dus niet noodzakelijk dat de binnenzijde van de stalen elementen (voor mensen) toegankelijk is en van bovenaf gevuld kan worden met beton. De stalen elementen kunnen hierdoor groter worden uitgevoerd wat als bijkomend voordeel heeft dat minder laswerkzaamheden op de bouwplaats nodig zijn. Tevens is met dit principe minder coördinatie nodig tussen de constructeur van de betonconstructie en de leverancier van de stalen elementen (fig. 9).

Het gekozen verbindingsprincipe brengt wel met zich mee dat een momentvaste verbinding (om de zwakke as van het element) moeilijk realiseerbaar is. Het oorspronkelijke betonnen ontwerp ging uit van een monoliete verbinding tussen de betonnen delen, met momentcapaciteit op de zwakke as. Dit verschil is in het ontwerp van de stalen schaal meegenomen door de oplegpunten met het beton als scharnieren te beschou-



9

wen. Het effect hiervan is onderzocht en bleek op zowel de staal- als betonconstructie zeer beperkt. De momentcapaciteit die als gevolg van de monoliete verbinding impliciet wel aanwezig is, wordt beschouwd als constructieve reserve wat bijdraagt aan de filosofie dit gebouw robuust te ontwerpen.

Tot slot

De gekozen contractvorm bij OV-Terminal Arnhem heeft bijgedragen aan het vergroten van het creatief innoverend vermogen van de Bouwcombinatie. Tevens bewijst dit project dat het lonend kan zijn out-of-the-box te denken en technieken uit een andere wereld innovatief in te zetten in de wereld van gebouwen. Zonder deze omstandigheden was het alternatief in staal met scheepsbouwtechniek niet van de grond gekomen. ☒