



OV-terminal Arnhem

// **Opdrachtgevers:** Ministerie van
Infrastructuur en Milieu, NS,
Gemeente Arnhem

// **Bouw:** april 2013 – november 2015



Hoe bouw je een golvende OV-terminal met wanden die in vloeren en daken overvloeien met een twist als steunpunt? In Arnhem is deze klus geklaard met vernieuwende technieken en materialen, zoals een monocoque constructie van scheepsbouwstaal, een microbetonnen dakbeplating en scheluwe glasgevels.



*De vloeiende vorm van de
OV-terminal sluit aan op de
hoogteverschillen in het gebied.
(Foto: Hufton+Crow)*



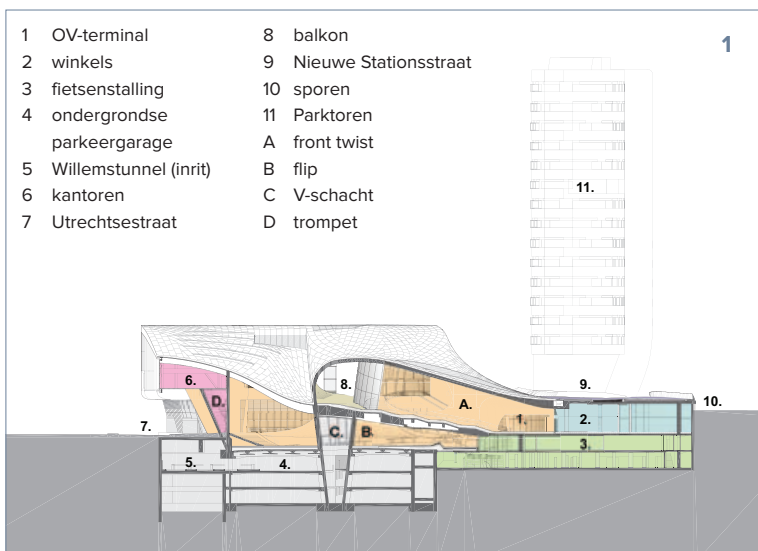
// STATE OF THE ART

Centraal in de OV-terminal staat de stalen twist. Het is de dragende constructie voor het dak, waarin vloeren en wanden in elkaar overlopen. (Foto: Hufton+Crow)





// STATE OF THE ART



1 // Doorsnede door de OV-terminal. (Bron: UNStudio) 2 // De dakconstructie is opgebouwd als omgekeerde scheepshuid met de ribben en flenzen aan de buitenzijde. (Foto: Maarten Meuleman) 3 // Montage van de geprefabriceerde stalen dakelementen. (Foto: Maarten Meuleman)

Bijna twintig jaar na het eerste spectaculaire ontwerp van UNStudio is de futuristische OV-terminal van Station Arnhem dan toch gerealiseerd. Bottleneck in de ontwikkeling van de OV-terminal was de golvende betonnen dakconstructie. De bouwsector vond de risico's te groot.

Een marktconsultatie leverde nieuwe ideeën op die de haalbaarheid bevorderden, waaronder de toepassing van scheepsbouwmethoden. De enorme overspanning maakte het mogelijk om vrijwel kolomloos te bouwen. Alleen in de ondergrondse fietsenstalling zijn die zichtbaar. De fietsenstalling maakt onderdeel uit van fase 1 van de OV-terminal, samen met de perrontunnel uit 2011. Tien jaar eerder was al de vier lagen diepe parkeergarage opgeleverd.

Constructie is één met architectuur

Fase 2, die voornamelijk bestaat uit de pas geopende stationshal met aansluitend een vierlaags kantoor, is het toefje slagroom op de taart. Wanden en vloeren maken een golvende beweging door de ruimte. Kenmerkende constructieve onderdelen zoals de getordeerde stalen twist, een flip onder het balkon en een betonnen trompet werken zowel constructief als richtinggevend voor het publiek. De constructie is zodoende één met de architectuur. "Dat is tevens het meest listige. Want de ruwbouw is daarmee direct de afbouw, waardoor er geen toleranties zijn", vertelt Menno van Middelkoop, projectleider namens de bouwcombinatie OVT Arnhem van Ballast Nedam en BAM. Ook de verwevenheid van constructies die afsteunen op de eerder gebouwde parkeergarage is uitdagend. En het trein- en busverkeer ging natuurlijk gewoon door tijdens het werk.

Twist bepalend voor bouwmethode

Voor de leek is het kunststuk wellicht niet meer dan een verrassende en vloeiende ruimte, maar de professional zoekt naar de bouwtechnische logica. Die is in het ontwerp van UNStudio zeer gecompliceerd. Al eerder heeft architect Ben van Berkel van UNStudio zulke dubbelgekromde constructies ontworpen, bijvoorbeeld voor het Mercedes-Benz Museum in Stuttgart en het muziekcentrum Mumuth in Graz.

Het Mumuth kent net als de OV-terminal een twist als dragende constructie. Met een bekisting van EPS-schuim en wapening van profielstaal was het gelukt om de twist in beton uit te voeren. Deze exercitie leidde tot een fraai kunststuk, maar de ervaringen in Graz waren niet uitsluitend positief: ook hier heeft de realisatie van het bouwwerk uitzonderlijk lang geduurd en waren er ingrijpende technische en financiële consequenties aan verbonden. Het risicoprofiel van deze bouwmethode werd daarom voor de OV-terminal te hoog gevonden vanwege de vorm van de bekisting, de wapening en het pompen van het beton door een smalle schacht. Datzelfde argument gold voor het betonnen dak, dat bovendien computergestuurd gestempeld moest worden. Door deze risico's mislukte de aanbesteding in 2007. "We hebben het werk daarom in twee fasen opgesplitst. Zo kwam er tijd om voor de bovenbouw een aparte marktconsultatie te doen en de aanbesteding hiervoor als geïntegreerd UAV-GC-contract uit te zetten. Voor een maximale vaste prijs van 37,5 miljoen euro moest de bouwcombinatie het werk zoveel mogelijk volgens het oorspronkelijke ontwerp uitvoeren. Wel mochten de inschrijvers eigen voorstellen doen voor de toe te passen bouwmethode", legt Karin van Helmond, projectmanager stationsgebied Arnhem van ProRail, uit.

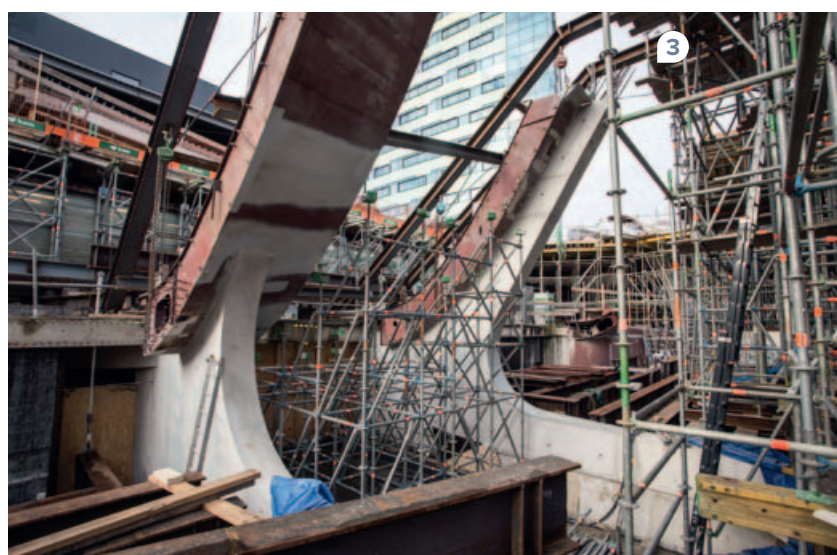
Monocoque van scheepsstaal

Zo kwam het dat de combinatie OVT Arnhem (Ballast Nedam en BAM) met de scheepsbouwer CIG Architecture de tender won met een hybride bouwmethode. Deze bestaat uit een combinatie van in het werk gestorte betonnen vloeren en wanden, plus een stalen schaaldak op gebogen draagconstructies als monocoque constructie. Hierbij zijn de stalen huid en draagconstructie volledig geïntegreerd als bij een scheepsromp. De 10 mm dikke huid zit aan de binnenzijde terwijl de versterkende ribben en flenzen aan de buitenzijde zitten. In vergelijking met het Infoversum, waar deze bouwmethode met scheepsstaal eerder is toegepast (zie Bouwwereld 2014-5), dus net andersom. Met maar liefst 150 verschillende stalen secties is het schaaldak met een vrije overspanning van circa 40 bij 60 meter in elkaar gelast. Het dak rust op een stalen twist van 16 meter hoogte. Deze vorm begint onder in de fietsenstalling op laag -1 en heeft een spanwijdte van 26 meter. In het dak boven de twist is een oogvormige opening uitgespaard voor een verrassend daklicht. Het gebruik van staal leverde ten opzichte van beton een enorme gewichtsbesparing op en door de prefab uitvoering was er bovendien meer controle wat betreft maatvoering, kwaliteit en tijdsduur. Hoewel het mogelijk was het staal te voorzien van een laagje beton om het oorspronkelijke ontwerp te volgen, kozen ProRail en Van Berkel hier niet voor. De stalen oppervlakken zijn afgewerkt met een duurzame metallic coating, waardoor het verschil met de betonvlakken zichtbaar blijft. Met als voordeel dat deze veel minder onderhoud vergen dan een poreus betonoppervlak.

Flipconstructie

De verwevenheid van beton- en staalconstructies is groot. Middelkoop: "Tentakels gaan diep in fase 1 voor de aansluiting. Dat vraagt om een andere manier van werken." De constructieve samenwerking is met nieuwe rekenprogramma's bepaald. Daarbij speelde een rol dat voor de scheepsbouw andere normen gelden dan voor utiliteitsbouw, dus ook op dat gebied was afstemming nodig. Eén van de plaatsen waar de samenwerking tussen beton en staal goed tot uitdrukking komt is de flip. Deze gebogen wandconstructie ondersteunt het balkon op de eerste verdieping. Uit de vloer rijst de 9 meter hoge flip omhoog als een 70 graden schuine wand. De vloer is van beton, maar het opgebogen wanddeel is uitgevoerd in staal. Om de lasten uit het balkon te dragen, staan er twee betonnen penanten met een fraaie ronding tegenaan. Een uiterst lastige constructie om te bouwen, want staal kent nu eenmaal veel kleinere toleranties dan in het werk gestort beton. Bovendien was voor de verankering gekozen voor aangelaste wapening aan de stalen wanddelen. Daarom zijn de penanten gestort door eerst twee secties

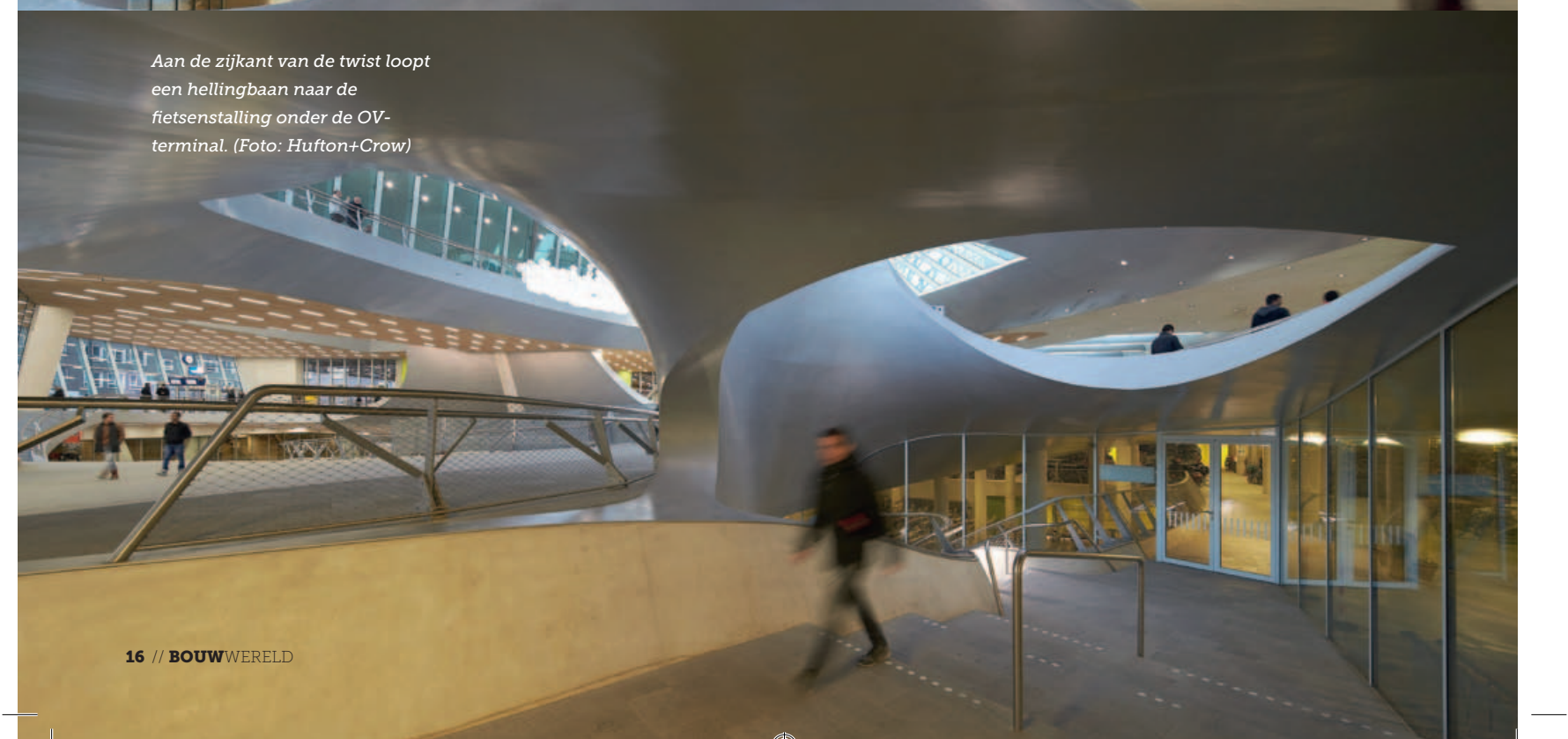
Het dak rust op een 16 meter hoge stalen twist. Deze begint onder in de fietsenstalling en heeft een spanwijdte van 26 meter



1 // De stalen twist draagt het dak. (Foto: Maarten Meuleman) 2 // Bekisting voor de penanten van de flip, die onder de stalen elementen zijn gestort. (Foto: Maarten Meuleman) 3 // Deze stalen elementen zijn in een tijdelijke constructie gehangen om de penanten eronder te kunnen storten. (Foto: Maarten Meuleman)



Zicht op de in gecoat staal
uitgevoerde twist met de
daklichten. (Foto: Hufton+Crow)



Aan de zijkant van de twist loopt
een hellingbaan naar de
fietsenstalling onder de OV-
terminal. (Foto: Hufton+Crow)

van de stalen wanddelen op te hangen in een hulpconstructie en daarna het beton voor de penanten te storten in een speciale bekisting met schenkels voor de vorm. Vanwege de lastige vorm, de dichtheid van de wapening en de onmogelijkheid om met trilnaalden te werken, is zelfverdichtend beton gebruikt. Het resultaat is verbluffend goed geworden. Door de scheefstand van de wand treden echter horizontale krachten op die te hoog zijn voor de eerder gebouwde constructies van de parkeergarage. Deze krachten worden daarom gecompenseerd door stalen trekbanden onder de vloer, die zorgen voor een constructief evenwicht. Middelkoop: "Qua bijzondere bouwmethodieken en hulpconstructies is alles uit de kast gehaald om dit hier mogelijk te maken. Aan een tekening heb je hier niets, want alles komt uit het 3D-model. De maatvoerder is de belangrijkste persoon geweest, het ankerpunt van voorbereiding naar uitvoering. Dat was voor ons een omslag in uitvoeringszaken. Alles moest bovendien weer aansluiten op de gerealiseerde toestand op dat moment, die we inmaten. Zo werd het een dynamisch 3D-model."

Getordeerde glazen gevels

Maar niet alleen de constructie, ook de aansluitingen, detaillering en afwerking van gevels en daken stelden de bouwers voor uitdagingen. Zo buigen de glazen gevels mee met de golvende constructie. Dat resulteert in vele ronde en getordeerde gevelvlakken. Gevelbouwer BRS construeerde de stalen vliesgevels met grote vlakken van isolatieglas, die deels koud gebogen zijn. "Door de positionering van de stijlen zijn de glasvlakken vaak maar heel licht getordeerd, maar oogt het geheel als een ronde gevel. Pas op het laatst komt die sterkere buiging in het glas. Dat is zeer vernuftig ontworpen door de architect", aldus Middelkoop. Voor het handhaven van het gematigde buitenklimaat in de hal is zonwerend en isolerend glas toegepast. Middels vloerverwarming en -koeling wordt het niet kouder dan 5 °C in de winter en niet warmer dan 25 °C in de zomer.

Meebewegende pui

Een lastig probleem deed zich voor bij de tot 12 meter hoge pui langs het zogenaamde balkon langs de publiekshal en de opstelplaats voor de trolleybussen. Deze staat onder de staalconstructie met



1 // Rechts op de foto is de flip te zien die het balkon draagt. In de flip werkt de dragende stalen wand samen met de betonnen penanten. (Foto: Hufton+Crow) 2 // De twist loopt visueel door tot in de fietsenstalling. (Foto: Hufton+Crow)



In de glooiende gevel is koudvervormd isolatieglas toegepast. (Foto: Josine Crone)

de grootste overspanning (12 m) in de OV-terminal, die van de twist over het balkon loopt. Hier treden vrij grote vervormingen op, doordat de vloer en het dak op een verschillende wijze belast kunnen worden. Middelkoop: "Waar normaal de belasting door een pak sneeuw maatgevend is voor de vervorming van een dak, is hier juist de invloed van de temperatuur bepalend. Als daarnaast de belasting op de balkonvloer hoog is, bijvoorbeeld door een juichende menigte als Vitesse kampioen is geworden, buigt bovendien de vloer door. We moesten dus een gevelconstructie bouwen die de bewegingen in het dak in combinatie met de vloer kon opvangen. Het gaat om maximaal centimeters vervorming. Dat is opgelost door boven aan de gevelstijlen een soort scharnierend eindstukje te maken, dat in drie richtingen de beweging kan opvangen. Het glas beweegt mee door gebruik van een rubberen harmonicaprofiel, dat qua maatvoering voor dit project is aangepast."

Om condensvorming op de hoge puien te voorkomen zit in de kliklijst boven het glas een verwarmingslint met sensoren. Op het moment dat de temperatuur onder de grenswaarde daalt en/of de luchtvochtigheid stijgt, gaat het lint, aangestuurd door de sensor, verwarmen om condensvorming tegen te gaan.

"We moesten een gevelconstructie bouwen die de bewegingen in het dak in combinatie met de vloer kon opvangen"



Detail van de flexibele gevelaansluiting onder het dak. (Foto: Josine Crone)

Gelaagd dak met microbeton

Het schaaldak ligt voor een belangrijk deel in het zicht en moest een fraaie afwerking krijgen, net als de dichte delen van de gevels. Dus geen coating zoals op het Infoversum, waar de stalen huid aan de buitenzijde zit. Ook een tweede dak-huid met aluminium sandwichpanelen, zoals op EYE filmtheater en het theater in Spijkenisse, was in dit geval niet mogelijk door de dubbele krommingen in het dakvlak. Daarom is voor de OV-terminal door Sorba een andere oplossing ontwikkeld met 40 mm dikke microbetonnen dak- en gevelplaten, die grotendeels dubbelgekromd zijn. De 1450 panelen zijn door mbX gefabriceerd en zijn allemaal verschillend van vorm en afmetingen. Om deze vormen te realiseren zijn verstelbare mallen gemaakt met vlakke stalen platen, waarop het beton is gestort. Daarna is de glooiing erin gebracht met behulp van een membraan met mechanische cilinders. De panelen met een te sterke kromming voor de verstelbare mal zijn in gefreesde mallen van EPS gestort. Vanwege de vorm en de beperkte dikte is gekozen voor glasvezelgewapende hogesterktebeton. Zelfs de instortvoorzieningen voor bevestigingspunten zijn op ingenieuze wijze aangebracht door projectie met een laser. Zo konden de microbetonnen panelen geheel genummerd en voorzien van bevestigingsbeugels op het werk komen. Deze zijn op houten klossen bevestigd, die zijn afgedekt met een aluminium. Eronder liggen de EPDM-dakbedekking en een isolatielaag van betopor op een houten dakbeschot op het stalen



Het met houten latten beklede plafond bestaat uit speciaal behandeld oregon pine en voldoet aan de brandklasse-eisen.

dak. Het bevestigen van de microbetonnen platen op de klossen was een secuur werk, door het complexe lijnenpatroon dat consequent over het dak loopt. De glasregels in de daklichten volgen dit patroon.

Brandvrij plafond

Het gevolg is dat aan de binnenzijde de glasregels soms willekeurig verstrooid lijken in het met houten latten beklede plafond. Ook daar zit een heel verhaal aan vast, aldus Middelkoop. “Van Berkel wilde graag een naturelkleurig materiaal zoals hout of bamboe, maar in de terminal mag vanwege het brandconcept absoluut geen brandbaar materiaal aanwezig zijn. Na onderzoek van diverse varianten bleek dat behandeld oregon pine aan de eisen van de geëiste brandklasse kon voldoen. Het hout is in Schotland een half jaar via een speciaal procédé geïmpregneerd met een monomeer, die bij 80 graden verhitting verandert in een polymeer. Door de binding aan het hout is herhaling van de behandeling niet nodig.”

Het houten plafond golft heel vanzelfsprekend mee met de vormen van de terminal. Eigenlijk lijkt alles hier vanzelfsprekend, maar het heeft van alle bouwpartijen veel gevraagd om dit resultaat te bereiken. Karin van Helmond benadrukt dat ProRail en de bouwcombinatie het geloof nooit hebben verloren in het project, al was het razend ingewikkeld. Nu het is voltooid zien anderen, zoals de gemeente, ook dat het werkt. “Er was lef voor nodig om na de eerste mislukte aanbesteding toch door te gaan en niet te zeggen: het kan dus blijkbaar niet. Want het heeft al met al lang

geduurd, maar we hebben het met een sterk team gered door ons niet blind te staren op risico's en door de kracht van de samenwerking op te zoeken.” Behalve een indrukwekkend station heeft de bouw van deze terminal veel ervaring opgeleverd met het construeren van dubbelgekromde vormen.

De OV-terminal Arnhem heeft de Betonprijs 2015 gewonnen in de categorie utiliteitsbouw.

Projectgegevens (fase 2, OV-terminal) // Opdrachtgevers: Ministerie van Infrastructuur en Milieu, NS, Gemeente Arnhem, arnhemcentraal.nu // **Gedelegeerd opdrachtgever:** ProRail, Utrecht, prorail.nl // **Architect:** UNStudio Amsterdam, unstudio.com // **Engineering en uitvoering:** Bouwcombinatie OV-terminal Arnhem (BCOVTA: Ballast Nedam en BAM) // **Constructeur:** BAM Advies & Engineering als hoofdconstructeur, bam.nl; ABT als toetsend constructeur, abt.eu // **Adviseur installaties:** Arcadis, arcadis.com; BAM Techniek, bam.nl; Unica, unica.nl // **Adviseur brandveiligheid en bouw fysica:** DGMR Bouw BV, dgm.nl // **Bouwkosten OV-terminal:** 37,5 miljoen euro, incl. installaties, excl. btw // **Bruto vloeroppervlakte:** 21.750 m², waarvan transferruimte hal: 5.355 m²; transferruimte tunnel: 2.475 m²; fietsenstalling: 6.145 m²; commerciële ruimte: 4.890 m²; kantoorruimte: 2.885 m² // **Bouwperiode:** april 2013 – november 2015



De microbetonnen dakpanelen zijn allemaal verschillend van vorm en afmetingen. (Foto: Maarten Meuleman)



Het dak van de OV-terminal is voorzien van dubbelgekromde dakelementen in een strakke belijning. (Foto: Hufton+Crow)