

Spoorbelichaming

Na jarenlang praten en onderhandelen is het in 2003 zover: gemeente Utrecht en de Rijksoverheid zijn het eens over de nieuwe Openbaar Vervoer Terminal Utrecht, een gebouw dat trein-, bus- en tramperrons 'onder één dak' brengt, en het oosten en westen van Utrecht verbindt.

ProRail is projectmanager. Na aanbesteding van ingenieursdiensten wordt advies- en ingenieursbureau Movares geselecteerd voor de engineering van voorontwerp tot en met bouwbegeleiding, in samenwerking met Benthem Crouwel Architects. Nadat het definitief ontwerp klaar is, ondertekenen ProRail en de gemeente in 2007 de projectovereenkomst, met verdeling van taken,

budget en risico's en wordt een Gemeenschappelijke Uitvoeringsorganisatie (GUO) opgericht.

Namens de GUO is ProRail gedelegeerd opdrachtgever. De ontwerpen worden uitgewerkt tot bestekken, ruimtelijke procedures doorlopen en aannemers gecontracteerd. Eind 2010 kan Besix Nederland beginnen. Zes jaar duurt de bouw. In een aantal stappen wordt het station deel voor deel vernieuwd, om de onophoudelijke stroom reizigers elke dag minimaal te hinderen.

Het voorontwerp is gemaakt in 2003, het definitief ontwerp in 2005, het STABU-bestek in 2009 en de uitvoering is begonnen in januari 2011. Inmiddels is het 2016.

De oplevering heeft plaatsgevonden in november en de stationshal is in december geopend: een ruime overkapping met aan de zuidkant uitzicht over het geheel vernieuwde spooreplacement en aan de noordzijde een vide met horecagelegenheden. De busperrons bevinden zich net als de treinperrons onder de stationshal met dezelfde outillage. Daar komt ook nog de tramverbinding naar de Uithof bij. Elke dag komen er zo'n 280.000 reizigers op Utrecht Centraal en dit zullen in de toekomst alleen maar meer worden. •

ir. J.E.F. Berends

Han Berends is Projectmanager Openbaar Vervoer Terminal Utrecht bij ProRail in Utrecht.





Ordening met geleiding

Naar verwachting groeit het aantal reizigers in Utrecht Centraal tussen 2016 en 2036 naar ongeveer honderd miljoen per jaar. Omdat het vorige gebouw deze aantallen niet kon verwerken, heeft Utrecht een nieuw integraal stationscomplex gekregen, dat de afhandeling regelt voor zowel de trein en tram, als de lokale en regionale bussen.

ir. P. van Rooij

Pieter van Rooij is senior architect bij Bentham Crouwel Architects in Amsterdam.

Hoog Catharijne wordt gerenoveerd waarbij de bestaande winkelpassage wordt vervangen door twee evenwijdige oost-westroutes,

de centrumboulevard. De aaneengesloten interieurs van Hoog Catharijne en het station worden ontkoppeld. Er is aan de oostzijde een groot plein gekomen met ondergrondse fietsenstalling. Vanuit Hoog Catharijne komt het publiek onderweg naar het station via een verhoogd voorplein in de open lucht. De stationshal manifesteert zich aan de andere kant van het plein als een vrijstaand gebouw. Het station is dus zichtbaar als een duidelijk gebouw met een begin en een eind.

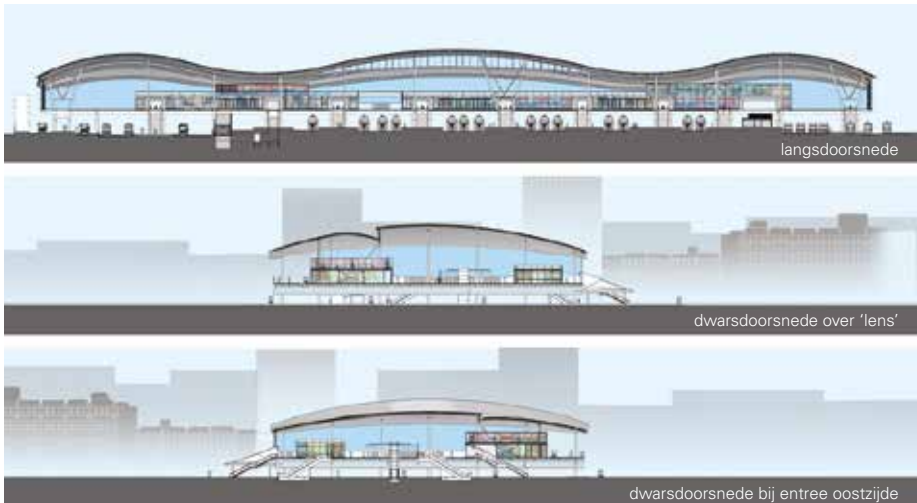
Kleur en ambiance

Ook de Jaarbeurszijde heeft een verhoogd voorplein, met daaronder eveneens een fietsenstalling, waar naast de stationsentree ook

de entree naar het nieuwe stadskantoor te vinden is. Het golvende dak en de hoge glasgevels met uitzicht op de omgeving geven het interieur een bepaalde allure zonder overdreven aandacht te vragen. Het publiek en alle typische toevoegingen die een station levendig maken, geven kleur en ambiance.

Zonering stationstraverse

In de uitgestrekte hal kunnen reizigers hun weg vinden door een duidelijke zonering, waarbij elke zone wordt gemarkeerd door liften en roltrappen. In de kern (middenzone) komen alle roltrappen uit. Dit is de over- en instapzone waar in één oogopslag de nummering van alle perrons kan worden overzien met verwijzingen naar trein, bus en



De geleiding is vooral bedoeld om de 'koppen' met busstations en de sporen in het middengebied te markeren.



Noordwestelijke hoek van de OV-Terminal en het Stadskantoor Utrecht.

tram. In de centrale as van deze zone staan de liften uitgelijnd met transparante constructies van staal en glas. Geroutineerde reizigers nemen vaak in eigen tempo de trap met snelle routes die de roltrappen ontzien. Op traverseniveau sluiten de trappen aan op twee zones parallel aan de kernzone, achter de roltrappen langs. De grote stromen uitstappers hinderen zo de in- en overstappers minimaal.

Commerciële functie

De commerciële functies liggen in de gevelzones zodat die het reizigersverkeer zo min mogelijk in de weg te zitten. Aan de noordzijde is de tussenruimte tussen de trappen benut voor twee lange commerciële zones. Aan de

zuidzijde zijn dat kleinere kiosken waardoor er vanuit de hal uitzicht op de omgeving is. Strakke vormgeving zorgt voor een ordelijk totaalbeeld waarin reclame-uitingen goed kunnen worden beheerst. Het totaal aan commercieel oppervlak is op 7800 m² gebracht; waarvan 1800 m² voor horeca met terrassen.

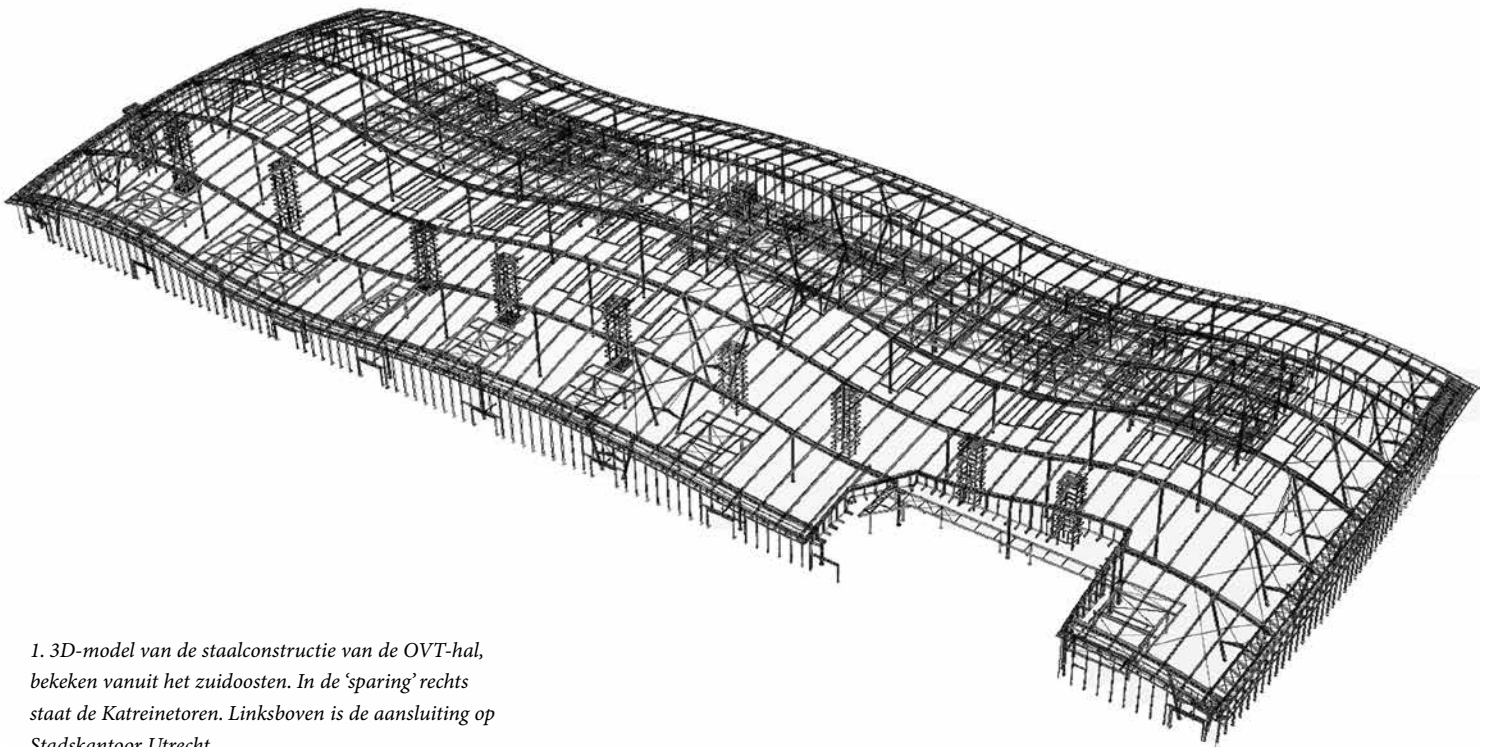
Interieur boven exterieur

Te midden van kantoorgebouwen is het station, ondanks een hoogte van ruim 17 m, een laagbouw. Het uitzicht vanaf de verhoogde voorpleinen versterkt dat beeld. Het stalen dak, zichtbaar vanuit de omliggende kantoren, is ontworpen als vijfde gevel. Vanuit in patronen gespreide dakopeningen straalt 's avonds licht uit. Het dak is in de



De interwijkverbinding heeft gelijke geleiding.

langs- en dwarsrichting gekromd. Deze golfbeweging is primair ontstaan uit de wens om het interieur, meer dan 200 m lang, een geleiding te geven die de beide busstations aan de koppen markeert en positioneert ten opzichte van het treinstation in het midden. Een 'lens' boven het middendeel zorgt voor extra lichtinval. De constructie van de hal maakt gebruik van de bestaande funderingsbalken en een uitbreiding daarvan in dezelfde maatvoering. Onder een golvend dak kunnen probleemloos scheefstaande kolommen worden toegevoegd, waardoor met een minimum aan constructie de stabiliteit wordt geborgd. •



1. 3D-model van de staalconstructie van de OVT-hal, bekeken vanuit het zuidoosten. In de 'sparing' rechts staat de Katreinetoren. Linksboven is de aansluiting op Stadskantoor Utrecht.

Golfslagdak

De afspraak van ProRail met de gemeente Utrecht, NS en overige vervoersbedrijven om een integraal openbaar vervoersknooppunt te realiseren, is essentieel. Voor de integratie wijken vier verschillende kappen voor één dubbelgekromd dak, waarvoor schoorkolommen op de bestaande en nieuwe moerbalken worden geïntroduceerd voor stabiliteit in de breedte. De stabiliteit in langsrichting komt voor rekening van gezichtsbepalende windbokken. Voor het golvend dak met twee dilataties moet wel extra winddruk en -zuiging in rekening worden gebracht.

ir. J.R. Faber, ir. M. Bahri en ing. V.A.M. Ottenhof

Jan Faber is consultant, Mauny Bahri is constructief adviseur en Vincent Ottenhof is adviseur brandveiligheid, allen bij Movares in Utrecht.

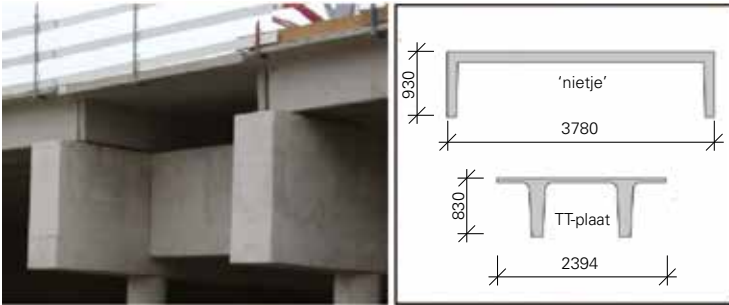
Het voormalig station kenmerkte zich door een reeks aan overkappingen met elk een eigen ontwerp. Om zowel vanaf het Jaarbeursplein als vanaf Hoog Catharijne een comfortabele toegang tot het station te hebben, zijn er in het verleden, gefaseerd, verschillende kappen naast elkaar gebouwd: het 'hoog-laagdak', dat de toegang was vanaf Hoog Catharijne naar het station, het 'Brederoede-dak' dat zich bevond boven de perrons 1, 2 en 3 en aansloot op de Katreinetoren, de 'Markenhofbogen' (afb. 3), die tot en met perron 7 doorliepen, en de 'Jaarbeustraverse', die toegang gaf vanaf het Jaarbeursplein. De 'Markenhofbogen' zijn de meest bekende.

De vloer van het bestaande deel van de stationshal bestaat boven de sporen uit TT-platen op betonnen moerbalken van 2,0 m hoog (afb. 2). Per perron liggen er twee moerbalken met daartussen een dunne prefabvloer

in de vorm van een 'nietje'. In die strook bevinden zich ook de stijpunten. De TT-platen hebben een overspanning tot maximaal 20,6 m en de 'nietjes' van 4,2 m en hebben beide een hoogte van 970 mm. De toelaatbare veranderlijke belasting van de bestaande vloer is 5,0 kN/m². De vloeruitbreiding vindt met dezelfde elementen (TT-platen en nietjes) plaats. De toelaatbare veranderlijke vloerbelasting is wel hoger: 7,0 kN/m². In de nieuwe situatie is de OVT-hal (de traversevloer en de overkapping) vergroot tot 246x91 m en overdekt daarmee nu zowel de trein-, tram- als de busperrons. Er is één groot (dubbel gekromd) dak ontworpen met dezelfde afmetingen en een maximale inwendige hoogte van ruim 17 m. Vrijwel alle oude vloerelementen zijn hergebruikt.

Kabels en leidingen

Mede om de kabels en leidingen in de hoofdliggers van de overkapping onder te brengen, is er gekozen voor kokervormige langsliggers van 957 mm hoog, 457 mm breed met een wanddikte van 25 mm. De gelaste liggers hebben een gebogen bovenkant met een



2. TT-platen en nietjes tijdens de bouw. De toelaatbare veranderlijke belasting van de bestaande vloer is $5,0 \text{ kN/m}^2$. De uitbreiding heeft dezelfde elementen, maar met een capaciteit van $7,0 \text{ kN/m}^2$.

diameter van 457 mm. De platte onderkant wordt voorzien van een doorgaande lichtlijn met een gebogen afdekkap met eveneens een diameter van 457 mm. Omdat in de bestaande situatie de kolomafstanden over de sporen al varieerden en niet alle bestaande en mogelijke kolomposities in het nieuwe ontwerp zijn gebruikt, variëren ook de overspanningen van de nieuwe hoofdliggers. De stijfheidseisen bepalen hoofdzakelijk de afmetingen van de profielen en niet de sterkte-eis. Hierdoor ontstaat er een nuttige marge op de sterkte-eis die later goed van pas komt bij de vele doorvoersparingen in het profiel. Dure, tijdrovende lokale versterkingen zijn tot een minimum beperkt. De hoofdliggers liggen in de langsrichting en zijn vanwege de lengte op twee plaatsen gedilateerd. De liggers zijn daar in hoogte gehalveerd en van een gewapend rubberblok voorzien.

Dilataties en stabiliteit

Het splitsen van het dak in drie gelijke delen betekent dat de dilataties op het laagste punt van het dak komen. Dat is geen bezwaar omdat door de kromming in de andere rich-

ting het regenwater bij een eventuele verstopping van de riolering toch naar de dakranden kan lopen.

De hoofdliggers zijn boven de kolommen open en aan de binnen- en buitenzijde geconserveerd (geschoopeerd) en tussen de kolommen luchtdicht gesloten (met schotten) en daar alleen aan de buitenzijde geconserveerd. De dwarsliggers (gordingen) zijn enkelgekromde liggers HEA/B 340 (h.o.h. 4,2 m), afhankelijk van of de liggers doorgaand zijn of niet en van de sneeuwbelasting (ophoping vóór de 'lens') en/of lokale windbelasting (nabij de omliggende hoogbouw). De stabiliteit van de staalconstructie in de breedterichting (noord-zuid) wordt verzorgd door schoren tussen as B en C (15 stuks), die op bestaande of nieuwe moerbalken staan. Alle kolommen op as C hebben hiermee een schoor gekregen, waardoor de belasting op de moerbalken zo beperkt mogelijk is gehouden. De meeste schoren ($\varnothing 356 \times 16 \text{ mm}$) staan in de commerciële ruimten en leveren daardoor weinig hinder voor de reiziger op. De maximale vervorming bij wind in noord-zuidrichting is ongeveer 15 mm en 40 mm bij de lens, aan de bovenzijde.



3. Het oude CS.

Om bij temperatuurverschillen geen te grote spanningen in de dakconstructie te krijgen, zijn er twee dilataties opgenomen, waardoor het dak is onderverdeeld in drie stukken van $\pm 80 \text{ m}$. Vanwege de twee dilataties in langsrichting is het noodzakelijk om drie groepen stabiliteitselementen te maken (oost-westrichting). Hier is gekozen om op elke as speciaal vormgegeven stabiliteitsportalen (windbokken) te maken, waarbij de toegang tot de trappen en roltrappen voor de reizigers mogelijk blijft. Schoren zijn hier dus ongeschikt. De maximale vervorming in oost-westrichting bij wind is $\pm 55 \text{ mm}$. De stabiliteitsportalen aan de oost- en west-



4. De 'lens' (vierendeelligger) in de kap zorgt voor extra daglichttoetreding

zijde (voornamelijk voor de windbelasting) staan aan de buitenzijde op de nieuwe funderingen van de vergrote traverse. De stabiliteitsportalen in het midden van de hal (voornamelijk voor dakwrijving) staan op de bestaande funderingen. Waar nodig zijn de funderingen verzwaaard. De meeste verzwaringen zijn overigens nodig voor de (extra) tweede laag voor commercie.

Windonderzoek

Uitgangspunt voor de berekeningen is de NEN 6700-serie. Door de golvende, dubbelgekromde vorm van de kap en de grote hoogteverschillen tussen de toppen en dalen, respectievelijk 17 en 7 m boven traverse-niveau, is inzicht in de grootte van de windbelastingen van belang. Bij TNO is advies ingewonnen. Na de eerste analytische beschouwingen is een windtunnelonderzoek verricht op een schaalmodel, conform CUR-aanbeveling 103. Daarbij zijn twee situaties bekeken: een geval waarbij de omringende gebouwen afgetopt zijn tot maximaal 15 m en een geval met de geplande situatie bij de oplevering waarbij ook het Stadskantoor meegenomen is. In beide gevallen zijn de winddruk en -zuiging gemeten en vastgelegd. Later heeft Peutz een nog specifiekere windtunnelonderzoek uitgevoerd naar het windklimaat in de omgeving van het Stadskantoor. Doel: de maximaal te verwachten externe druk en zuiging op verschillende gevel- en dakdelen van de OVT evenals op de plafondpanelen van het Stadskantoor te bepalen. De adviezen en de resultaten uit beide windtunnelonderzoeken zijn vergeleken, meegewogen en meegenomen bij het bepalen

van de toegepaste windbelastingen. Voor de globale berekeningen zijn de windbelastingen op de gevels gebaseerd op NEN 6702 en zijn voor de windbelastingen op de overkapping zowel de waarden uit NEN 6702 als de waarden uit het windtunnelonderzoek van TNO per dakzone aangehouden, maar dan in aparte belastingcombinaties. Iedere dakzone heeft een eigen druk en zuiging, volgend uit het windtunnelonderzoek. De omhullende waarden van de verschillende combinaties zijn vervolgens gebruikt bij de stijfheid-, sterkte- en stabiliteittoetsingen. Voor de lokale berekeningen zijn de windbelastingen op de gevels gebaseerd op de maximale waarden uit NEN 6702 en het windtunnelonderzoek van Peutz voor de gebieden nabij het Stadskantoor. De windbelastingen op de overkapping zijn gebaseerd op de piekwaarden uit het onderzoek van TNO. Op advies van TNO is de horizontale windbelasting over het dakvlak (wrijving) verhoogd met een toeslag op de windvormfactor voor dakwrijving. De verhoging is het gevolg van de sterke krommingen. Voor de wind in de oost-westrichting wordt de windvormfactor voor wrijving verhoogd van 0,04 naar 0,08. In noord-zuidrichting van 0,04 naar 0,05, in die richting is de golfslag minder. De windtunnelmetingen door Peutz leiden tot verschillende conclusies. De maximale lokale externe druk wordt gevonden op de noord-westgevel van de OVT. De gemeten waarde valt binnen de foutmarge en is daarom niet strijdig met de berekeningen van Movares. De maximale lokale zuiging komt voor bij de rand van het buitenplafond van



5. Stabiliteitsbokken (rechts) en schoorkolommen (links achter).

het Stadskantoor. Op de gevels van de OVT is de maximale zuiging 25% lager dan bij de rand van het Stadskantoor. De maximale verschildruk op de OVT-overkapping boven de interwijkverbinding is gevonden in de situatie zonder het Stadskantoor. De gehanteerde waarden langs de randen en op de hoek worden echter niet overschreden. Voor de toelaatbare horizontale uitbuiging van de overkapping is 1/300 van de hoogte van de overkapping aangehouden.

Kolommen afgestemd

De stalen kolommen zijn buizen Ø 457 mm met 16 of 32 mm wanddikte. Grotere kolommen passen niet op de bestaande opstorten van 700x700 mm. De kolommen in de stabiliteitsbokken en de lens hebben een wanddikte van 32 mm; alle andere kolommen zijn pendelkolommen met een wanddikte van 16 mm. De kolommen zijn aan de onderzijde scharnierend uitgevoerd met schotelverringingen om parasitaire momenten in de moerbalken te voorkomen. De kolommen zijn toegankelijk gemaakt voor de kabels en leidingen naar het dak en zijn aan de binnenzijde geconserveerd (geschoopeerd). De dakplaten zijn geperforeerde stalen profielplaten met een hoogte van 135 mm, die zonder veel extra spanning dubbelgekromd (scheluw) kunnen worden gebogen tussen de twee verschillend gebogen HE 340-liggers.

Lens van vierendeelligger

Op stramien C is er bij de hoofdligger een zogenaamde lens gemaakt, waardoor het daglicht vanuit het noorden de hal binnenkomt. Hier is de hoofdligger gesplitst in een



De beroemde Markenhofbogen...



...worden opgevangen door een 'hoefijzerportaal'.



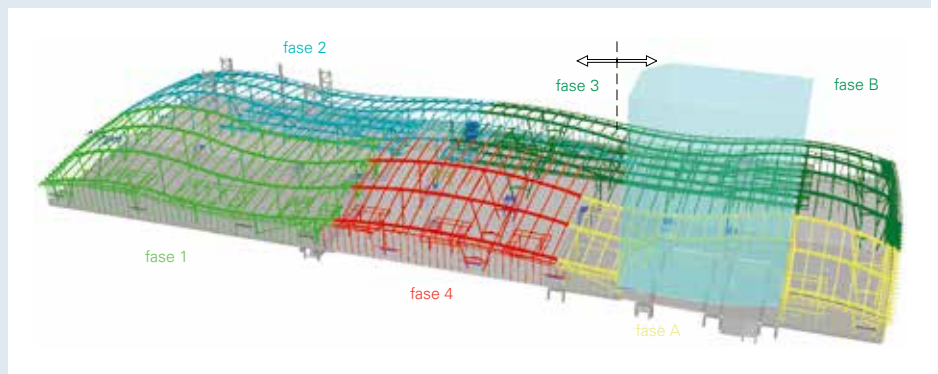
Tijdelijke schoren in blauw.

Gefaseerde bouw

Op de bestaande traverse staat een hal waarvan de draagconstructie bestaat uit de karakteristieke rode Markenhofbogen. Markenhof was de architect van Utrecht CS in de jaren '70. Deze bogen bestaan uit stalen buizen gevuld met ijzerkorrels als gewicht/balast om trekkracht op de fundering door windbelasting te reduceren. In de stationshal staan technische en commerciële ruimten (zoals winkels, kaartverkoop en toiletten).

Technisch gezien bestaat de ombouw naar de nieuwe stationshal uit het uitbreiden van de traverse tot een vloer van 246x91 m, het slopen van de bestaande stationsoverkapping, winkels en stijlpunten, het bouwen van de nieuwe stationsoverkapping, met daarin een groter winkeloppervlak en het bouwen van een groter aantal nieuwe stijlpunten, de meeste op gebruikersvriendelijkere posities.

Maar de ombouw is ook een planning- en faseringopgave. De reizigersstromen (in de hal en op de stijlpunten en perrons) en het treinverkeer moeten doorgang vinden, winkels moeten services blijven bieden en huurpenningen blijven opbrengen. De opgave is dus



Bouwfaserings stationshal.

in alle mogelijke opzichten 'bouwen met de winkel open'. Deze randvoorwaarden hebben gedicteerd in welke stappen (fases) de oude stationshal is gesloopt en de nieuwe is gebouwd. Omdat de 'vakindeling' niet samenvalt met de verdeling van dilataties en stabiliteitsverbanden in de nieuwe constructie (en van de te slopen constructie), zijn tijdens de bouw vele tijdelijke schoren en hulpconstructies voorzien. De hulpconstructies om de deels gesloopte Markenhofbogen te

handhaven, hebben de bijnaam hoefijzerportaal. Een voorbeeld van de tijdelijke schoren zijn de diagonalen die in fase 1 (2011) aangebracht zijn en gehandhaafd moeten worden tot na de bouw van fase 4 (2016). •

ir. A. Rol en C. Anten

Arno Rol is senior projectmanager en Charles Anten is bouwmanager, beiden bij Movares in Utrecht.

onder- en bovenprofiel met kolommen ertussen, zodat daar een vierendeelligger ontstaat. Het dak is bekleed met trapeziumplaten en daar overheen felsplaten (Kalzip) die een goede afwatering over de kromming mogelijk maken.

Dakverband

Waar nodig zijn stalen dakverbanden toegepast: boven de stabiliteitsbokken en achter de lens waar door de grote verschillen in de peilmaten van de hoofdliggers tussen de stramienen vervormingsverschillen ont-

staan, en tevens langs de dakranden waar de gevelkolommen hun belasting op de hoofd-draagconstructie afdragen. Langs de dakranden zijn er verzwaarde randliggers met kokers en windverbanden toegepast om de windbelasting uit de gevel op te vangen.

Voor de gevelwasinstallatie zijn zowel aan de binnen- als buitenzijde van de gevel buisprofielen aan het dak bevestigd.

Het dak is onderhoudbaar door een aanlijnbeveiliging, de goten zijn beloopbaar. Bij de vier hoeken van het dak zijn bufferbakken opgenomen vanwege de grote stroomsnel-

heid van het water. De capaciteit van de bufferbakken zijn proefsgewijs vastgesteld. Wateraccumulatie treedt niet op, omdat het dak dubbelgekromd is en de laagste punten langs de randen liggen.

Sterkte bij brand

De dakconstructie is onbeschermd. Nu bevinden zich in de hal (gesprinklerde) commerciële ruimten. Een uitlaande brand in één van deze ruimten kan er toe leiden dat kritische onderdelen van de dakconstructie beschadigd raken of zelfs bezwijken.



Zuidoostelijke hoek van de Katreinetooren en het stationsgebouw.



Noordoostelijke hoek van de Katreinetooren en stationshal.



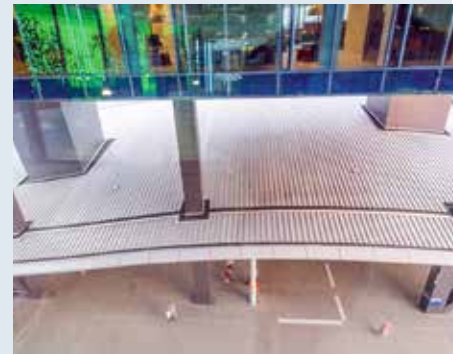
Noordwestelijke hoek van de Katreinetooren en stationshal.



Gootconstructie bij de Katreinetooren.



Overgang gootconstructie.



Ontmoeting overkapping OVT-hal met SKU.



SKU 'doorboort' op 5 punten de kap.



Raveling rond de vakwerkkolom.



Publiekelijke ruimte bij SKU.

Stadskantoor Utrecht en Katreinetooren geïntegreerd

In de oude situatie was de Katreinetooren onderdeel van het station waarop de oude overkapping aansloot. De eigenaar van de Katreinetooren wil niet dat de nieuwe overkapping weer op het kantoorgebouw ligt. Daarom zijn zes kolommen langs de Katreinetooren geplaatst, waarvan vijf op moerbalken en één door de traversevloer heen op het derde perron. Langs de gevel van de Katreinetooren is ruimte gereserveerd voor de glazenwasinstallatie, waardoor ook hier een gevel ontstaat met verlopende hoogte, door de kromming

van het dak. Nadat het bestek van de overkapping klaar is, komt het verzoek om ook Stadskantoor Utrecht (SKU) te integreren in de OVT. Een gedeelte van SKU staat namelijk in de OVT met vijf grote draagconstructies op een diepe, zware fundering. Uit geotechnisch onderzoek blijkt dat dit gedeelte 30 mm gaat zetten. Een maat die de staalconstructie van OVT niet zonder overschrijdingen kan opnemen. Dan zijn er twee keuzes. Wachten met de staalconstructie totdat het grootste gedeelte van de zettingen is opgetreden, of OVT in twee of drie stappen vijzelen na

zetting. Uiteindelijk is het optie 1 geworden. Enkele kolommen van de OVT zijn vervallen; daar ligt de dakconstructie uitsluitend verticaal op Stadskantoor Utrecht. De horizontale vervormingen van de OVT kunnen gewoon optreden. Eén hoofdligger is gesplitst om een kolom heen.

ir. J.R. Faber en ir. M. Bahri

Jan Faber is consultant en Mauny Bahri is constructief adviseur, beiden bij Movares in Utrecht.

Projectpartners OVT Utrecht *Opdracht* ProRail, Utrecht en gemeente Utrecht • *Architectuur* Benthem Crouwel Architects, Amsterdam • *Constructief ontwerp* Movares, Utrecht • *Uitvoering* Besix Nederland, Barendrecht • *Staalconstructie* overkapping, liftschachten en gevel Emesa, Epila (Zaragoza) (ES) • *Staalconstructie* trappen, balustrades, hekwerken, portalen en andere secundaire staalconstructie Hoogenboom Staal Montage, Nieuwveen • *Glas en toebehoren* BRS Structural Glazing, Waddinxveen • *Dakbeplating* Hafkon, Nieuwkuijk • *Glaswasinstallaties* Manntech Gevelinstallaties, Zevenbergen • *Installaties goederenliften* Kone, Den Haag • *Installaties personenliften* Möhringer liften, Haarlem • *Roltrappen* Schindler, Den Haag • *Funderingspalen* Franki Grondtechnieken, Barendrecht en Tubex, Werkendam • *Kunststofmantels (VVK)* om stalen pennen van de gevelstijlen Omefa Spuitgieten & Gereedschapmakerij, Nieuwkoop • *TT-platen en nietjes* Betonson Prefab, Kampen • *Overig prefab beton* Geelen Beton, Wanssum • *W-installaties* KIN Installatietechniek, Rijen • *E-installaties* ITN Installatietechniek, Ede • *Brandmeldinstallatie* ITL Oudewater • *Sprinklerinstallatie* Spie, Breda • *Tijdelijke gevels en bordessen* RECO, Koudekerk a/d Rijn



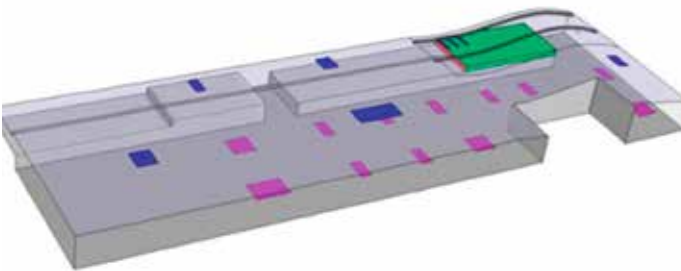
6. Het nieuwe station Utrecht Centraal tijdens een eerste bouwfase.



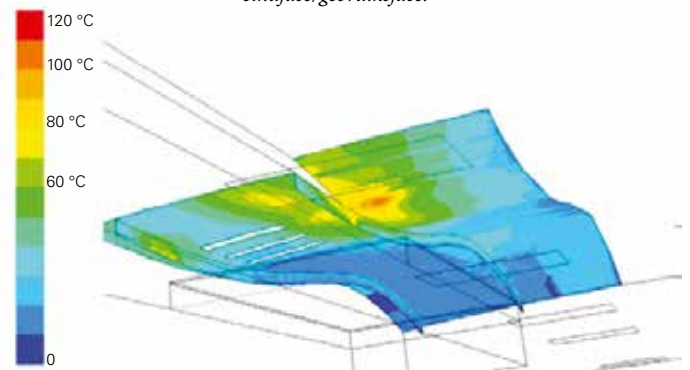
7. Het nieuwe station Utrecht Centraal tijdens de laatste bouwfase.



8. Het nieuwe station Utrecht Centraal tijdens de eindfase/gebruiksfase.



9. CFD-model voor temperatuursbelastingen (groen is Grand Café).



10. Deelresultaat CFD-berekeningen bij Grand Café.

De afname van de sterkte-eigenschappen begint bij staaltemperaturen van $\pm 400\text{ °C}$ (conform NEN-EN 1993-1-2). De temperatuur waarbij de belastingen bij brand niet meer opgenomen kunnen worden, heet de kritieke (bezwijk)temperatuur. De bezwijktemperatuur van staalconstructies ligt over het algemeen tussen 550 °C en 620 °C . Een brandveiligheidsonderzoek is daarom uitgevoerd. Met Fire Safety Engineering heeft Efectis de warmtebelasting op de constructie bepaald bij natuurlijke brandscenario's. De output is vervolgens door de constructeur uitgewerkt voor de constructieve brandveiligheid.

Geen standaardbrand

Het Bouwbesluit omschrijft de brandweerstand tegen bezwijken als 'de tijd gedurende welke een constructieonderdeel bij verhitting volgens de standaardbrandkromme weerstand kan bieden aan de erop werkende belasting'. In werkelijkheid kan het temperatuursverloop behoorlijk afwijken

van een 'standaardbrand'. De standaardbrand geeft immers uitsluitend een redelijke beschrijving van de werkelijkheid voor relatief kleine ruimten bij verbranding van een onbeperkte hoeveelheid brandbaar materiaal. In grote, hoge, gesprinklerde ruimten, zoals deze hal, is een brand geen standaardbrand. De brandontwikkeling en de warmtebelasting op de constructie is anders. De constructie wordt namelijk niet aan alle zijden verhit en de sprinkler koelt de rookgassen af. Bij een natuurlijke brand bereikt de staalconstructie minder snel de kritieke temperatuur, waarbij de vloeigrens afneemt en de constructie bezwijkt. Dit kan leiden tot een onbeklede constructie en/of een besparing op materiaaldikte.

Computational Fluid Dynamic

Voor het bepalen van de temperatuurbelasting op de constructie is een CFD-berekening (Computational Fluid Dynamics) uitgevoerd. In het CFD-model (afb. 9) worden de oppervlakte(staal)temperaturen berekend

op de dakconstructie door (het langsstromen van) hete rookgassen en straling van de (uitslaande) vlammen.

Grand Café dominant

De meest kritische brandlocatie is het 'Grand Café' op de verdieping (afb. 10). De afstand tussen het dak van het Grand Café en de overkapping is hier namelijk slechts 2 à 3 m. In het brandscenario wordt uitgegaan van een snelle brandontwikkeling van 45 W/s^2 met een vermogensdichtheid van 500 kW/m^2 . Bij sprinkleractivering bedraagt het brandvermogen 4,5 MW. Dit komt overeen met een brandoppervlak van $9,0\text{ m}^2$. Uit de CFD-berekeningen blijkt dat de werkelijke staaltemperatuur $\pm 120\text{ °C}$ bedraagt. De constructie buiten de brandruimte zal bij een brand in een gesprinklerde commerciële ruimte zeker niet bezwijken op basis van de optredende temperaturen, ervan uitgaande dat de constructie in de brandruimte intact blijft. •



1. Via de interwijkverbinding kan men ongestoord van oost naar west oversteken of Utrecht CS binnengaan.

Maatwerkoplossingen

Bij een groot project trekken spectaculaire onderdelen veel van de aandacht, terwijl bij de nieuwe OVT Utrecht CS de finesses schuilgaan in de kleinere onderdelen. De belangrijkste op een rij.

ir. M. Bahri en ir. J.R. Faber

Mauny Bahri is constructief adviseur en Jan Faber is consultant, beiden bij Movares in Utrecht.

De rand van de bestaande traversevloer bestaat uit een 80 mm dikke 'spiegel' van de TT-platen met daarop een druklaag en een licht wapeningsnet. De rand kan daardoor geen grote momenten vanuit de scherm- of gevelstijlen (h.o.h. 2,1 m) opnemen. Zowel de stijlen van het scherm langs de interwijkverbinding als de stijlen van de OVT-gevel oefenen voornamelijk door de horizontale windbelasting een buigmoment uit op de rand van de TT-platen. Om deze kracht op

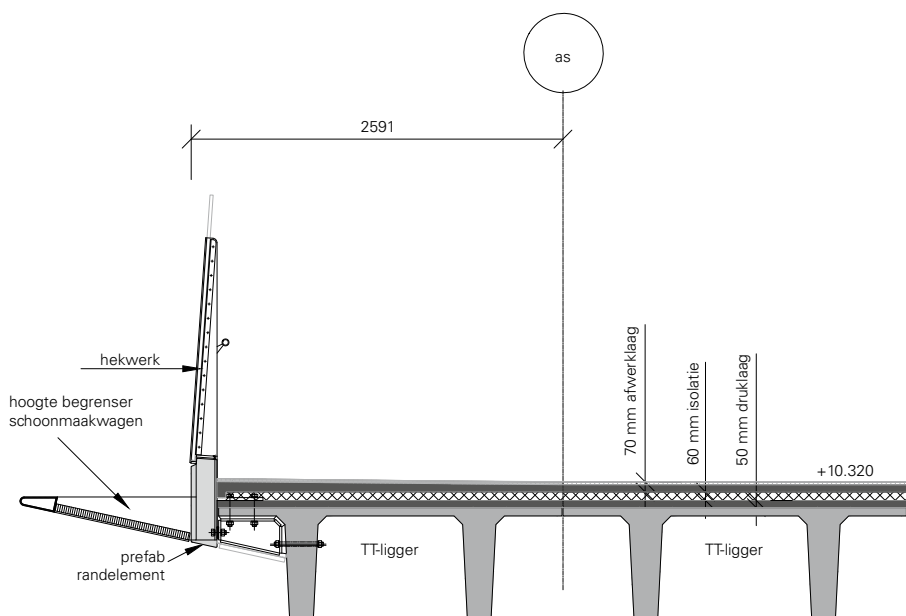
te vangen zonder de TT-platen te vervangen, is er bij iedere stijl, onder de TT-spiegel, een stalen console toegepast die de spiegel aan de TT-rib koppelt voor stijfheid en krachtoverdracht (afb. 2 en 3).

De thermisch verzinkte console is met twee door-en-door gevoerde draadeinden bevestigd aan de TT-ribben en met vier door-en-door gevoerde draadeinden, via de spiegel, aan de voetplaat van de stijlen. Er is uiteraard rekening gehouden met de positie van de voorspanstrengen in de TT-ribben. Deze liggen namelijk lager. Bij de OVT-gevel is de voetplaat een stalen voetstuk waarin de hangende gevelstijlen op en neer kunnen bewegen. De horizontale reactie is maximaal 30 kN bij een standaardstijl en 60 kN bij een portaalstijl (rekenwaardes). De horizontale windkracht veroorzaakt een vrij hoog buigmoment over de hoogte tussen de werklijn van deze kracht en de zwaartelij van de aansluiting van de console aan de TT-rib en TT-spiegel.

Stijve en transparante liftschacht

Aan de westzijde bevindt zich, buiten de hal, in de Mineurslaan een drie ton expeditielift die via een loopbrug toegang biedt tot de stationshal (afb. 4). De loopbrug is schuivend opgelegd op de traverserand. De liftschacht heeft dezelfde vormgeving en uitstraling als de schachten van de personenliften die de perrons met de traverse verbinden; een transparante constructie van staal en glas. De expeditielift is wel breder dan de personenliften en heeft daardoor meer windvang en bovendien staat het in tegenstelling tot de personenliften geheel buiten en is halverwege de hoogte, horizontaal, niet gekoppeld aan de traverse.

Dit alles leidt er toe dat de schacht van de expeditielift veel meer gaat uitbuigen dan acceptabel is. Verticale windverbanden zijn architectonisch ongewenst. Het verzwaren van de verdiepingliggers verandert de vormgeving grondig en is daardoor evenmin



2. Aansluiting balusters van de interwijkverbinding op de TT-platen.

geschikt. Om de horizontale uitbuiging te beperken is in de verdieping direct onder het bovenste instapniveau een *outrigger* ontworpen in de vorm van een ring met vakwerken. De constructie is niet fraai, maar ook niet zichtbaar, omdat deze verdieping maar ook de bovenste verdieping bij alle liftschachten voorzien zijn van roestvast stalen beplating in plaats van glas.

Dilataties in hoofdliggers

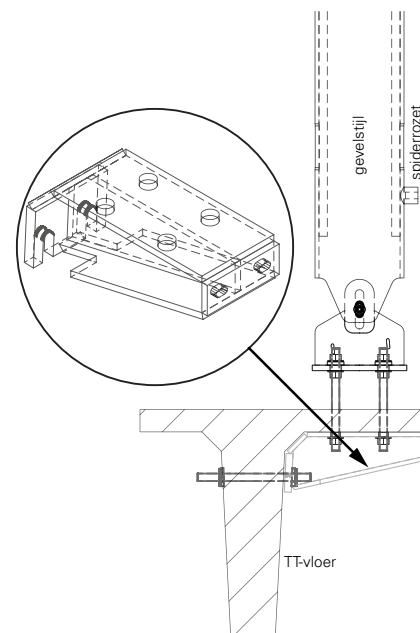
Door de grote lengte van de OVT-hal is de overkapping in de lengterichting op twee plaatsen gedilateerd, op $\pm 1/3$ van de lengte en op $\pm 2/3$ van de lengte; beide in de dalen van de golvende overkapping. Niet alleen de hoofdliggers zijn gedilateerd; ook diverse secundaire constructies zijn op dezelfde locaties gedilateerd, zoals de liggers waar de gevelstijlen aan hangen, de totale randconstructie en de rails van de glazenwasinstallatie (afb. 4). De dilatatieconstructie bestaat uit een stalen tandoplegging waar het lange liggerstuk op het korte liggerstuk ligt via een gewapend rubberblok. De vervormingsvrijheden bestaan uit translatie in de langsrichting en alle drie de rotatievrijheden. Verticale en zijwaartse translaties zijn verhinderd.

De twee delen van de tandoplegging en het rubberblok passen binnen de omtrek van de hoofdligger.

Om de dilatatie heen is een gebogen stalen afdekkap aangebracht, zodat de dilatatieconstructie grotendeels van buitenaf niet zichtbaar is en de hoofdliggers doorgaand ogen.

Aansluiting stabiliteitstuien

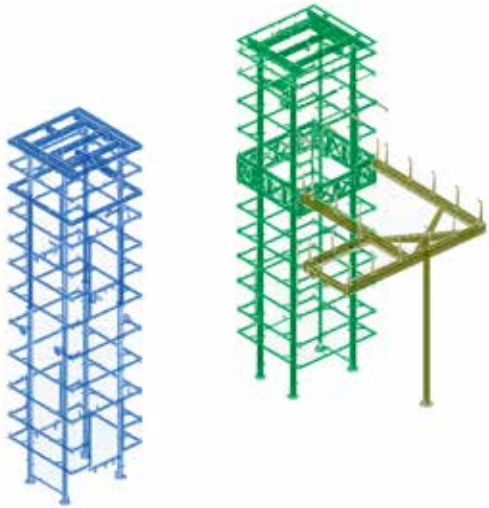
De aansluitingen van de tuien van de stabiliteitsbokken zijn aan het zicht onttrokken door ze verdiept in de draagconstructie aan te brengen (afb. 11 en 12). Aan de onderzijde is de middendoorsnede van de taps toelopende ovaalvormige bokligger verjongd. In het hart van de ligger is een dikke staalplaat gelast waaraan de tuien gebout zijn. Aan de bovenzijde zijn de tuien gebout aan een stalen schetsplaat die in de hoek van de kolom en hoofdligger gelast is en in een halfronde stalen schaal opgenomen en dus verborgen is. De schalen zijn links en rechts van alle kolommen aan de onderzijde van de hoofdligger gelast als aanzetstuk voor de lichtlijn. De tui heeft alleen aan het begin en het einde een wartel en niet meer halverwege. Hierdoor oogt de tui slank.



3. Aansluiting gevelstijl. Een speciale console verzorgt stijfheid en kwachtoverdracht.

Oplegging dakkolom betonnen goederenlift

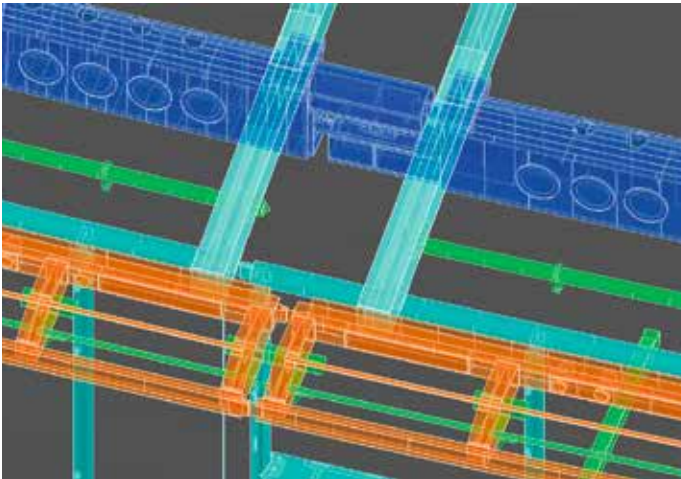
De kolom van de OVT-overkapping op stramienpunt B/13 bevindt zich op de hoek van een tussenwand van twee naast elkaar gelegen betonnen schachten waarin de goederenliften zich bevinden. De kolom kan hierdoor niet doorlopen tot aan de traversevloer en moet worden opgelegd bovenop de betonnen wand (afb. 8, 9 en 10). Door de veel kortere lengte van deze kolom ten opzichte van de andere kolommen ontstaat er bij een horizontale vervorming van de kap een ongewenste en niet opneembare krachtsverdeling wanneer deze kolom op de gangbare manier op de wand wordt bevestigd. Daarom is de kolomvoet voorzien van vier sleufgaten in de lengterichting van de overkapping en is de kolom via een gewapend rubberblok opgelegd op een verankerde staalplaat. Op deze manier ontstaat er translatievrijheid in de richting met de grootste uitbuiging en rotatievrijheid in alle drie de richtingen. De ingestorte ankers zijn M48. De grote doorsnede is nodig om de buiging door de horizontale oplegkracht in de korte richting van de kap op te kunnen nemen. •



3. Personenlift (links) en expeditielift (rechts).



4. Rails voor de glazenwasinstallatie buiten.



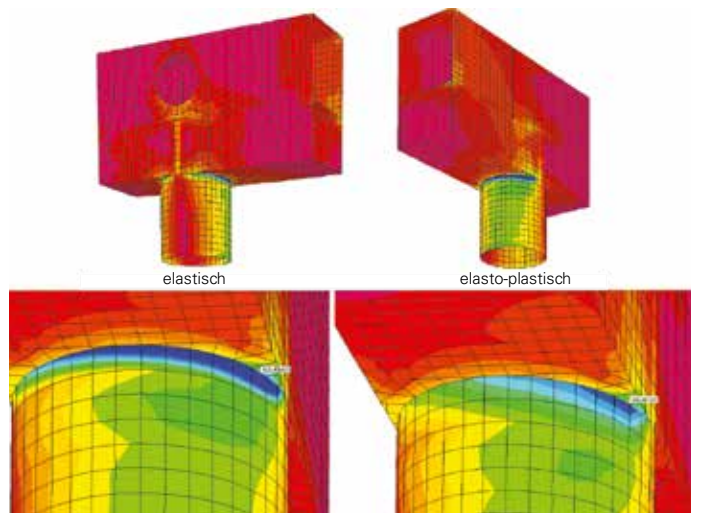
6. Door de lengte is de overkapping op twee plaatsen gedilateerd.



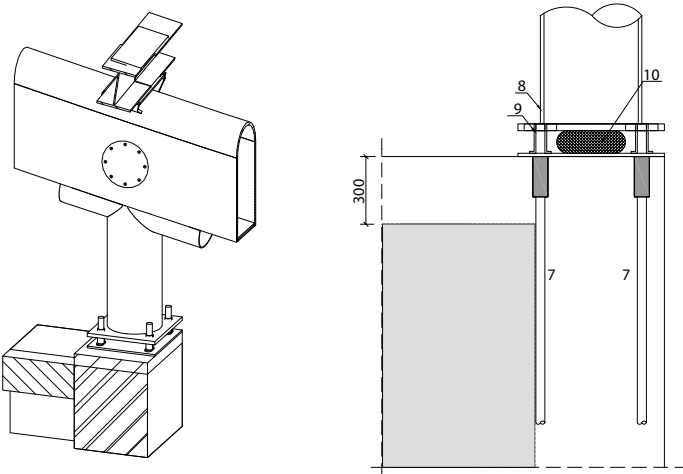
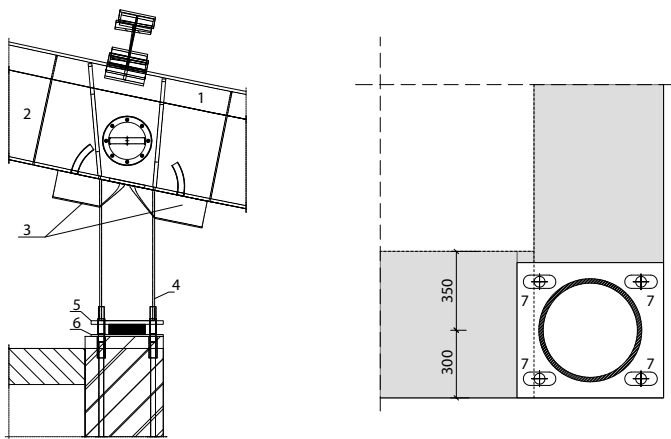
5. Rails voor de glazenwasinstallatie binnen.



7. Dilatatie in hoofdlijger (rechtsboven).

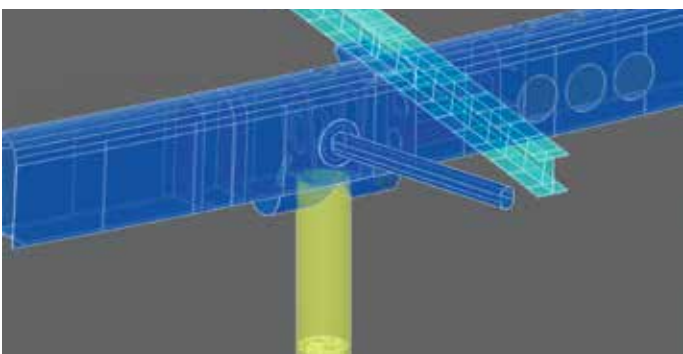


8. Elastische en elasto-plastische berekening kolom-lijgeraansluiting naast KTT.

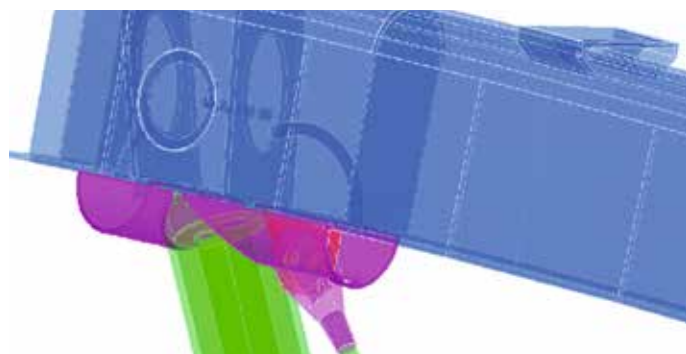
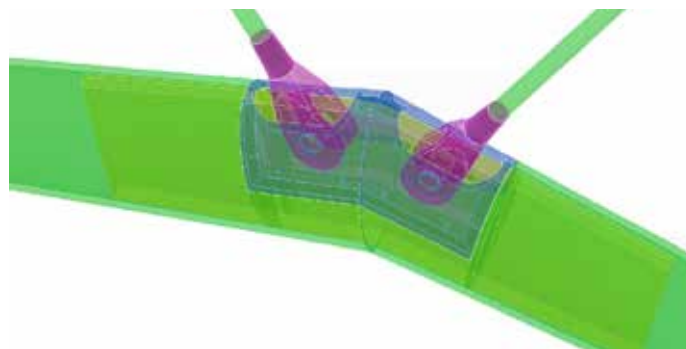


- 1 ½Ø457x25 (S355)
- 2 t = 25 mm
- 3 ½Ø457x8 (S355)
- 4 ½Ø457x16 (S355)
- 5 t = 30 mm
- 6 t = 15 mm
- 7 M48, l = 2,4 m
- 8 draadeind M48 (8.8)
- 9 T-bus
- 10 rubberen oplogblok, verlijmd

9. Oplegging OVT-kolom op de betonnen goederenliftschacht.



10. Model kolom-liggerverbinding.



11. Aansluitdetails stabiliteitsbokken en lichtlijn (boven).



12. De stabiliteitsbokken.

Voetjes van de vloer



Oostgevel. De grote windbelasting wordt via de stijlen afgedragen aan de voeten en ophanging bovenin.



De contactdruk op de rvs-pen loopt op tot 100 MPa.

Tussen de gebogen daklijnen en de slanke perronkappen vallen de transparante 10-12 m hoge glazen gevels nauwelijks op. Het gevelgordijn met wrijvingsarme voetverbinding, dat juist bijdraagt aan de kenmerkende openheid van het stationsgebouw, is gehouden aan strikte randvoorwaarden en vraagt de nodige voorzieningen voor onder meer bewegingsvrijheid.

ir. W. van 't Land

Wim van 't Land is constructeur bij Movares in Utrecht.

De gelaagde glaspanelen (3,15x2,1 m) zijn met spiders aan de stijlen bevestigd. Met een regelmaat van 2,10 m h.o.h., draagt elke stijl tot maximaal 21 m² glas. Kitvoegen zorgen voor water- en winddichting.

Vanwege valgevaar direct achter de OVT-gevels (behalve bij de noordgevel) en door het ontbreken van een leuning aan de binnenzijde, zijn de glasplaten behalve op windbelasting ook op een leuningbelasting van 3,0 kN/m berekend. De lengte van de ovale gevelstijlen hangt af van de dakhoogte. De

stijlen hebben elk een doorsnede van 320x160 mm. Op de kortere gevelstijlen, tot 11 m lengte, is bespaard op het materiaalgebruik door een dunnere wanddikte toe te passen (12,5 mm). Vanaf 11 m lengte is de wanddikte 14,2 mm. Dezelfde doorsnede is gebruikt bij de stijlen aan weerszijden van de gevelopeningen. Afhankelijk van de stijl-lengte of breedte van de gevelopening zijn er in het profiel al dan niet twee ingelaste ronde volstaven (Ø 30-40 mm) aangebracht; in de hoofdrichting tegen de uiterste trek- en drukvezels van het profiel. Hiermee neemt de stijfheid van de stijl tot 40% toe zonder dat de profielmaat verandert, hetgeen architectonisch essentieel is.

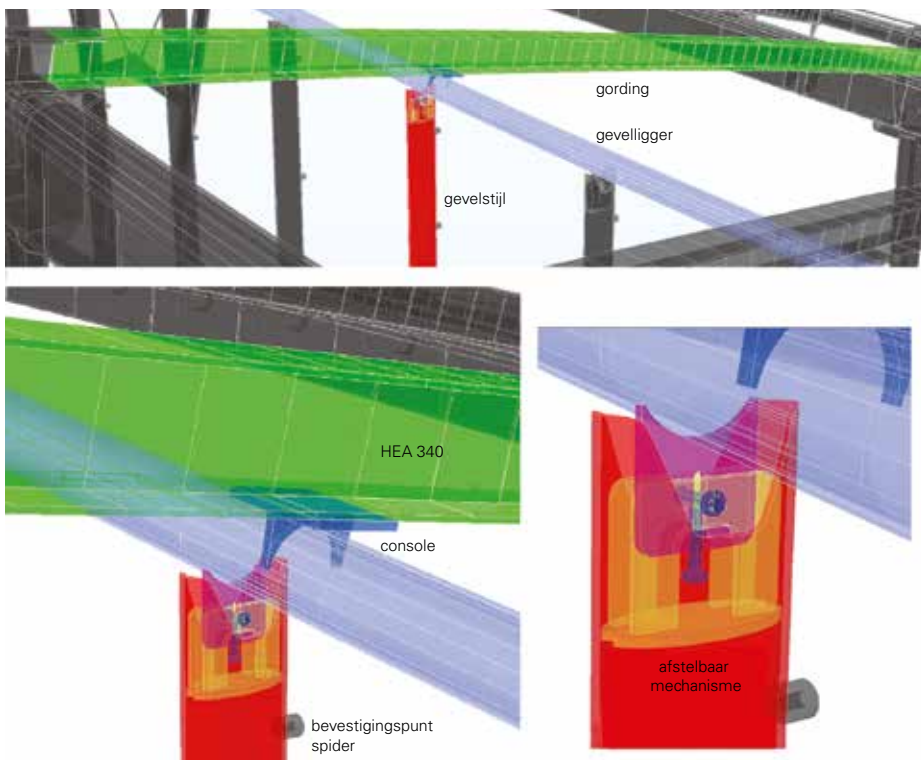
Verticale beweging

Het thermisch gehard veiligheidsglas (opbouw gelaagd glas: 8.8.2) met een gewicht van 40 kg/m² hangt aan de dakconstructie. Bewust is de verbinding aan de vloer in verticale richting vrij. Een penverbinding met een sleufgat verzorgt deze bewegingsvrijheid. Voor de opletende voorbijganger is de verticale sleuf in de voet van elke stijl duidelijke

lijkt zichtbaar. De rand van de stationshal levert daarmee geen bijdrage aan de afdracht van het gewicht van de gevel. Dit heeft te maken met een belangrijke randvoorwaarde van de vloer. Hoewel alles in de stationshal nieuw lijkt, is de vloerconstructie van het bestaande deel nog steeds dezelfde. Deze is constructief begrensd op een veranderlijke vloerbelasting van maximaal 5,0 kN/m²; dat is capaciteit die gereserveerd blijft voor het gebruik van het station door reizigers. In het nieuwe deel is een vergelijkbare TT-plaatvloer toegepast die 7,0 kN/m² aan veranderlijke vloerbelasting kan opnemen.

Horizontale oplegging

De voetverbinding is wel in staat om de glaspanelen in horizontale richting vast te houden. De grote windbelasting op het glas wordt via de stijlen afgedragen aan deze steunpunten en aan de ophanging aan de bovenzijde. De contactdruk op de roestvast stalen pen loopt bij de maximale windbelasting op tot een rekenwaarde van 100 MPa. In het gevelvlak kunnen de stijlen als een gordijn met het dak meebewegen. Om de pen is



Modellering bovenaansluiting gevelstijlen. Het veiligheidsglas (40 kg/m^2) hangt aan de dakconstructie.

een slijtvaste kunststofmantel getrokken die ervoor zorgt dat deze wrijvingsarm heen en weer kan schuiven. De kunststofmantel is specifiek voor deze gevels ontworpen en gegoten. Diverse toevoegingen in de kunststof waarborgen de duurzaamheid en betrouwbaarheid, en zorgen voor een combinatie van maximale contactdruk, hoge slijtvastheid en minimale wrijving. Deze wijze van opleggen heeft consequenties. De gevel is namelijk niet volledig gesloten op vloerniveau. In de zuidgevel zijn openingen bij de trapopgangen van de perons, en in de westgevel en toekomstige oostgevel bevinden zich deuropeningen. De grootste diversiteit aan geveldetails is echter te vinden in de noordgevel.

De noordgevel scheidt de stationshal van de interwijkverbinding. De verbindingsbrug ligt fysiek buiten de stationshal en kan zonder in- en uitchecken worden gebruikt. Bij de deuropeningen zorgt een ravelconstructie voor de horizontale bevestiging van de gevel. Daarmee conformeren de openingen zich aan het vervormingsgedrag van de gehele gevel. Een vergelijkbare raveling is ook gebruikt in de

doorgangen in de andere gevels. Een uitzondering is de gevel bij de commerciële platforms in de stationshal. Deze steken door de noordgevel heen en zijn elk voorzien van een zelfstandig geïsoleerde gevel. De gevelstijlen zijn om deze reden op het dak van de commerciële platforms bevestigd. Deze stijlen zijn korter en vervormen minder dan de lange gevelstijlen die op de vloer van de hal staan. Om het vervormingsverschil op te vangen zijn er op de grens van de commerciële platforms en de doorgaande stationsgevel geen stijlen maar stalen kabels toegepast. Deze dragen wel het gewicht van het glas maar verhinderen de vervorming niet.

Schijfwerking gevel

Bij zowel de verticale als de horizontale bewegingsvrijheid is rekening gehouden met diverse randvoorwaarden. Het moeilijkste samenspel van vrijheidsgraden komt tot uiting in de hoeken van het gebouw. De gevel beweegt door de windbelasting naar binnen en buiten. Maar niet uitsluitend de gevel vervormt: het hele gebouw beweegt met de wind mee. In de dwarsrichting is dat 15



Ravelconstructie als horizontale bevestiging.

mm, een vervorming die in de hand wordt gehouden door de schoren. In de lengterichting, de richting van de stabiliteitsbokken, is dit zelfs 45 mm. Dat terwijl de gevel een glazen schijf vormt met een zekere stijfheid. Het verschil in vervorming van het gebouw zorgt ervoor dat het glas dubbel kromt. Een beschouwing van de beweging in langsrichting maakt dat duidelijk. De lange glazen gevel zorgt voor een stijve oplegging van de korte gevel in de lengterichting. Maar de maximale horizontale vervorming van het dak is bij dezelfde korte gevel in het midden maximaal 45 mm. Het glas is berekend op de spanningen die ontstaan door deze dubbele kromming in het vlak van de gevel en heeft de capaciteit om deze beweging op te nemen.

Bovenaansluiting gevelstijlen

Bovenaan hangen de stijlen aan een buisvormige ligger ($\varnothing 219,1 \times 12,5 \text{ mm}$) die doorloopt langs de omtrek van de OVT-hal. De ligger ligt onder de gordingen op consoles. Via een verstelbaar mechanisme met gelaste schetsplaten, een verticaal sleufgat en twee bouten is de stijl op de juiste hoogte vastgezet. •

Projectpartners Stationsplein Oost

Uitvoering en betonconstructie Heijmans, Rosmalen • Staalconstructie Oskomera Staalbouw, Deurne • Aluminium beplating, glas en toebehoren Sorba Projects, Winterswijk • Funderingspalen Kandt, Nieuwerkerk a/d IJssel en or Tubex, Werkendam

In het hart van de perrons



Onder de toegang vanuit winkelcentrum Hoog Catharijne zijn aanpassingen nodig die in een deelproject worden samengebracht. Het verbreden van de perrons, het maken van nieuwe perronkappen, het verplaatsen van de sporen en daardoor het aanpassen van kunstwerken en het bouwen van nieuwe kunstwerken vormt samen het project 'Buurtsporen Utrecht'.

ing. M. van den Elst PMSE RC en ir.ing. H.J. van Lint

Marjon van den Elst is senior constructeur en Hans van Lint is constructief adviseur; bij Movares in Utrecht.

Stationsplein Oost (SPO) is de toegang vanuit winkelcentrum Hoog Catharijne naar OV-Terminal Utrecht. SPO is een hooggelegen plein met deels bebouwing en kleinschalige commerciële ruimten. Onder het plein liggen drie sporen, twee perrons en een busbaan. Op een niveau lager is een fietsstalling gesitueerd. Omdat de onderliggende sporen en perrons aangepast moeten worden, is tegelijkertijd een deel van het plein gerealiseerd. Tijdens de bouw blijft het perron deels in gebruik. Voor de nieuwe Terminal is het noodzakelijk om de zeer smalle perrons 1 en 2 (beide 3 m) van 6 naar 9 m te verbreden, om de groeiende verkeersstromen veilig af te wikkelen. De naastgelegen sporen 1, 2 en 3 moeten daartoe richting het oosten worden verplaatst. Het gedeelte van

SPO boven het project Buurtsporen is dus toegevoegd aan het project Buurtsporen, in casu de drie meest westelijke stramien I, II en III. Aangezien een uitgewerkt ontwerp van SPO ontbrak, is een voorstel gedaan voor de belastingen van de bebouwing. Tevens ontbrak de exacte locatie van de commerciële ruimten, daarom is gerekend met een veranderlijke belasting van 10 kN/m². Klépierre en DURA Vermeer Vastgoed worden eigenaar van de commerciële ruimten.

Ontwerp stramien I t/m III

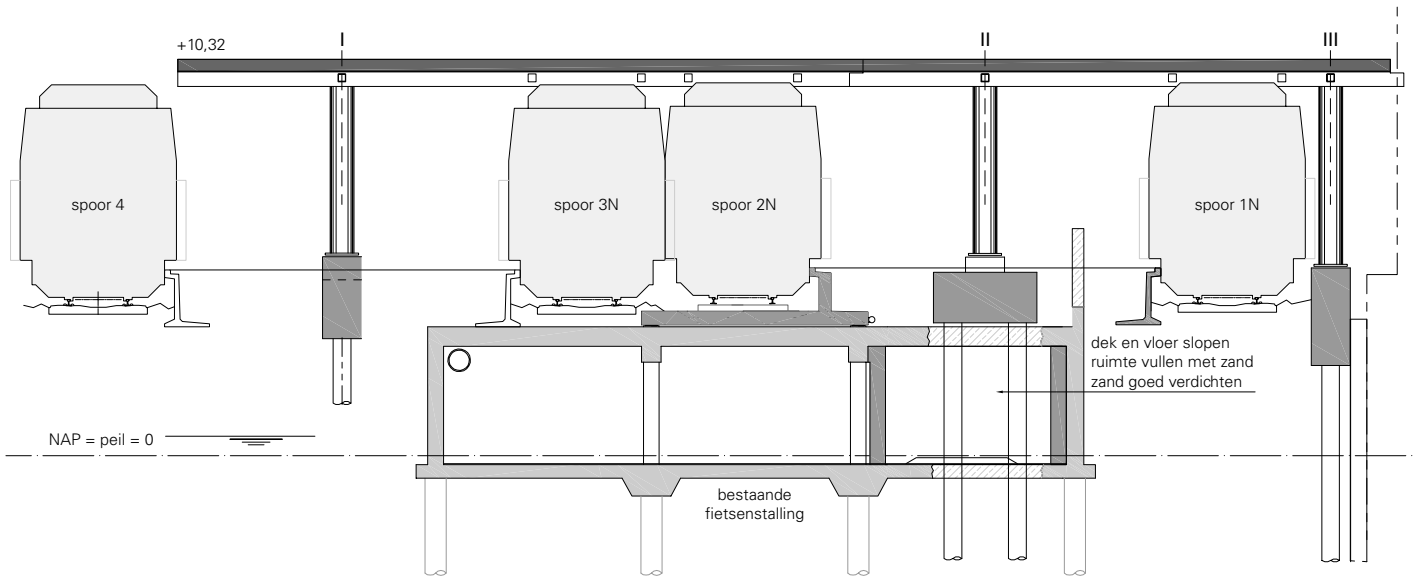
Om het aantal obstakels op de perrons te minimaliseren, is ervoor gekozen SPO af te steunen in het hart van de perrons. De kolommen van stramien I staan in het hart van perron 2, die van stramien II in het hart van perron 1 en daarmee boven de bestaande fietsenkelder. De h.o.h.-maat van de kolommen (Ø 610-30 mm) is afgestemd op die van de op naastgelegen perrons gebouwde perronkappen (12 m): 6 m.

De funderingen van de kolommen op stramien II gaan door de bestaande ondergrondse fietsstalling (onder perron 1). Om de krachtswerking en de horizontale stabiliteit van de fietsstalling te garanderen, zijn in de fietsstalling (compartimenterings)wanden aangebracht. Vervolgens zijn in de vloer en in het dak van de fietsstalling gaten aangebracht, waarna de ruimte gevuld is met zand

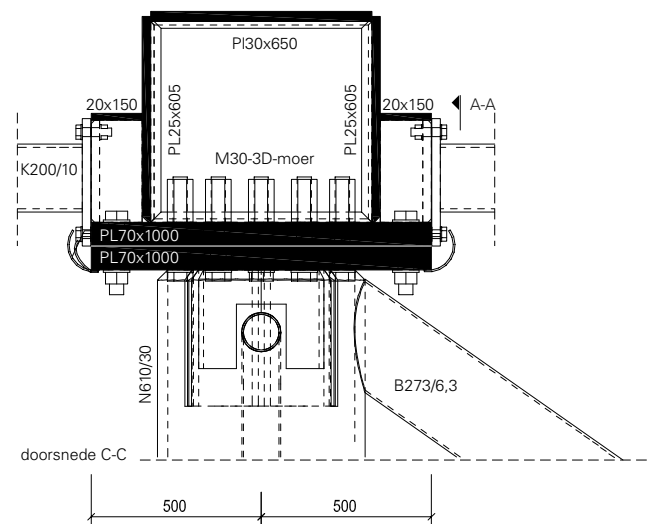
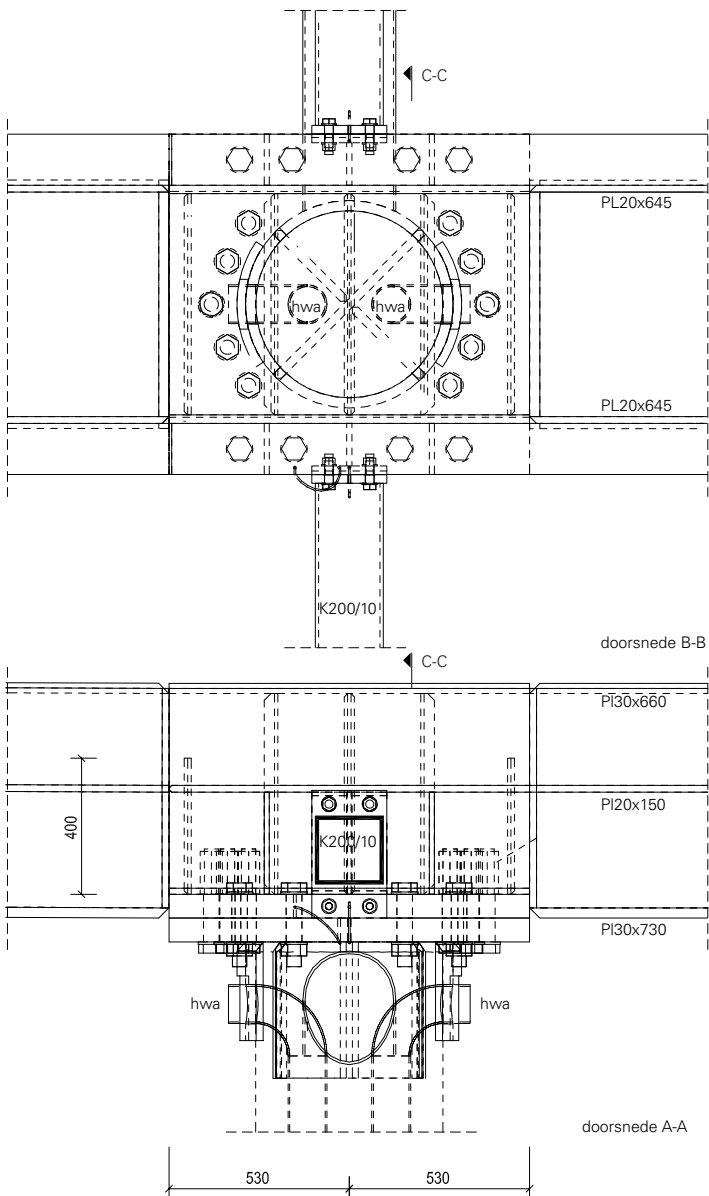
voor de horizontale ondersteuning van de palen. Daarna zijn de schroefpalen aangebracht en konden de poeren gestort worden. Naast het nieuwe spoor 1 is stramien III geprojecteerd. De bovenzijde van het plein is gelijk aan die van de traversevloer (OV-Terminal): +10,32 m NAP. Vanwege de aanwezige bovenleiding en de hoge ligging van de onderliggende sporen is de beschikbare constructiehoogte slechts 0,79 m. Bij de kolommen is 0,12 m extra hoogte beschikbaar. De vloer is samengesteld uit stalen hoofdliggers loodrecht op de sporen, stalen dwarsliggers bij stramienassen I t/m III en een breedplaatvloer. Zowel de dwarsliggers als de breedplaten zijn tussen de hoofdliggers aangebracht, waardoor de constructiehoogte beperkt wordt. De druklaag loopt wel door over de hoofdliggers. Dit eerste deel van het plein is ± 95 m lang (evenwijdig aan de sporen). Aangezien de staalconstructie aan de buitenlucht wordt blootgesteld, is vanwege temperatuurverschillen een dilatatie toegepast. De stabiliteit in lengterichting wordt gewaarborgd met twee windverbanden per stramien. De stabiliteit in dwarsrichting wordt in de gebruiksfase verzorgd door de constructie in as IV, die valt buiten de scope van dit deelproject. Doordat de bebouwing op het plein nog niet aanwezig is, kan de constructie tijdelijk ongeschoord worden uitgevoerd.

Bouwfasering

De bouw is gestart aan de centrumzijde (= oostzijde). Aan deze zijde kan vrij worden gebouwd zonder buitendienststellingen. In deze fase zijn de steunpunten in stramien III gebouwd. Alle sporen en perrons blijven in dienst. Vervolgens zijn de steunpunten van stramien II in perron 1 gebouwd. In deze bouwfase is perron 1 gedeeltelijk in dienst. Daarna is de pleinvloer (hoofdliggers, dwarsdragers en breedplaten) tussen de stramien III en II aangebracht. Na het omleggen van de sporen 2 en 3 zijn de steunpunten in stramien I (perron 2) gemaakt. Ten slotte is in meerdere buitendienststellingen de pleinvloer tussen stramien I en II gemaakt. •

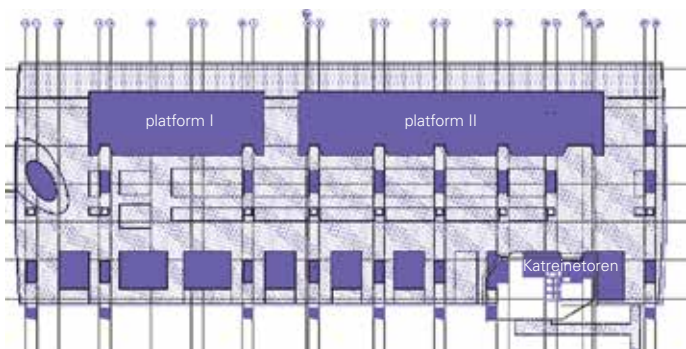


Dwarsdoorsnede van Stationsplein Oost, sporen 1, 2, 3 en 4 en de fietsenstalling. In de stalling zijn wanden aangebracht waarna zand is gestort. Vervolgens zijn schroefpalen en poeren aangebracht.

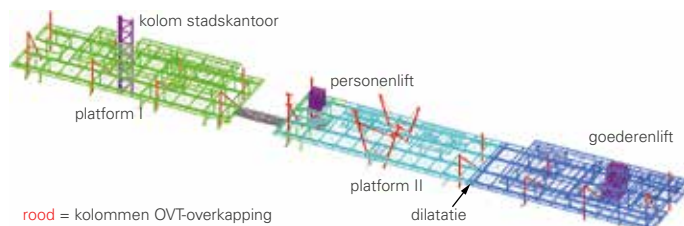


Boutaansluiting ligger-kolom bij spoor 1. De h.o.h.-maat van de kolommen (\varnothing 610-30 mm) is afgestemd op die van de perronkappen: 6 m.

Gebouwen in het gebouw



1. Plattegrond met posities van de commerciële ruimten.



2. Commerciële platforms I en II en de verbindingsbrug.

De stationshal huisvest een groot aantal commerciële ruimten, horeca-gelegenheden en winkels, die vrijstaand op de traverse staan, onder de stationsoverkapping langs de noord- en zuidgevel. De gebouwen met een verdieping steken door de noordgevel, wat consequenties heeft, en worden nog verbonden met een luchtbrug.

ir. M. Bahri, ir. J.R. Faber en ing. V.A.M. Ottenhof

Mauny Bahri is constructief adviseur, Jan Faber is consultant en Vincent Ottenhof is adviseur brandveiligheid, allen bij Movares in Utrecht.

Langs de noordgevel betreft het een tweelaags gebouw dat uit twee delen bestaat, namelijk platform I en II. Bij de zuidgevel zijn diverse enkellaagse ruimten geplaatst. De twee platforms worden verbonden met een loopbrug van 4,4x13,5 m en zijn samen bijna even lang als de stationshal. Platform I (24x66 m) bevindt zich aan de westzijde van de loopbrug en platform II (24x115) aan de oostzijde (afb. 1 en 2). De gehele constructie is brandwerend gecoat, inclusief de boutverbindingen. De verdieping van de platforms is bereikbaar via de vaste trappen, de lift aan de koppen van de platforms en de centrale trap. De verdieping van platform I is voor een groot deel (18x44 m) voorzien van een overkapping met glazen gevels. Van platform II is de verdieping op drie gebieden voorzien van een overkapping met glazen gevels. In het meest oostelijke deel (23,5x55 m) is

Grand Café gehuisvest met een olopend dak (16,8x24,6 m) voor ruimtelijk effect met het hoogste punt op 10,5 m boven de traversevloer. De vrijstaande ruimten langs de zuidgevel staan tussen de opeenvolgende trapoverhuivingen. Via buitentrappen worden traverse en perrons verbonden.

Ondersteuning op moerbalken

De vloer van de stationshal bestaat, om en om, uit 'nietjes' (nietvormige vloerplaten) en TT-platen. De nietjes zijn opgelegd bij stramienparen op 4,2 m van elkaar. Op de cijferassen, evenwijdig aan het spoor, liggen 2 m hoge betonnen moerbalken waarop de traversevloer afdraagt. De bestaande TT-platen en nietjes kunnen geen hoge krachten dragen, daarom staan de platforms op de moerbalken. Dit betekent dat de staalconstructie van de platforms dezelfde overspanningen krijgt als de stationsvloer. Op de moerbalken zijn betonpoeren gestort, monoliet verankerd, met daarop de kolommen. De éénlaagse ruimten staan wel op de ribben van de TT-platen. Omdat de commerciële vloerbelasting lager is dan die voor een bijeenkomstgebouw, ontstaat er een rekenkundige marge, die aangewend is ter compensatie van het extra eigen gewicht van de commerciële ruimten. De smalle ruimten zijn gepositioneerd in het bestaande deel en de lange ruimten, met groter gewicht, in het deel met de nieuwe TT-platen die op een hogere belasting zijn ontworpen.

Commerciële platforms

De begane-grondvloer van de platforms is de stationsvloer. De verdieping is opgetrokken uit een stalen constructie met kanaalplaatvloeren waarop een deel overkapt is met een staalconstructie, trapeziumvormige dakplaten en glazen gevels. De kolommen op beide lagen zijn buisprofielen \varnothing 355,6 mm (begane grond) en \varnothing 323,9-244,5 mm (verdieping). Op de begane grond staan de kolommen van laag één op de stramienparen scharnierend opgelegd. Om toevallige voetsmomenten te voorkomen zijn onder de moeren schotelveerringen toegepast. De hoofddragconstructie van de verdieping heeft in de lengterichting vier doorgaande hoofdliggers met in dwarsrichting vloerdragende profielen HEA 320, tevens kipsteun van de hoofdliggers. De hoofdliggers zijn momentvast bevestigd op de buiskolommen. Voor platform I zijn de hoofdliggers HEB 800 en voor platform II HEM 800. Door de beperkte hoogte liggen dwarsliggers, kanaalplaten en hoofdliggers op dezelfde hoogte. De verbindingen zijn wel bewerkelijker en duurder, maar noodzakelijk. Om dezelfde hoogtebeperking ontbreekt een druklaag en is volstaan met een afwerklaag. De horizontale schijfwerking wordt verzorgd door windverbanden onder de vloerplaten, tussen de dwarsliggers.

Stabiliteit

Beide platforms steken door de hoge noordgevel heen. Dit heeft twee consequenties. Ze



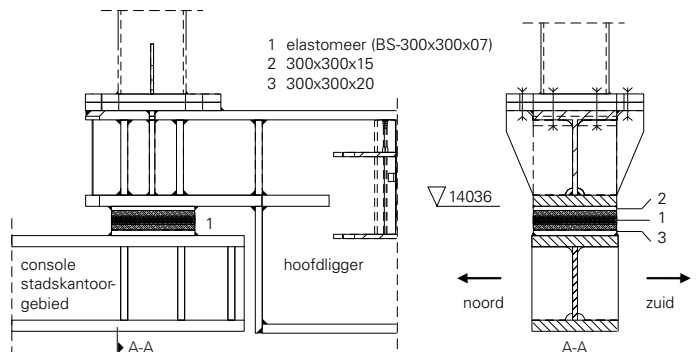
3. Het Grand Café in de stationshal.



4. Laaggelegen hoofdlijger OVT-hal bij het Grand Café.



5. Console met drukvaste oplegging.



6. Oplegging hoofdlijger platform I op de console van SKU.

moeten worden berekend op volle windbelasting en de hangstijlen van de noordgevel moeten horizontaal vastgezet worden (afb. 7 en 8), hetgeen extra windbelasting op de commerciële lagen veroorzaakt. De windbelasting op de volledige lengterichting wordt in de smalle dwarsrichting gestabiliseerd en afgedragen op zeven posities met verticale windverbanden voor stabiliteit en reductie van de horizontale uitbuiging. Voor de verdieping wordt de stabiliteit in de lengterichting geregeld door portaalwerking, via de momentvaste aansluiting hoofdlijger-kolom. In de dwarsrichting waarborgen vier verticale verbanden (\varnothing 50 mm) van platform II en de drie van platform I de stabiliteit. Aan de westzijde van platform II bevinden zich nog twee betonkernen met goederenliften. De overkappingen van de eerste verdie-

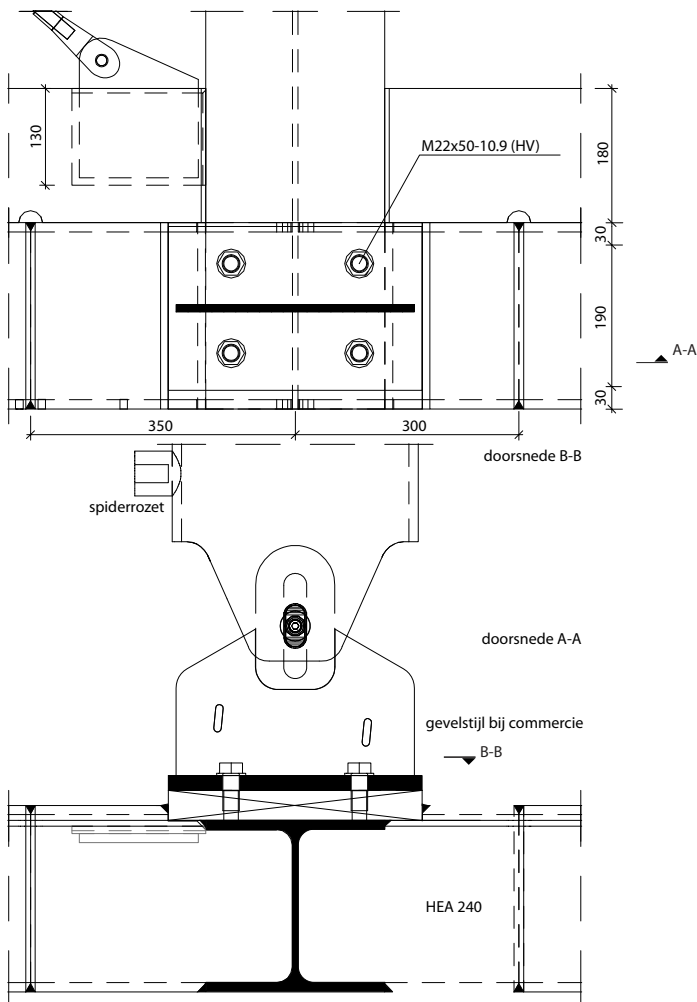
ping ontlenen hun stabiliteit in beide richtingen eveneens aan portaalwerking, via de momentvaste aansluiting daklijger-kolommen. Deze kolommen zijn ook onderaan momentvast bevestigd op de hoofdlijgers. De kolommen bij de dwarslijgers zullen meer voetsmoment opnemen en overbrengen. Een van de stabiliteitskolommen van het Stads-kantoor Utrecht steekt door platform I. De hoofdlijgers van het dak zijn hier geraveeld en omgelegd; de hoofdlijgers van de verdieping zijn geraveeld en opgelegd op de consoles aan de schacht van het Stads-kantoor (afb. 5 en 6).

Hangende gevelpuien

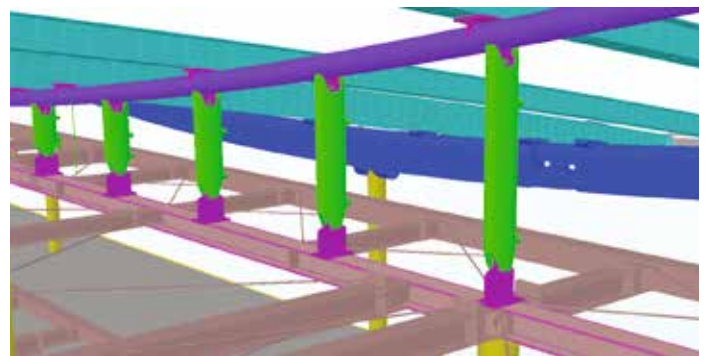
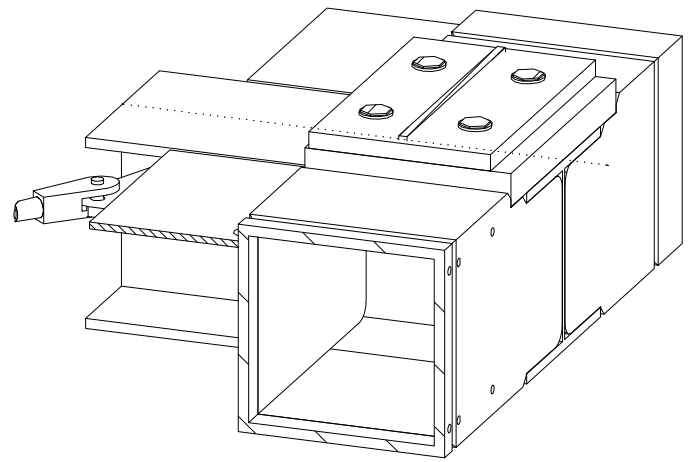
De 4,0 m hoge glazen puien (opbouw isolatieglas: 8.8.3_spouw_8) van de platforms kunnen vanwege hun gewicht niet op de traversevloer steunen, temeer omdat sommige

glaspanelen bij het opengaan naar een opstalpositie schuiven waardoor veel gewicht op een klein stuk vloer komt te staan. Om deze reden hangen alle gevelstijlen aan de randlijgers van de platforms. Voor de randlijgers zijn kokers K250/12,5 toegepast in verband met vormgeving en om het torsiemoment door de excentrische ophangposities op te nemen. De glaspanelen dragen hun gewicht af aan de T-vormige gevelstijlen h.o.h. 2,1 m. Ook bij de opstalposities wordt het gewicht afgedragen aan de staalconstructie.

De reden dat de gevelstijlen van de verdieping (2^e laag) ook hangend zijn uitgevoerd, is dat de vervorming van de twee bouwlagen dan dichter bij elkaar komen te liggen, dan wanneer de gevels van beide lagen door de verdiepingslaag gedragen gaat worden; zo



7. Gevelstijl OVT op de dakligger van het commerciële platform.



8. Modelling van de gevel op het commercieel platform.

worden de vervormingsverschillen kleiner en beter hanteerbaar in de uitvoerings- en gebruiksfase.

Commerciële ruimten

De constructie van de vrijstaande commerciële ruimten is vergelijkbaar met de platforms. De vrijstaande ruimten hebben diverse afmetingen en zijn gebouwd van stalen kokerkolommen, hoofdliggers (HEA 240) en dakgordingen (HEA 180). Het dak is bedekt met stalen trapeziumplaten en isolatie; langs de dakrand zijn glazen balustrades aangebracht. In beide richting wordt de stabiliteit gewaarborgd door momentvaste knopen. De kolommen zijn scharnierend opgelegd op de traversevloer bovenop de TT-ribben. In tegenstelling tot de platforms zijn de gevelpanelen hier wel op de TT-platen van de traverse geplaatst. Aangezien de kolommen ook op de TT-platen staan en niet op de moerbalken, is het niet meer mogelijk om de gevelstijlen aan de dakrand te hangen omdat de normaalkracht in de kolommen en daarmee de oplegkracht op de ribben van de TT-platen flink toenemen. Door het gewicht van de staalconstructie en de gevelpanelen te spreiden over diverse TT-platen wordt de permanente belasting alsnog opneembaar.

Verbindingsbrug

De verbindingsbrug heeft een stalen frame met vijf kokerliggers in de lengterichting plus vijf T-liggers en twee kokerliggers in dwarsrichting. De drie middelste kokers zijn onderspannen met trekstaven van volstaf over een hoogte van 0,85 m. De zes verticale drukstaven zijn samengestelde kokerprofielen met een verlopende doorsnede voor een slankere impressie. Voor de dwarsstabiliteit zijn buisprofielen toegepast. De eerste eigenfrequentie van de brug is 3,30 Hz, hoger dan de vereiste ondergrens van 3,00 Hz. De constructie is als één frame aangevoerd en gemonteerd. De balusters zijn nadien in het werk aan het frame gebouwd. Ook de glasplaten van het loopvlak en de balustrade zijn later aangebracht. De brug is opgelegd op de randen van de twee commerciële platforms; vast in dwarsrichting en in de lengterichting vast aan de zijde van platform I en schuivend op platform II. De vierzijdig opgelegde glasplaten (op neopreen) hebben een samenstelling van 10.15.15.3.3 (volgehard/halfgehard/volgehard). De 10 mm dikke bovenlaag werkt als opofferingslaag. De glasplaat is constructief ontworpen op 15.15.3. Bij de vervormingstoets is de bovenlaag wel meegerekend.

Sterkte bij brand

De OVT-hal bestaat uit één groot brandcompartiment. Het transfergebied bestaat voornamelijk uit moeilijk brandbare dan wel onbrandbare materialen zoals beton, staal en glas. Hierdoor kan er geen brand ontstaan, of worden onderhouden. De enige brand van vermogen kan ontstaan in een commerciële ruimte. Voor continuïteit van het vervoersproces zijn de commerciële ruimten ingedeeld in afzonderlijke brandcompartimenten met een maximale oppervlak van 1000 m² en voorzien van sprinklers. Voor de hoofdconstructie geldt dat het brandcompartiment waarin een brand heerst mag bezwijken, zolang dit niet leidt tot het bezwijken van constructies buiten dit brandcompartiment. Met een brandwerendheid van 60 minuten op bezwijken, is er voldoende tijd om bij falen van de sprinklerinstallatie de ruimten te verlaten en te doorzoeken door de brandweer, zonder instortingsgevaar. De brandwerendheid is gerealiseerd met een brandwerende coating. Niet alleen de staalconstructie van de platforms hebben zo'n coating, maar ook de kolommen van de overkapping die door de platforms steken. •



9. De onderspannen verbingsbrug heeft een stalen frame met vijf kokerliggers in de lengterichting plus vijf T-liggers en twee kokerliggers in dwarsrichting.



De veiligste roltrap van Nederland

De meeste reizigers zullen eraan voorbij lopen, maar wie goed kijkt zal zien dat de roltrap naar het westelijk busperron verschilt van de overige roltrappen in de OVT. Het is dan ook een unicaat.

ir. ing. H.J. van Lint

Hans van Lint is constructief adviseur bij Movares in Utrecht.

Deze roltrap is voorzien van versterkte roestvast stalen balusters, ontstaan uit een verschil van inzicht over de vigerende bouwregelgeving waar uiteindelijk de Raad van State uitspraak over moest doen. Het geschil ontstaat wanneer ProRail de bouw aanvraag van de OVT indient bij de gemeente Utrecht. Het ontwerp voorziet in de plaatsing van, onder architecten populaire, roltrappen met glazen balusters. De gemeente Utrecht geeft in 2010 een bouwvergunning af, maar stelt daarbij aanvullende voorwaarden aan de horizontale belasting op de baluster van de roltrappen. Wellicht met het Utrechtse werftrapongeluk in gedachten, worden de roltrappen door de vergunningverlener aangemerkt als deel van een (onbedoelde) vluchtroute en dienen daarom te voldoen aan de eisen uit het Bouwbesluit en getoetst te worden op een horizontale lijnlast van 3,0 kN/m conform NEN 6702.

Verstrekking gevolgen

Op het eerste gezicht is dit geen onredelijke eis. Immers, in geval van een noodevacuatie van de reizigersterminal zullen alle mogelijke uitgangen door een vluchtende menigte benut worden en het onderscheid tussen de vaste trappen die onderdeel zijn van de formele vluchtroute, en de roltrappen, die daar geen onderdeel van zijn, bestaat dan enkel

op papier. De betreffende eis heeft echter verstrekkende gevolgen. Roltrappen zijn min of meer een standaardproduct, ontworpen conform de Machinerichtlijn (NEN-EN 115). In deze Europees vastgestelde norm geldt een eis aan de horizontale belasting op de baluster van slechts 0,60 kN. De draagconstructie van een roltrap bestaat uit een frame van twee onderling gekoppelde vakwerkliggers. Op de bovenregel van het vakwerk wordt bij elke verticaal een klemconstructie aangebracht waar de glazen baluster (puntvormig) ingeklemd wordt. Aan de bovenzijde van de glasplaat wordt de handrail op het glas geklemd in een kamer. De eis van 3,0 kN/m stelt de roltrapfabrikant voor een moeilijke opgave. Dikker glas is geen optie: de kamer van de handrail biedt slechts ruimte voor een 12 mm dikke glasplaat, wat volstrekt onvoldoende is. Maar ook verschillende onderdelen van het vakwerkframe blijken over onvoldoende capaciteit te beschikken om de horizontale last af te dragen. Om te voldoen aan de eis van de gemeente Utrecht is maatwerk nodig, wat de roltrap uitzonderlijk duur maakt.

Juridische procedure

ProRail tekent bezwaar aan, mede omdat de eis van de gemeente gevolgen kan hebben voor alle nog te bouwen roltrappen, ook buiten Utrecht. Het juridisch verweer is dat de gemeente niet bevoegd is om een eis van 3,0 kN/m te stellen, omdat dit strijdig is met de vigerende regelgeving. Ook op technisch vlak zijn argumenten in te

brengen tegen de eis van de gemeente: uit Amerikaans onderzoek naar ongelukken met roltrappen blijkt dat er zich in dertig jaar tijd slechts twee incidenten met glasbreuk van een balustrade door horizontale overbelasting hebben voorgedaan. Statistisch gezien is de kans op overbelasting blijkbaar erg klein. Het lijkt ook vrijwel uitgesloten dat op een roltrap waar maximaal twee à drie personen naast elkaar kunnen staan een horizontale lijnlast van 3,0 kN/m uitgeoefend kan worden. Een dergelijke lijnlast kan wel ontstaan door een drukkende menigte, maar dan alleen in de richting waarin de menigte zich wil voortbewegen.

Gelijk, hoger beroep, gelijk

De rechtbank van Utrecht stelt in 2011 de gemeente in het gelijk, waarop hoger beroep volgt. In afwachting op de uitspraak van de Raad van State moet vanwege de tijdsdruk in de bouwplanning de eerste roltrap in 2012 in productie worden genomen. Deze bijzondere roltrap beschikt over een versterkt vakwerkframe en rvs-balusters die het glas van steun voorzien.

In 2013 vernietigt de Raad van State de uitspraak van de rechtbank en stelt ProRail op juridische gronden in het gelijk. Roltrappen dienen te voldoen aan de Machinerichtlijn die op unie-niveau is vastgesteld. Voldoet een roltrap aan de Machinerichtlijn, dan moet het product worden toegelaten tot de interne markt van de gehele unie. Afzonderlijke lidstaten mogen dus geen eisen stellen die toelating van deze producten tot de markt beperken.

De in 2012 geproduceerde roltrap is daarmee een unicaat en misschien wel de veiligste roltrap van Nederland. •



Trap doet intrede

De verdieping van de commerciële strook wordt aan de koppen ontsloten met trappen en een lift. Als centrale toegang wordt in het midden van de hal een opvallende afgetuide trapconstructie geïntroduceerd.

ir. M. Bahri en ir. J.R. Faber

Mauny Bahri is constructief adviseur en Jan Faber is consultant, beiden bij Movares in Utrecht.

Zo'n 60% van de verticale belasting van de centrale trap wordt afgedragen door zes tuilen en twee uithouders aan de hoofdconstructie van de overkapping. Het resterende deel wordt voornamelijk afgedragen op de traversevloer, via de oplegging van de twee trapdelen, en voor een kleiner deel op de commerciële verdieping via de oplegging van het bordes.

Dat de trap voor het grootste deel aan de overkapping hangt, heeft twee redenen. Een is de wens naar weinig kolommen op de traverse zodat reizigersstromen maximale ruimte krijgen, maar de hoofdzakelijke reden is de bestaande traversevloer die onvoldoende draagkracht heeft voor de extra belasting. Om de vloer niet te hoeven vervangen, draagt de trapconstructie rechtstreeks af aan de stabiliteitskolommen van de overkapping; deze kolommen steunen immers op de betonnen moerbalken en peronkolommen. De trapdelen steunen aan de onderzijde, vóór het trapeinde, op twee stalen V-kolommen die gelast zijn aan de trapbomen en opgelegd worden op een betonnen poer op de traversevloer. 30% Van de totale verticale belasting wordt hier afgedragen (15% per trap); 10% komt terecht op de commerciële verdieping.

De positie en oplegging van de trap zijn zo gekozen dat de overkapping, het commerciële platform en de trap elkaar niet of nauwelijks vervormingen opleggen. Immers de afdrachtspunten bevinden zich in de directe nabijheid van stijve steunpunten en het platform en steunpunt op het platform blijven op druk belast en zijn horizontaal schuivend.

Verskillende profieldoorsneden

Twee toeleidende steektrappen met tussenbordes komen samen op een driezijdige bovenbordes waarna bezoekers met een loopbordes op bestemming komen. Een ovaalvormige uithouder is gelast aan de stabiliteitskolom en steunt de trap bij de bovensteek. De trapbomen bestaan uit twee gelaste driehoekige kokerliggers met, ertussen gelast, de traptreden en het tussenbordes. De traptreden zijn dicht gelaste stalen dozen met een



driehoekige doorsnede; hierop wordt natuursteen gelegd. Het middenbordes is vergelijkbaar samengesteld uit vierkante en driehoekige dozen met eveneens natuurstenen bekleding.

Bovenaan gaan de vier trapbomen, met gelijke doorsnede, over in drie gekromde randliggers van het bovenbordes. De kromming is zuiver en ongesegmenteerd. De randliggers lopen, eveneens met hetzelfde profiel, over in twee hoofdliggers van het loopbordes. Bij het commerciële platform waar de constructie geen zichtwerk is, gaan de hoofdliggers over in platte kokers die beter in de krappe ruimte passen.

Stabiliteit

De stabiliteit is gewaarborgd door de tuien, uithouders en V-kolommen. De trap als geheel heeft een eerste eigenfrequentie van

3,0 Hz en voldoet daarmee aan de norm. Het boven- en loopbordes zijn als luchtdicht gelaste dozen uitgevoerd. Tussen de randliggers zijn in dwarsrichting dikke strippen gelast, in het verlengde van de balusters. De lege ruimte tussen de randliggers en de dwarsstrippen is aan de boven- en onderkant afgedekt met verstijfde staalplaten van 6 mm dik. De verstijvingen zijn T-profielen van 50x50x4 mm, h.o.h. 300 mm. De bovenplaat heeft een eerste eigenfrequentie van 12,0 Hz, maar de sterkte is in dit geval maatgevend geweest.

De balustrades zijn in gelaagd glas uitgevoerd die met rozetten aan de balusterstrippen worden bevestigd. De glasplaten kunnen een stootbelasting van 1,0 kN gebruikswaarde opnemen. De leuningbelasting van 3,0 kN/m wordt gedragen door de leuning en de balusters.

Vanwege de interactie tussen trap en de overkapping is de constructie voor constructief onderzoek geïntegreerd in het eindige-elementenmodel van de kap.

Detailering, fabricage en montage

De centrale trap is in vier luchtdicht gelaste delen aangevoerd (twee trapdelen, bovenbordes en loopbordes) en in het werk aan elkaar gelast. Conservering en coating zijn hersteld nadat de constructie van de OVT-hal afgebouwd is. Als laatste zijn de natuurstenen trapafwerking en glasplaten voor de balustrade gemonteerd. De tuien zijn aan de trapbomen dan wel aan de randliggers bevestigd; daarbij zijn de tuien door de trapboom heen gelast, door en door, zonder dat de volstaf aan de onderzijde van de trapboom te zien is. Hetzelfde principe is gehandhaafd voor de balusters. •

Schouder aan schouder

Voor de overkapping van de acht treinperrons en twee busperrons aan de westzijde van terminal wordt een identiek ontwerp toegepast; een stalen hoofdtraagconstructie met een transparant middendeel en twee niet-transparante vleugels. Constructief vormen ze één geheel met de portaalconstructie van de bovenleidingen en de trapoverhuivingen.

ir. M. Bahri en ir. J.R. Faber

Mauny Bahri is constructief adviseur en Jan Faber is consultant, beiden bij Movares in Utrecht.

Door zijn centrale ligging is Utrecht CS een complex en druk knooppunt met acht perrons en zestien sporen. De meeste perrons zijn lang omdat deze een A- en B-deel hebben. De treinen kunnen zowel doorrijden als keren. In de oude situatie waren er sporenkappen over perrons 3, 4 en 5 en perronkappen over perrons 1, 2 en 6. Op perron 7 stondenabri's. In verband met de zeer slechte staat van de sporenkappen zijn als eerste kappen gebouwd op perrons 3, 4 en 5. Later zijn vanwege de verbrede perrons 1 en 2 ook daar nieuwe perronkappen gekomen en vervolgens ook op het nieuwe perron 8. Vanwege DSSU (Door-Stroom Station Utrecht) worden later de breedtes van perrons 6 en 7 aangepast, met ook daar nieuwe perronkappen. De perronoverkappingen staan loodrecht op de OV-terminal, aan de noord- en zuidzijde van de terminal.

Keuze stramienmaat

De bovenleidingportalen aan de noord- en zuidzijde buiten de treinperrons staan op de gebruikelijke afstand van 60 m, maar in de richting van de traverse verloopt dit naar 19 m, vanwege de geringe hoogte onder de traversevloer. Deze 'verstaffeling' van 19 m naar 60 m moet dus plaatsvinden in het gebied van de perronkappen. Veldlengteverschillen mogen vanwege de bovenleiding niet groter zijn dan 16 m. Om een regelmatig verloop van de bovenleidingafstanden van 19 m naar 60 m

te krijgen zijn voor de perronkappen de volgende overspanningen bekeken voor de constructie en bouwkosten: 7,2; 8,1; 9; 10; 11; 12; 13,2; 14,4 en 16 m. Er is gekeken hoe de verstaffeling dan verloopt en wat het minimum aan bouwkosten is: dat is bij 12 m (afb. 1), minder funderingen weegt niet meer op tegen het benodigde extra staal. Vervolgens is gekeken hoe dit uit zou komen bij de Noordertunnel (waar er trappen naar de perrons zijn) en ook daar blijkt de 12 m een optimale keuze.

Draagconstructie

Op de stramienmaat van 12 m zijn twee buiskolommen geplaatst die naar het spoor toe hellen onder 7°. Samen met de ligger vormen ze een stabiel portaal. De portalen worden in de lengterichting gekoppeld door drie verschillende langsliggers (kokers). In het transparante middendeel wordt op de langsliggers een stalen frame gemonteerd waarop koudgebogen glasplaten bevestigd worden. Het middendeel heeft de vorm van een parallellogram en bestaat per veld, afhankelijk van de breedte van de perronkap, uit twee of meer langsliggers en een dwarsligger die aansluit op de twee kokerbalken die de vleugels dragen. De centrale kokerbalk, voorzien van dwars aangelaste uitkragende liggers, is tussen de portaal kolommen bevestigd en omkleed met aluminium sandwichpanelen. Iedere vleugel wordt als een gelast frame van ± 12 m aangevoerd en gemonteerd. De helft van het transparante deel van de overkapping draagt tevens af op de centrale koker van de vleugel.

Onafhankelijke stabiliteit

De stabiliteit in de dwarsrichting van de overkapping wordt gewaarborgd door de portalen. In de langsrichting is de totale rotatiestijfheid van de kolomvoetaansluiting en fundering voldoende om de overkapping stabiel te houden. De kolommen van de perronkappen en trapoverhuiving zijn rotatiestijf gefundeerd

op 1-paals poeren. Deze ronde poeren zijn gestort op grondverdringende funderingspalen. Afhankelijk van de locatie is er een ander type paal toegepast. Dit heeft vaak te maken met de werkruimte (kleinere of grotere stelling), de mate van overlast voor de omgeving (geen trilling of trillingsarm) en andere aspecten zoals prijs, uitvoeringstijd en nog enkele plaatsgebonden factoren. De perronoverkapping gaat vloeiend over in de overhuiving van de zuidtrap die het perron met de traverse verbindt (afb. 2). Ook constructief vormen de trapoverhuiving en de perronkap één geheel. De constructie bestaat uit doorlopende kokers van de dichte vleugels die bevestigd worden aan de betonnen moerbalken. De lange zuidtrappen rusten op verzwaarde stalen spanten van de trapoverhuivingen en niet op de traverse. De trap kan immers niet steunen op de bestaande vloer. De zijwanden van de trapoverhuiving zijn dichte elementen met driehoekige vakwerken. De trapoverhuiving sluit aan op de zuidgevel van de OVT, maar staat constructief los. De vervormingen van de trapoverhuiving en de gevel kunnen onafhankelijk van elkaar plaatsvinden. De zuidtrap is onderaan schuifvast opgelegd op een grote betonnen poer en is bovenaan glijdend opgelegd op drie korte kolomstukken die gelast zijn op de portaalligger van de overhuiving. Aan de noordzijde lopen de kokers van de dichte vleugels door en zijn bevestigd aan de betonnen moerbalken. Het middendeel wordt hier een dicht element. De beëindiging van de overkapping aan de uiterste noord- en zuidkant bestaat uit doorlopende randkokers van de vleugels en daar ter plaatse, afhankelijk van de breedte van de perronkap, al dan niet een extra (schuin geplaatste) middenkolom. De kolommen en de bovenleidingsbalken zijn open voor kabels en/of leidingen en zijn aan de binnen- en buitenzijde geconserveerd (thermisch verzinkt en voorzien van een drielaagse coating). De overige profielen zijn bij een aantal perrons luchtdicht gemaakt,



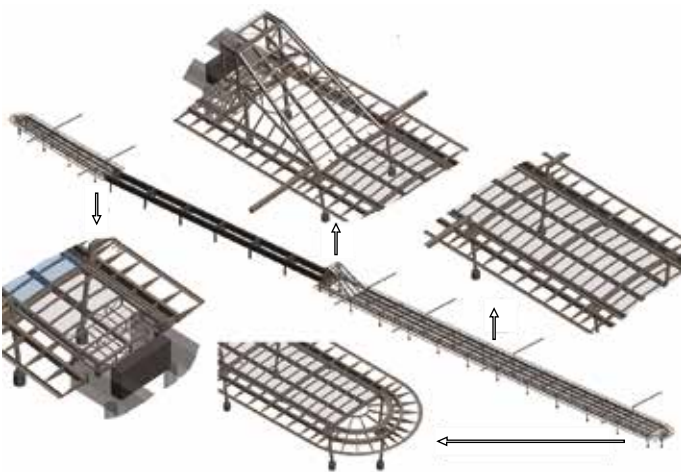
1. De kolommen (h.o.h. 12 m) lopen op enkele punten over in leidingdragende balken die samen een stabiel protaal vormen.



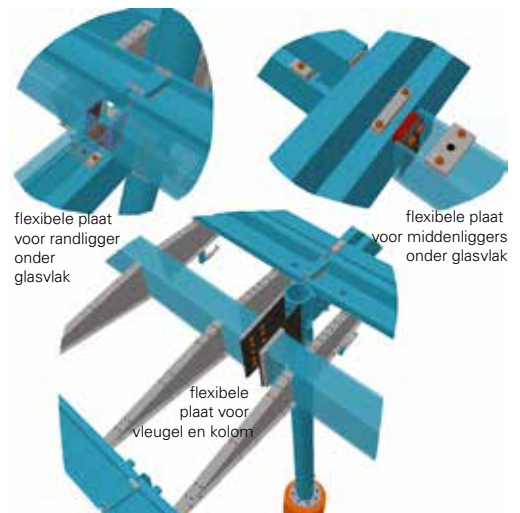
2. Trapoverhuiving (bij de zuidtrap) vormt een vloeiende overgang.



3. De flexibele aansluitplaten in de fabriek.



5. 3D Revit-model van de overkapping (perron 8).



4. Verschillende flexibele platen zijn als 'dilatatie-profiel' gebruikt.

met schotten en alleen aan de buitenzijde geconserveerd (geschoopeerd en een drielaagse coating). Bij deze perrons zijn de constructiedelen in grote stukken, gelaste frames, aangevoerd en gemonteerd. Bij een aantal andere perrons is er voor gekozen om de laatst genoemde profielen ook open uit te voeren en thermisch te verzinken. Bij deze perrons zijn de constructiedelen in kleine delen, vooral als losse profielen, aangevoerd en gemonteerd (gebout). Deze keuze is vooral afhankelijk geweest van de voorkeur van de uitvoerende partij.

Nagenoeg alle boutaansluitingen zijn aan het zicht onttrokken, op wens van de architect. Er is getracht om de verbindingen zoveel mogelijk in de niet-transparante delen onder te brengen. Daar waar dit niet haalbaar is, zijn de aansluitingen binnen de omtrek van de kokerliggers zo verwerkt dat ze van buitenaf niet zichtbaar zijn. Het ontwerp van de kappen op de perrons 1 t/m 5 is tweedimensionaal getekend in AutoCAD; de overige kappen zijn ruimtelijk gemodelleerd in Revit met een parametrische opzet (afb. 5).

Dilateren overkapping

De grote lengte van de perrons en de daarvoor benodigde overkappingen betekent dat de staalconstructie van de overkapping bij (meer)jaarlijkse temperatuurwisseling een grote verlenging dan wel verkorting ondergaat. Indien de constructie niet gedilateerd wordt, treden er grote vervormingen op die goed zichtbaar zijn aan de uiteinden van de kapconstructie. Deze vervormingen gaan gepaard met grote krachten in de constructie. Dit kan vermeden worden door de constructie te dilateren met bijvoorbeeld dubbele kolommen of schuivende opleggingen. Het eerste betekent extra kolommen die ook tot architectonische bezwaren leiden; het laatste is niet duurzaam en vereist periodiek onderhoud. Constructies op stations worden in principe onderhoudsvrij of onderhoudsarm ontworpen om hinder voor de reizigers te voorkomen en om de exploitatiekosten laag te houden. Voor de perronoverkappingen in Utrecht CS is om die reden gekozen voor buigzame ('flexibele') aansluitplaten (afb. 3 en 4). Dit zijn staalplaten met een kleine dik-



Gevleugeld

Bij de nieuwe OVT krijgen acht treinperrons en twee busperrons een overkapping. De resten van de oorspronkelijke en tijdelijke overkappingen zijn gesloopt, waarna de nieuwe kappen alleen boven de perrons worden aangebracht en niet zoals oorspronkelijk over een deel van de sporen. De kappen worden ondersteund door buisprofielen onder een hoek van 83° om minder massief te ogen en bestaan uit twee vleugels aan de spoorzijde en een glazen gebogen tussendeel dat zorgt voor meer licht in de wachtzones. De vleugels volgen de rand van het perron waardoor elke kap in lengte en breedte uniek is. In de vleugels worden alle installaties opgenomen (verlichting, speakers, dynamische en statische reizigersinformatie). Een deel van de kappen is voorzien van zonnecellen. De overige kappen zijn grotendeels in de schaduw van

de omliggende hoogbouw gesitueerd. De kolommen op alle perrons staan op een stramien van 12 m. Dat is ook doorgevoerd voor de bovenleidingmasten die zijn ontstaan door het verlengen van de kolommen. Aan de noordzijde lopen de kappen door tot de eerste koppelbalk van de stationshal. De kap is in het gedeelte onder de traversevloer uitgevoerd met dichte panelen. Aan de zuidzijde gaat de kap over in de overhuiving van de trappen en sluit uiteindelijk aan op de stationshal. De uiteinden van de perronkappen zijn afgerond door de vleugels in een halve cirkel om te zetten.

ir. P. van Rooij

Pieter van Rooij is senior architect bij Benthem Crouwel Architects in Amsterdam.

te die de bevestiging vormen tussen de hoofdliggers in de langsrichting en de hoofdliggers in dwarsrichting dan wel de portaal-kolommen. De flexibele platen zijn in staat om de thermische vervormingen op te nemen. Op deze manier is elke hoofdligger gedilateerd zodat de kapconstructie als geheel niet van aparte dilataties hoeft te worden voorzien. Er zijn drie verschillende langs-liggers, ieder met eigen type flexibele platen. De platen onderscheiden zich door vorm, dikte en krachterspel. Wat het krachterspel betreft worden de platen belast op druk en buiging; trek en buiging dan wel op torsie en buiging. De flexibele platen nemen de thermische belasting op door een vervorming te ondergaan en bieden, vanwege hun buigzaamheid, tevens enige tolerantie tijdens de montage.

Koudgebogen glas en zonnecellen

De beloopbare, koudgevormde glasplaten in het middendeel hebben een maximale lengte van 3,1 m, een vaste breedte van 1 m en zijn vierzijdig opgelegd. De glasplaten zijn van

twee lagen thermisch geharde veiligheidsglas (5.5.4). Koudbuigbare glasplaten worden recht naar de bouwplaats vervoerd en daar tegen een gekromd frame gebogen en bevestigd. Het glas is beloopbaar via een aanlijnbeveiliging. De twee binnenste goten zijn ook beloopbaar zonder dat er een buitendienststelling noodzakelijk is. Op perrons 3, 4 en 5 zijn de glasplaten voorzien van zonnecellen.

Draagconstructie bovenleiding

Alle bovenleidingsbalken zijn geïntegreerde onderdelen van de overkapping. De kolommen van de overkapping steken door tot het niveau van de bovenleidingbalk met daarop de stalen kokerliggers die als bovenleidingsbalk worden gebruikt. De aansluiting is architectonisch verfraaid door onder andere de bouten binnen de omtrek van de kokerligger weg te werken. Bovenleidingsbalk en aansluiting zijn dusdanig ontworpen dat ze de krachten van een draadbreuk kunnen opnemen zonder te bezwijken. Dit in tegenstelling tot de standaard bovenleidingconstructies. •

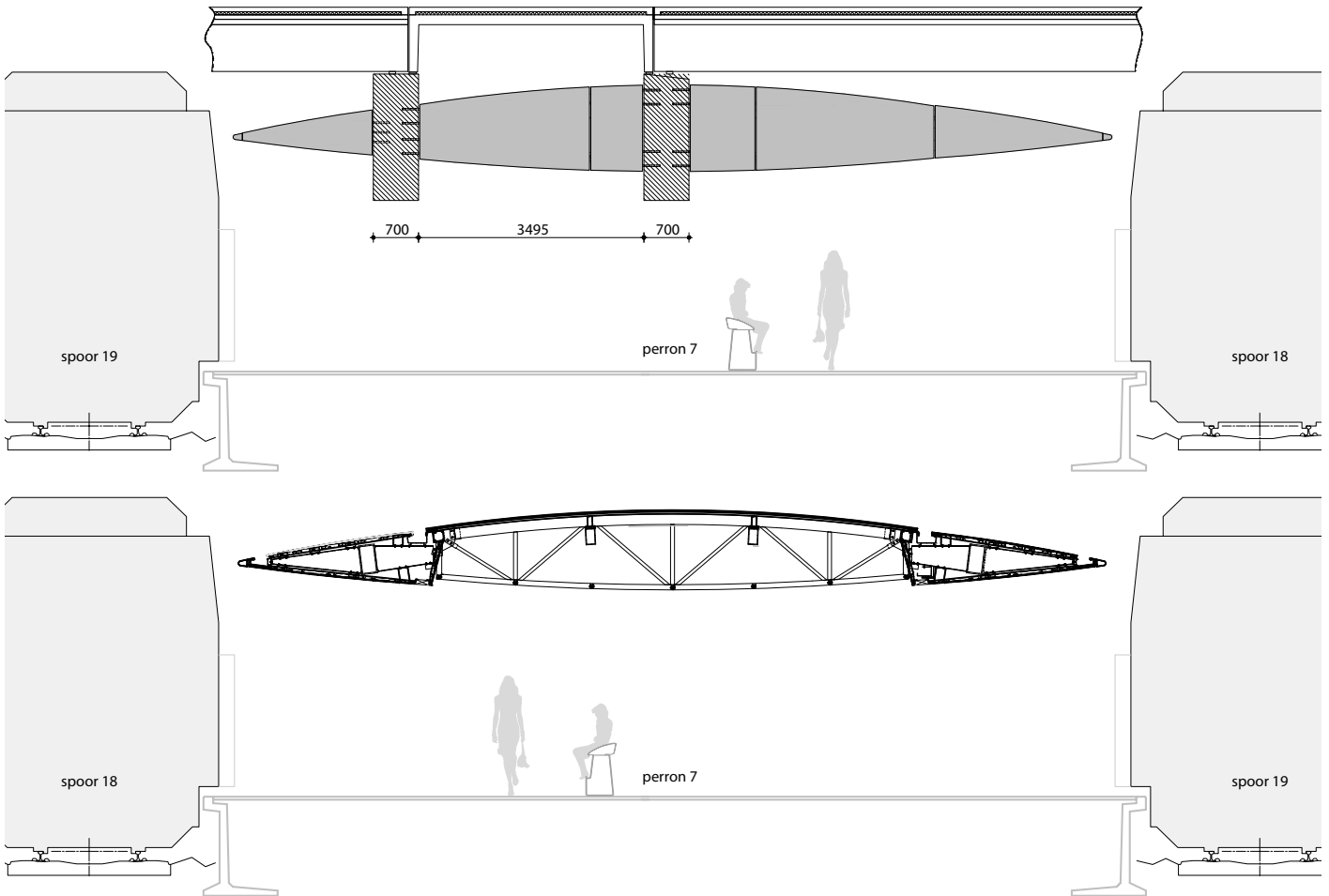
Projectpartners overkapping perrons 1 en 2 *Uitvoering en betonconstructie* Heijmans, Rosmalen • *Staalconstructie* Oskomera Staalbouw, Deurne • *Aluminium beplating, glas en toebehoren* Sorba Projects, Winterswijk • *Funderingspalen* Kantd, Nieuwerkerk a/d IJssel en Tubex, Werkendam

Projectpartners overkapping perrons 3, 4 en 5 *Uitvoering en betonconstructie* Strukton, Utrecht • *Staalconstructie* RijnDijk Construction, Eindhoven • *Aluminium beplating* Sorba Projects, Winterswijk • *Glas en toebehoren* BRS Structural Glazing, Waddinxveen • *Funderingspalen* Tubex, Werkendam

Projectpartners overkapping perrons 6 en 7 *Uitvoering en betonconstructie* Bouwcombinatie U-centRaal vof (VolkerRail en BAM Rail) • *Staalconstructie* Buiting Machinebouw & Staalconstructie, Broekland • *Aluminium beplating* Sorba Projects, Winterswijk • *Glas en toebehoren* Glasdesign, Maasland • *Funderingspalen* Kantd, Nieuwerkerk a/d IJssel

Projectpartners overkapping perron 8 *Uitvoering en betonconstructie* Hegeman, Nijverdal • *Staalconstructie* Buiting Machinebouw & Staalconstructie, Broekland • *Aluminium beplating* Sorba Projects, Winterswijk • *Glas en toebehoren* Glasdesign, Maasland • *Funderingspalen* Kantd, Nieuwerkerk a/d IJssel

Projectpartners overkapping busperrons *Uitvoering en betonconstructie* K_Dekker bouw, Warmenhuizen • *Staalconstructie* Buiting Machinebouw & Staalconstructie, Broekland • *Aluminium beplating, glas en toebehoren* Sorba Projects, Winterswijk • *Funderingspalen* Kantd, Nieuwerkerk a/d IJssel



6. Aansluiting kap met OVT (boven). De kap zelf (onder) heeft een glazen middendeel en een aluminium randafwerking.



UTRECHT CENTRAAL (11), PERRONKAPPEN (2)

Literatuur

1. L. Vákár, *Cold-curved solar panel*, EU-Patent WO2007142515 (A1), 2006.
2. L. Vákár, 'Koud-gebogen glas met zonnecellen', *Civiele Techniek* 5/6 (2011), p. 19-22.



Polykristallijne schaduwwerking

Op de schaal van Utrecht Centraal blijkt de toepassing van zonnecellen in de lichtstraten van de perronoverkappingen met koudgebogen glas een welkome bijvangst.

ir. L.I. Vákár en ir. M. Bahri

László Vákár is raadgevend ingenieur en Mauny Bahri is constructief adviseur, beiden bij Movares in Utrecht.

Zoals veel recente perron- en stationskappen zijn ook de perronkappen van Utrecht Centraal ontworpen met in het midden een brede lichtstraat van koudgebogen glas. De toetreding van daglicht levert meer verblijfskwaliteit op, de lichte staalconstructie bespaart op bouwkosten en het glas is eenvoudig te onderhouden in vergelijking met kunststoffen. De beheerder maakt zich echter zorgen over mogelijke opwarming door het grote glasoppervlak en de opdrachtgever wil graag een zichtbaar statement van duurzaamheid maken. Daarom zijn zonnecellen opgenomen in het glas: ze zorgen tegelijk voor schaduw en duurzame energie.

Van proef naar proven

Om de toepassing van koudgebogen glas met zonnecellen op de schaal van Utrecht

Centraal overtuigend te bewijzen, is eerst (2007) bij vier ruiten van de perronkap van station Utrecht-Zuilen een experiment toegepast. Met succes. Waarna ProRail besluit ook de perronkappen van Utrecht te voorzien van zonnecellen.

De perronkappen wekken energie op voor de roltrappen en verlichting. Samen zorgen de vierendertigduizend zonnecellen dan voor een energieopbrengst van ongeveer 85.000 kWh per jaar. Dit staat gelijk aan het energieverbruik van vijftientig huishoudens en een CO₂-reductie van 46 ton per jaar. De toepassing van zonnecellen bij CS Utrecht is mede mogelijk gemaakt door een subsidie van Interreg IV B North West Europe. Dit is een Europese subsidieregeling, waarbinnen partijen uit meerdere landen samenwerken in projecten op het terrein van duurzame ruimtelijke en regionale ontwikkeling. Duitsland, Groot-Brittannië, Ierland, Frankrijk en Nederland werken in een samenwerkingsverband aan de ontwikkeling van duurzame stations.

Geïntegreerde zonnecellen

Voor de perronkappen van Utrecht Centraal zijn polykristallijne zonnecellen tussen twee glaslagen opgenomen. Overigens is het ook

mogelijk om monokristallijne of amorfe cellen te integreren. Met folies van amorfe cellen neemt de buigbaarheid nog verder toe, hun piekopbrengst is echter minder.

De voordelen van zonnecellen in koudgebogen glas zijn evident. Door koudbuigen kan dunner glas worden toegepast waardoor er meer licht op de zonnecellen valt en de opbrengst toeneemt.

Ook zijn de kosten lager dan bij een dak met daarop zonnepanelen. De zonnepanelen vormen immers als het ware de dakhuid, zodat de kosten van het dak in de terugverdientijd worden bespaard. Daarmee komt de economische toepasbaarheid van zonnecellen dichterbij. Door de zonnecellen tussen twee lagen glas op te nemen, is het schoonmaken van boven- en onderzijde eenvoudig. Bovendien kan er met de verdeling van de cellen gespeeld worden. Zo kan aan de randen de hoeveelheid geïntensiveerd worden om zo de lichtovergang van de compleet gesloten zijden van de kap naar het transparante middendeel geleidelijker te laten verlopen. Door ruimte tussen de cellen kan tegelijkertijd voor voldoende daglichttoetreding (en uitzicht) gezorgd worden, zodat het gebruik van kunstlicht overdag wordt beperkt. •



Aanrijdbelasting busperrons

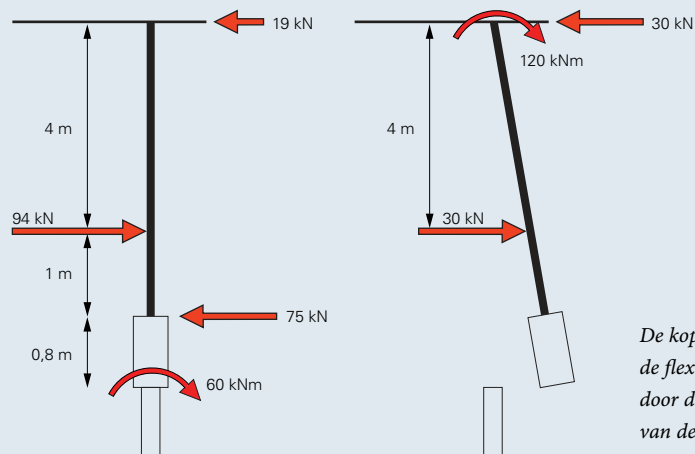
Wat gebeurt er met de busperronoverkapping bij aanrijding door een bus. In elk geval geen voortschrijdende instorting, zo blijkt uit een korte berekening.

Voor de kappen op de treinperrons is er geen risico van aanrijden: een doorgaande keerwand vangt een eventuele ontspoorde trein op. Daarbij staat de kolom ± 3 m van rand af. Voor een bus- of een tramperronkap ligt dit anders. Hoewel de perronkap geen hoofdconstructie is, heeft de gemeente Utrecht (Bouwtoezicht) gevraagd aan te tonen dat bij een aanrijding met een bus maar één spant zal instorten en niet ook een naastliggend spant. De – ongebruikelijke – eis: een aanrijdkracht op 1 m boven het perron van 1300 kN met een aanrijdhoek van 30° . Twee scenario's zijn beschouwd en de berekeningen zijn met de aannemer uitgevoerd.

Scenario 1

De kolom wordt aangerezen en bezwijkt op de plaats van de aanrijdkracht. Uit de berekening blijkt dat de kolom (met twee scharnieren) bezwijkt bij 355 kN. Vervolgens is de oplegreactie van deze aanrijdkracht op het SCIA Engineer model gezet (zonder de kolom). Het dwarsspant, waar nu één kolom mist, blijkt te bezwijken op de aansluiting met de tegenoverliggende kolom (boutbreuk).

Een nieuwe berekening zonder dwarsspant laat zien dat hierop de 2x2 flexibele aansluitplaten van de



De kopwapening bezwijkt en de flexibele plaat bezwijkt door de verdere verplaatsing van de kolom(voet).

voorste randliggers bezwijken bij de aansluiting aan de kolommen. In de volgende berekening bezwijken nog eens de 2x2 flexibele platen aan de achterste kolommen. Alle kolommen links en rechts van de aangerezen kolom bezwijken echter niet.

Scenario 2

Vanwege de relatief hoge horizontale oplegreactie op de kolomvoet bij scenario 1 is gekeken naar het zwakste onderdeel uit de reeks van paal, kopwapening, poer, voetplaat of de ankers. Na een constructieve toetsing blijkt de kopwapening de boosdoener te zijn die bij een horizontale oplegreactie van 75 kN op de

poer bezwijkt. Dit is bij een aanrijdbelasting van 94 kN. De poer inclusief kolom breekt af en draait dan om de bovenophanging van de kolom. De capaciteit is daar 120 kNm en de arm is 4 m. Het optredende moment is veel groter dan de 120 kNm. De flexibele platen van de ophanging van de randliggers bezwijken en de kap bezwijkt verder conform scenario 1. Kortom: bij een botsing met een bus stort wel een gedeelte van de kap in, maar de overige kolommen en de rest van de kap blijven staan. •

ir. J.R. Faber

Jan Faber is consultant bij Movares in Utrecht.