



Station Amsterdam-Noord is onderdeel van de Noord/Zuidlijn die medio dit jaar officieel wordt geopend. Aan weerszijden van dit station bevinden zich busplatformen met een beeldbepalende overkapping, ondersteund door vier in hoogte verlopende kolommen. De dakbedekking van sedumvegetatie en grote glazen panelen maken het constructieve ontwerp een opgave van formaat.

ir. R.J. Arts RC, ing. M.B.J. van Odenhoven en ir. H.M. Robbmond

Rob Arts is senior-constructeur bij Adams Bouwadviesbureau in Druten, Marcel van Odenhoven is directeur/eigenaar van Staalbouwkundig Adviesburo Van Odenhoven in Heijningen en Henk Robbmond is ontwerpleider constructies/constructeur bij G. van der Ven Aannemingsbedrijf in Brakel.

Station Noord is het eindpunt van de Noord/Zuidlijn en ligt bovengronds in de wijk Buikslotermeer. Onderdeel hiervan is het busstation, dat als start- en eindpunt van veel stadsbussen en regionale bussen gaat fungeren. Dagelijks zullen naar schatting 41.000 reizigers gebruik maken van dit station. Beeldbepalend zijn de identieke kappen van de twee busplatformen met de in- en uitstapperrons

De uitvraag van dit project is door de Gemeente Amsterdam – Metro en Tram gedaan middels een UAV-GC, Design&Build-contract en is gebaseerd op het ontwerp van Benthem Crouwel Architects. De

aanbesteding werd gewonnen door G. van der Ven Aannemingsbedrijf met onder andere een beeldkwaliteitsplan inclusief constructief VO. In collegiale samenwerking is dit volledig in 3D-BIM uitgewerkt tot een uitvoeringsontwerp.

Constructief ontwerp en geometrie

De overkapping meet 48x18,5 m. De vrije hoogte onder de overkapping bedraagt minimaal 5,0 m. De vier kolommen staan h.o.h. 12 m met aan de kopse zijden een uitkraging van 6,0 m. Het transparante gedeelte van gelaagde glasplaten is 7,0 m lang. Het gesloten deel van

het dak is 11,5 m lang. De beschikbare ruimte voor de constructie is in het VO nauwkeurig vastgelegd. De inspanning lag in het effectief vormgeven van de constructie binnen de belijningen van het ontwerp.

De luifels worden gedragen door vier, in hoogte verlopende kolommen. Deze samengestelde kolommen bestaan uit een voor- en achterplaat $t = 40$ mm en zijplaten $t = 25$ mm. Op deze kolommen zijn primaire hoofdspanten bevestigd: HEA 900-profielen die in hoogte verlopen. Hiervoor zijn de lijven schuin doorgesneden en op maat aan elkaar gelast. De glazen panelen rusten op consoles h.o.h. 2,0 m. De samengestelde consoles verlopen tevens over de hoogte en worden verbonden aan een forse dwarsbalk HEA 900. Om de vervormingen van de consoles te beperken worden deze met IPE 500-balken doorgezet tot een tweede dwarsbalk HEB 500. Bij het uiteinde van de gesloten kap is nog een derde dwarsbalk HEB 260 aanwezig, gevolgd door de gootconstructie. De drie dwarsbalken zijn noodzakelijk om de vervormingen van de uitkragingen aan de kopse zijden te beperken. De grootste ver-



Sedumvegetatie en transparantie aan bovenzijde van de luifel.

vormingen treden namelijk op bij de hoeken van de kappen.

De stabiliteit wordt ontleend aan momentvaste knopen van de kolommen aan de spanen en van de kolommen aan de fundering. De fundering bestaat uit vierpaalspoeren met prefab palen met schoorstand 8:1. Berekeningen tonen aan dat deze fundaties te beschouwen zijn als momentvast. De poeren zijn voorzien van een opstort voor de aansluiting met de stalen kolommen. Het gesloten dakgedeelte is voorzien van windverbanden.

Glas en sedum

Het transparante deel van het dak is voorzien van 24 glaspanelen van 2,0x7,0 m. Deze panelen rusten via puntvormige opleggingen op de consoles. Een van de meest kritische onderdelen van dit ontwerp is de grootte van deze glaselementen in relatie tot de vervormingen die zij ondergaan. Deze vervormingen zijn in detail bepaald in een 3D-EEM-model. Hieruit is gebleken dat alle uithouders verschillend reageren op deze belastingen. Zo reageren de uithouders die direct aan de kolommen zijn verbonden, stijver

dan de uithouders tussen de kolommen.

Tevens vervormen de uithouders op de hoeken van de kap ook weer op een andere wijze. Naast de toetsing op globale vervormingen is ingezoomd op de lokale vervormingen tussen de consoles onderling. Deze verschillen leiden tot scheluw trekken van het glas. Dit is getoetst door de glasleverancier en op basis hiervan is de detaillering verder uitgewerkt. Om deze vervormingsverschillen zo minimaal mogelijk te houden, is het gesloten gedeelte van de kap opgezet bij de montage. Onder invloed van het eigen gewicht en de rustende belasting zakt het gesloten gedeelte en veren de uithouders juist op.

Het gesloten gedeelte van de kap is bedekt met sedumvegetatie en stalen roosters met in het laatste veld de goot. Dit betreft een aparte staalconstructie in de vorm van een bak met verstijvingen. Deze goot wordt per stramien bevestigd aan de hoofd- en tussenpanen. In de aansluiting kolom met spant zijn springen aangebracht voor de hwa's en mantelbuizen. Deze springen in de hoofdspanten zijn zo gepositioneerd dat rekening wordt gehouden met de krachtswerking.

Vanuit het leidingtracé lopen mantelbuizen door de kolom de fundering in.

Ontwerp en montage

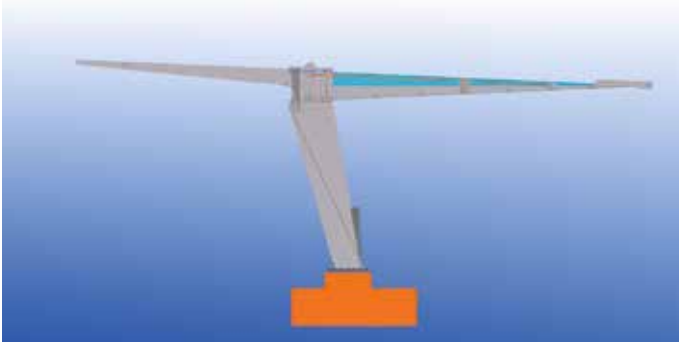
Het busstation is gemodelleerd in Revit. De vele raakvlakken tussen onder andere de staalconstructie, betonnen onderbouw, hwa, glas, sedumvegetatie en aluminium plafondbeplating hebben ertoe geleid om het geheel in 3D-BIM uit te werken. De constructie kon hierdoor als een bouw pakket op locatie worden samengesteld. Er is hierbij veel aandacht besteed aan onderhoud en vervangbaarheid. De oplossingen met boutverbindingen dragen hieraan bij en leiden tot een korte montagetijd. Belangrijk aandachtspunt bij montage is dat een geringe afwijking bij het stellen van de kolomvoet leidt tot aanzienlijke maatafwijkingen aan het uiteinde van de kap. Door een nauwgezet stappenplan met meetprocedure bij de montage, is het resultaat zeer goed uitgelijnd.

Staaldetails

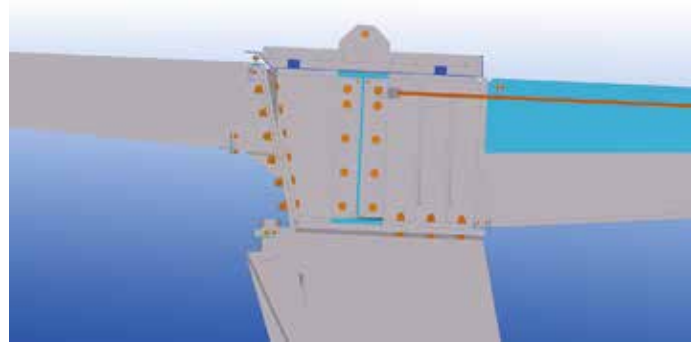
De kapconstructie bestaat in hoofdzaak uit ongeschoorde raamwerken met gezamenlij-

Literatuur

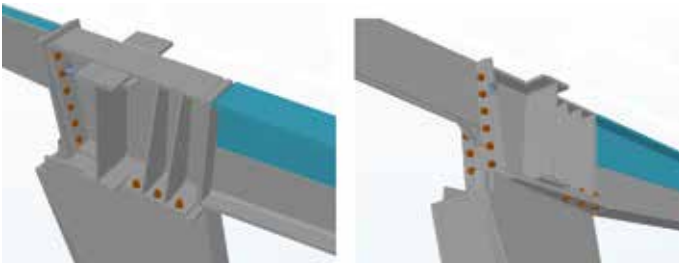
1. *NEN-EN 1993-1-8* (Eurocode 3: Ontwerp en berekening van staalconstructies – Deel 1-8: Ontwerp en berekening van verbindingen), 2006 + C1, 2006 + C2, 2011.
2. D.A. Hordijk en J.W.B. Stark, *Kolomvoetplaatverbindingen. Aanbevelingen voor de berekening volgens de Eurocodes* (CUR/BmS-rapport 10), Bouwen met Staal en CUR Bouw & Infra, Zoetermeer/Gouda 2009.
3. *NEN-EN 1992-1-1* (Eurocode 2: Ontwerp en berekening van betonconstructies – Deel 1-1: Algemene regels en regels voor gebouwen), 2005 + C2, 2011 + A1, 2015.



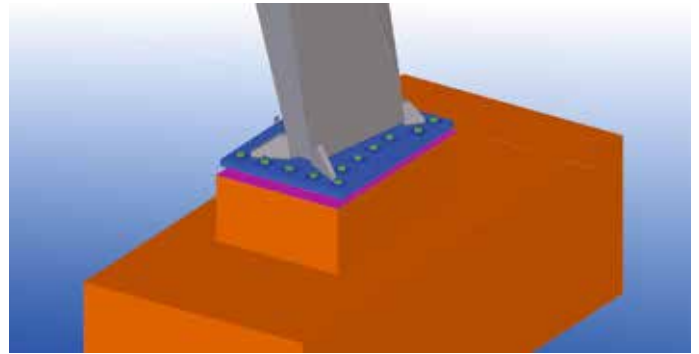
Aanzicht kolom met hoofdspan.



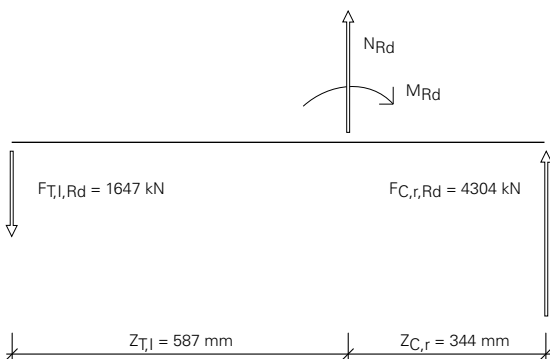
Aanzicht ligger-kolomverbinding.



Isometrie ligger-kolomverbinding met aangelast dwarspant.



Verbinding kolomvoet aan betonnen poer.



Krachtschema kolomvoet.



Isometrie waar alle verbindingen samenkomen.

ke kolommen. Door het slanke ontwerp is het bij de dubbele overstekken noodzakelijk dat in twee richtingen de dakliggers in hetzelfde vlak liggen. Kruisende momentvaste verbindingen zijn het meest kenmerkende aspect van deze kapconstructie. Vanwege de beperkt beschikbare constructiehoogte zijn momentvaste boutverbindingen in de knopen niet altijd mogelijk. De oplossing ligt erin de boutverbinding buiten de knoop te plaatsen naar een gebied met lagere momenten en de knoop zelf gelast uit te voeren. In wezen worden dan drie verbindingen

gemaakt in plaats van één. De meest interessante details zijn de kolomvoet en de ligger-kolomverbinding

Kolomvoet

De kolommen zijn in twee richtingen momentvast ingeklemd op de funderingspoer. Die verbinding is traditioneel uitgevoerd met een voetplaat en ingestorte ankers. De voetplaat is rechthoekig en alleen aan de smalle kolomzijde verstijfd met schotten. In eerste instantie waren aan de lange zijde ankers op constante afstand tot

het lijf geplaatst. Geredeneerd vanuit het moment om de zwakke as van de kolom een logische keus. Dat ankerpatroon bleek later toch minder voordelig omdat door de schuine ankerrijen een conflict met de wapening ontstond. Omdat deze ankers minder belast worden door dit niet-dominante moment was een plaatsing 'in lijn' goed mogelijk. Nadat de kolomvoet is ontworpen, zijn de verschillende weerstanden bepaald. Zo is voor beide richtingen van buiging om de sterke as de weerstand van trek- en drukzone bepaald. Voor de capaciteit van de trekzone

Projectgegevens

Opdracht Gemeente Amsterdam – Metro en Tram • Architectuur Benthem Crowwel Architects, Amsterdam • Constructief ontwerp Adams Bouwadviesbureau, Druten (i.o.v Advies & Ontwerpregie) • Integraal ontwerp Advies & Ontwerpregie, Beneden-Leeuwen • Detailengineering Staalbouwkundig Adviesburo van Odenhoven, Heijningen • Uitvoering G. van der Ven Aannemingsbedrijf, Brakel • Staalconstructie Moeskops Staalbouw, Bergeijk • Glas Alverre Techniglas, Oldenzaal

is uitgegaan van een elastische verdeling van ankerkrachten. Vervolgens zijn met evenwichtsvergelijkingen de normaalkracht- en momentweerstand van de voetplaatverbinding afgeleid. Dat is gedaan voor verschillende configuraties: links druk en rechts trek, rechts druk en links trek, beide zijden druk en beide zijden trek. Met deze gegevens is een interactiediagram voor moment en normaalkracht opgetekend waarmee snel getoetst kan worden dat alle combinaties van snedekrachten volgens de hoofdberekening opgenomen kunnen worden. Buiging om de zwakke kolom-as alsmede dubbele buiging is separaat getoetst. De ankergroep wordt tevens belast op een excentrische afschuifkracht die gecombineerd is met torsiemomenten uit de kolom. Interactie tussen normaalkracht en afschuiving mag bij de toetsing van de sterkte van de ankers buiten beschouwing blijven ([2] D1 (2)).

Berekening

De ankers zijn uitgevoerd als draadstangen M30 klasse 8.8 met een ankerplaat vierkant 100 mm en 20 mm dik. Staalbreuk van het anker ($F_{t,Rd} = 323$ kN) en de weerstand tegen uittrekken ($N_{Rd,p} = 540$ kN) zijn niet maatgevend. Taai gedrag van de verbinding wordt geleverd door buiging van de voetplaat in de trekzone ($F_{t,Rd} = 219$ kN). Omdat de trekkracht in het anker door uitwendige belasting (T) nooit groter is dan $F_{t,Rd}$ wordt voldaan aan B1 (10):

$$\frac{T}{N_{Rd,p}} = \frac{219}{540} = 0,406 < 1 \quad \frac{1,25F_{t,Rd}}{N_{Rd,p}} = \frac{1,25 \cdot 323}{540} = 0,817 < 1$$

Voor de buigingsrichting waarbij de brede kolomzijde gedrukt wordt, zijn de volgende weerstanden berekend:

Drukzone:

$$F_{C,r,Rd} = 4304 \text{ kN} \quad z_{C,r} = 344 \text{ mm}$$

Trekzone:

$$F_{T,l,Rd} = 1647 \text{ kN} \quad z_{T,l} = 587 \text{ mm}$$

Met deze gegevens kunnen evenwichtsvergelijkingen opgesteld worden. Voor deze situatie zijn dat:

$$\Sigma V = 0 \rightarrow N_{Rd} - F_{T,l,Rd} + F_{C,r,Rd} =$$

$$0 \rightarrow N_{Rd} = F_{T,l,Rd} - F_{C,r,Rd} = 1647 - 4304 = -2657 \text{ kN}$$

$$\Sigma M = 0 \rightarrow M_{Rd} - F_{T,l,Rd} z_{T,l} - F_{C,r,Rd} z_{C,r} \rightarrow$$

$$M_{Rd} = F_{T,l,Rd} z_{T,l} + F_{C,r,Rd} z_{C,r} =$$

$$1647 \cdot 0,587 + 4304 \cdot 0,344 = 244$$

Deze waarden stemmen overeen met een berekening volgens [1] tabel 6.7:

$$e = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}} = \frac{2448}{-2657} = -0,921 \text{ m} \rightarrow e \leq -z_{C,r}$$

$$M_{Rd} = \frac{F_{T,l,Rd} z}{\frac{z_{C,r}}{e} + 1} = \frac{1647 \cdot (0,587 + 0,344)}{\frac{0,344}{-0,921} + 1} = \frac{1533}{0,626} = 2448 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} = \frac{-F_{C,r,Rd} z}{\frac{z_{T,l}}{e} - 1} = \frac{-4304 \cdot (0,587 + 0,344)}{\frac{0,587}{-0,921} - 1} = \frac{-4007}{-1,637} = 2448 \text{ kNm}$$

Op analoge wijze worden de overige punten van het moment-normaalkrachtdiagram berekend (tabel 1).

Ligger-kolomverbinding

De meest dominante snedekracht bij de ligger-kolomverbinding wordt gevormd door het buigend moment uit de luifelligger. Dit moment ligt ten grondslag aan het ontwerp van de verbinding. Om bouwkundige en constructieve redenen is de ligger doorgaand over de kolom. De drager voor het glasdak sluit zodoende met een momentvaste verbinding tegen het uiteinde van de hoofdligger

Tabel 1. Waarden uit moment-normaalkrachtdiagram.

configuratie		M_{Rd}	N_{Rd}
links	rechts	kNm	kN
trek	druk	+2448	-2657
druk	trek	-1612	+165
trek	trek	+174	+3466
druk	druk	+662	-5958
nul	druk	+1481	-4304
druk	nul	-819	-1654
nul	trek	-793	+1819
trek	nul	+967	+1647

aan. Op de kolom ligt een HEA 900-ligger. Loodrecht hierop sluit met gelaste verbindingen de HEA 900-regel van het langsporaal aan. Op zekere afstand naast de kolom is deze portaalregel voorzien van geboude delingen.

Omdat de lijven van ligger en kolom niet in een vlak samenvallen, wordt het moment primair opgenomen door een krachtkoppel. Aan de voorkant wordt de drukkracht via een tussenschot direct naar de kolomflens overgebracht. Aan de zijde van het glasdak kan de ligger niet doorlopen tot achterkant kolom. Daar is tussen de kolomlijven een trekschot gelast. De kolom is tussen trekschot en voorzijde voorzien van een kopplaat. Achter het trekschot blijft de bovenzijde open voor doorvoer van elektrische leidingen en hemelwaterafvoer. De onderflens van de ligger op de kolom is verbreed en verstijfd met schotten. Het aandeel van het buigend moment uit de portaalregel wat buiging om de zwakke as van de kolom veroorzaakt, is eveneens primair via een krachtkoppel opgenomen. De flenzen van de ligger die over de kolom loopt zijn in het vlak geschematiseerd als liggers op twee steunpunten en brengen zo de kracht uit de flenzen van de portaalregel over naar trekplaat en schotten. Dit is de reden dat de schotten over de volledige hoogte lopen. De trekplaat wordt bij dit moment op buiging in het vlak belast. Opbuigende momenten (in verhouding $\pm 25\%$ van de neerbuigende) worden opgenomen door de bouten in de kopplaat van de kolom en door een drukpunt bij de trekplaat. •