

ISSN 0166-6363

Uitgever Marco Pauw.

Redactie Marco Pauw • Margot Visser.

Medewerkers Hans Emeis • Ossip van Duivenbode.

Redactieraad ir. H. El Bamby, TU Delft • J.A. Boender, Zinkinfo Benelux • ir. H. Bouras MSc, Rijkswaterstaat • ir. M.F.I. Braem, Croes • ir. Y. van Diermen, Pieters • C. van Gestel, Construsoft • A. Hagoort, SNS • ir. C.J. Jentink, Tata Steel • G.J. Kannekens, Severfield • ir. F. Maatje (voorzitter), Bouwen met Staal • ir. H.J. van Lint, Movares • ing. I.B. van der Meer, Bam Infraconsult • ir. K. Oosterman, ZJA Architects & Engineers • T.S. Wolvekamp MSc, SBE Nederland.

Redactie en administratie Bouwen met Staal • Louis Braillelaan 80 • 2719 EK • Zoetermeer • tel. (088) 353 12 12 • bms@bouwenmetstaal.nl.

Advertenties Advercom • Dijkzichtlaan 2, 2071 EZ Haarlem • tel. 023-737 07 96/06-24 68 52 25 • edejong@advercom.nl • www.advercom.nl.

Vormgeving Banee Design, Rotterdam • www.banee-design.nl.

Druk Veldhuis Media, Meppel • www.veldhuismedia.nl.

Vrijwaring Uitgever, redactie, auteurs en medewerkers verklaren dat de inhoud van dit vakblad zorgvuldig en naar beste weten is samengesteld. Zij aanvaarden geen aansprakelijkheid voor schade, van welke aard ook, als gevolg van handelingen en/of beslissingen die zijn gebaseerd op de geboden informatie.

Abonnementen 2025 Binnenland € 92; buitenland € 122; studenten € 20 (via Staalkaarthouder); losse nummers € 25 (prijzen incl. btw). Annuleren voor 2026 is mogelijk tot 1 december 2025. Een abonnement is ook verkrijgbaar als onderdeel van een lidmaatschap van Bouwen met Staal met exclusieve toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad.

Lidmaatschap Bouwen met Staal Een lidmaatschap geeft recht op één of meer abonnementen op het vakblad *Bouwen met Staal* en gratis deelname aan avondsessies. Als (bedrijfs)lid ontvangt u ook korting op studiedagen, excursies en op andere producten en diensten van Bouwen met Staal (zoals publicaties, cursussen, opleidingen en de Nationale Staalbouwdag). Bovendien krijgt elk lid toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad (online bladermodule) en het archief (eveneens online) dat per artikel kan worden geraadpleegd via bijvoorbeeld auteur, onderwerp of een trefwoord. Annuleren voor 2026 is mogelijk tot 1 december 2025.

Meer informatie en aanmelding(en) www.vakbladbouwenmetstaal.nl.

Foto cover en p. 3 (links) Iwan Baan • www.iwan.com.

Foto p. 2 Hufton + Crow • www.huftonandcrow.com.

Foto p. 3 (rechts) Lucas van der Wee | cepezed • www.interieur-fotograaf.com.



5 NIEUWS

9 INTERVIEW NIEUWE BESTUURS- VOORZITTER BOUWEN MET STAAL **Bruggenbouwer aan het roer**

61 FASCINATIE VOOR CONSTRUCTIES (8): HEYDAR ALIYEV CULTURAL CENTER, BAKU, AZERBEIDZJAN (AZ) **Het ontbreken van de rechte lijn**

W. Spangenberg

72 VERBINDINGEN (1) **Tussen hoofd- en verbidingsconstructeur**

M.B.J. van Odenhoven en C.A. Dol

77 VRAAG & ANTWOORD 429-430

78 KIJK OP DE ZAAK (5): SVEN #5 **Oefentoetsvraag 2B, alsjeblieft**



23 | TORNADO



66 | PROJECTEN

- 23 TORNADO-SPECIAL
- 24 TORNADO, FENIX II, ROTTERDAM (1):
OPDRACHT
It's all about movement
- 30 (2): ARCHITECTUUR
On-Europees en futuristisch
- 34 (3): CONSTRUCTIEF ONTWERP
Ongesteunde werveling
K.C. Terwel, L. Wiltjer, P. Korthagen, A. Herder en A. Vermeeren
- 38 (4): DYNAMICA
Zweven zonder beven
L. Wiltjer, P. Korthagen en K.C. Terwel
- 42 (5): ROESTVAST STALEN BEKLEDING
Puzzelen, passen, polijsten
A. Herder
- 50 (6): STAALCONSTRUCTIE
Elementair samenspel
A. Vermeeren

- 14 BELEVINGSCENTRUM PORTLANTIS,
MAASVLAKTE ROTTERDAM (2):
CONSTRUCTIEF ONTWERP
Roteren op dubbele ring
N.A.J. Bartels
- 66 HOGESCHOOL INHOLLAND,
AMSTERDAM
Luchtkasteel met perspectief



Elementair samenspel

Een gecompliceerde vorm met een glad gepolijst, roestvast stalen oppervlak als de Tornado vraagt om precisie, vakmanschap en controle. Zowel in productie als in montage. Een meteorologische tornado ontstaat ‘tijdens een complex samenspel van elementen die precies goed moeten vallen’. Dat geldt hier ook.

ir. A. Vermeeren

Andreas Vermeeren is projectmanager bij CSM Steelstructures in Hamont-Achel (B).

‘Een *shiny* blauwe achtbaan, is dat niets voor jullie?’ Zo begon het verhaal van de Tornado eind 2019. Een vaste klant en grote Nederlandse aannemer contacteerde ons om samen een aanbieding te maken voor een uniek project. Het was onmiddellijk duidelijk dat dit een *once in a lifetime*-project zou worden en na enkele sparringssessies zaten we samen aan tafel in het bouwteam.

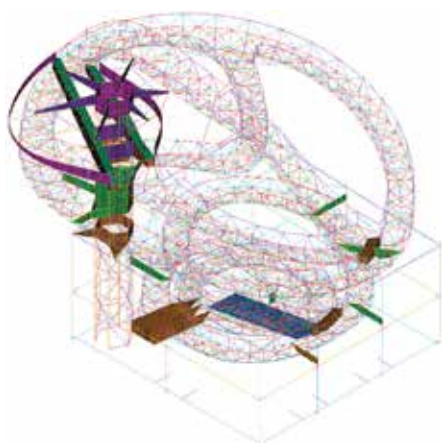
Bouwteam

In dit bouwteam kwamen de constructieve opgaven al snel naar boven. De goede verstandhouding tussen de verschillende bouwpartners en het benutten van elkaars sterktes leidden tot een intensieve samenwerking, waarbij er in een iteratief proces een constructief ontwerp tot stand kwam. Gedurende dit proces hield de staalbouwer met name de maakbaarheid in de gaten, wat bemoeilijkt werd door de complexe vorm en het samenkomen van verschillende disciplines.

Deze focus op maakbaarheid had enerzijds te maken met de keuzes van profieltypes, het samenstellen van typische knopen en het opstellen van een aantal logische spelregels om het spaceframe samen te stellen. Anderzijds zijn een aantal zones in het spaceframe zodanig uitgenut dat het niet langer opportuun was om deze als spaceframe uit te voeren. In plaats van een open structuur is hier een constructie uit staalplaat uitgewerkt. Bovendien was er uitzonderlijke aandacht nodig voor de bouwkundige en constructieve ontkoppelingen, vanwege de combinatie van een oude, betonnen loods en een nieuwe, stalen structuur (lobbybox) enerzijds en de Tornado en het glazen dak anderzijds. Dit resulteerde in een aantal complexe bouwkundige detailleringen en aandacht voor zorgvuldige uitvoering ervan. De taak was uiteindelijk om dit constructief ontwerp verder te vertalen naar een uitvoerbaar en op de bouwplaats realiseerbaar ontwerp.

Detailengineering

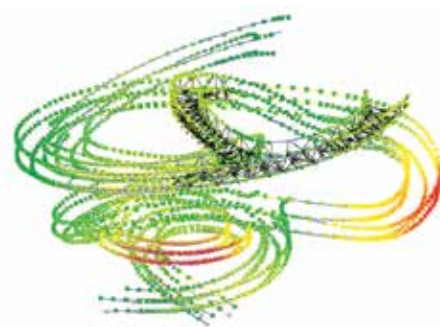
Vanwege de geometrie en specifieke eisen van robuustheid is besloten om het volledige Scia Engineer-model via een XML-export om te zetten naar Ansys. Vervolgens zijn verschillende verfijnde 2D- en 3D-plaatmodellen geïntegreerd in dit globale lijnmodel. Deze integratie maakte het mogelijk om de impact op de detaillering te beoordelen wanneer verschillende constructieve elementen worden weggelaten (tweede draagweg), om een beter beeld te krijgen van de invloed op vervormingen door de stijfheid van verschillende buis-buis verbindingen en om gedetailleerde controles van lassen uit te voeren. De koppeling tussen een staafelement en plaatelementen wordt binnen Ansys gemaakt via ‘constraint equations’ (CE’s). Het materiaalmodel maakt gebruik van elastisch-plastisch gedrag. Voor dit project is overeengekomen dat lokale plastische pieken tot maximaal 2,5% zijn toegestaan in de basis-UGT en tot 5% voor de robuustheidsanalyses. De detaillering is gebaseerd op het basislijnmodel, waarin vervolgens bepaalde optimalisaties zijn toegepast met het oog op maakbaarheid. Zo is er bijvoorbeeld voor gekozen om bepaalde staven uit het systeem te verwijderen zodat er geen overlapping



Ansys rekenmodel (EEM).



Geheel 3D-tekenmodel met alle stalen onderdelen.



Rhino-Grasshopper model met overzicht (3D-) zegen. Groen: weinig, rood: veel.

ontstaat. De knooppunten zijn gecontroleerd op dimensionering volgens de eisen van de gemeente:

- bij 120% van de maximale inwendige krachten voortkomend uit de UGT-basisberekening;
- bij 100% van de maximale inwendige krachten voortkomend uit de berekening van de tweede draagweg;
- bij 130% van de maximale inwendige krachten voortkomend uit de UGT-basisberekening voor alle sleutelcomponenten zoals bepaald door de constructeur in hun robuustheidsanalyse (lobbybox, ruimtiframe-ondersteuning);
- bij 144% van de maximale inwendige krachten voortkomend uit de UGT-basisberekening voor de staven die normatief zijn voor dynamica (voor deze staven geldt een extra dynamische factor van 1,2).

Er is veel aandacht besteed aan het beperken van het risico op lamellaire scheurvorming tijdens de fabricage van zowel platen als buiswanden. Waar nodig werd hiervoor de Z-kwaliteit bepaald volgens de parameters uit NEN-EN 1993-1-10 of zijn voorzorgsmaatregelen genomen, zoals voorverwarming.

Productiemodel

De staalconstructie van de wenteltrap bestaat uit een combinatie van plaatwerk, buizen en kokers. Het volledige spaceframe bevat maar liefst 2.100 m³ gekromde buizen. Het glasdak bestaat ook uit gekromde buizen, met wanddiktes van 16 en 20 mm. Voor de liftkern hebben de hoofdkolommen een diameter van 508 mm, en bij het platform zijn er plaatdiktes tot 100 mm gebruikt. Door de vele krommingen in de constructie, de hoge eisen op esthetisch en constructief

vlak en het samenkomen van verschillende disciplines in één staalstructuur is de complexiteit van het project groot. De combinatie van Grasshopper-Tekla was cruciaal om het model op te bouwen, maar ook om het haalbaar te maken voor productie. Met Grasshopper is er daarom ook een algoritme ontwikkeld om een 3D-zeeg te induceren zodat de uiteindelijke vervormingen op de werf geminimaliseerd konden worden. Ook eventuele afwijkingen na het monteren werden aan de hand van inmetingen in Grasshopper gecontroleerd.

Tijdens het voortraject is binnen het bouwteam actief gestreefd naar een constructief ontwerp dat zo dicht mogelijk aansloot bij de oorspronkelijke architectonische visie. Dit gold zowel voor de opbouw van de huidpanelen als voor het constructief ontwerp van de Tornado. Deze aanpak resulteerde in een