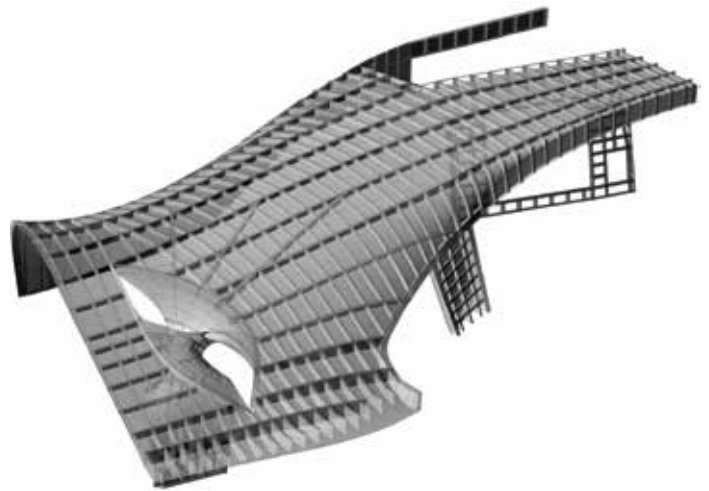


# Startpunt is de kale vorm



1. Model van de architect.



2. Constructief ontwerp rekenmodel (Ansys).

**Het toepassen van scheepsbouwtechnieken vereist een geheel andere invulling van het bouwproces en de bouwvoorbereiding dan in de bouw gebruikelijk. Vooral de invloed op de voorbereiding is erg groot. Daarbij is het onder meer zaak de berekeningen op de bouwnormen passend te krijgen.**

#### W.J. Terpstra en L. Osinga

Wybren Terpstra is Head of Sales en Lammert Osinga is Head Engineering, beiden bij CIG Architecture in Groningen.

Scheepsbouwtechnieken zijn nog niet of nauwelijks op deze schaal toegepast, waardoor 'het wiel' eigenlijk voor een groot deel nog moet worden uitgevonden. De belangrijkste verschillen met constructietechnieken uit de scheepsbouw zijn:

- in de scheepsbouw wordt alles tot in het laatste detail voorbereid. Wanneer de productie (en detailengineering) is gestart, zijn wijzigingen niet meer mogelijk;
- in de scheepsbouw wordt gewerkt met andere normen (zoals GL-Germanischer

Lloyds, nu van de DNV GL Group, in plaats van NEN);

- in dit specifieke geval is het dak onderdeel van een groter geheel. Er is een sterke constructieve interactie met de omgeving van het dak en de daarop werkende belastingen;
- de belastingafdracht van een schip is gelijkmatig, terwijl dit dak puntvormig wordt ondersteund;
- in de NEN-normen staan geen toetsingsregels voor dubbel gekromde stalen daken uit dunne platen, alleen uitgangspunten voor algemene principes.

Vanwege de complexe vorm van het dak heeft UNStudio deze uitgewerkt in Rhino. Met dit pakket zijn zowel de scheepsbouwer en het ontwerp- en voorbereidingsteam van BAM bekend en is daarom basis geworden voor de verdere uitwerking, van berekening tot en met de afstemming op locatie - van de opleggingen - met andere disciplines. Ook in de constructieve uitwerking vereiste dit een bijzondere samenwerking. Door de wijziging van beton naar staal, moest het project volledig opnieuw geëngineerd worden.

#### Rolverdeling

Voor de constructieve uitwerking van het dak waren de rollen:

- BAM A&E: hoofdconstructeur OV-Terminal Arnhem;
- CIG Architecture: deelconstructeur stalen dak;
- ABT: controlerend constructeur stalen dak.

Dit betekent dat BAM de uitgangspunten, randvoorwaarden en belastingen van het stalen dak aan CIG heeft opgegeven. CIG heeft dit in een FEM-model uitgewerkt. De complicerende factor in de uitwerking was het passend krijgen van de berekeningen op de bouwnormen. Hierin speelde de hoofdconstructeur een belangrijke rol.

#### Vorbereiding in de engineering

Startpunt van het engineeringproces is het verkrijgen van een 3D-model van de definitieve vorm van het schaaldak, dus de kale vorm van de uiteindelijke scheepshuid (afb. 1 en 2). Met dit model is in Rhinoceros (3D-modelling software) een constructief ontwerp gemaakt van de hoofd-draagcon-



## Projectgegevens

Locatie Stationsplein, Arnhem • Opdracht ProRail, Utrecht namens ministerie I&M, Gemeente Arnhem en NS Stations, Utrecht • Architectuur UNStudio, Amsterdam • Constructief ontwerp Arup, Amsterdam (eerste betonontwerp), BAM Advies en Engineering, Bunnik (hoofdconstructeur) met CIG-Architecture, Groningen (constructeur dak) en ABT, Velp (controlerend constructeur) • Uitvoering Bouwcombinatie OV-Terminal Arnhem (Ballast Nedam, Nieuwegein en BAM Bouw en Techniek, regio Midden, Bunnik) • Staalconstructie CIG-Architecture, Groningen • Fotografie Pieter Kers, Maarten Meuleman, Ronald Tilleman en René de Wit

structie (hoofdlangs- en dwarsdragers) zonder hierbij aanpassingen aan de vorm(geving) van de architect te doen. Dit wordt op een dusdanige manier gedaan dat het (FEM-)model vrijwel meteen geschikt is om in de (Ansys-)software te laden waarmee de sterkteanalyses worden uitgevoerd. Bij het bepalen van de posities van de hoofd dragers wordt rekening gehouden met de maximale sectie-afmetingen in verband met wegtransport. In de aanbestedingsfase voor het staaldak is een haalbaarheidsstudie verricht om vast te stellen of de aannames van de hoeveelheden constructie (staaltonnage) in combinatie met de aanname van de toe te passen plaatdiktes passen binnen het gestelde budget. Later zijn op basis van dit oorspronkelijke model de sterkteanalyses uitgevoerd. Nadat de sterkteanalyses de status definitief kreeg, en dus is goedgekeurd door de controlerende instanties, treedt de volgende fase in werking.

## Detailengineering

Deze fase wordt ook in de scheepsbouw de 'detailengineeringfase' genoemd. Daarin worden vanuit het 3D-model (rekenmodel) de assemblagetekeningen per sectie opgezet, waarmee deze op de werf zullen worden samengesteld. Dit alles gebeurt met NUPAS-software (een zelf ontwikkeld 3D CAD-programma).

In deze fase wordt met hetzelfde 3D-model een analyse gemaakt van de optimale huidplaatindeling rekening houdend met achtereenvolgens de optredende rek in de platen (door de vervorming) en de sectieafmetingen (kortweg: de lasnaden in de scheepshuid). Belangrijke factor hierin is de plaatmaten zo groot mogelijk te houden, maar binnen de standaard plaatafmetingen, wat tot minder laswerk leidt. De lasnaden worden in de assemblagetekeningen weergegeven. Het genereren van de assemblagetekeningen gebeurt parallel aan genereren van de snijfiles van alle onderdelen, die worden doorgestuurd naar de fabriek om te worden genest en gesneden. Iedere snijfile heeft zijn unieke posnummer en bevat de laskantvoorbereidingen (afschuiningen) van aanliggende onderdelen. Hierdoor ontstaat een bouwpakket dat in theorie zonder tekening in elkaar kan worden gezet.

## Proces en output voor productie

Na het snijden van de platen en spanten worden deze met zware persen 3D vervormd. De te bewerken plaat wordt in kettingen gehangen zodat deze vrij kan bewegen onder de pers. Door wisselende druk op elke positie uit te oefenen aan de hand van de door de software berekende strekdiagrammen zal de plaat vervormen (rekken) en uiteindelijk de vorm aannemen van het 3D-model.

Na vervorming wordt de maatvoering en de vorm gecontroleerd met (board)mallen (maatvoering vanuit het productiemodel). Indien nodig worden er nog correcties verricht. Zodra deze kwaliteitscontrole heeft plaats gevonden worden de onderdelen in juiste volgorde per vrachtwagen getransporteerd naar de assemblagehal.

## Voorassemblage op de werf

Het meeste laswerk kan binnen worden uitgevoerd, wat de kwaliteit van het product uiteraard ten goede komt. Door de vergaande prefabricage vindt er ook veel minder verstoring op de bouwplaats plaats, wat zeker in Arnhem een groot voordeel is.

Vanwege de complexe vormen van de secties is besloten om de secties op zogenaamde pennebedden of bouwmallen te assembleren, waardoor de pasvorm gegarandeerd blijft tijdens de samenstelling. De scheepshuid wordt op het pennebed gehecht waarna de huidplaten onderling worden gesteld met 'lasbruggesjes'.

Vervolgens worden de constructiedelen aan de huidplaten gehecht waarna alle delen definitief worden gelast met de berekende keelhoogtes. Secties worden zoveel mogelijk tegen elkaar gebouwd zodat de passing gegarandeerd blijft. Extra voorzieningen, bijvoorbeeld deuvelds, worden tevens meegenomen in deze pre-assemblagefase. Tijdens de pre-assemblage en voordat transport naar de bouwplaats plaatsvindt, worden de secties ter controle ingemeten. Daarnaast worden de lassen onderworpen aan een NDT-onderzoek (*Non Destructive Testing*).

Tevens worden er hijsvoorzieningen aangebracht op posities die met berekeningen zijn bepaald.

## Montage op de bouwplaats

Op de bouwplaats zijn de 150 secties (750 ton staal) geplaatst met twee torenkranen. De zwaarste sectie had een gewicht van  $\pm 20$  ton. In samenwerking met de werkorganisator van de bouwcombinatie is het montageplan gefaseerd. Om tot een juiste afstemming te komen, vergt dit bij een complex bouwproject als deze veel interactie tussen verschillende partijen. Belangrijke reden en complicerende factor voor deze afstemming was de geringe draagcapaciteit van de onderliggende (beton)vloeren wat leidt tot een beperking in mogelijkheden tot afsteunen. Daarnaast is de planning ook een belangrijke factor in het bepalen van de posities van steigers/schoren omdat werkzaamheden van derden onder het dak zijn ingeroosterd. Om de uitvoerbaarheid van dit plan te controleren, zijn berekeningen uitgevoerd waarmee is gecontroleerd of de spanningen in de staaldelen tijdens de montage niet boven de toelaatbare marges uitkomen en om de stempelkrachten op het onderliggende steigerwerk en schoren te bepalen.

## Erg complex

Na het plaatsen van de secties zijn ze uitgelijnd en 3D ingemeten om de exacte positie te bepalen. Vervolgens worden de secties onderling gehecht en afgelast. Alle lassen zijn vervolgens vlak geslepen. Erg complex waren die secties die vervolgens werden volgestort met beton. Tijdens de uitvoering zijn alle secties ondersteund.

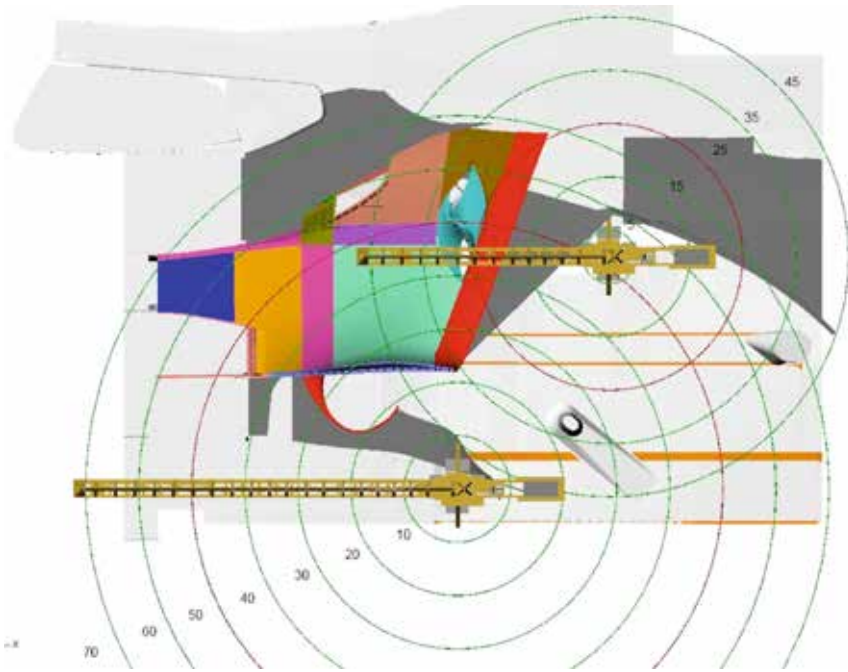
## Rolverdeling

Engineering staaldak (constructief ontwerp, detailengineering en afwickelen huidplaten): CIG Architecture en CIG Maritime Technologies, Groningen.

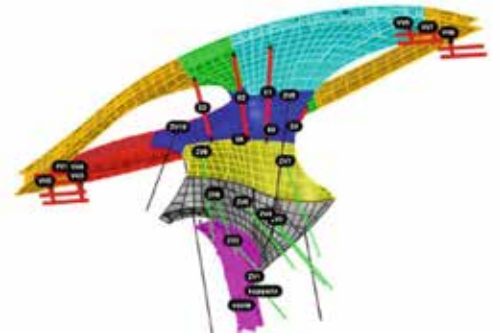
Productie (snijden/vervormen): CIG Centraalstaal, Groningen en CIG Ostseestaal, Stralsund (D).

Pre-assemblage: CIG Formstaal, Stralsund (D) en Las- en constructiebedrijf IBIS, Sumar.

Assemblage bouwplaats Arnhem (hijsen/plaatsen/lassen): G. v. Harten, Veenendaal. •



14. Kraanposities.



15. Ondersteuningen fronttwist (rood).



...tijdelijke jukken...



...aanstorten aansluitingen...



...inhijzen daksectie...



... afslipen naden...



...veel handenarbeid...



...mangaten...



...afwerken naden...



...150 secties...