



....in schuinstand naar eindbestemming.



....bestemming bereikt.

# Snelsluiting

**Voor het project 'Parallelstructuur A12' worden twee nieuwe provinciale wegen bij Gouda aangelegd, waarbij de Gouwe opnieuw moet worden overbrugd. Op nauwelijks 20 m afstand van het bestaande Gouwe-aquaduct is een 500 m lange en 10 m hoge brug gebouwd met daarin een beweegbaar deel, gezien de functie in de Staande Mastroute. Aan de basculebrug met een ontwerplevensduur van honderd jaar werden hoge eisen gesteld.**

**ing. B.G.M. Kersten, J. van Belzen B.Com, ing. R.L. Geijssen RC en ir. M.J.M. van der Burg**

Brian Kersten is ontwerpmanager bij Heijmans Infra in Rosmalen, Josien van Belzen is medewerker PR&communicatie bij Constructiebedrijf Hillebrand in Middelburg, Ronald Geijssen en Mark van der Burg zijn senior staalconstructeur, beiden bij advies- en ingenieursbureau Movares in Utrecht.

In opdracht van de Provincie Zuid-Holland breidt Heijmans het wegennetwerk rond Gouda uit. Om de A12 bij het Gouwe-aquaduct te ontlasten en voor meer capaciteit worden twee nieuwe provinciale wegen aangelegd langs de A12 en tussen de A12 en de A20: de Extra Gouwekruising en de Moordrechtboog. De aanleg van de brug op deze locatie is een complexe puzzel waarbij veel inspanning in het ontwerptraject is geleverd. Het Gouwe-aquaduct heeft een hoog risicoprofiel, omdat in geval van schade de doorstroming en veiligheid op de A12 in het geding komen. Behalve risico op schade zijn de raakvlakken in de 'onderwereld' van de brug groot. Onder de brug is een bestaande ruimte aanwezig waarin de communicatieapparatuur

van het verkeerssysteem van de A12 van Utrecht tot aan Den Haag is opgenomen. Uitval hiervan kan leiden tot een onveilige verkeerssituatie of niet-beschikbaarheid van de A12. Bovendien is naast de brug een productielocatie gesitueerd, waar onder andere de Autodrop vandaan komt, en wordt gewerkt met gevoelige meet- en weegapparatuur, dat niet mag worden gestoord. Daarnaast moesten er ook nog twee provinciale wegen worden gekruist, zonder verkeershinder, plus nog vier waterkeringen. Kortom, een berg aan raakvlakken en complexe omgevingsfactoren met evenveel stakeholders, en dito wensen en eisen.

### Het ontwerp

De beweegbare brug dient op aangeven van de provincie een basculebrug te zijn. Onder leiding van Heijmans tekent Movares voor het ontwerp en de engineering en verzorgt Hillebrand de productie en installatie. In de dialoofase zijn voor het AO belangrijke ontwerpkeuzen gemaakt waarmee een zo optimaal mogelijk ontwerp is verkre-

gen. Hiertoe zijn keuzematrixen gemaakt voor onder andere: toch een ander brugtype, type rijvloerconstructie en het soort bewegingsmechanisme.

Voor de dekconstructie is een traditioneel balkenrooster van twee hoofdliggers en dwarsdragers met troggen als langsliggers onder een stalen dekplaat gekozen. In de variantenstudie bleek de meest smalle en korte afmeting van de kelder het gunstigst voor de totale kosten. Dit ontwerp geeft een afmeting van de basculekelder van (bxhxl) 19x17x13 m. De brug heeft een doorvaartbreedte van 25 m en in gesloten stand een doorvaarthoogte van 7,0 m. In open stand is er over een doorvaartbreedte van 22,5 m met een onbeperkte doorvaarthoogte.

De constructieve elementen van het beweegbare brugval zijn volledig uitgevoerd in staal. Het als orthotrope dekconstructie uitgevoerde berijdbare deel bestaat uit een stalen dekplaat ( $t = 20$  mm) met doorgestoken troggen ( $t = 6$  mm). De troggen dragen de belasting via de dwarsdragers af naar de hoofdliggers. De dekplaat vormt tevens de bovenflens van de hoofdliggers en dwarsdragers. De overspanning van de hoofdliggers tussen hoofddraaias en vooroplegging bedraagt 29,75 m, de totale lengte van het val is 41 m, de maximale breedte is 23 m. De ballastkist (4,0x2,75x2,5 m) is gevuld met zwaarbeton van  $44 \text{ kN/m}^3$  waarmee de brug vrijwel volledig gebalanceerd is, uiteraard om de krachten op het bewegingswerk minimaal te houden. De vooropleggedruk bedraagt slechts 3 ton, op een totaalgewicht van 900 ton van het beweegbare deel. In de compo-



*In de 500 m lange en 10 m hoge brug moest een beweegbaar deel worden opgenomen gezien de functie in de Staande Mastroute.*

siete randelementen aan weerszijden van het brugval zijn op aangeven van de architect scheepvaartlichten opgenomen.

### **Bewegingswerk**

De basculebrug is een van de grotere beweegbare bruggen van Nederland. De grootte van de brug, in combinatie met de eis van de provincie dat de brug in korte tijd moet kunnen openen en sluiten, resulteerde in hoge belastingen op het bewegingswerk. In samenwerking met de architect was bepaald dat de kelder als losstaand object in de Gouwe geplaatst moest worden, hetgeen resulteerde in een relatief kleine basculekelder. De afmetingen van de basculekelder maakte het een hele puzzel om een bewegingswerk te ontwerpen dat zowel in de kelder paste als de belastingen kon opnemen. Vanuit de eisen ten aanzien van (machine)veiligheid is de ruimte in de basculekelder ook zo ontworpen dat het grote bewegingswerk veilig toegankelijk is voor inspectie en onderhoud. De aandrijving geschiedt met een elektromechanisch bewegingswerk, grofweg bestaande uit twee panamakrukmechanismen van zeer groot formaat en één centrale tandwielkast en een hoofdmotor van 160 KW. De brugaandrijving is tevens voorzien van elektrisch noodbedrijf en van een noodhandaandrijving. De krukken van beide panamawielen zijn scharnierend verbonden aan twee zogenoemde trek-duwstangen. De trek-duwstangen zijn weer scharnierend ver-

bonden met de ballastkist van het brugval. De hoofdmotor drijft via een tandwielkast twee rondsels aan. De rondsels drijven de beide panamawielen aan. De draaiende panamawielen trekken via de trek-duwstangen de ballastkist naar onder in de basculekelder en zo opent de brug. In de trek-duwstangen zijn grote voorgespannen schotelveren opgenomen. Die veren zijn onder andere nodig om de brug op te zetten, hetgeen betekent dat de brug in dichte stand met de verende trek-duwstangen op z'n (voor)opleggingen wordt gedrukt. De combinatie van grote brug en korte bewegingstijd voor openen en sluiten heeft qua engineering heel wat voeten in de aarde gehad. Die combinatie resulteerde namelijk in heel hoge rekenbelastingen op het bewegingswerk, het brugval en de basculekelder bij toepassing van een standaard configuratie van het bewegingswerk. Het was beslist noodzakelijk een goede oplossing te bedenken om die hoge belastingen te voorkomen, of op z'n minst sterk te reduceren. Vele technische mogelijkheden zijn daarvoor bedacht. Uiteindelijk is de oplossing gevonden in het toepassen van een uitzonderlijke veerconstructie in de beide trek-duwstangen. Voor het opnemen van de belastingen zijn twee panamakrukmechanismen gekozen. Maar hoe weet je nu zeker dat de belastingverdeling over de twee bewegingsmechanismen voldoende gelijkmatig verdeeld is? Na uitvoering van aanvullende berekeningen, bleek dat

niet zomaar het geval te zijn. Ook daarvoor zijn maatregelen bedacht om dit wel voor elkaar te krijgen. Normoverschrijdende berekeningen zijn opgesteld waarmee de juiste evenredige belastingverdeling is aangetoond. De veer karakteristiek van de trek-duwstang heeft grote invloed op de eigenfrequentie van het val tijdens de bewegingscyclus. Daarom is ook onderzoek naar onder meer de windresonantie uitgevoerd. Resultaat hiervan is dat geen significante opslingering door wind te verwachten is. De in de VOBB ('beweegbare bruggennorm') gegeven factoren dekken het te verwachten dynamisch gedrag voldoende af. In het bewegingswerk van de basculebrug zijn meerdere technische voorzieningen opgenomen die ten goede komen aan de veiligheid van de brug en schades bij eventuele calamiteiten beperken. Zo zijn de panamawielen en het deel van de massa van de trek-duwstangen dat op de krukken afsteunt, gebalanceerd. Daarmee wordt voorkomen dat het brugval kan 'opwippen' als de rem van de brugaandrijving onbedoeld wordt gelicht. Ook zijn de aanslagen voor de panamawielen als buffer uitgevoerd. Schade aan het bewegingswerk wordt zo beperkt bij calamiteiten.

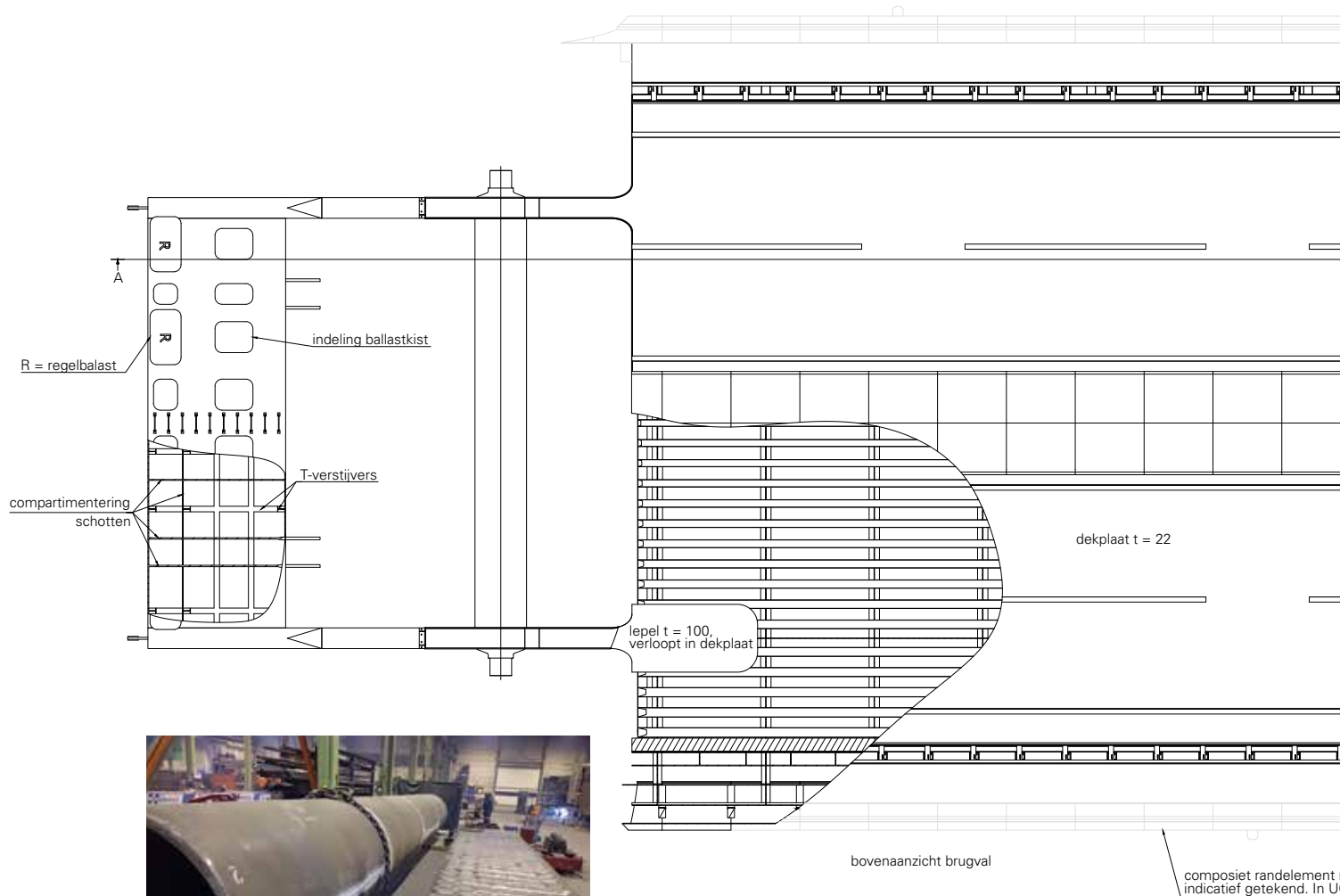
### **Berekeningsaanpak stalen val**

Als basis is voor de gehele stalen brug één EEM-rekenmodel gemaakt. Hierin is de complete constructie gemodelleerd in 2D-schaal-

**Projectgegevens**

Opdracht Provincie Zuid-Holland • Architectuur Zwart & Jansma, Amsterdam • Constructief ontwerp Movares, Utrecht •

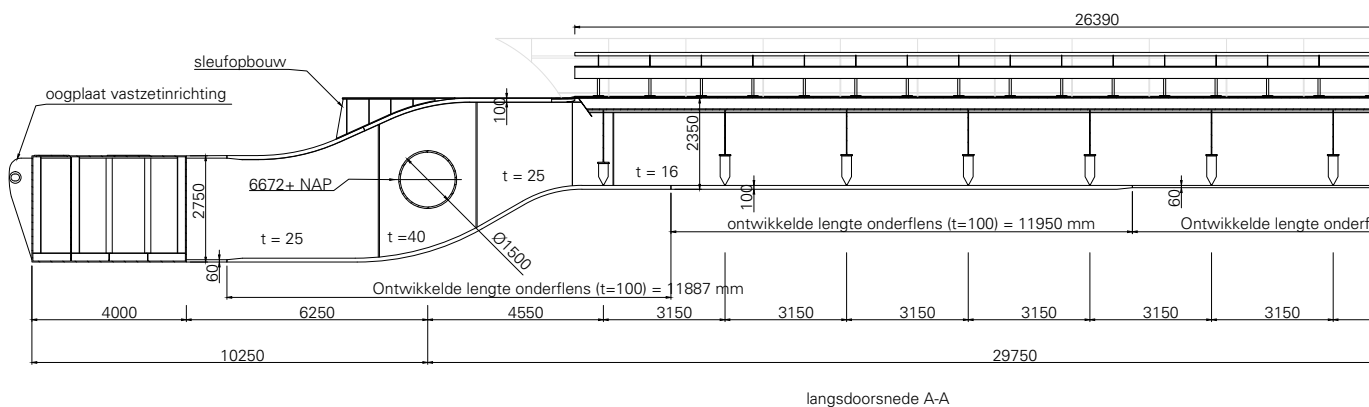
Uitvoering Heijmans Infra, Rosmalen • Staalconstructie Constructiebedrijf Hillebrand, Middelburg



composiet randelement indicatief getekend. In U



Tussen de twee hoofd draaipunten is een grote koppelkoker aangebracht zodat het val slechts op twee steunpunten rust.

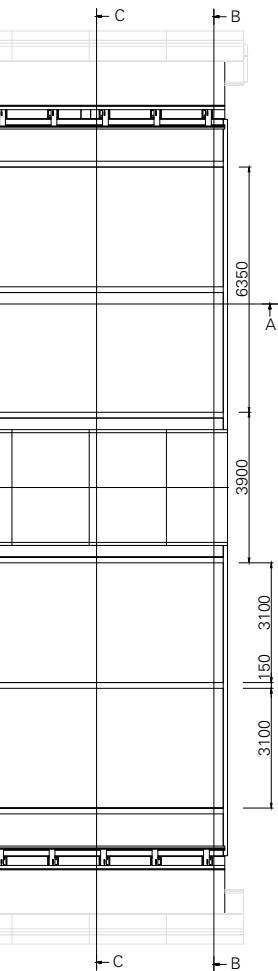


### Technische gegevens

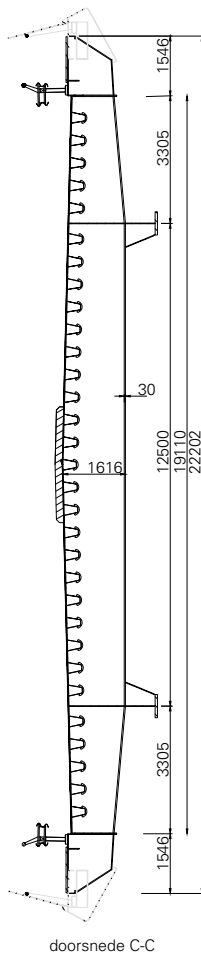
Totaalgewicht 900 ton • Afmetingen 41x23x2,75/2,35 m • Hoofdoverspanning 29,75 m • Ballaskist 4,0x12,5x2,75 m • Ballast zwaarbeton 44 kN/m<sup>3</sup>

### Technische gegevens berijdbare deel

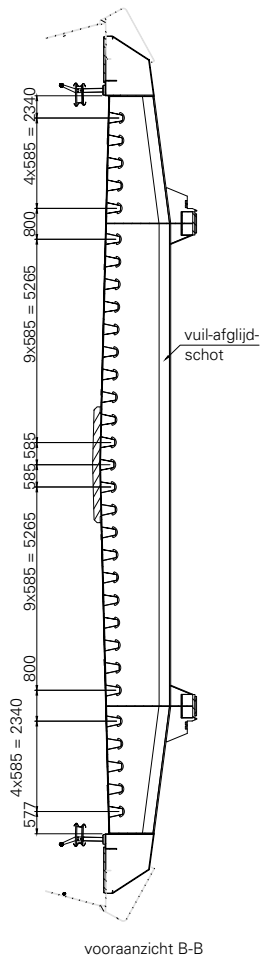
Dekplaat dikte 20 • Troggen dik 6 mm h.o.h. 585 mm • Lijfplaat hoofdligger 2230x16/25/40 mm • Onderflens hoofdligger 600x100/60 mm • Lijfplaat dwarsdrager 1450x16 mm • Onderflens dwarsdrager 300x30 mm



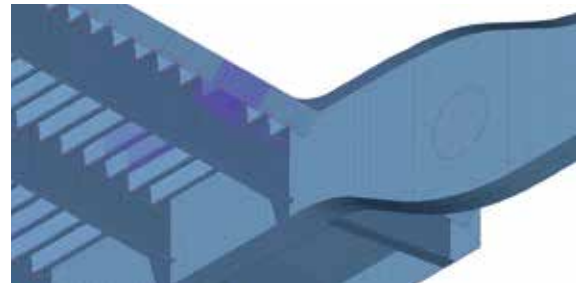
met geluidsscherm  
O nader uitwerken.



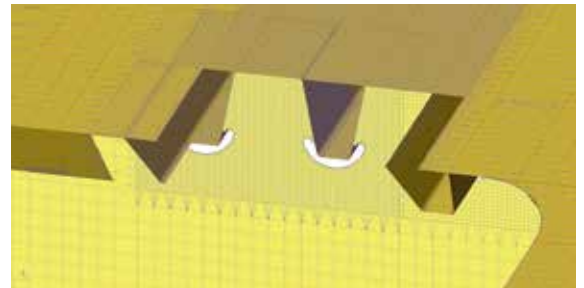
doorsnede C-C



vooraanzicht B-B



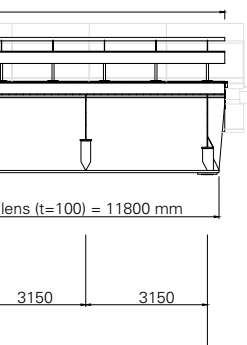
Detail netverdeling troggen (1).



Detail netverdeling troggen (2).



De troggen dragen de belasting via de dwarsdragers af naar de hoofdliggers



lens (t=100) = 11800 mm

3150 3150



Het val is in vier delen gebouwd.



Na conservering worden de delen aan elkaar gelast en afgewerkt.

elementen, behalve de trogverstijvers.

Deze zijn als staafelementen met een excentriciteit onder de dekplaat gehangen. In dit model zijn alle berekeningen uitgevoerd voor sterkte, stabiliteit en vermoeiingslevensduur van de hoofdliggers en dwarsdraggers. Ook is de brugconstructie in de open stand gemodelleerd, onder andere van belang om de spanningswisselingen voor vermoeiing te bepalen en globale constructie-eigenschappen zoals de eigenfrequentie in open stand te berekenen.

Voor uitgebreide vermoeiingstoetsen van de orthotrope vloer zijn ook de staafelementen lokaal vervangen door schaafelementen. Hiermee kunnen ook de lokale spanningsgradiënten in de troggen worden berekend. Om rekenefficiëntie met nauwkeurigheid te combineren, is het plaatmodel in zones ingedeeld. De zwaarst belaste troggen, met het bijbehorende deel van de dwarsdrager en dekplaat, hebben de fijnste elementgrootte. Deze loopt in stapjes terug tot de basiswaarde om het model beheersbaar te houden.

### Analyse vermoeiing

Voor analyse van de weerstand tegen vermoeiing is gewerkt met het belastingspectrum volgens FLM4 uit NEN-EN-1991-2. Dit spectrum geeft een aantal standaard typen vrachtwagens, die de werkelijke optredende belasting beschrijven. Omdat het val onderdeel van een nieuwe weg is waar veel verkeer wordt verwacht, is het aantal wisselingen afgeleid van de verkeersmodellen uit de planstudiefase. Hierover is de trendfactor conform de Eurocode toegepast. Voor een goede evaluatie van de vermoeiingslevensduur zijn nauwkeurige invloedslijnen voor ieder kritiek detail nodig. Deze zijn gemaakt door in het gedetailleerde schaalmodel van de dekconstructie op elke 40 cm een eenheids-aslast van 1 kN te plaatsen. Voor de details met hele scherpe wisselingen in spanningsgrootte (zoals aansluiting dwarsdragerlijf-dekplaat) is de stapgrootte verkleind naar 10 cm.

De invloedslijnen worden uit het EEM-programma geëxporteerd en in een spreadsheet verwerkt tot de juiste wagens conform de Eurocode. Hierbij wordt de eenheidsinvloedslijn eerst vermenigvuldigd met de juiste aslast en eventueel een vergrotingsfac-

tor. Vervolgens worden per wagen de assen tot de juiste positie (in de langsrichting) verschoven en opgeteld om uit enkele assen een volledige vrachtwagen op te bouwen tot de uiteindelijke invloedslijn van de wagen.

Met name rond het hoofddraaipunt is de spanningswisseling door openen en sluiten van de brug en het in rekening te brengen trillen van de ballastkist veel groter dan de wisseling door verkeer. Voor deze locaties zijn extra vermoeiingsbelastingen toegevoegd aan het rekenmodel.

De invloedslijnen zijn met de *rainflow*-methode (een manier om willekeurig optredende wisselingen te tellen) naar individuele spanningswisselingen vertaald. Met een Minersommatie (de daadwerkelijke vermoeiingsberekening) is uiteindelijk de optredende vermoeiingsschade bepaald. Als de totale berekende schade (de cumulatieve optredende schade) kleiner is dan 1,0 zal de constructie de gewenste vermoeiingslevensduur halen, in dit geval een levensduur van 100 jaar.

### Koppelkoker

Tussen de twee hoofddraaipunten van de brug is een grote koppelkoker ( $\varnothing = 1500$  mm,  $t = 40$  mm) aangebracht, zodat de brug in totaal op twee hoofdraaipunten rust.

Hiermee is in de breedte van de kelder de ruimte van twee stoelen en lagerhuizen geoptimaliseerd en wordt aan de opgave van de inpassing voldaan.

Eén van de eisen van de provincie was dat de hoofdliggers geen verstijvers mochten hebben rond de hoofddraaipunten. Dit is opgelost door een lijfplaat van lokaal 3,5 m hoog die een maximale oplegreactie van 8000 kN verspreidt. Daarbij bestaat er de mogelijkheid dat er allerlei plooi- en knikvormen in het lijf optreden, of hun onderlinge interacties.

Omdat de normtoetsing niet aansluit bij de geometrie van het detail, is ook een EEM-berekening gemaakt van de optredende instabiliteitsvormen ter verificatie van de capaciteit.

### 3D-modelleren

Voor het project werkten alle disciplines in 3D. De beweegbare brug is gemodelleerd in Inventor, terwijl bijvoorbeeld de basculekelder in Revit is uitgewerkt. In Navisworks is van de deelmodellen een integraal 3D-model

gemaakt, zodat raakvlakken in een vroeg stadium van het ontwerp konden worden afgestemd. Vervolgens zijn de 3D-modellen weer aangeleverd aan onderaannemers en leveranciers, wat de kans op fouten minimaliseert.

### Fabricageproces

Ook de afmetingen van 41x19x4,5 m en een (transport)gewicht van 390 ton zijn buitensporig. De brug is, in verband met de afmetingen van de conserveringshal, in vier delen gebouwd. Na conservering van de brugdelen worden deze aan elkaar gelast in de fabricagehal van Hillebrand, die als integrale projectpartner betrokken is geweest vanaf de tenderfase en nauw was betrokken vanaf het eerste schetsontwerp. Door deze integrale aanpak is de hoofddraagconstructie afgestemd op de afmetingen (19,3 m breed tussen de kolommen) van de fabricagehal, waardoor vroegtijdig gestuurd kon worden op een efficiënte kostprijs: integraal D&C aanbesteden, maar ook in praktijk brengen.

De uit één stuk gegoten panamawielen ( $\varnothing = 4,1$  m) wegen met as en lagerstoelen 30 ton per stuk. Aardig is dat de wielen in het zicht worden gelaten, door de kelder van de brug aan drie zijden van raampartijen te voorzien.

### Transport

De brug is in april 2016 in zijn geheel inclusief ballastkist met SPMT's (Self Propelled Modular Transporters) in Middelburg op een ponton geplaatst. Eenmaal in Schiedam is de brug met twee bokken schuin geplaatst op een smaller ponton, omdat de doorvaart bij de Julianasluis en de Coenecoopbrug bij Gouda te smal is voor vlak transport. In dezelfde schuinstelling is het brugdek naar zijn eindbestemming gebracht.

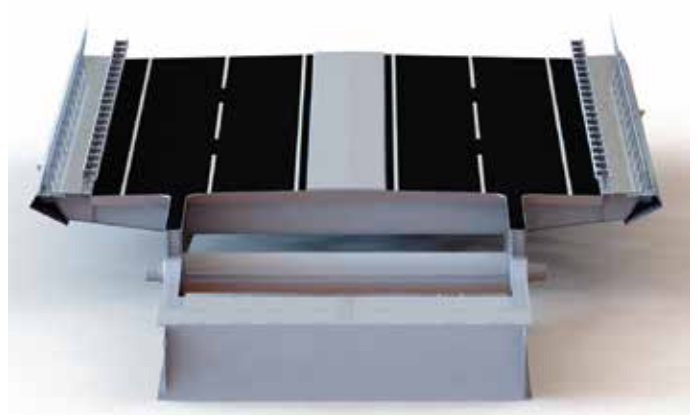
### Plaatsing en montage

Het inhijzen (door Hebo Maritiemservice) vond plaats in vier uur tijd en met een afwijking van nog geen millimeter. Na plaatsing is het zwaarbeton in de ballastkist gepompt. Tijdens het uitharden is het aandrijfwerk gekoppeld om de brug voor het einde van de stremming open te zetten in de vastzetinrichting. Dit om het scheepvaartverkeer zo min mogelijk te hinderen. Na afbouw wordt de brug eind 2016 in gebruik genomen. •





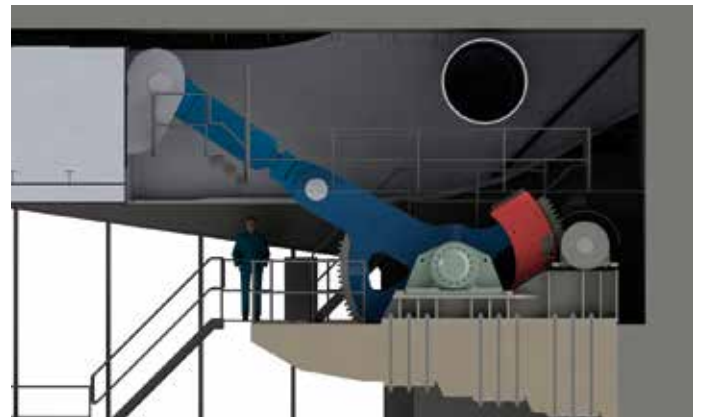
*De panamawielen worden in het zicht gelaten, door de kelder van de brug aan drie zijden van raampartijen te voorzien.*



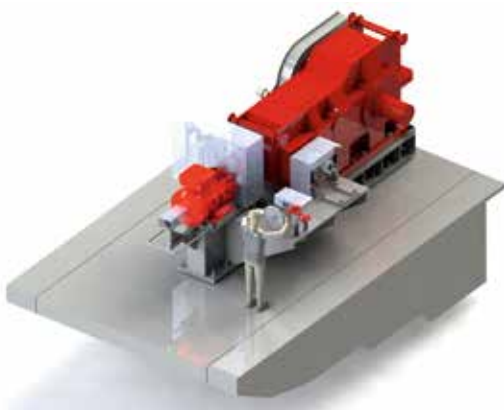
*Vier rijbanen.*



*Inrichting kelder.*



*De uit één stuk gegoten panamawielen wegen met as en lagerstoelen 30 ton.*



*Tandwielkast.*



*Trek-duwstang.*