

LINIEBRUG, NIGTEVECHT

ir Christa van den Berg, ipv Delft

ir Jeroen Koot, Jeroen Koot Constructie Advies

Bij het ontwerp draaide het bij dit project vooral om ruimtelijke inpassing, gebruikerscomfort en transparantie



De nieuwe fietsbrug over het Amsterdam-Rijnkanaal bij Nigtevecht is op 7 september jl. feestelijk geopend, waarbij de naam Liniebrug voor het eerst is gepresenteerd. Fietzers en voetgangers maken sinds begin augustus al gebruik van de boogbrug.

ONTWERP

Bij het ontwerp draaide het bij dit project vooral om ruimtelijke inpassing, gebruikerscomfort en transparantie. Bij een doorvaart-hoogte van 10 meter was dat niet makkelijk, maar het resultaat mag er zijn.

Eerdere ideeën voor een ontwerp, zoals een Gondelbrug of een brug met een lift, bleken niet uitvoerbaar of te duur. Dit vanwege de hoge kosten van toezicht en bediening, storingsgevoeligheid en de wachttijden die liften met zich meebrengen. Daarnaast was het ontwerp sociaal onveilig en kwetsbaar voor vandalisme.





1 Bovernaanzicht

Voor fietsers is de brug een belangrijke nieuwe verbinding in het regionale netwerk van fietspaden.

Het ontwerp van de hoofdo overspanning is geïnspireerd door de ligging over het Amsterdam-Rijnkanaal (afb. 3). Het merendeel van de bestaande bruggen over dit kanaal bestaat uit boogbruggen die tussen 1965 en 1981 bij de verbreding van het kanaal zijn aangelegd. Behalve de boogvorm en de enkele overspanning kenmerken de typische Amsterdam-Rijnkanaalbruggen zich door een functionele vormgeving. De constructieve werking is van het ontwerp af te lezen en verbindingen zijn zichtbaar. Eenzelfde aanpak is toegepast op de Liniebrug, nabij Nigtevecht.

NATUURVERBINDING

De nieuwe brug maakt deel uit van een groter project, genaamd 'fiets- en natuurverbinding Nigtevecht'. Behalve de brug realiseerde men hier in samenwerking met de gemeenten Stichtse Vecht en De Ronde Venen een natuurverbinding die de Vinkeveense en Loosdrechtse Plassen verbindt.

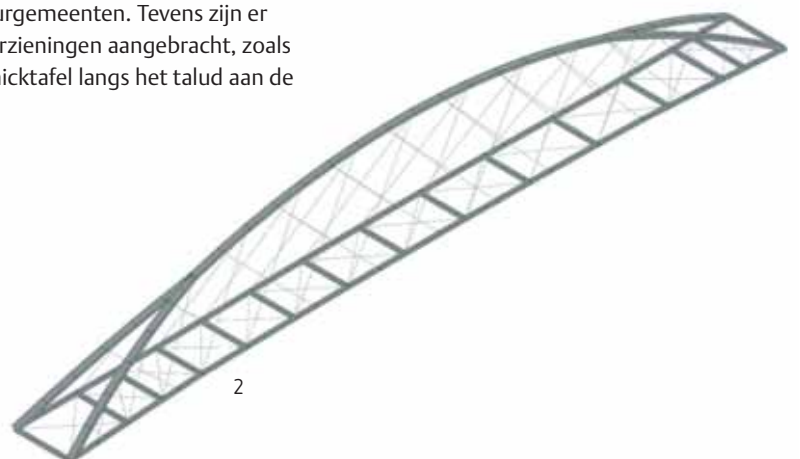
In samenhang met de brug ligt er ook een faunatunnel onder de weg over de Kanaaldijk-Oost ten zuiden van Nigtevecht om dieren die het kanaal zwemmend willen oversteken, op een veilige manier de autoweg te laten kruisen (afb. 1). Ook werden de hoge oevers verlaagd en werd de Kanaaldijk-Oost meer naar het oosten verplaatst. Voor fietsers is de brug een belangrijke nieuwe verbinding in het regionale netwerk van fietspaden. Alhoewel de brug niet in de gemeente Amsterdam ligt, heeft zij wel een financiële bijdrage geleverd waardoor het nabijgelegen Amsterdam Zuidoost met een aantrekkelijke fiets- en wandelroute is verbonden met de buurgemeenten. Tevens zijn er recreatieve voorzieningen aangebracht, zoals een lange picknicktafel langs het talud aan de westzijde.

ONTWERP EN CONSTRUCTIE

BOOG

In de inschrijvingsfase bestaat het ontwerp uit een dubbele vakwerkboogbrug. Die is weliswaar redelijk slank, maar omdat omwonenden een zo transparant mogelijke brug willen, besluit het ontwerpteam een nog slankere en elegantere netwerkboogbrug te ontwerpen: een netwerkboog! (afb. 2)

De netwerkboog is constructief gezien geen eenvoudige opgave. Hoewel dit type brug al halverwege de vorige eeuw werd bedacht



2

door de Noor Per Tveit, heeft de netwerkboog pas de laatste tien jaar een vlucht genomen. De constructie is meervoudig statisch onbepaald, waardoor de benodigde berekeningen complex zijn en niet met de hand gedaan kunnen worden. Inmiddels is het ontwerpen van netwerkbogen dankzij software voor EEM-berekeningen veel eenvoudiger. Tientallen varianten kunnen worden doorgerekend om de gehele constructie digitaal te optimaliseren.

In vergelijking met de vakwerkboog heeft een netwerkboog meer hangers en dus meer verbindingen. Daar tegenover staat dat de totaal benodigde hoeveelheid staal zo'n vijftig procent lager ligt dan bij een vakwerkbrug. De besparing komt met name op conto van boog en langsliggers, die dankzij het grotere aantal hangers aanzienlijk slanker kunnen zijn. (afb. 3) Door het grote aantal hangers zijn de momenten in boog en langsliggers relatief klein en hoeven deze praktisch alleen op de normaalkracht uit het overall moment gedimensioneerd te worden. De hoogte van zowel boog als langsliggers komen uit op 400 mm, de massa aan staal op 180 ton (exclusief de trekstaven).

Het uiteindelijke ontwerp, een netwerkboog met een gevorkte enkele boog en 26 hangers

aan elke zijde van het brugdek, sluit door het minimale materiaalgebruik prima aan op de klimaatambities van de opdrachtgevers. Daarnaast is het ontwerp nóg slanker en transparanter.

BETONNEN DEK

Voor het brugdek worden diverse opties overwogen: een massief betonnen dek, breedplaatvloeren die dragen op aan de hoofdliggers gelaste stalen strippen, een staal-betonvloer en breedplaatvloeren die afdragen op dwarsliggers. Dat de vloer van beton moet zijn, staat echter vast. Voor de aanvaarbelaasting fungeert het dek dan als één grote stijve schijf en daarnaast is het gewicht nodig om de hangers altijd op trek te belasten. Het loshouden van de betonvloer is vanuit oogpunt van gebruik en onderhoud geen optie vanwege de benodigde voegovergangen. Ook voor de robuustheid bij aanvaring is een volledig prefab dek geen optie.

Bij de keuze spelen diverse factoren een rol. Het gewicht bij het invaren van de brug, onderhoudskosten, praktische uitvoerbaarheid, maar ook een verzorgde uitstraling van de onderzijde van het brugdek is van belang. Een staalbetonvloer valt bijvoorbeeld af omdat het conserveringssysteem van de stalen onderzij-

de al binnen de door de opdrachtgever geëiste ontwerplevensduur van honderd jaar vervangen zou moeten worden. Het op de voorbouwlocatie storten van de vloer is geen optie in verband met het transportgewicht, een bekisting op de eindlocatie niet in verband met hinder voor de scheepvaart.

BREEDPLAATVLOER

Uiteindelijk valt de keuze op breedplaatvloeren die afdragen op de randliggers, waarbij de druklaag pas wordt aangebracht na het invaren van de brug (afb. 4). Zo blijft het invaargewicht beperkt omdat wapening en druklaag nog niet aanwezig zijn bij het invaren.

Het toepassen van breedplaatvloeren is ook constructief een goede oplossing. De onderzijde van een boogbrug fungeert als trekband en de trekkrachten kunnen voor scheurvorming in het beton zorgen. Dit probleem wordt voorkomen door het in een later stadium de deklaag te storten wanneer de brug al op de uiteindelijke steunpunten ligt. De stalen randliggers nemen zo vrijwel alle trekspanningen in lengterichting van het dek op. De trekkrachten in het betondek blijven nu beperkt tot die ten gevolge van de veranderlijke belasting en temperatuurverschillen tussen de betonvloer en de stalen langsliggers, alsmede krimp.

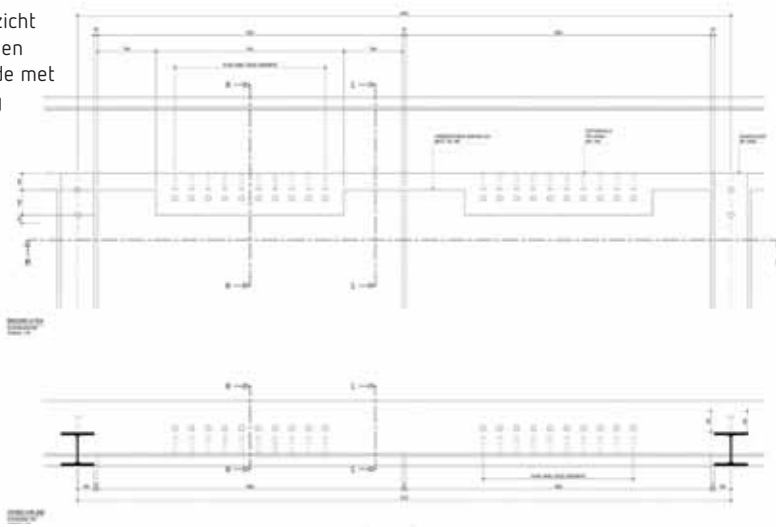


3 De boogbrug in zij aanzicht

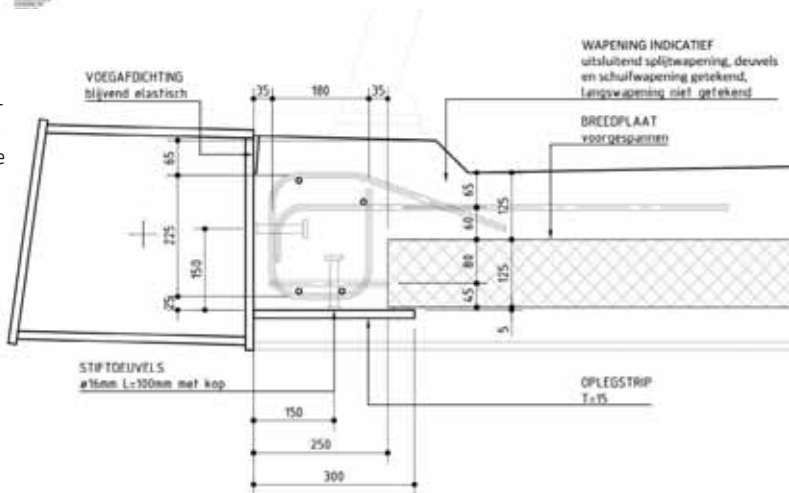


4 Ook de onderzijde van het dek ziet er verzorgd uit!

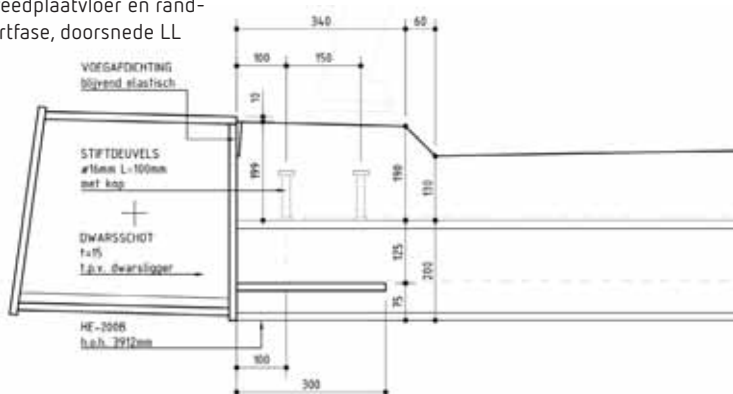
5 Bovenaanzicht breedplaten en dekdoorsnede met verdeueling



6 Deuvels voor verbinding betonvloer aan de randliggers, doorsnede KK



7 Verbinding breedplaatvloer en randligger in de stortfase, doorsnede LL



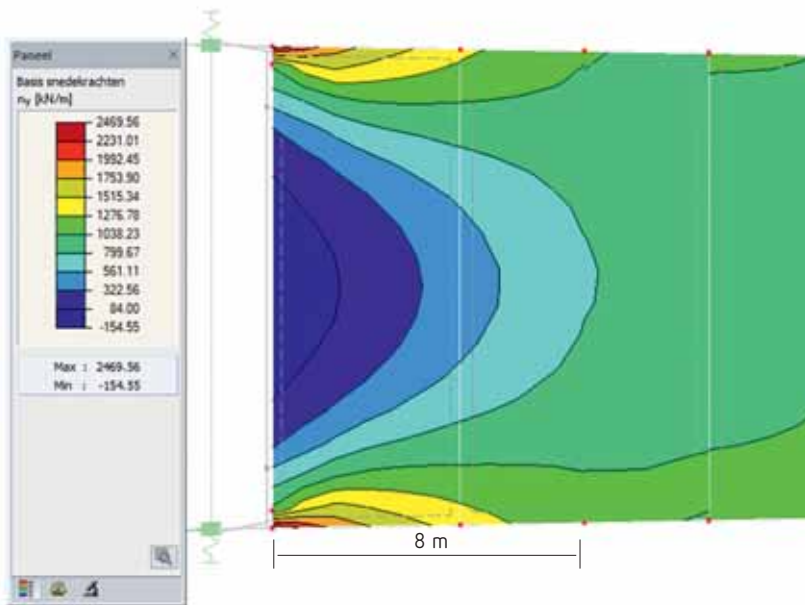
VERBINDING BREEDPLAATVLOER-RANDLIGGER (afb. 5-7)

De breedplaten worden opgelegd op aan de randligger gelaste platen van 300 mm, maar niet over de gehele breedte van de plaat. Er ontstaat een terugliggend middendeel op de randliggers met ruimte voor stiftdeuvels. Na het storten van de druklaag ontstaat er een staalbetonverbinding dek-randligger ten behoeve van de overdracht van schuifkrachten. Dicht bij de landhoofden komt een groter aantal stiftdeuvels. De totale trekkracht in het dek, inclusief krachten door temperatuurverschil tussen het betonnen dek en de stalen randliggers, wordt aan het einde van het dek overgedragen. Deze kracht is echter veel te groot om in een klein gebied op te nemen. De breedte van het dek en dwarskrachtvervorming in het vlak van de betonplaat zorgen voor een overdrachtslengte van 8 meter waarin de trekkracht in het beton geleidelijk wordt overgedragen naar de randliggers (afb. 8).

Het gekozen deuvelpatroon sluit aan op de krachten in deze overdrachtszone. De totale trekkracht in het beton, met een bovengrens van 4700 kN over de gehele breedte van het dek, wordt verspreid over een lengte van $2 \times 8 \text{ m}^2$. Hiervoor zijn gemiddeld 10 deuvels $\text{Ø}16$ per m^2 nodig. Buiten deze zone hebben de deuvels geen directe bijdrage in de hoofdkrachtenwerking en is het aantal gereduceerd (afb. 9).

DWARSLIGGERS

De excentrische oplegging van de breedplaten zorgt ervoor dat de randliggers op torsie worden belast en willen roteren. Om deze vervorming te beperken, worden HEB200 dwarsdragers toegepast die ook voor de constructieve samenhang zorgen in de transportfase (afb. 11). In de bouwfase zijn de dwarsliggers dus onmisbaar, maar qua sterkte zijn ze niet van belang. In de gebruiksfase kunnen ze echter zorgen voor ongewenste afdracht van verticale belasting in lengterichting. Daarom is de vervormingscompatibiliteit van de buiging van de betonnen vloer en de dwarsdragers geanalyseerd, zowel door vervormingen tijdens het storten als door een onbedoeld voertuig. Deze analyse bepaalt de wapening die nodig is voor de krachtoverdracht tussen betonplaat en dwarsdragers.



8 Afname trekkracht in betonnen dek vanaf einddwarsdrager

GEVORKTE BOOG

Voor de boog is de stabiliteit het belangrijkste ontwerpaspect. Bij de booggeboorte zijn beide poten van de gevorkte boog ruim 600 mm breed (afb. 10 en 12). Naar boven toe neemt de breedte geleidelijk toe, tot een totale breedte van ruim 1700 mm in het broekstuk. In de enkele boog loopt de breedte terug tot 900 mm. De positie van de vork is zodanig gekozen dat het uitknikken van de beide poten niet maatgevend is. Door de gelijkmatig gekromde uitvoering van de boog geven normaalkrachten in lengterichting een belasting dwars op de onder-

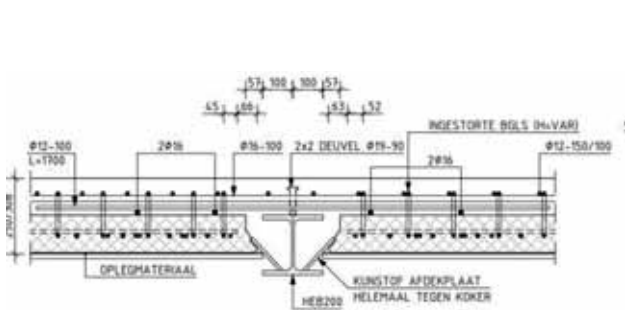


9 Randliggers met stiftdeuvels op werkplaats CSM

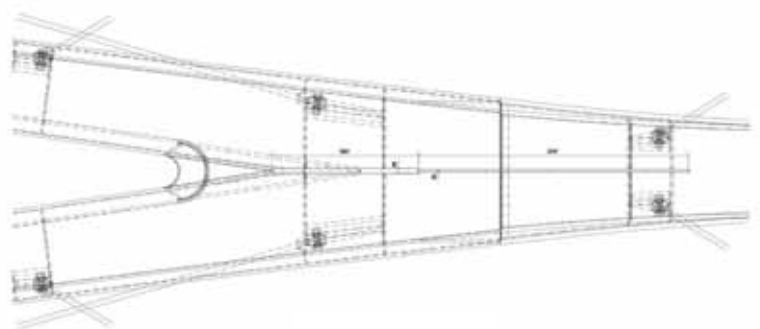


10 Vooraanzicht gevorkte boog

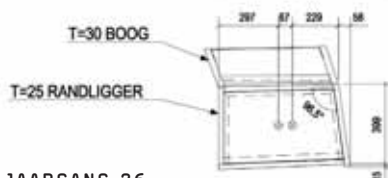
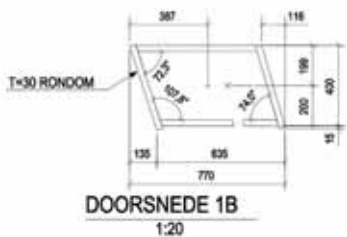
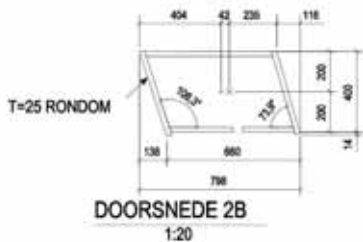
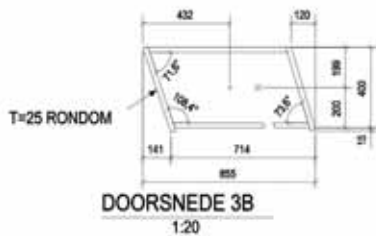
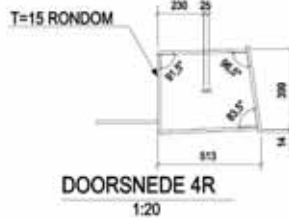
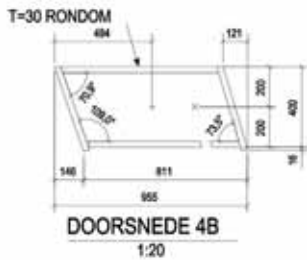
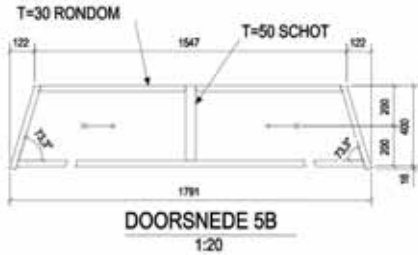
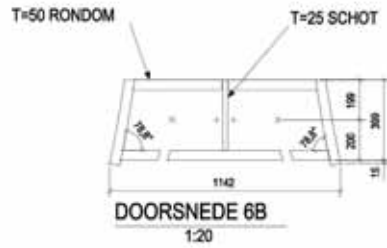
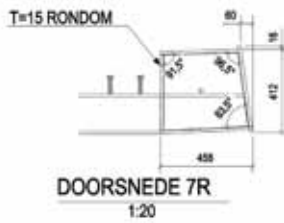
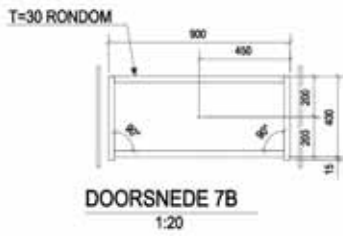
bovenplaat. Tot een breedte van 900 mm is deze belasting meegenomen als extra kracht in de doorsnedetoets. Bij het broekstuk neemt de overspanning verder toe. Daarom wordt hier een langsvorstijver aangebracht om de dwarsbelasting op te nemen en naar dwarsverstijvers af te dragen (afb. 12).



11 Doorsnede breedplaatvloer en dwarsligger (HEB 200)



12 Langsvorstijver in broekstuk gevorkte boog

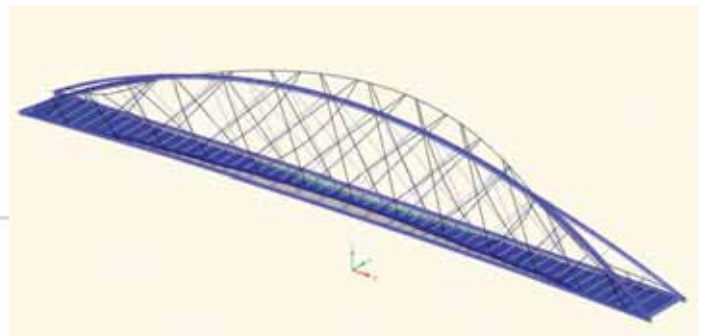


HOEKVERDRAAIING

De gevorkte uiteinden van de boog hebben geen rechthoekige doorsnede, maar zijn trapeziumvormig (afb. 13). Zo vormt de gehele boog één vloeiende lijn zonder hinderlijke knikken of hoeken. Door de scheve vorm treden de vervormingen uit momenten en dwarskracht niet in dezelfde richting op als de belasting. Deze doorsnedevorm is echter niet beschikbaar in het gebruikte EEM-programma, RFEM. In het model is daarom gekozen voor een rechthoekige vorm waarbij de as is verdraaid. De hoekverdraaiing van de doorsnede wordt gebaseerd op de kalibratie van een liggermodel op basis van een 3D-plaatmodel van een ligger.

STABILITEIT

De maatgevende knikvorm (afb. 14) is het zijdelings uitbuigen van de enkele boog. De boog is verend ingeklemd in de poten en wordt zijdelings nog enigszins gesteund door de scheefstand van de hangers. De n-waarde (verhouding tussen de Eulerse kniklast en de optredende normaalkracht) in ULS is 3,4. Vanwege deze lage n-waarde zijn diverse gevoeligheidsanalyses uitgevoerd om onvoorziene effecten uit te sluiten.



14 Maatgevende knikvorm boogbrug

Met uitzondering van het niet-lineaire gedrag van de hangers wordt de constructie lineair doorgerekend waarbij de toets op 2^e orde effecten in de doorsnedetoetsing is meegenomen. Bij instabiliteit van de boog treden

zodanige vervormingen op, dat de normaalcrachten en daarmee de stijfheid van de hangers wijzigt. Om die reden worden de hangers als niet-lineaire kabels in het model meegenomen.



15 In totaal heeft de boogbrug 52 hangers.



16 Het Amsterdam-Rijnkanaal is belangrijk voor de scheepvaart

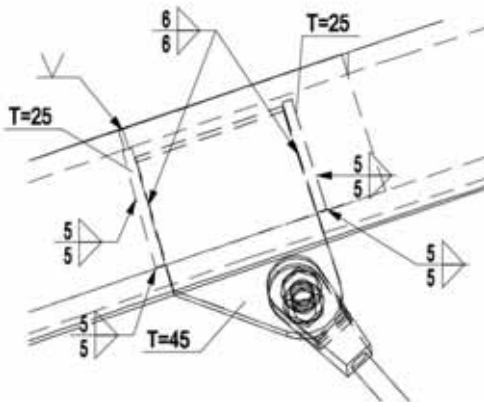
Ter kalibratie wordt ook een model met initiële imperfecties doorgerekend. De verschillen tussen een volledige 2^e orde berekening en de (semi) lineaire berekening met uitsluitend de hangers als niet-lineair element, blijken klein, waarbij een volledig niet lineaire berekening tot gunstiger resultaten leidt. Toch wordt de conservatieve berekening als uitgangspunt genomen.

HANGERS

Door de slankheid draagt elke hanger uitsluitend het gewicht van het dekdeel dat hij ondersteunt. Een eventuele afwijkende lengte van een hanger heeft eigenlijk alleen invloed op de hanger ernaast. Uit analyse van mogelijke afwijkingen in lengte van de hangers blijkt de invloed van dergelijke afwijkingen op de stabiliteit zeer klein. Dit gegeven maakt het mogelijk de hele staalconstructie en hangers af te bouwen op de definitieve opleggingen. Door het lage eigen gewicht zijn de hangers dan relatief slap en hangen ze duidelijk door. In deze fase is de juiste lengte van de hangers aan de hand van de doorbuiging te toetsen. Lengte, gewicht en doorbuiging zijn bekend, zodat de kracht in de hangers te berekenen is. Op basis van vergelijking met de theoretische berekening is een eventuele aanpassing mogelijk. Door ook het belangrijkste aandeel in de belasting, de massa van het betondek, aan te brengen als de brug uitsluitend op zijn eindsteunpunten ondersteund is, krijgt elke hanger de juiste normaalcracht zonder dat naspanssen nodig is. De gebruikte trekstaven zijn van het type Macalloy 460 met M56. De lengte van de in totaal 52 trekstaven loopt uiteen van 3 tot 18 m.

AANVAARBELASTING

De ligging over een belangrijke vaarroute (afb. 16) vereist zorgvuldige berekeningen voor de aanvaarbepasting. Een horizontale belasting uit aanvaring kan door het dek relatief eenvoudig naar de landhoofden worden afgedragen; het betonnen dek dient hierbij als schijf voor de dwarskracht. De hangers leveren echter een niet te verwaarlozen bijdrage aan de stabiliteit van de boog en uit een gevoeligheidsanalyse blijkt dat een eventuele opwaartse belasting relatief ongunstig is voor de sterkte van de brug.



17 Principe-details hangeraansluiting

Daarom wordt naast de standaard 1000 kN aanvaarbelasting tegen het dek ook aanvullend met een opwaartse component van 300 kN gerekend. Een dergelijk opwaartse belasting is te verwachten als een deel van een schip of lading tegen de onderkant van de brug komt.

Om het bestand zijn tegen een aanvaring te garanderen, is de constructie verder berekend op uitval van een hanger, omdat de aansluiting door een aanvaring zou kunnen bezwijken. En daarnaast wordt, in plaats van met de buigstijve kokervormige randligger, gerekend met een enkele rechte flens voor het zeer onwaarschijnlijke geval dat een deel van de koker beschadigd zou raken.

VORMGEVING

Qua vormgeving moet de nadruk liggen op de slanke boog. Details zijn daarom eenvoudig gehouden. De aansluitingen van de tuien op randliggers en boog (afb. 17) zijn functioneel en ingetogen ontworpen, waarbij de aansluiting zichtbaar is maar tegelijkertijd geïntegreerd in de staalconstructie. De gesloten, doosvormige doorsnede van de randliggers zorgt ervoor dat zaken als verstevigingsribben ter hoogte van de aansluitingen uit het zicht blijven.

Met het oog op vormgeving wordt ook de wijze waarop de kokerliggers in elkaar gelast zijn, zorgvuldig gekozen. De kokers worden als doosje in elkaar gezet, waarbij de schotten voor de aansluiting van de hangers aan drie zijden worden vastgelast aan de binnenzijde van de kokerligger. Daarna wordt de sluitplaat van de koker geplaatst. Bij de randliggers is dat de onderzijde, bij de boog de bovenzijde van de koker. Lasnaden in zichtzijdes worden vlakgeslepen voor een zo vlak mogelijke afwerking. (afb. 18 en 21)

DETAILLERING

Daarnaast kent de boogbrug nog een aantal noemenswaardige details. Zo is het betonnen dek niet tot aan de oplegging van de staalconstructie doorgezet. Naast de oplegging bevindt zich in het dek een verzwaarde, kokervormige einddwarsdrager. Zo wordt een stapeling van dwarsbalken voorkomen en heeft de pijler een open karakter en een fraai vormgegeven oplegging (afb. 20).



18 Boog en langsligger zijn samengestelde kokerliggers

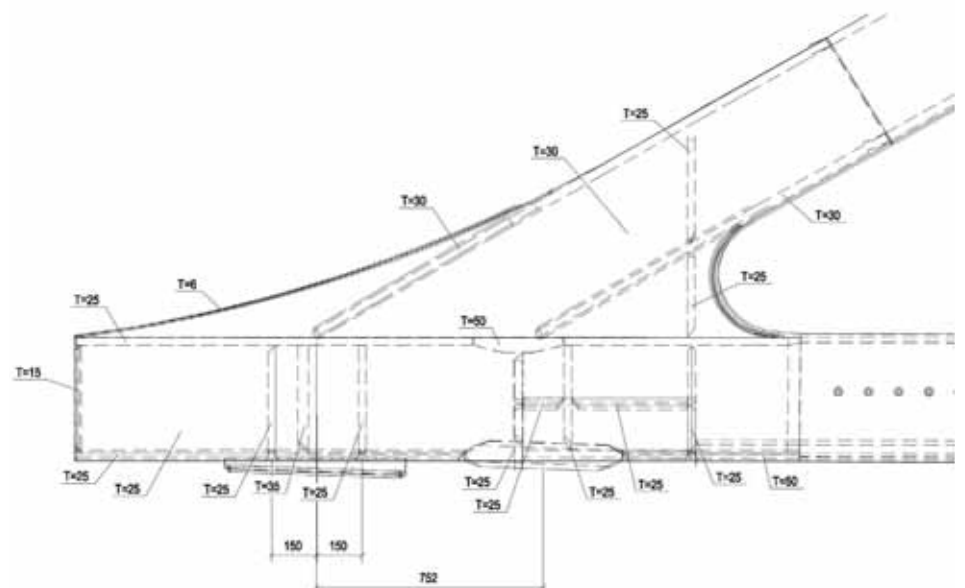
Ook de afgeronde vormen bij de booggeboorte (afb. 20 en 21) zijn op basis van vormgeving gekozen. Constructief hebben ze geen functie, daarom zijn ze uitgevoerd in dunner staalplaat.

Verder heeft de netwerkboog naast de normale oplegging een tweede oplegging die het mogelijk maakt de brug op te vijzelen voor het vervangen van de oplegblokken. De normale oplegging bevindt zich in de snijlijn van boog en randligger, de extra oplegging ligt noodgedwongen excentrisch. Bij het opvijzelen treden hierdoor aanzienlijke buigende momenten op. De plaatdikte van zowel boog als randligger is daarom plaatselijk vergroot.

PRODUCTIE EN UITVOERING

De Belgische staalbouwer CSM stelt de volledige engineering inclusief de montagestudie van de brug op in samenwerking met extern engineeringbureau Stendess. Hieruit volgt een stappenplan dat duidelijk omschrijft in welke volgorde de brug op de voorbouwlocatie moet worden opgebouwd. Deze voorbouwlocatie bevond zich in Nigtevecht, direct aan het Amsterdam-Rijnkanaal en op zo'n 700 meter van de uiteindelijke locatie van de brug (afb. 22).

Om transport van alle onderdelen naar de voorbouwlocatie mogelijk te maken, deelt de staalbouwer de brug op in hanteerbare delen.



19 Oplegging en vijzelpunt nabij booggeboorte

Qua vormgeving moet de nadruk
liggen op de slanke boog



20 Oplegging en vizelpunt

De twee hoofdliggers worden opgedeeld in vier stukken van telkens 29 m lang; de boogconstructie opgedeeld in totaal zeven stukken: vier booguiteinden en drie middenboogstukken (3,5 m breed en 27 m lang). Zowel de boogconstructie als de hoofdliggers zijn kokervormige profielen, samengesteld uit platen tot een dikte van 50 mm. De kokers worden met behulp van een laskraan en onder poederlassen gelast.

De volledige productie van alle delen vindt plaats in België. Hier brengt de staalbouwer ook het hoogwaardige drielaags schildersys-

teem aan. De conservering is zo gekozen dat deze minimaal twintig jaar meegaat. Om er zeker van te zijn dat alle onderdelen zullen passen op de voorbouwlocatie, wordt de brug in de werkplaats in verschillende posities aangelegd: het volledige wegdek, koppeling booggeboortes met wegdek en volledige middenboog. Nameting met digitale meetapparatuur garandeert een correcte maatvoering. Op de voorbouwlocatie wordt vervolgens de gehele netwerkboog in elkaar gezet. Na het aaneenlassen en het aanbrengen van de trekstaven worden de breedplaatvloeren gelegd en diverse hulpconstructies en

stabiliteitsvoorzieningen aangebracht (afb. 22). Ook volgt volledige bijwerking van alle lasnaden en transport- en montagebeschadigingen. Tot slot wordt een volledige eindlaag aangebracht om een egaal en esthetisch verantwoord beeld te krijgen. Dan is de brug klaar voor het invaren.

PLAATSING

Voor het plaatsen van de brug geldt een aantal restricties. Het kanaal mag bijvoorbeeld maar een beperkt aantal uur gestremd worden en de scheepvaart mag geen hinder ondervinden van het afbouwen. Ook is het onzeker of de oever zware kraanlasten kan dragen. Doordat de uitvoerende partijen al in de ontwerpfase nauw bij het project betrokken zijn, is het mogelijk de consequenties van mogelijke uitvoeringsmethoden op bouw, kosten en ontwerp direct gezamenlijk te beschouwen. De keuze voor een netwerkboog blijkt veel materieel te vereisen bij plaatsing. Een netwerkboog is namelijk vooral een efficiënte constructievorm als hij op de uiteindelijke opleggingen ligt. Tot die tijd is een hulpconstructie nodig als extra ondersteuning van de boog. Het bouwteam kiest er al vroeg in het ontwerpproces voor om de brug in te varen op één enkele ponton en om de boog tijdelijk te versterken met twee verticale bokken, horizontaal gekoppeld door een trekband (afb. 22).



21 Productie van de staalconstructie



22 Tijdelijke versterking van de boogbrug met verticale bokken en horizontale trekband



23 Het nachtelijke invaren van de netwerkboog

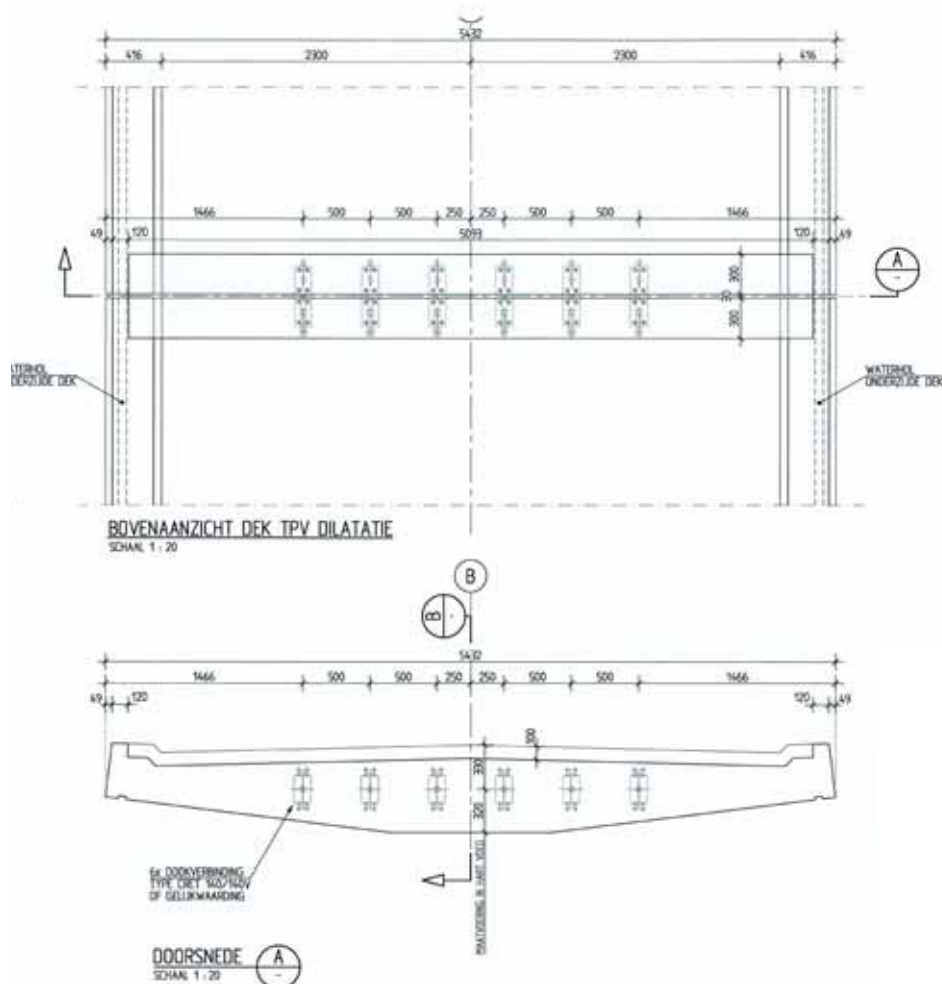
Omdat het statisch systeem tijdens het invaren wijzigt, komen niet alle hangers op trek en verliezen daarmee hun functie. De hangers in het midden van de overspanning komen hierbij slap te hangen zonder dat dit negatieve consequenties heeft. Een aantal hangers moet echter dermate vervormen dat deze blijvend kunnen knikken door plastische vervorming. Hoewel de brug in principe met 'gedrukte', niet-effectieve hangers op sterkte wel voldoet, is voor de hangers die mogelijk kunnen knikken wel een maatregel nodig. Deze worden uiteindelijk bij het invaren versterkt met een demontabele kolom (afb. 22).

24 De ronde vorm van de kolommen zorgt voor een relatief rustig beeld



INVAREN

Het invaren van de boogbrug vond in de nacht van 10 op 11 maart 2018 plaats (afb. 23). Eerst is de brug op de voorbouwlocatie omhoog gevijzeld ter plaatse van de oplegpunten. Vervolgens nemen Self-Propelled Modular Transporters (SPMT's) met stopping de brug geleidelijk over van de vijzels. Daarna rijden de SPMT's een ponton op en volgt het invaren van de brug. De brug wordt daarbij eerst over de landhoofden gedraaid, waarna ze op de definitieve opleggingen wordt afgelaten. Kranen zijn daarbij niet nodig.



25 Dilataties in de rechte hellingbaan

AFWERKING

Na het laswerk op de voorbouwlocatie volgt volledige bijwerking van alle lasnaden en eventuele transport- en montagebeschadigingen. Tot slot wordt er ook een volledige eindlaag aangebracht om een egaal en esthetisch verantwoord beeld te krijgen. De blauwgrijze kleur geeft het traditionele grijs van de ingenieursbrug een verfrissend randje.

BETONNEN AANBRUGGEN

Al in de tenderfase is ervoor gekozen om de hellingbanen uit in het werk gestort beton te maken en traditioneel gewapend, vanwege de goede ervaringen die ermee zijn opgedaan. Constructief gezien is het een beproefd concept: een momentvast verbonden constructie voldoet goed aan de eisen ten aanzien van minimaal onderhoud en duurzaamheid (afb. 24 en 26).

Het lastigste ontwerpaspect voor de aanbruggen is de ruimtelijke inpassing ervan. De doorgang van tien meter betekent hellingbanen van minstens driehonderd meter aan beide zijden van het kanaal (zie afb. 1).

Gebaseerd op de beschikbare ruimte en omliggende bebouwing krijgen de hellingbanen elk hun eigen vorm: een tweehonderd meter lange rechte hellingbaan parallel aan het kanaal die overgaat in een fietspad op grondlichaam aan de westzijde en een driehonderd meter lange, compacte helling met haarspeldbochten aan de oostzijde.

Samen met Ballast Nedam Engineering zoeken de partijen vervolgens de ideale verhouding tussen dekkdikte, kolomafstand en kolomdikte. De uitkomst: een dekkdikte van 650 mm in het midden, teruglopend tot 400 mm aan de randen, kolommen met diameter van 800 mm, 16 m hart-op-hart. Vanwege het grote aantal kolommen aan de oostzijde krijgen de kolommen een cirkelvormige doorsnede voor een rustig beeld. Om graffiti te voorkomen, is het ontwerp van de natuurzones onder de fietsbrug afgestemd op de plaatsing van de kolommen. De meeste staan in het water of zijn door water omringd.





26 De onderzijde van het dek bij één van de bochten

HELLINGBANEN

De haarspeldvormige hellingbaan wordt uitgevoerd zonder dilataties. Aan de westzijde heeft de rechte hellingbaan vanwege de lengte wel twee dilatatievoegen. Om de stabiliteit van het dekdeel tussen de dilataties te garanderen, zijn de kolommen hier iets groter in doorsnede. Ingestorte deuvels in het hart van het dek zorgen voor opname van de dwarskrachten (afb. 25). Daar waar de hellingbaan boven de weg ligt (oostzijde), passen de ontwerpers eveneens grotere kolommen toe, dit keer om de aanrijdbelasting te kunnen opvangen.

VORMGEVING

Dat behalve efficiëntie, inpassing en minimaal onderhoud ook vormgeving een grote rol speelt, is in het betonwerk goed te zien, onder meer in de detaillering. Zo worden dek en schampkant bewust in één keer gestort om een horizontale stortnaad op de brugranden te voorkomen. Verder worden de plaats van de plaatnaden aan de onderzijde van het dek zorgvuldig gekozen en wordt de bekisting in

de bochten minutieus uitgetekend (afb. 26). Het lijnenspel dat de plaatnaden vormen, is hierdoor rustig en gelijkmatig.

Aan de bovenzijde is het dek subtiel dakvormig voor de afwatering en doordat de hekwerken licht naar binnen hellen, ontstaat tussen schampkant en rijbaan een smalle zone op het dek die fungeert als goot voor hemelwaterafvoer, zonder dat daar een expliciete goot voor nodig is (afb. 27). Omdat ook de boogbrug een betonnen dek heeft, vormen aanbruggen en hoofdoverspanning één doorlopend betonnen lint (afb. 24).



27 Hemelwaterafvoer

Naast vormgeving krijgt ook gebruikerscomfort veel aandacht in de uitwerking. Zo zijn de hellingen voorzien van een rustplateau en hebben de bochten een aanzienlijk ruimere straal dan gebruikelijk. Voor voetgangers is de brug aan weerszijden toegankelijk via trappen. Op het gedeelte waar voetgangers gebruiken van de brug is het brugdek een meter breder dan op de hellingbanen. Fietsers en voetgangers gaan hierdoor veilig samen. 's-Nachts zorgen glow-in-the-dark pucks voor attentieverlichting.

Zowel omwonenden als recreanten zijn positief over de nieuwe fietsverbinding

SCHOONBETON

Om aan de eisen voor schoonbeton te voldoen, neemt de aannemer vooral een aantal praktische maatregelen. Allereerst worden de aanbruggen in het juiste jaargetijde gestort onder de meest geschikte omstandigheden. Daarnaast koos Ballast Nedam ervoor op dagen met slecht weer (regen, wind) het storten uit te stellen en per dag kijkt de uitvoerder bovendien scherp naar met name de plasticiteit van het betonspeciemengsel. Na het storten wordt het dek afgedekt met jute en continu nat gesproeid met water om het verhardingsproces te beheersen en scheurvorming te voorkomen.

SAMENWERKING

Tijdens het gehele proces werken alle betrokken partijen nauw samen, wat een positief effect heeft op zowel het eindresultaat als de efficiëntie van het proces. Er wordt gewerkt in de ontwerpfase volgens de 'concurrent engineering methode', waarbij alle partijen op regelmatige basis fysiek in dezelfde ruimte aan het werk zijn. Overleg en afstemming verlopen op die manier heel soepel en effici-

ent. Ook de staalbouwer werkt al vroegtijdig pro-actief mee, wat het proces positief beïnvloed heeft.

Sinds de oplevering wordt de brug veelvuldig gebruikt. Zowel omwonenden als recreanten zijn positief over de nieuwe fietsverbinding en de lokale middenstand vaart wel bij het toegenomen aantal passanten. Uit gebruikersonderzoek is inmiddels gebleken dat tachtig pro-

cent van de gebruikers zowel veiligheid als comfort beoordeelt met een acht of hoger. Op vormgeving geeft 97 procent van de ondervraagden de brug een dikke acht. Het streven een mooie en prettig te berijden brug te realiseren, is dus waargemaakt. En Nigtevecht is, dankzij de brug, voor eens en altijd op de kaart gezet.

Al met al is het Amsterdam-Rijnkanaal weer een aantrekkelijke fiets+voetbrug rijker!



Liniebrug, Nigtevecht (2018)	
opdrachtgevers	Provincie Utrecht Provincie Noord-Holland Gemeenten Stichtse Vecht en De Ronde Venen Rijkswaterstaat
type brug	Fietsbrug – vaste stalen netwerkboogbrug
overspanningen	100 m
ontwerp en constructief ontwerp	ipv Delft
ontwerp natuurverbinding	Bureau Waardenburg
constructeur boogbrug	Jeroen Koot Constructie Advies
hoofduitvoering	Ballast Nedam
constructeur aanbruggen	Ballast Nedam Engineering
uitvoeringsontwerp en staalconstructie	CSM Steelstructures en Stendess (B)
uitvoeringskosten	ca. 8,2 miljoen euro

Bron figuren: ipv Delft

