



1

Artikelenree over Catharinabrug
In een serie van drie artikelen wordt aandacht
besteed aan de Catharinabrug. Het eerste deel
ging over het ontwerp, het tweede deel over
de fabricage. Dit derde artikel gaat over de
uitvoering. Alle delen zijn beschikbaar op
www.cementonline.nl.

Catharinabrug in Leiden (3): uitvoering

Bouwen in de binnenstad

De Catharinabrug, uitgevoerd met geprefabriceerde elementen van ultra-hogesterktebeton (UHSB), ligt in het historische hart van Leiden. Die ligging leverde nogal wat beperkingen op in de uitvoering, die al vanaf het voorlopig ontwerp zijn meegenomen. Door een aantal slimme oplossingen heeft de aannemer, mede dankzij een nauwe samenwerking met het ingenieursbureau, enkele risicovolle aspecten kunnen ondervangen. Het betrof onder meer het transport, de kraaninzet, de bouwput in relatie tot de bestaande bebouwing en de plaatsing van de diverse elementen.

De Catharinabrug is een voetgangers- en fietsersbrug in de binnenstad van Leiden op het punt waar de Oude en Nieuwe Rijn samenkomen. De brug loopt van de Stille Rijn aan de ene zijde van het water naar de Aalmarkt aan de andere zijde. De Catharinabrug moet voor een goede verbinding gaan zorgen met een nieuwe winkelstraat, de Catharinasteeg.

Aanvoer van het dek

Aankankelijk ging het ontwerp uit van een opdeling van het dek in zowel de breedte- als de lengterichting. Deze opdeling

- 1 Dwars op de hoofdliggers van de Catharinabrug zijn secundaire liggers aangebracht, waarop de prefab elementen zijn gesteld
foto: Gerda van Ekris
- 2 Aanvoer van schuin element met hydraulische schuinstelling
foto: Buro JP
- 3 Uiteindelijke kraanpositie 500-tons kraan

- 4 De bouwplaats met de 500-tons kraan op het Waaghoofd
foto: Buro JP
- 5 Model oorspronkelijk ontwerp fundering in relatie tot reeds aanwezige palen
- 6 Links de fundering uit het ontwerp, rechts de wijzigingen

ir. Rogier van Nalta
Pieters Bouwtechniek Delft BV
Leen van Belen
Gebr. Schouls BV



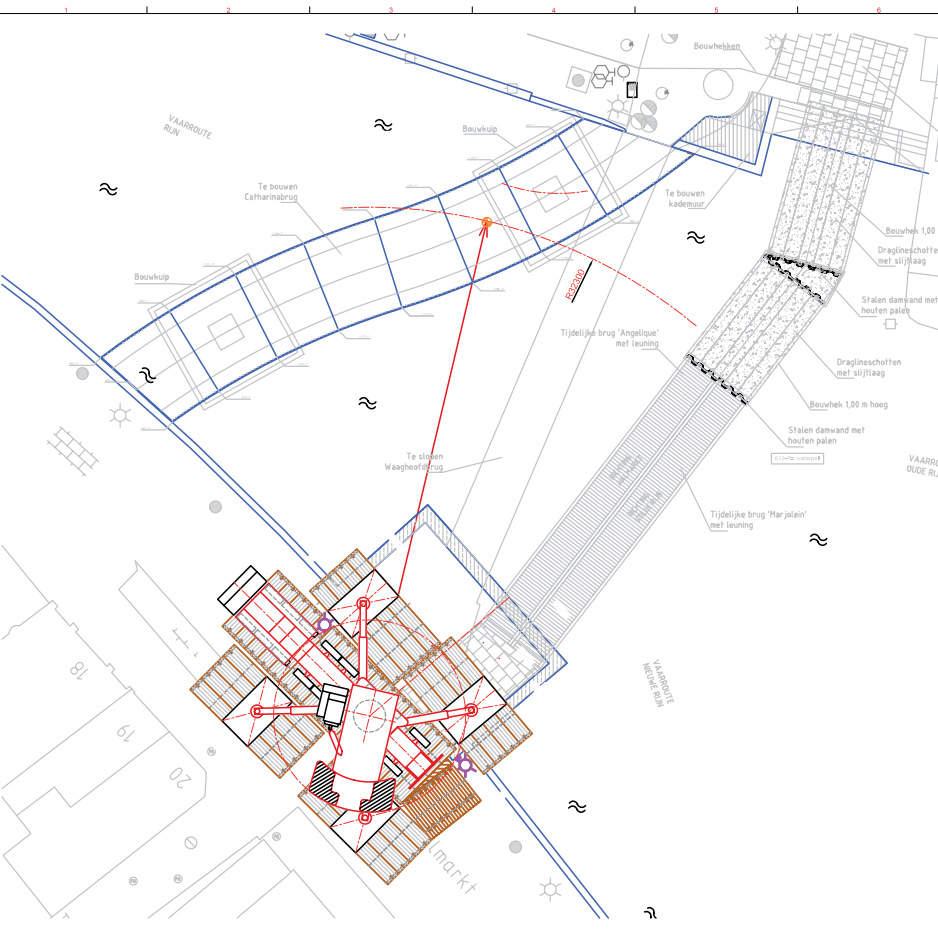
maakte de uitvoering echter erg complex, waardoor uiteindelijk de opdeling in breedterichting is losgelaten. Daarom moest worden gezocht naar een manier om de acht in grootte variërende elementen (circa 6 m breed en 4 tot ruim 6 m lang) elk in zijn geheel aan te voeren. In eerste instantie was het idee de elementen via het water aan te voeren, gezien de ligging van de brug een voor de hand liggende optie. Echter, vanwege de beperkte breedte en doorvaarthoogte van enkele bruggen op de route, was deze oplossing niet probleemloos. Sommige elementen zouden over een van de bruggen moeten worden gehesen. De kosten hiervoor waren fors. Met de transporteur van de prefab-betonleverancier is daarom bekeken of het mogelijk was de elementen via speciaal transport ter plaatse te krijgen. Dit bleek uiteindelijk het geval, onder andere dankzij de inzet van een hydraulisch verstelbare schuinstelling (foto 2). Hiervoor moest wel de wekelijkse markt gedeeltelijk worden verplaatst en moesten de nodige verkeersmaatregelen worden getroffen om het drukke verkeer in de binnenstad in goede banen te leiden.

2

Kraan

Vanwege de grootte van de elementen was het de vraag of het wel mogelijk was deze elementen te hijsen. Al in het ontwerpstadium is een bouwplaatsinrichting uitgewerkt waarbij is gekeken naar de kraanopstelling. Zowel de plaatsing, de benodigde grootte als de belasting speelden daarbij een rol. In het oorspronkelijke plan werd op elke kade en zo dicht mogelijk bij de brug een kraan geplaatst. De kades bleken hierbij de belasting nèt aan te kunnen. Voordeel was het relatief geringe gewicht van de elementen door toepassing van UHSB.

Na de aanbesteding vond het kraanongeluk in Alphen aan den Rijn plaats. Naar aanleiding daarvan ging er in het hele land extra aandacht uit naar kraanplaatsingen, zeker in binnensteden. Voor dit project werd in eerste instantie gedacht aan het aanbrengen van tijdelijke stalen buispalen ter plaatse van de kranen om het risico van overbelasting van de kade te voorkomen. Dit was echter kostbaar en lastig vanwege de vele kabels en leidingen. Daarom is gezocht naar een alternatief. Door de kraan gedeeltelijk op het nabijgelegen Waaghoofd te plaatsen, bleek het mogelijk met beperkte maatregelen, zoals drukverdelende platen, een 500-tons kraan toe te passen (fig. 3 en foto 4). Deze kraan kon alle elementen hijsen op de twee verst gelegen aan de zijde van de Stille Rijn na. Bij het hijsen van deze twee laatste elementen zouden de stempeldrukken vanuit de kraan te hoog worden voor de onderliggende constructie. Daarom zijn deze twee elementen door een lichtere kraan vanaf de Stille Rijn gehesen, ook weer zonder dat hier extra buispalen voor nodig waren.



3

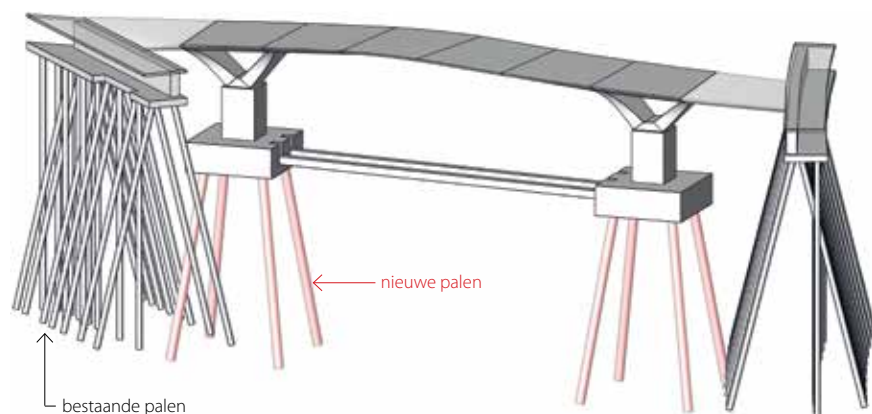


4

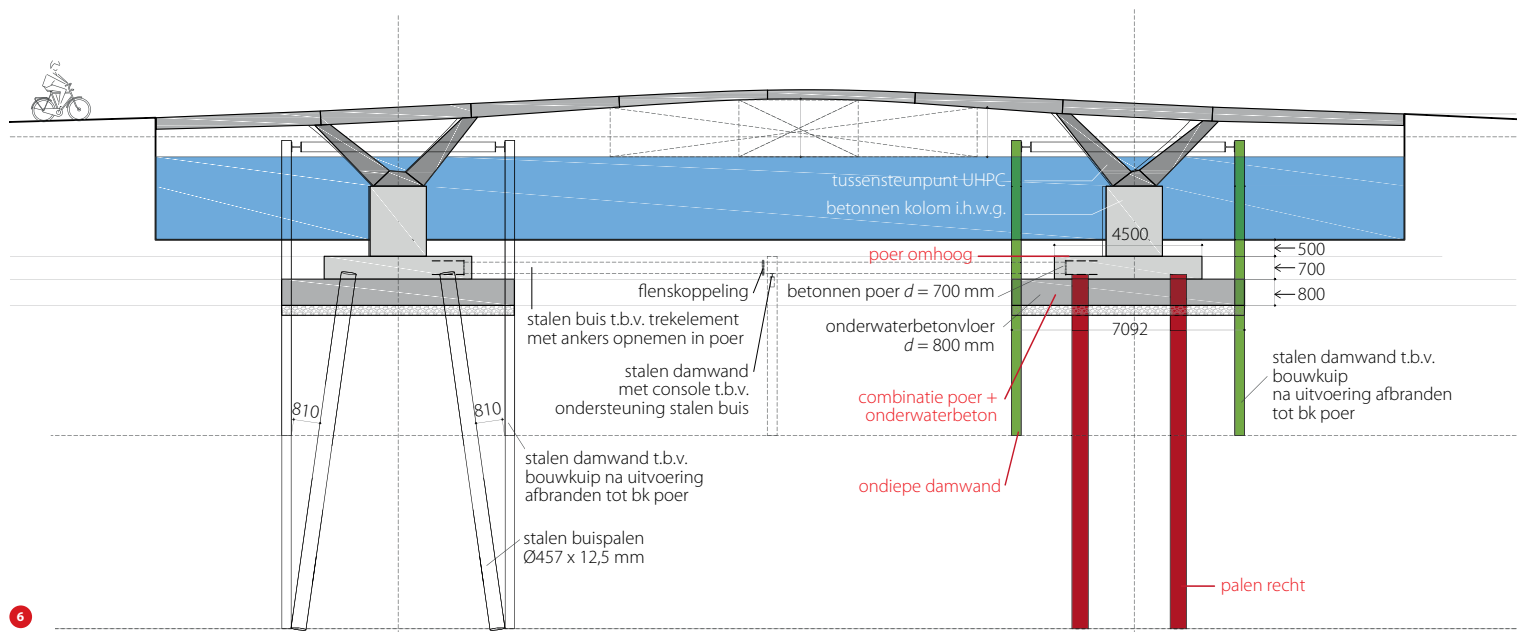
Bouwput fundering

De V-vormige pijlers van de brug staan samen met de fundering iets van de kade af. Hierdoor was het mogelijk een slanke brug te realiseren en konden de palen onder de bestaande kades worden ontweken. Dat laatste was echter niet eenvoudig, temeer omdat in het ontwerp werd uitgegaan van schoorpalen om de fundering zo stijf mogelijk te maken en de aanvaarbelaasting vanuit de rondvaartboten te kunnen opnemen.

Na uitgebreide bestudering van de bestaande tekeningen leek het in theorie mogelijk de nieuwe palen tussen de bestaande palen aan te brengen (fig. 5). Lastiger was dat echter voor de damwanden rond de bouwput van de fundering. Die staken



5



6

vrij diep en zouden veel bestaande palen kruisen. Door een in hoogte variërend verloop van de damwanden en een flink stempelraam kon ook dit echter worden opgelost.

Na de aanbesteding kwam de aannemer met het idee de fundering met een aantal aanpassingen eenvoudiger te maken en daarmee de risico's te verminderen. Door niet eerst een onderwaterbetonvloer te storten met daarop de poer, maar de poer deels in het onderwaterbeton te integreren, kon de diepte van de bouwput worden verkleind. Bovendien was er geen grondwateronttrekking nodig, wat het risico op zettingen zou beperken. Doordat het onderwaterbeton ook gelijk functioneert als extra stempeling voor de damwand, konden er kortere damwanden worden toegepast. Hierdoor zouden deze boven de bestaande palen blijven (fig. 6).

Ondanks deze maatregelen kwamen de damwanden aan de zijde van de Stille Rijn toch ergens bovenop. Gevreesd werd dat de palen van de kade anders liepen dan gedacht. Een duiker had de positie van deze palen vooraf echter gecheckt en was ervan overtuigd dat dit niet het geval was. Tijdens het ontgraven van de bouwkuip werd de oorzaak duidelijk: er bleek nog een verlaten kabelzinker te zitten die niet was verwijderd. Als gevolg hiervan moest de vorm van de bouwkuip enigszins worden aangepast. Dit had echter geen grote gevolgen; de palen konden gewoon conform ontwerp worden aangebracht. Ook ontstond het idee de damwanden niet te trekken en na realisatie van het dek onder water af te branden tot vlak boven de poer. Door de damwanden in te klemmen in de poer ontstond zo een zeer stijve fundering, waardoor schoorstand van de palen niet nodig was. Een ander voordeel was dat de ondersteuningsconstructie voor de V-vormige pijlers en het dek droog in de bouwput kon worden aangebracht en verwijderd.



8

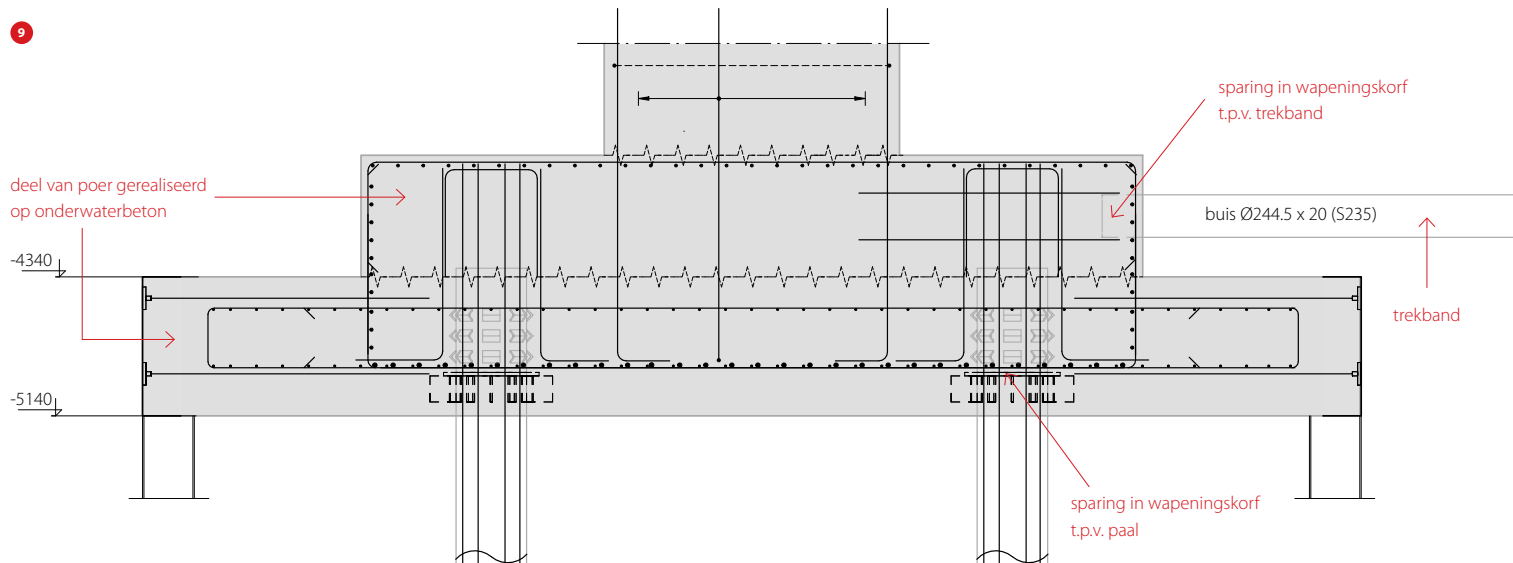
Palen

In het ontwerp waren stalen buispalen voorzien, gebaseerd op sonderingen ter plaatse van de kade. Uiteindelijk zijn Hek-buispalen toegepast, trillingsvrij ingeschroefde palen, voorzien van groutinjectie. Voor deze paalmethode is gekozen in verband met risico's van trillingen. Bij de start van het project was namelijk scheurvorming opgetreden bij een naastgelegen project. Hierdoor is het project even stilgelegd en zijn de eisen voor de trillingen en monitoring aangescherpt. Uiteindelijk zijn alle trillingen binnen de toegestane eisen gebleven. Door de groutinjectie hebben de palen een iets hoger draagvermogen. Dit kwam goed uit, want de sonderingen ter plaatse van de steunpunten, die pas vlak voor de uitvoering werden gemaakt, bleken tegen te vallen ten opzichte van waarvan in het ontwerp was uitgegaan. Nu bleken de palen bij herberekening toch te voldoen.



7

- 7 Aanbrengen van de damwand vanaf het water
- 8 Palen met ribbels voor trek en een ring voor de druk; deze delen worden op de al aangebrachte paal gelast
- 9 Wapening in poer die met onderwaterbeton is gecombineerd



De funderingspalen zijn, na droogpompen van de put, boven het onderwaterbeton afgebrand en gevuld met wapening en beton. Ze zijn voorzien van ribbels door middel van aangelaste hoeklijnen om de trekkracht die vanuit het onderwaterbeton wordt uitgeoefend, te kunnen overdragen. Doordat de palen in het aangepaste ontwerp deels in de poer steken, schuift het aangrijppunt van de drukbelasting op de paal omhoog. Hierdoor wordt de nuttige hoogte van de poer verminderd.

De ribbels hadden niet voldoende capaciteit om de drukkracht vanuit de brug te kunnen overdragen. De palen zijn daarom onder in de poer, onder de ribbels, voorzien van een met schotten verstijfde stalen ring die de drukkracht zo laag mogelijk in de poer kan opnemen (foto 8). De schotten zijn deels iets langer uitgevoerd, zodat ze konden fungeren als steun voor de wapeningskorf in het onderwaterbeton.

Wapening in de poeren

Het samenvoegen van poer en onderwaterbeton betekende dat het onderwaterbeton moest worden gewapend en dat de palen deels in de poer steken. Hierdoor moest de wapeningskorf voor de poer over de palen worden gehesen. Hiervoor zijn sparingen opgenomen in de wapening (fig. 9). De korf moest ook over de trekbanden zakken, die zich tussen de twee poeren bevinden. Om dit mogelijk te maken, is een uitschuifbaar deel in de korf gemaakt, die is uitgeschoven onder de trekbanden, nog vóórdat het onderwaterbeton is gestort.

Ondersteuning pijlers en brugdek

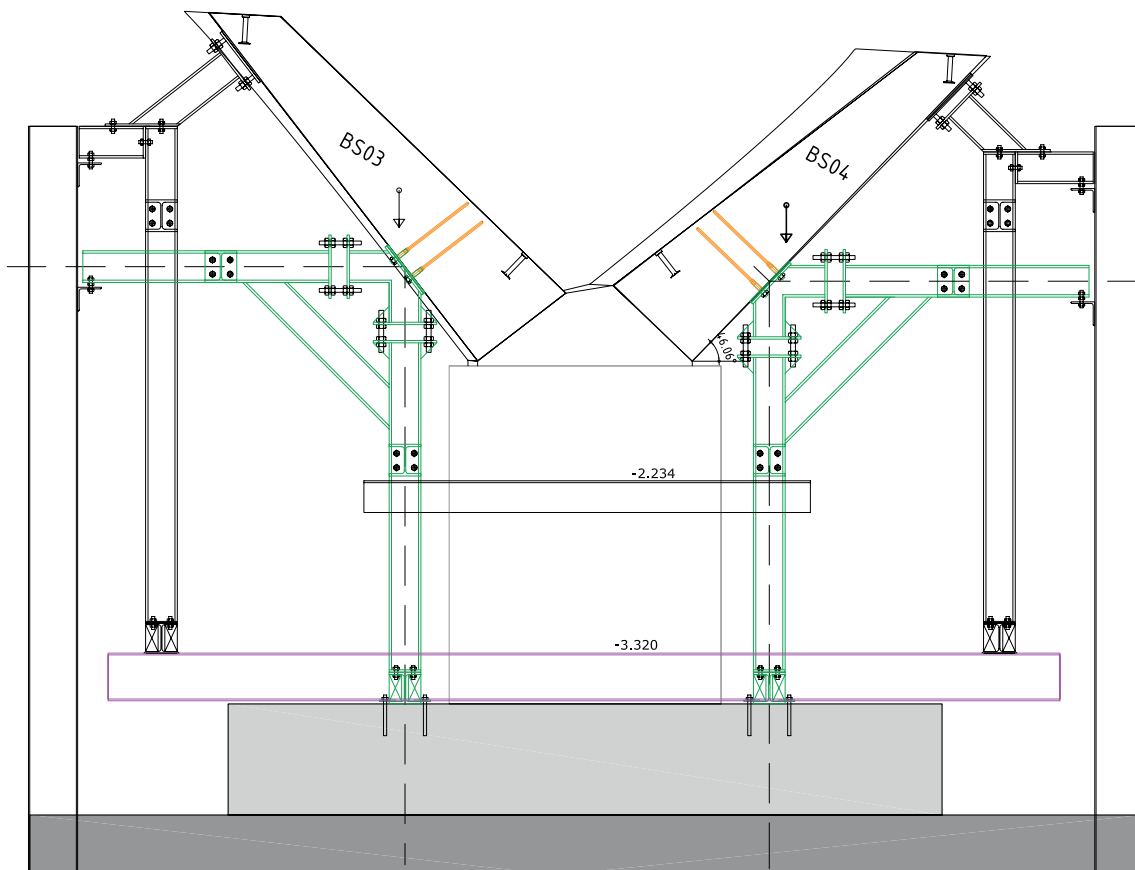
Naast het transport van de dekelementen en de situering van de bouwput, vormde ook de plaatsing van de V-vormige pijlers en het brugdek een grote uitdaging.

Wanden pijlers

De prefabbetonnen wanden van de pijlers moesten zeer nauwkeurig worden geplaatst om goed aan te sluiten op het brugdek. De coördinaten van de vier hoeken van elk element zijn daartoe opgegeven en de wanden zijn op een ingenieuze stalen ondersteunings- en stelconstructie geplaatst (fig. 10 en foto 11). Deze constructie moest de zware wanden volledig op z'n plek houden. De sokkel waar de wanden op zouden aansluiten, was namelijk nog niet gestort. De reden hiervoor was dat zo de stekken uit de wanden eenvoudig tussen de wapening in de sokkel konden worden gestoken. Er is wel overwogen de sokkel eerst te storten en de stekken via gains in te voeren. Door de dichte wapening uit de wanden leidde dit echter tot een zeer dichte sokkel. Aangezien er sowieso een stelconstructie nodig was voor de wanden, besloot de aannemer het risico bij de sokkel te minimaliseren en de sokkel dus pas na plaatsing van de wanden te storten. De kleine driehoek boven de sokkel, die de overgang tussen het UHSB van de wanden en het normale C35/45 van de sokkel vormt, is daarna met JointCast aangestort (voor meer informatie over JointCast, zie eerste artikel uit deze serie).

Brugdek

De ondersteuning waarop het brugdek werd geassembleerd, was een project op zich. In eerste instantie werd ervan uitgegaan dat de vaarroute (buiten het seizoen) werd afgesloten en is een ontwerp gemaakt met twee doorgaande stalen liggers die als een tijdelijke brug op de steunpunten zouden staan. Uiteindelijk bleek dat de doorvaart voor met name de rondvaartboten continu vrij moest zijn. Daarom is in het midden een stuk uit de hoofdliggers geknipt en verhoogd. Dit betekende wel dat de ondersteuningsconstructie uit twee losse delen bestond die elk moesten worden ingeklemd in de fundering van de steunpunten. Dwars op de hoofdliggers zijn secundaire liggers aangebracht



waarop de prefab elementen zijn gesteld (foto 1). Voor het verhoogde deel is een brug gemaakt van lichtere staalprofielen waarop de middelste dekelementen konden worden neergelegd. Hierdoor was een doorvaartopening van 6 m breed en 1,50 m hoog gecreëerd en was de doorvaart gegarandeerd (foto 12).

Voor het plaatsen van de dekelementen is gebruikgemaakt van vijzels. Onder elk element zijn vier vijzels toegepast zodat het element op alle hoekpunten was te stellen. De gehele constructie

is doorgerekend in alle stadia van de montage. Dit was van belang omdat er maar zeer weinig ruimte was tussen de stalen liggers en het dek. Bij het neerleggen van de dekplaten was een aanzienlijke vervorming van de staalconstructie voorzien, die de vijzels moesten kunnen compenseren. Een te kleine vijzel kon niet de benodigde uitslag maken, terwijl een te grote vijzel klem zou komen te zitten. Het was dus van belang voor elk vijzelpunt de doorbuiging te berekenen bij elk element dat werd geplaatst. Dit moest vervolgens ook worden gedaan voor het verwijderen van de vijzels. De staalconstructie boog



- 10 Ondersteuningsconstructie wanden
 11 De wanden van de pijlers zijn op een verstelbare, stalen ondersteuningsconstructie geplaatst
 foto: Buro JP

- 12 De stalen ondersteuningsconstructie voor het dek met doorvaartopening
 13 De prefabbetonnen pijlers van de Catharinabrug, gezien vanaf het water



12

13

immers bij elke verwijderde vijzel terug terwijl het dek zelf iets doorboog. Zo kwamen de nog aanwezige vijzels dus steeds meer klem te zitten. De berekening bleek de praktijk zo goed te benaderen dat de vizelexpert complimenten gaf aan de constructeur!

De Catharinabrug moest eruit komen te zien als één vloeiend doorlopende witte lijn. De delingen in het dek moesten dus zo onzichtbaar mogelijk zijn. De eisen voor het schoonbeton waren zeer hoog (CUR100) en er was een strenge eis gesteld van maximaal 3 mm in de variatie van de voegbreedte. Door de stelbare ondersteuning van de wanden en de vijzels onder het brugdek kon deze eis worden gehaald.

Omgeving

Tijdens de bouw moesten niet alleen de rondvaartboten gewoon door kunnen varen. Ook de verbinding tussen Aalmarkt en Stille Rijn moest intact blijven. Hiervoor heeft de aannemer een tijdelijke brug aangelegd op tussensteunpunten bestaande uit stalen damwanden en houten funderingspalen. Deze brug gaf ook een goed zicht voor het publiek op de uitvoering van de brug.

Het bouwen van een brug in de binnenstad is al een logistieke uitdaging op zich. In dit geval was ook de Catharinasteeg en de omringende bebouwing nog volop in uitvoering. Daarbij werd een enorme bouwput gemaakt langs monumentale panden. De aanvoerrote van deze bouw liep over de Aalmarkt en de toegang van de bouwplaats was precies naast de Catharinabrug. Door gebruik te maken van pontons voor opslag van materialen kon de kade voldoende vrij worden gehouden, zodat beide aannemers elkaar niet al te veel in de weg liepen. Het betekende

wel dat de rondvaartboten een uitdagendere vaarroute hadden, maar door elkaar continu te informeren over de voortgang en nabije werkzaamheden hebben alle partijen hun werkzaamheden kunnen uitvoeren.

PROJECTGEGEVENS

- project Catharinabrug, Leiden
- opdrachtgever Gemeente Leiden
- architect DP6 architectuurstudio BV
- constructieadviseur Pieters Bouwtechniek Delft BV
- uitvoering Gebr. Schouls BV
- leverancier UHSB Hi-Con Nederland BV

REFERENTIES

- 1 Nalta, R. van, Hansen, T., Ultradunne balkons. *Cement* 2012/6.
- 2 Nalta, R. van, Huize Het Oosten. *BV-Nieuws* 3, 2014.
- 3 Nalta, R. van, Potentie UHSB groeit. *Cement* 2016/2.
- 4 Van Nalta, R., Let op bij ontwerpen met UHSB. *Cement* 2015/5.
- 5 Nalta, R. van, Berg, C. van den, Büdgen, J., UHSB voor kleinschalige bruggen. *Cement* 2015/3.
- 6 Grüneward, S., Köhne, H., Nio, M., Sefarini, M., Verdonk, A., Huijben, R., Mechtcherine, V., Gielbert, L., Filigraine UHSB Parkbrug. *Cement* 2012/6.
- 7 Bache, H.H., Compact Reinforced Composite, Basic Principles. CBL Report No. 41, Aalborg Portland, 1987.
- 8 Aarup, B., Jensen, B.C., Bond Properties of High-Strength Fibre Reinforced Concrete, ACI-publication SP-180, Bond and Development of Reinforcement, 1998.
- 9 Beers, F., Trillingen van betonnen voetgangersbruggen, TU Delft, 2014.
- 10 Blaauwendraad, J., Plates and FEM, Surprises and Pitfalls. Springer Science + Business Media B.V., 2010.