

SPOORBRUG OVER HET HOLLANDSCH DIEP

J.H. Reusink

De brug over het Hollandsch diep voor de hogesnelheidslijn (HSL) is in uitvoering. Wie nu met de auto of trein over het Hollandsch diep rijdt vangt er een glimp van op. Tussen de bestaande bruggen in, op korte afstand van de bestaande spoorbrug, verrijst stapsgewijs het imposante bouwwerk, de grootste staal-beton brug van Nederland. Feitelijk wordt het bouwwerk synchroon op vele locaties in den lande geprefabriceerd en in grote moten naar de bouwplaats aangevoerd. Het is een logistiek proces van passen en meten, zowel qua ontwerp, techniek als planning. Bij het detailontwerp moeten vele hobbels worden genomen. Een complex geheel van technische innovaties, bijzondere vormgeving, uitvoeringsfasering, kostenoptimalisatie, stringente richtlijnen en zettingsbeheersing maken dit tot een grote uitdaging. Echter wel een die binnen korte tijd tot resultaat moet leiden: de opleveringsdatum van 2006 is immers vastgelegd waarbinnen voor de bovenbouw van de rivieroverspanning alleen al ca. 8500 ton staal en 9000 m³ beton moet zijn verwerkt.

In de planfase was de spoorbrug voor de projectorganisatie HSL-Zuid een project binnen een project. Met een referentieontwerp van de projectorganisatie, een meer-voudig uitgeschreven architectenopdracht en begeleiding en toetsing door het quality team HSL-zuid onder leiding van Rijksbouwmeester prof. ir. W. Patijn is bij de keuze niet over een nacht ijs gegaan. Het winnend ontwerp van Benthem & Crouwel is vervolgens opgenomen in de Design and Construct aanvraag als onderdeel van de cluster HSL-Zuid Holland Zuid (waarin tevens de tunnels onder de Dordtse Kil en Oude Maas zijn opgenomen) naar de markt. Hierbij werd nogmaals gelegenheid gegeven tot het indienen van een alternatief ontwerp naast het basisontwerp.

Het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam was in de aanbestedingsfase in 1999 adviseur van HBG, een van de aanbiedende consortia. Veel tijd is besteed aan het ontwikkelen van een alternatief ontwerp omdat sterk de inschatting leefde dat de finale keuze uit de alternatieve ontwerpen zou voortkomen. Nadat de aanbestedingen najaar 1999 waren ingeleverd volgde een lang traject van onderhandelingen. Hiertoe zag de minister zich genoodzaakt in verband met de tegenvallende aanbestedingsresultaten. Evenals bij de latere aanbestedingen bij de Noord-Zuid lijn in Amsterdam was ook hier een prijsopdrijvend effect waarneembaar, deels verklaarbaar doordat er op grote schaal gelijktijdig grote infrastructurele werken op de markt werden gebracht en deels door de nieuwe aanbestedingswijze waarbij veel verantwoordelijkheden bij de aannemersconsortia werden gelegd.

Uiteindelijk werd medio 2000 de cluster gegund aan de bouwcombinatie Drechtse Steden. Hierbij werd niet alleen teruggevallen op het ontwerp van Benthem Crouwel, ook is de brug financieel op het (lagere)kostenniveau van het HBG-ontwerp gebracht. Als projectontwerpbureau organiseren zich het Ingenieursbureau Gemeentewerken Rotterdam en IV-infra tot Ingenieurscombinatie Hollandsch Diep, speciaal belast met het detailontwerp van de brug.

Het ontwerp bestaat uit een rivierdeel geflankeerd door twee betonnen aanlandingviaducten met een gezamenlijke lengte van ca. 2 kilometer. De rivieroverspanning van de brug is een doorgaande staal-betonligger met 10 hoofdoverspanningen van ieder ca. 105 m (één van 104,10 m) en twee eindvelden van ieder ca. 70 m. Uitgangspunt is dat de pijlers van de nieuwe brug precies in lijn staan met de pijlers van de bestaande brug en niet breder mogen zijn. Tijdens het ontwerp zijn de



Inhijzen hamerligger, tekening H. de Muijnck



Paalfundering bestaande brug en buispaalfundering nieuwe brug



Ontwerp nieuwe brug

hartlijnen van de pijlers vastgesteld. De totale lengte van het rivierdeel van de brug bedraagt daarmee ca. 1191 m. De langsdorsnede van de brug voorziet in ca. 59 m lange veldsecties en 46 m lange hamersecties.

De dwarsdoorsnede van de brug wordt gevormd door 1:10 scheefstaande lijfvlakken die ter plaatse van de bovenflenzen 6 meter uit elkaar staan. Met een spoorafstand van 5 m wordt hiermee een zo gunstig mogelijke ontwerp van het brugdek verkregen. De veldligger is een composiet kokerligger. De staalconstructie is een open U-bak met een liggerhoogte van 4,5 m. Pas na het aanbrengen van het betondek ontstaat een gesloten koker. Alle lijven van de veldliggers en hamerstukken bevinden zich in hetzelfde vlak en onder dezelfde helling.

De hamerstukken bestaan uit een samengestelde ligger opgebouwd uit zeven deelsecties: Twee staalbetonnen steunpuntliggers; met een staal liggerhoogte van ca. 2,5 m. Twee stalen schoorpoten met een verlopende vijfhoekige doorsnede.

Twee broekstukken die de verbinding vormen tussen steunpuntligger, veldligger en schoorpot; Een hamervoet met zware inleidingsschotten voor de opleggingen.

Deze indeling is overeenkomstig de deelsectie indeling tijdens de uitvoeringsfase.

De brug heeft zijn vaste punt in het midden. Hiertoe zijn 3 pijlers uitgerust met vaste opleggingen (waarvan de buitenste met speling). De middelste vijf opleggingen kunnen de opgedrongen vervormingen opnemen door toepassing van vier dikke rubberstaalplaat opleggingen van 900 x 1200 mm. Voor de buitenste rivierpijlers zijn dezelfde type opleggingen toegepast maar is aanvullend een glijdplaat toegevoegd. Alle horizontale opleggingen zijn uitgevoerd als doekconstructies waarbij de twee- of vierzijdige opleggingen weer voorzien zijn van rubberstaalplaten voor de benodigde vervormingscapaciteit.

Het ontwerp is maximaal afgestemd op de meest economische en efficiënte wijze van uitvoering. Zo is het toegepaste paalsysteem verregaand geoptimaliseerd, worden de betonnen sloofbakken geprefabriceerd, worden deelsectie- en plaatdikteovergangen afgestemd op leverbare plaatlengten, wordt plaatselijk verhoogde staakwaliteit S460 ingezet daar waar gewoon staal tot te grote diktes zou leiden en wordt het betondek van de veldliggers al op de staalwerf aangebracht.

Voor de brug worden per pijler 5 of 6 stalen funderingspalen toegepast met een diameter van 3 m en een lengte van ca. 40 meter. Dominant voor het ontwerp van het paalsysteem was de eis inzake aanvaarbe-lastings van 30.000 kN op de pijler waarbij de vervorming beperkt moest blijven tot ca. 100 mm. Algemeen nadeel van palen met een grote diameter is echter dat de maximale draagkracht van de paalpunt pas wordt bereikt bij grote verticale vervormingen. In het kader van het project is daarom een systeem bedacht waarbij de axiale stijfheid van de paal in gebruikstoestand vergroot wordt. Hiertoe wordt ter plaatse van de paalpunt een voorspankracht aangebracht die de paal opwaarts doet vervormen

en de grond onder de paal neerwaarts. De paal wordt hierdoor grondmechanisch voorgepannen. Een praktische methode waarop dit kan worden bereikt is door middel van "oppompen" van de buispaal. Hierdoor wordt onder in de buispaal een afdichtlaag of prop aangebracht waaronder door middel van hogedruk groutinjectie de voorspanning wordt bereikt. Uiteindelijk is besloten het systeem niet toe te passen omdat door de minimale voorbereidingstijd de innovatierisico's te hoog zijn bevonden.

Stijfheid is maatgevend bij het ontwerp van spoorbruggen. In het geval van constructies ten behoeve van HSL is een aanvullend stijfheids criterium; de "comfort eis" van toepassing. Hierbij worden maximale waarden gesteld aan de verticale versnellingen die een reiziger ondervindt bij het passeren van de brug en die tot discomfort of zeeziektegevoel kunnen leiden. De toegestane trillingsniveau's zijn daarbij afhankelijk gesteld van de



Montage hamerligger in Krimpen

blootstellingstijd en van de resonantiegevoeligheid. Met zijn grote lengte en zijn 10 gelijke overspanningen waarbij de eigenfrequentie van de brug (1 Hz) dicht tegen de passeertijd van trein voor een veld ligt (1 s) liggen de acceptatieniveau's voor deze brug relatief laag. De grote slankheid van de brug maakte dat aan de strenge eis nauwelijks voldaan kon worden. Door middel van omvangrijke sets van (her-) berekeningen is veel energie gestoken in het voldoen aan deze eis volgens de door de opdrachtgever voorgeschreven methodiek.

Het belangrijkste probleem daarbij was om de aanwezige "verborgen" stijfheid van de brug in rekening te kunnen brengen. Zo is voor de constructieberekeningen de stijfheid van op trek belast beton verwaarloosd. Voor de comfortberekeningen is deze wel in rekening gebracht, zij het conservatief omdat de zone waarop het beton onder trek staat afhankelijk is van de momentane

positie van de trein op de brug. Ook de rotatiestijve oplegging tussen brug en pijlers is mee gemodelleerd. Stijfheid van door derden aan te brengen beton uitvullagen op het dek mocht echter niet worden meegenomen. Resumerend: een onbevredigende langdurige rekentechnische exercitie waarbij de opdrachtgever zich weinig flexibel opstelde aangaande het feit dat ten eerste de eisen in Nederland op dit punt zwaarder zijn dan in de ons omringende landen en ten tweede de comfort-overlast zich feitelijk beperkte tot een slechts enkele malen in de levensduur optredende incidentele situatie waarbij onder een miniem percentage mensen een vergroot gevoel van discomfort zou kunnen optreden. Op het laatst werd het rekenkundig schijnbaar onoplosbare fenomeen gekescherend wel aangeduid als "het probleem van de rimpel in de koffie van de reiziger". Een laatste bijzondere eis was die aan de vlakheid aan het brugdek. Ondanks het feit dat de infraprovider met een afbouwcontract 36 cm moest uitvullen tot bovenkant



Montage veldligger in Schiedam

rail, is contractueel vastgelegd dat de brug over de lengte met een hoogte tolerantie op het alignement van +/-15 mm (1/7000 L!) op de bovenkant beton vanuit de ruwbouw moet worden opgeleverd. Door het principe van de doorgaande ligger kunnen verschillen achteraf niet worden gecorrigeerd. Stijfheid van de ligger is in belangrijke mate afhankelijk van de momentane betonstijfheid bij de verschillende bouwfasen waarbij de veldliggers gestort zijn op de staalwerf en de hamerliggers op de bouwplaats.

Voor de complexe bouwzeeg berekeningen is gebruik gemaakt van de apelmethode waarbij ieder constructie-onderdeel per tussenfase, stap voor stap is teruggerekend naar zijn uiteindelijke maakvorm. Een heidense klus omdat de detailplanning voor de uitvoering nog in ontwikkeling was. Zo heeft het bijvoorbeeld invloed bij

het inhangen van een veldligger of de hamersectie twee velden terug op het betreffende moment al voorzien is van beton of nog niet. Elke afwijking, lasvervorming, zetting, aanbouwtolerantie, vormafwijking, betondikte tolerantie etc. heeft een niet verwaarloosbare invloed. Dit vereist derhalve een omvangrijk proces van monitoring, beheersing, terugkoppeling en corrigerende maatregelen.

Na het heien van de buispalen en hulppalen wordt de op Kats geprefabriceerde betonnen sloofbak over de palen geplaatst. Omdat de sloofbak zich geheel onder water bevindt wordt deze voorzien van waterschermen waardoor een waterdichte wand wordt verkregen. Na het dichten van de ruimte tussen palen en bak wordt deze leeggepompt. In de paalkoppen wordt over een bepaalde hoogte beton met stalen strippen aangebracht, nodig voor het opnemen van de grote aanvaarbelasting. Na volstorten en afbouw van de sloofbakken wordt de bekisting van de pijlerschacht aangebracht, die ter plaatse wordt gestort. De koppen van de pijlerschachten volgen het alignement waardoor deze verschillend in hoogte zijn.

Tegelijkertijd met de werkzaamheden in Moerdijk wordt de stalen bovenbouw geproduceerd. Veldliggers worden bij HBG Schiedam gebouwd als 3 deelsecties, vervolgens geconserveerd en buiten in spanningsloze toestand opgesteld en tot een ligger samengesteld. Vervolgens wordt de bekisting aangebracht en het betonnen dek gestort. De zeegvorm wordt daarbij nauwkeurig beheerst door een monitoring en vizel-systeem waarbij de door het gewicht van het aangebrachte beton wegzakkende ondersteuningspunten bijgevizeld kunnen worden. Voor de eerste liggers wordt gedurende een periode van 4 weken de actuele vorm gemeten. De Hamersecties worden in Krimpen (Hollandia) en Gorinchem (Mercon) gebouwd. Omdat de ruim 500 ton zware hamerliggers met bokken op de pijlers worden geplaatst is het niet mogelijk om deze met beton te prefabriceren.

Najaar 2002 worden in één cyclus drie hamerstukken geplaatst en kort daarna worden door middel van strandlift hijsystemen, de 1200 ton zware veldliggers ingehesen. De hamersecties worden daarbij in liggende stand gebouwd en getransporteerd en tijdens het hijsen gekanteld. De verbinding tussen veldligger en hamersectie wordt grotendeels tot stand gebracht terwijl de veldligger in de strandlifts hangt. Tijdens de montage ligt de hamerligger op twee van zijn vier opleggingen en wordt daarnaast eenzijdig ondersteund door een hulprame met hulppalen op 20 meter uit de pijler. Na de montage wordt de constructie overgenomen op zijn opleggingen, op hoogte gesteld en ondergoten. Na het storten van de hamerdelen en het afwerken van de constructie wordt deze opgeleverd en overgedragen aan de Infraprovider ten behoeve van de verdere afbouw. De brug is inwendig alleen voorzien van een lasprimer. Door middel van een luchtontvochtiger wordt de brug aan de binnenzijde op een lage luchtvochtigheid gehouden waardoor conservering niet nodig is. Aan de buitenzijde is de brug voorzien van een conventioneel drie laagse conserveersysteem.