

STAAL-BETON BIJ DE BRUG OVER DE RIJN IN OOSTERBEEK

ing. G.M.M. Touw, Holland Railconsult

Inleiding

De rivieroverbrugging over de Rijn nabij Oosterbeek bestond bij de aanvang van het project uit een stalen hoofdoverspanning, zes stalen aanbruggen en een aardebaan met een lengte van circa 750 m. De dwars op de stroomrichting van de rivier staande aardebaan in de uiterwaarden belemmert de vlotte doorgang van het water waardoor er bij hoog water opstuwing optreedt. Om deze opstuwing te beperken is circa 400 m van de aardebaan vervangen door nieuwe aanbruggen. Bij het ontwerp van die aanbruggen zijn vele varianten be-schouwd. De variaties betroffen: de wijze van spoorbevestiging op de bruggen, de pijlerafstand, het statisch systeem en de materiaalkeuze voor de bruggen. Die variaties zijn met elkaar gecombineerd tot varianten. Deze varianten zijn vervolgens met elkaar vergeleken op de aspecten: geluid, uitvoeringskosten, onderhoudskosten, hinder voor de treindienst, vormgeving, mogelijke uitvoeringsmethoden en risico's.

Pijlerafstand

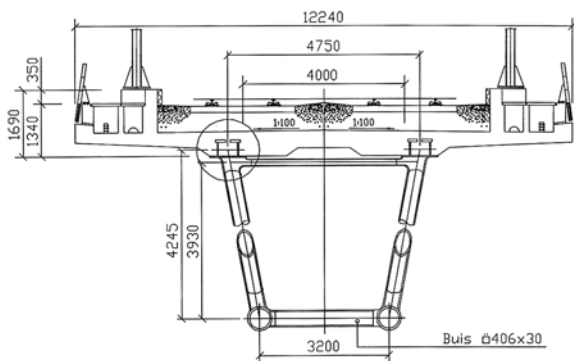
Bij het ontwerpen van lange bruggen moet, op die plaatsen waar de pijlerplaatsing niet bepaald wordt door onderliggende infrastructuur of andere omgevingseisen, een zo gunstig mogelijke overspanningslengte worden bepaald. In Nederland werden in het verleden voor de aanbruggen van rivieroverbruggingen stalen bruggen toegepast met een pijlerafstand van meestal circa 60 m. Bij latere vervangingen en uitbreidingen van de rivieroverbruggingen was als gevolg van de aanwezigheid van de bestaande pijlers de pijlerafstand van circa 60 m meestal een vast gegeven. Bij de vele bruggen die de laatste jaren in Frankrijk zijn gebouwd, wordt bij vergelijkbare omstandigheden zoals die in Nederland voorkomen, veelal een pijlerafstand toegepast tussen de 40 m. en 50 m. Het is natuurlijk niet praktisch om bij het opzetten van de varianten een zeer groot aantal verschillende pijlerafstanden mee te nemen. Om het aantal varianten te beperken zijn in de varianten-

vergelijking slechts 3 overspanningslengten betrokken, namelijk 58 m, 45 m en 33 m. Het gaat daarbij nog niet om de exacte maat van de overspanning maar de drie genoemde overspanningen staan voor een gebied van overspanningen met soortgelijke karakteristieken. Uit ervaring kan gesteld worden dat een pijlerafstand van meer dan 60 m. economisch geen goede oplossing is. De pijlerafstand van 58 m. is in de vergelijking betrokken omdat een pijlerafstand van circa 60 m. in Nederland veel voorkomt en omdat in de beschouwde overbrugging al aanbruggen aanwezig zijn met een overspanning van 58 m. De pijlerafstand van 45 m is in de vergelijking betrokken omdat de ervaringen in het buitenland aangeven dat toepassing van deze maat een economisch goede oplossing is. De pijlerafstand van 33 m. is meegenomen omdat deze maat overeenkomt met de maximaal toelaatbare deklengte voor het geval van (langelast) spoor met ingegoten spoorstaven.

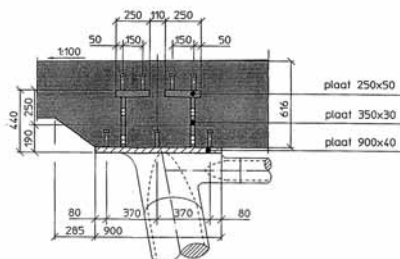
Voor overbruggingen waarbij de aanbruggen in het vrije veld gebouwd kunnen worden is, een lengte van 40 à 45 m. de meest economische maat voor de overspanning. Bij het maken van de kostenindicatie is echter gebleken dat in het Oosterbeek project het aandeel van de pijlers in de kostenopstelling veel groter is dan in het geval van bouwen in het vrije veld. Om de pijlers te kunnen bouwen in het in dienst zijnde baanlichaam is het toepassen van hulpbruggen, lange damwanden en aangepast heiwerk nodig. Dit hulpwerk is kostbaar en de vele benodigde buitendienststellingen in verband met bijvoorbeeld het heien van de damwandschermen, zullen een verlenging geven van de uitvoeringstijd en een economische uitvoering in de weg staan. Gesteld kan worden dat door het grotere aantal pijlers dat in het in dienst zijnde baanlichaam gemaakt moeten worden (2 pijlers extra) de varianten met een overspanning van 45 m. circa 10% duurder zullen zijn dan de soortgelijke varianten met een overspanning van 58 m. Bij de varianten met aanbruggen met een overspanning van 33 m. is bijna een verdubbeling van het aantal pijlers nodig, wat in dit project in verband met het moeten bouwen van de pijlers in het in dienst zijnde baan-



Aanzicht van de nieuwe aanbruggen.



Dwarsdoorsnede nieuwe aanbruggen.



Verbinding betonnen bovenflens met vakwerk van stalen buizen.

lichaam zeer nadelig zou zijn. Ingeschat wordt dat de varianten met een pijlerafstand van 33 m. daardoor circa 30% duurder zullen zijn dan soortgelijke varianten met een pijlerafstand van 58 m. Na alle afwegingen is uiteindelijk gekozen voor een pijlerafstand van 58 m.

Materiaalkeuze en dwarsdoorsnede

In de variantenvergelijking is voor alle in beschouwing genomen overspanningslengten de oplossing met betonnen aanbruggen en met aanbruggen van staal-beton meegenomen. Voor de overspanning van 58 m. is tevens de oplossing met stalen aanbruggen meegenomen omdat in de overbrugging reeds stalen aanbruggen aanwezig zijn. Met betrekking tot het statisch systeem kan gekozen worden uit statisch bepaalde liggers en statisch onbepaalde liggers. De keuze hieruit heeft invloed op het spoorstelsel in langsrichting. Daarop wordt in dit artikel niet nader ingegaan. De uiteindelijk gekozen variant gaat uit van achter elkaar liggende statisch bepaalde aanbruggen. De keuze met betrekking tot de vorm van de dwarsdoorsnede is onder andere afhankelijk van de overspanningslengte, het statisch systeem en de materiaalkeuze van de aanbruggen. Voor de betonnen aanbruggen zijn de balkbrug met meerdere geprefabriceerde balken, de ter plaatse in het werk gestorte dubbel T-brug (balkbrug met 2 betonnen balken) en de kokerliggerbrug in de beschouwing meegenomen. Voor aanbruggen van staal-beton zijn in de beschouwing meegenomen: de dwarsdoorsnede bestaande uit een betonnen bovenflens met daaronder twee I-vormige stalen balken met gesloten lijven, de dwarsdoorsnede bestaande uit een betonnen bovenflens met daaronder een stalen kokervormige ligger en een oplossing waarbij de onder de betonnen bovenflens liggende stalen liggers zoveel mogelijk dezelfde vorm hebben als bij de bestaande (vak-werk)aanbruggen.



Einde vakwerklijger met zwaardere diagonalen.

Uiteindelijk gekozen variant

De varianten zijn met elkaar vergeleken op het aspecten geluid, doorlooptijd van de uitvoering, uitvoeringskosten, onderhoudskosten, risico's met betrekking tot de uitvoeringsplanning en vormgeving.

Bij de vergelijking van de varianten bleken de varianten met een pijlerafstand van 33 m. en/of een volledig stalen dwarsdoorsnede geen goede oplossing te zijn en waren er geen grote verschillen tussen de overige varianten aan te geven. Er is wel een lichte voorkeur voor de variant met de pijlerafstand van 58 m. en staal-betonnen brugdek. De uiteindelijke variant heeft de volgende karakteristieken: In totaal wordt circa 400 m. aardebaan vervangen door zeven aanbruggen met een lengte van 58 m. Het betreft staal-beton bruggen met een betonnen bovenflens en een stalen gedeelte aan de onderzijde. Het stalen ondergedeelte bestaat uit een vakwerk.

Vorm van de dwarsdoorsnede

Bij het ontwerp van de brug heeft de beperking van de geluidsafstraling van de brug een grote rol gespeeld. De brug moet namelijk voldoen aan de eis dat het geluidsniveau van het nieuwe spoor en de nieuwe brug niet hoger mag zijn dan de uitgangssituatie met het spoor op de aarde baan. Uit geluidsmetingen is gebleken dat aan deze eis wordt voldaan. De dwarsdoorsnede bestaat uit een betonnen bovenflens en een onderliggend vakwerk. Bij het ontwerpen van het onderliggende stalen vakwerk moeten gefundeerde keuzes gemaakt worden met betrekking tot onder andere de vorm van de onderrand en de diagonalen, de richting van de diagonalen, het wel of niet toepassen van staanders, de verticale stand van de zijvlakken en de horizontale dwarsverbindingen. Bij het bepalen van de richting van de diagonalen is (in verband met



Montage van nieuwe bruggen naast de bestaande spoorbaan.



Afgemonteerde vakwerkbrug op de definitieve pijlers.

de uitvoeringskosten) gestreefd naar een vorm met zo min mogelijk knopen. Een steilere hoek dan de in het ontwerp gekozen hoek geeft meer vakwerkvlakken en daardoor meer knopen. Een flauwere hoek geeft minder vakwerkvlakken maar de vakwerk lengte wordt dan zodanig dat verticale staanders nodig zijn van de knopen in de onderrand naar de bovenrand. Ook dit resulteert dan in meer knopen. Aan de uiteinden van het vakwerk is een zwaardere einddiagonaal noodzakelijk. Tevens is ter plaatse van de oplegging een verticale staander noodzakelijk. De zijvlakken van het vakwerk staan niet verticaal maar onder een hoek. De hoek van de vlakken is bepaald door aan de bovenzijde uit te gaan van een zo gunstig mogelijke ondersteuning in dwarsrichting van de bovenflens en aan de onderzijde de stabiliteit van de brugconstructie te beschouwen. De trekkrachten in dwarsrichting die door de schuine stand van de vakwerkvlakken aan de bovenzijde van het vakwerk ontstaan, worden niet opgenomen door de betonnen bovenflens maar door ronde trekstaven. Het vakwerk bestaat uit vakwerkstaven en vakwerkknopen. Het ontwerp van het vakwerk is zodanig dat er zo min mogelijk verschillende knoopsoorten zijn. In het algemeen ontstaan de vakwerkknopen op de plaats waar de vakwerkstaven aan elkaar worden gelast. Het is echter ook mogelijk om de vakwerkstaven aan een geprefa-

briceerde vakwerkknoop te lassen. Die geprefabriceerde vakwerkknoop wordt dan uit gietstaal gefabriceerd. Uit een kostenvergelijking tussen gegoten knopen en in elkaar gelaste knopen bleek dat het toepassen van gegoten knopen economisch interessant is vooral omdat de gietstukken zeer gestandaardiseerd kunnen zijn. Ook kunnen door de afgeronde vormen van de gegoten knopen spanningspieken eenvoudig vermeden worden. In het bestek is uit gegaan van gegoten knopen. Het toepassen van in elkaar gelaste knopen is ook een reële optie alhoewel de detaillering daarvan niet is beschouwd. In het bestek was deze optie wel als alternatief toegestaan. Om het mogelijk te maken in de gebruiksfase de brug op te kunnen vijzelen worden de eindknopen voorzien van een extra oplegvlak. Deze verschoven oplegging die een verzwaring van de eindknoop geeft, is ook gebruikt als tijdelijke oplegging in de uitvoeringsfase.

De dwarsdoorsnede is zodanig vormgegeven dat deze de toepassing van staal-beton accentueert. Bij de toepassing van een stalen ondergedeelte in de vorm van een vakwerk is voor de krachtwerving tijdens de uitvoeringsfase een bovenrand nodig. Als de betonnen bovenflens boven op de bovenrand van het vakwerk wordt aangebracht, oogt het geheel als een stalen vakwerkbrug met een betonnen rijvloer. Om dit te voorkomen, is samen met de architect een zodanige dwarsdoorsnede ontworpen dat uit de constructie is af te lezen dat de betonnen bovenflens meewerkt in de krachtwerving in langsrichting. De vakwerkstaven lopen als het ware de betonnen bovenflens in. De benodigde bovenrand is geheel in de betonnen flens opgenomen.

Uitvoeringswijze

In verband met het zoveel mogelijk moeten beperken van de invloed van de uitvoering op de treinexploitatie zijn de brugdekken buiten de spoorbaan gemaakt. Hierbij kan gedacht worden aan een plaats langs de spoorbaan zodanig dat de brugdekken alleen zijdelings behoeven te worden verschoven. Het inschuiven van de aanbruggen in de spoorbaan is uitgevoerd in buitendienststellingen met een tijdsduur van circa 52 uur. Het stalen gedeelte van de aanbruggen is in de staalfabriek gefabriceerd en vervolgens over water vervoerd naar de bouwplaats. Op de bouwplaats zijn de stalen brugdelen (met een lengte van 58 m.) m.b.v. Strassenrollers naast de spoorbaan geplaatst, zodanig dat na het storten van de betonnen bovenflens en de verdere voltooiing van de bruggen deze alleen zijdelings verplaatst hoeven te worden. In het middengedeelte van de dwarsdoorsnede (het gedeelte tussen de vakwerkvlakken) is voor het storten van de betonnen bovenflens gebruik gemaakt van breedplaatvloeren als verloren bekisting. Voor de bekistingondersteuning van de zij-uitkragingen van de betonnen bovenflens is de onderrand van het stalen vakwerk gebruikt.

Het werk is uitgevoerd door de combinatie H3O waar de 3 H's staan voor Haverkort, Hegeman en Herema en de O voor Oosterbeek. Het stalen ondergedeelte van de brug is gemaakt in de staalfabriek van Grootint. Het inschuiven is verzorgd door de firma de Boer. Het ontwerp van de bruggen de directievoering is verzorgd door Holland Railconsult.