

DE PRINS CLAUS BRUG TE UTRECHT

Ir. C. L. Kamp, Projectmanager ontwerp, Holland Railconsult

Inleiding

De in 2003 geopende Prins Claus brug te Utrecht is een asymmetrische tuibrug met een hoofdoverspanning van 150 m. over het Amsterdam-Rijnkanaal, een zijoverspanning van circa 80 m. en twee aanbruggen van circa 37,5 m. De 90 m. hoge, achterover hellende pyloon met zijn steeds wijzigende doorsnede trekt samen met het boeiende lijnenspel van de tuien sterk de aandacht van de weggebruikers op de A2 en de A12 nabij verkeersplein Oudenrijn. Het architectonische ontwerp is van UN Studio. De brug is gebouwd in opdracht van de gemeente Utrecht door de aannemerscombinatie Papendorpse Brug v.o.f., gevormd door Victor Buyck Steel Constructions te Eeklo (B) en CFE beton- en waterbouw te Dordrecht. Het betrof een 'Design and Construct' opdracht waarbij het definitief constructief ontwerp, de detailengineering, de berekening van de bouwfasering en de diverse trillingsanalyses zijn verzorgd door Holland Railconsult in samenwerking met Wüst Rellstab Schmid te Schaffhausen. Zoals wel vaker voorkomt was de ontwerpvrijheid ondanks het Design & Constructcontract vrijwel nihil, zelfs in gevallen dat constructieve aanpassingen hoogst wenselijk waren.

Hoofdconstructie

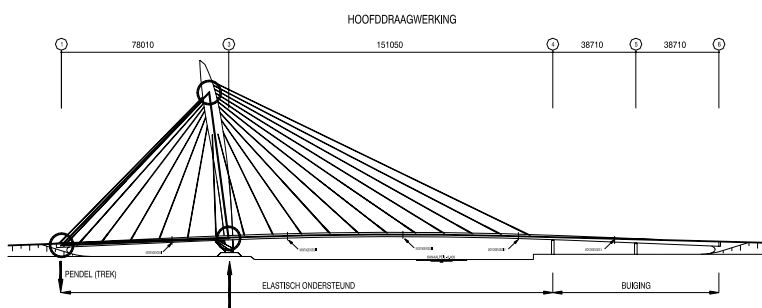
De brug bestaat uit een staalbetonnen rijvloer die in de hoofdoverspanning en de zijoverspanning ondersteund wordt door in totaal 19 tuiparen (afb. 1). Het draagsysteem van de aanbruggen is anders, dit gedeelte van de brug bezit geen tuien en draagt als buigligger. De brug is opgelegd op in totaal 5 steunpunten, met de pyloon als vast punt.

De hoofddragconstructie is in afb. 2 weergegeven. Door de asymmetrische vorm is de brug niet intern in balans, en moet de pyloon nabij zijn top vastgehouden worden. Dit gebeurt door de zware achterste vier tuien welke niet zoals de overige tuien de rijvloer dragen, maar ertoe dienen de pyloon aan het landhoofd te fixeren. Dit gebeurt indirect. De tuien zijn aan de rijvloer bevestigd en deze laatste is met een verticale pendelconstructie met het landhoofd verbonden. De grote trekkrachten die de brug hier op het landhoofd uitoefenen worden opgevangen door het gewicht van het landhoofd, aangevuld met trekpalen. Een verder gevolg van de asymmetrie is dat de rijvloer horizontaal tegen de pyloon afgesteund moet worden; de som van de langscomponenten van de tuikrachten in de hoofdoverspanning is per definitie groter dan die van de tuikrachten in de zijoverspanning.

In afb. 3 is de pendel onder het landhoofd te zien en in afb. 4 en 5 de afstempeling van de rijvloer tegen de pyloon. Ook in dwarsrichting wordt de pyloon gestabiliseerd



1. Prins Clausbrug te Utrecht.



2. Schematekening Prins Clausbrug.

door een aantal tuien. Het constructieprincipe is vergelijkbaar met dat van een scheepsmast. Ter hoogte van de pyloon bevindt zich onder de rijvloer een tweetal armen verbonden met een dwarsbalk. Het geheel kreeg al snel de bijnaam paperclip. De rijvloer is hieraan aan de buitenzijde bevestigd met voorgespannen opleggingen die zowel trek als druk kunnen opnemen. Door het systeem tuien- opleggingen- paperclip wordt de pyloon in dwarsrichting gestabiliseerd. Ook hier dienen de tuien dus niet alleen maar voor het ondersteunen van de rijvloer. Het is zelfs zo dat de pyloon niet tot de volle hoogte kon worden gemonteerd voordat de vier ernaast gelegen tuiparen waren aangebracht. Dit was een direct gevolg van de voorgeschreven, zeer smalle doorsnede van de pyloon ter hoogte van de rijvloer.

Pyloon

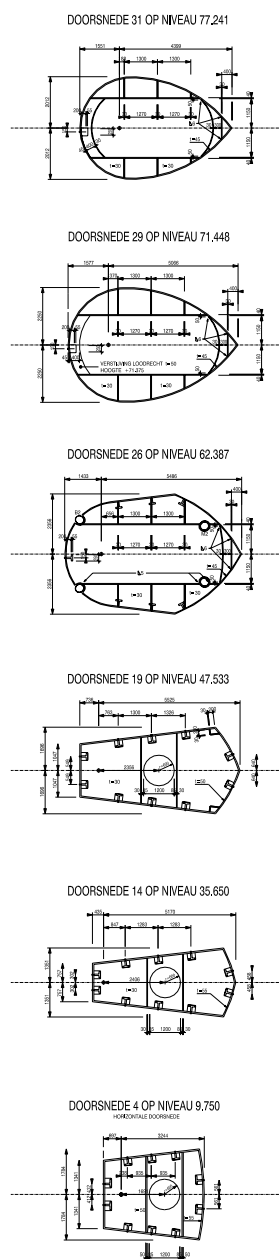
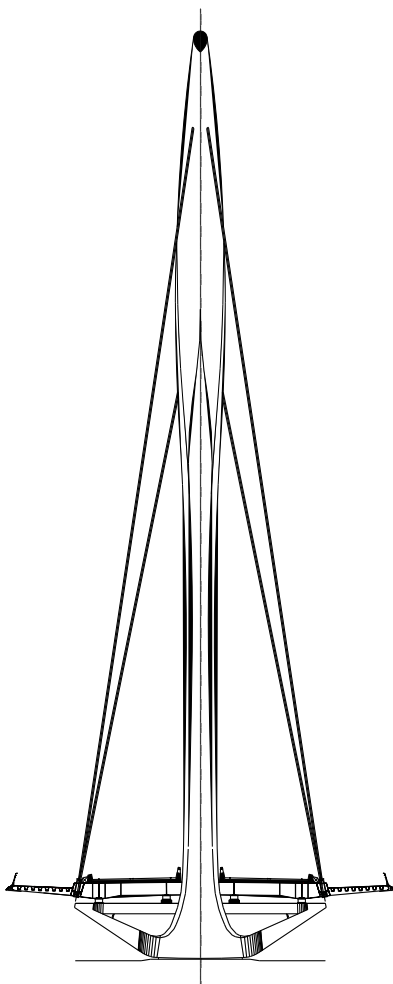
De vorm van de doorsnede van de pyloon varieert continu over de hoogte, zoals op de tekeningen in afb. 6 wordt geïllustreerd. De dragende buitenhuid en de verticale verstijvingribben moesten in staalkwaliteit S460 worden uitgevoerd om de dikte van de platen met 55 millimeter nog enigszins beperkt te houden, hetgeen ook wel nodig was in verband met zowel het buigen van de buitenhuid in de gewenste vorm alsook met het buiten uit te voeren laswerk om de pyloonsecties onderling te koppelen. Gezien al het ingewikkelde laswerk is al snel besloten thermomechanisch gewalst staal toe te passen. Door de steeds wijzigende vorm moesten de verticale verstijvingribben en de op elke 3 m. toege-



4. Afstempeling van de rijvloer tegen de pyloon.



3. Pendel onder het landhoofd.



6. Dwarsdoorsneden van de pyloon.

5. Dwarsdoorsnede

paste horizontale schotten gedimensioneerd worden op forse krommingdrukken, in aanvulling op de gebruikelijke stabiliseringskrachten. Voor de verticale ribben konden door de gekromde huid geen caissonprofielen worden gebruikt, en zijn gelaste T- secties toegepast die minder efficiënt zijn. De tuien zijn verankerd in korte gedrongen balken welke aan beide zijden zijn bevestigd aan circa 20 m. hoge doorgaande verticale schotten. In dit gedeelte van de pyloon konden geen horizontale schotten worden toegepast om de beide zijden van de pyloon met elkaar te verbinden en is hun functie overgenomen door de tuiverankeringen. De afb. 7 geeft een duidelijk beeld van deze constructie, en tegelijk van de zeer beperkte ruimte waarin men heeft moeten werken tijdens de bouw.

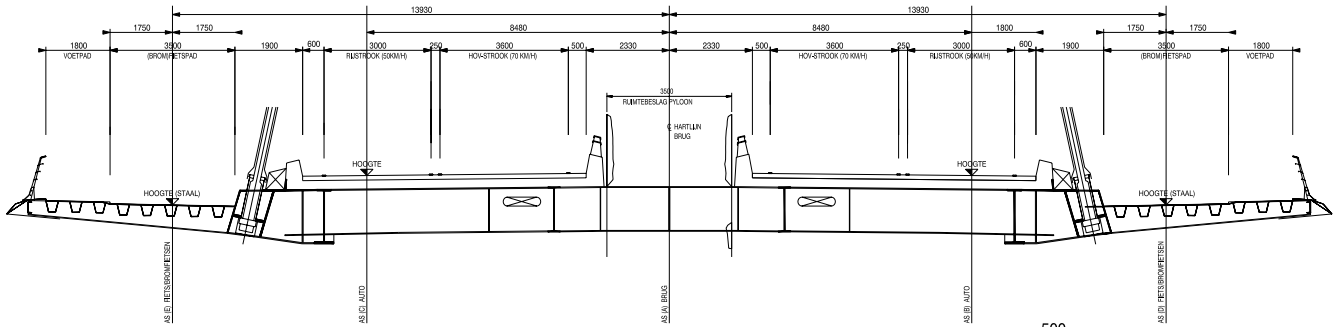
Rijvloer

Vergeleken met de pyloon is de opbouw van de rijvloer relatief eenvoudig. De constructie bestaat uit een staalbetonconstructie met een stalen balkrooster en twee betonnen rijvloeren, en uitkragende fiets- en voetpaden die als orthotrope plaat zijn uitgevoerd (afb. 8). Tussen de rijvloerhelften bevindt zich over de volle lengte van de brug een spleet die slechts door de dwarsdragers wordt overbrugd, waarin ook de pyloon is geplaatst. De tuien zijn in een strook tussen rijvloer en fietspad geconcentreerd. Door het grote aantal tuien dat is toegepast wordt de rijvloer zeer gelijkmatig ondersteund en kan de hoogte van de hoofdliggers beperkt blijven tot 1250 (binnenste liggers) respectievelijk 1500 millimeter (buitenste liggers) – een wereld van verschil met de nabij gelegen Galecopperbrug in de A12. Alleen in de aanbruggen, die omdat zij geen tuien bezitten puur als balkliggerbrug werken moeten alle vier de hoofdliggers 1500 millimeter hoog zijn. De staalkwaliteit van de rijvloer is S355, met uitzondering van een kort stukje in kwaliteit S460 bij het steunpunt dat tegenover de pyloon aan het kanaal is gelegen. Hier is enerzijds de ondersteuning door de tuien weinig efficiënt en bevindt zich anderzijds de overgang naar de aanbruggen, en treedt door dat alles een wat hoger negatief moment op.

De betonnen rijvloer is opgebouwd uit geprefabriceerde betonnen vloerplaten met een dikte van circa 13 cm. waarop een 12 cm. dikke druklaag is gestort. Zowel van het prefab beton als van de druklaag is de betonkwaliteit B55. Door het toepassen van geprefabriceerde platen verviel de noodzaak bekisting toe te passen, wat vooral boven het kanaal een groot voordeel was.

De randstroken met de tuiverankeringen (afb. 9) zijn volledig in het werk gestort. Hier is de bovenflens van de buitenste hoofdliggers doorgezet als stalen plaat met deuvels om een goede krachtoverdracht van de tuikrachten naar de rijvloer te verkrijgen. Als bijkomend voordeel verviel ook hier de noodzaak een bekisting toe te passen.

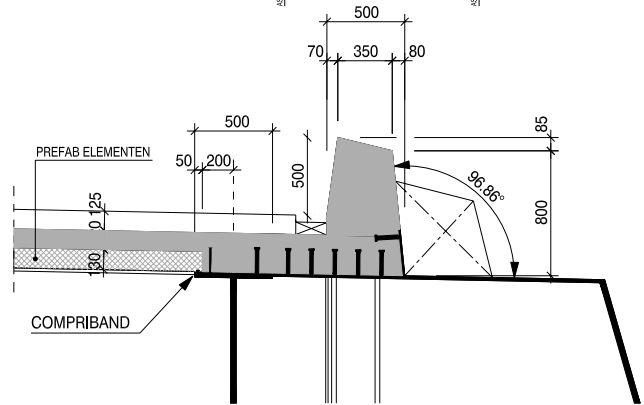
De vraag of een betonnen rijvloer zinvol is moet van geval tot geval worden bekeken. Ook bij een staalbeton constructie zal de brug immers altijd zwaarder zijn dan indien een stalen rijvloer wordt toegepast. Bij grote overspanningen is beton dan ook geen logische keuze. Bij middelgrote overspanningen zoals bij deze brug zijn er echter duidelijke voordelen, want een hoger gewicht



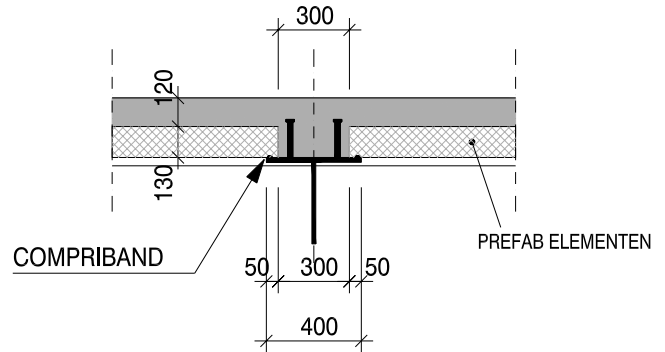
8. Dwarsdoorsnede rijdek.



7. Verticale schotten in de pyloon.



9. Randstroken met tuiverankeringen.



10. Voeg tussen prefab elementen.

is lang niet altijd een nadeel. Genoemd worden onder andere:

- Het incasseringsvermogen bij overbelasting van een betonnen rijvloer is groter dan dat van een stalen rijvloer; de brug wordt daardoor meer toekomstvast
- Door het hogere gewicht zal de tuidoorsnede groter worden en neemt de stijfheid van de brug toe.
- De brug zal minder trillingsgevoelig zijn.
- De rimpel in de tuikrachten door verkeersbelasting en windbelasting neemt af.
- De tuikrachten variëren minder sterk tijdens de bouw, wanneer deze door de montagefasering sterk kunnen afnemen en terdege rekening gehouden moet worden met slip van de tuiverankeringen.
- Het aanbrengen van de rijvloer maakt deel uit van de fasering en geeft daarmee een extra vrijheidsgraad waarmee de montage fijner kan worden afgestemd.

Wel is een grotere mate van coördinatie nodig tussen staal- en betonbouw, dan gebruikelijk is en zal een staalbouwer het wel altijd irritant blijven vinden te moeten wachten totdat beton voldoende is uitgehard.

Bij het ontwerp en de detaillering van de rijvloer moeten een aantal punten in de gaten worden gehouden die steeds weer bij staalbeton constructies met prefab elementen opduiken. Genoemd worden om te beginnen een zorgvuldige afstemming van het deuvlaster op

de wapeningsverdeling. Verreweg het eenvoudigste is een vast raster over de gehele brug toe te passen, met gelijke maaswijdte in beide richtingen. Door variatie van staafdiameters is er dan nog steeds voldoende mogelijkheid een optimale wapening te bepalen, terwijl de kans op afstemmingsproblemen tussen staalbouw en betonbouw drastisch is verkleind. Verder moet gezorgd worden voor een voldoende brede voeg tussen de prefab elementen (afb. 10). Hier moet voldoende plaats zijn voor het opleggen van de prefab platen op de flenzen, voor de deuvlaster, voor de doorkoppeling van de wapening, en moet bovendien het beton van de natte voeg goed verdicht kunnen worden. De breedte van de bovenflenzen van de staalconstructie mag om deze reden niet te krap worden gekozen, en zal vrijwel altijd groter moeten zijn dan uit een sterkteberekening volgt – de bovenflenzen liggen immers vlak bij de neutrale lijn van de samengestelde doorsnede. Het toepassen van gewalste liggers met hun maximale flensbreedte van 300 mm. is om deze reden niet aan te bevelen. Een ander punt van aandacht zijn de mogelijkheden van transport van de prefab elementen naar de bouwplaats. Indien deze beperkt zijn zoals bij transport over de weg vaak het geval is, moeten kleinere elementen worden toegepast en dus wellicht de dwarsdragerafstand van de brug worden verkleind.