

HSL FLY-OVER BARENDRECHT

B.H. Hesselink P.M.S.E. Adviseur Holland Railconsult

Als onderdeel van het project HSL Zuid, Kunstwerken Barendrecht is de HSL Fly-over gebouwd in de periode van najaar 2001 tot voorjaar 2003. Deze fly-over vormt een belangrijk kunstwerk in het tracé van de HSL Zuid (Hogesnelheidslijn Amsterdam - Parijs). Het betreft hier de enige ongelijkvloerse kruising van de beide HSL sporen in Nederland die het mogelijk maakt om de rijrichting van de trein in Nederland (rechts) aan te sluiten op de rijrichting in België en Frankrijk (links). De fly-over is gebouwd over de drukke sporenbundel op het baanvak Dordrecht - Rotterdam, afb.1. De reden voor de keuze van de locatie Barendrecht (grondgebied gemeente Rotterdam) is gelegen in het feit dat het de eerste locatie is komend vanaf de Belgische grens waar de hogesnelheidstrein vaart mindert, zodat een fly-over een relatief beperkte lengte kan hebben. (Ontwerpsnelheidsafname van 300 km./uur tot 140 km./uur). De bestaande fly-over (conventioneel spoor en geen onderdeel van het project) is te zien op de voorgrond, de HSL Fly-over ligt daar parallel achter. De HSL Fly-over bestaat uit een achttal staal-betonnen trogbruggen gebouwd volgens het "Staalbeton" principe met een totale lengte van 630 m. De langste brug heeft een totale lengte van 120 m. en de grootste overspanning bedraagt 48,9 m. (over de onderdoorgang Bergambachtstraat). De maximum hellingspercentages bedragen 2,2 % stijging en 3,5 % daling. Het is de eerste keer dat een spoor fly-over in de vorm van een troglijggerbrug in staal-beton "Verbundbau" is gerealiseerd in Nederland.

Ontwerp

In de variantenstudie voor de keuze van een brugconstructie zijn er vier verschillende varianten voor de vrije kruising onderzocht:

- Betonnen trogbrug
- Staalbeton trogbrug
- Pergola-constructie ter plaatse van de sporen HL tot en met LL en spoor 80.
- Stalen boogbrug

De constructievarianten zijn onderling vergeleken op de aspecten: techniek, bouwmethoden en bouwtijd, kwaliteit, onderhoud, vormgeving en bouwkosten. Vervolgens zijn de aspecten van de verschillende varianten afgewogen. Het resultaat van de variantenstudie geeft aan dat een staalbeton trogbrug de meest aantrekkelijke constructievariant voor de vrije kruising is. Met name de aspecten bouwmethode en bouwtijd waren doorslaggevend in de uiteindelijke keuze. Door de stalen hoofdliggers zijn er minder buitendienststellingen van onderliggende sporen noodzakelijk en is de bouwijd op locatie aanzienlijk korter. De vrije kruising bestaat uit acht brugdelen met - van noord naar zuid - respectievelijke lengten van circa 63, 64, 109, 105, 120, 64, 50 en 49 m. De overspanningen zijn zodanig gekozen, dat:

- de overspanningen niet te groot worden in verband met de haalbare overspanning bij deze constructievorm.
- de steunpunten geplaatst kunnen worden op aanvaardbare



2. Transport brugsectie naar de bouwplaats.

- plaatsen tussen de sporen op maaiveldniveau.
- de lengtes per brugdeel niet te groot worden ten einde langgelast spoor zonder compensatielassen c.q. -inrichtingen te kunnen toepassen.
- de bouw van de brugdelen en steunpunten nog goed uitvoerbaar is.

Constructie onderbouw

De onderbouw van de fly-over wordt uitgevoerd als vrijstaande kolommen voor de tussenondersteuning en als zogenaamde rempijlers voor de eindsteunpunten per brugdeel. Ter plaatse van de uiteinden van de fly-over zullen landhoofden worden gebouwd. De tussenondersteuning worden uitgevoerd als vrijstaande kolommen met een diameter van 1,10 m. geplaatst op een funderingspoer met een dikte van 1,50 m. Ter plaatse van elk einde van een brugdeel worden rempijlers geplaatst. De constructie van deze pijlers is zodanig gekozen dat alle langskrachten vanuit de bovenbouw door deze rempijlers worden opgenomen. De afmetingen van de rempijlers zijn bepaald op basis van een langskrachtenberekening. De conclusie van deze berekening luidt dat voegloos spoor mogelijk is doch dat de rempijlers zo stijf mogelijk dienen te worden ontworpen. Hiertoe zijn wanden op een doorgaande funderingspoer geplaatst. Gekozen is voor wanden met een elliptische doorsnede. Er is rekening gehouden met een zettingstijd van circa 1 jaar van de beide aan de landhoofden aansluitende grondterpen, teneinde de buigende momenten in de funderingspalen ten gevolge van de grondophoging te beperken.

Constructie bovenbouw

De statisch onbepaalde staal-beton trogbruggen zijn opgebouwd uit twee stalen vollewandliggers met hiertussen een boven de tussensteunpunten in lengterichting meewerkend betondek. De vollewandlijgger is opgebouwd uit een lijfplaat van 2400 mm. hoog met een dikte van 25 mm., een bovenflens van 1250 mm. breed met een dikte variërend van 40 tot 80 mm. en een onderflens van 1300 mm. breed met een dikte variërend van 40 tot 50 mm. Het betonnen rijdek, dik 550 mm., bestaat uit geprefabriceerde elementen die na het plaatsen van de staalconstructie op de onder-



1. Luchtfoto HSL Fly-over

flenzen van de vollwandligger worden uitgelegd. In de langsrichting van de brug worden de platen door middel van een stortvoeg monoliet met elkaar verbonden. In de prefab platen worden stalen platen opgenomen, welke na het aanbrengen van de prefab platen door middel van bouten met aan de stalen hoofdliggers gelaste platen worden verbonden tijdens de montage. Bovendien zijn deuvels aan het lijf en de onderflens van de hoofdligger aangebracht, zodat samen met de wapening die uit het prefabelement steekt voor een goede samenwerking wordt gezorgd tussen hoofdligger en vloerplaat. Doordat het beton in het veld in de trekzone ligt gaat het beton hier scheuren. Hierdoor werkt het beton in het veld minder mee in de krachtsopname. In de staal-beton trogbrug komt spoor in ballast te liggen. Het dienstpad wordt bovenop de bovenflens van de stalen hoofdligger aangebracht. Aan de buitenzijde van de hoofdliggers worden, op advies van de architect, gebogen platen aangebracht.

Detaillering vloer

Het betondek is opgebouwd uit prefab beton platen breed 3 m. In de bouwfase kunnen deze platen beschouwd worden als losse elementen opgelegd op de onderflens van de stalen liggers met in langsrichting voegen ertussen. In deze fase is het geen continue plaat en kan alleen in dwarsrichting belasting afdragen naar de oplegpunten ter plaatse van de stalen liggers. Pas nadat de voegen tussen de vloerdelen zijn doorgekoppeld en aangestort én de schuifvaste aansluiting aan weerszijden met de stalen liggers tot stand is gebracht, werken de

twee stalen liggers en de tussenliggende prefab vloer tezamen als composietligger.

In de detailleringsfase zijn de volgende detailberekeningen uitgevoerd aan de vloer:

- Schuifverbinding tussen stalen liggers en de betonnen rijvloer
- Benodigde wapening in dwars- en lengterichting van de prefab elementen
- Krachtsoverdracht in lengterichting in de stortvoeg tussen de prefab elementen
- Krachtsoverdracht in dwarsrichting in de stortvoeg tussen stalen liggers en prefab elementen
- Beschouwing scheurwijdte en afstand

De bovenrand van de stalen ligger moet gesteund worden om als gedrukte rand stabiel te blijven. De verticale schotten hart op hart 6 m. verzorgen dit en dragen de kracht door middel van inklemmomenten over op de prefabplaten. Deze inklemmomenten zijn zeer lokaal van aard en rondom de verticale schotten gesitueerd. Ten behoeve van het bepalen van de inklemmomenten op de prefabplaten is de maatgevende trog in een computerprogramma (EEM model ANSYS) gemodelleerd en hierin (niet-lineair door middel van een grote verplaatsingen som) doorgerekend. De stalen hoofdligger is volledig, inclusief schotten, door middel van 3D buig/schijf oppervlakte elementen gemodelleerd en het betonnen dek door middel van 3D balk elementen. Door de grote inklemmomenten wordt de wapening in de dwarsvoegen ter plaatse van de verticale schotten extra zwaar uitgevoerd. Hierdoor kan de wapening in de prefab platen beperkt blijven doordat deze niet het



3. Inhijsen troglijgger.



5. Hulpconstructie en prefab platen.

grote inklemmoment hoeven over te dragen. In de deze fase zijn er twee varianten uitgewerkt voor de schuifverbinding:

- DEMU ankers door het lijf van de stalen ligger
- Deuvels met overlappende wapening.

De variant met DEMU ankers viel af doordat deze zeer arbeidsintensief was en de stalen hoofdlijgger te veel verzwakte.

Alternatief ontwerp

Het bestekontwerp ging uit van de volgende fasering voor de bovenbouw:

1. fabricage hoofdlijggersecties in de hal (sectielengtes circa 20 á 30 m.);
2. transport secties naar de bouwplaats;
3. samenstellen hoofdlijggersecties tot hijssecties op de bouwplaats;
4. inhijzen hoofdlijggersecties op de onderbouwsteunpunten;
5. maken in-situ lassen op hoogte in de hoofdlijggers;
6. inhijzen en positioneren van prefab betonnen vloerelementen op de onderflenzen van de stalen hoofdlijggers;
7. vlechten en aanstorten betonnen randstrook in het werk (verbinding vloer en stalen liggers);
8. opstorten ballastkeerwanden en aanbrengen overige voorzieningen.

Het passingsrisico gerelateerd aan het aangepast bestekontwerp ten aanzien van het inhijzen van de prefab betonnen vloerelementen werd door de aannemer onacceptabel hoog geacht. Het grote probleem hierbij was het feit dat een drietal rijen aan beide vloerranden uitste-



4. Fixeren hoofdlijggers door tussengelegen hulpconstructie

kende wapening overlappend aan een woud van stalen deuvels aangebracht op het lijf van de stalen I-liggers zou moeten worden ingehesen, waarbij de stekken bij het neerlaten op de onderflens van de hoofdlijggers de deuvels zouden moeten passeren. Rekening houdend met realistische plaatsingstoleranties van deuvels en vloerwapening en met de aanwezigheid van een horizontale boogstraal in de fly-over werd dit passingsrisico na detailanalyse uitvoeringstechnisch als onacceptabel beschouwd. Door de aannemer werd een alternatief uitgewerkt waarbij de vloer in het werk gestort zou worden met verloren bekistingsplaten in de vorm van voorgespannen prefab betonnen vloerplaten, (afb. 5).

Dit alternatief maakte het mogelijk om de essentiële verbinding tussen betonnen vloer en stalen hoofdlijggers tot stand te brengen met maximale flexibiliteit ten aanzien van het positioneren van de vloerwapeningsstaven zodat deze de deuvels van de hoofdlijggers voldoende nauwkeurig overlappen. De vloerplaten dienden te worden ingehesen in buitendienststellingen van de onder de fly-over gelegen reizigerssporen. Door de vereenvoudiging en lichtere uitvoering van de betonnen vloerplaten, (4,8 ton in plaats van 24 ton plaatgewicht), kon het risico op problemen in de buitendienststellingen worden beperkt. Buitendienststellingen zijn nodig geweest voor het centrale deel van de fly-over (op drie van de acht bruggen). Als randvoorwaarden voor het alternatief werden hierbij gesteld dat het profiel van vrije ruimte voor de (reizigers)-sporen onder de fly-over en bovenkant spoor van het HSL spoor over de fly-over niet zouden worden aangetast (handhaving verticaal alignement). Door introductie van de prefab betonnen vloerplaten betekende dit in de praktijk een reductie in de constructieve hoogte van de betonvloer van 550 mm. naar 445 mm. Hierdoor is de hoeveelheid vereiste wapening met circa 45% toegenomen ten opzichte van het aangepaste bestekontwerp. Hierbij werd de verloren prefab betonnen vloerbekistingsplaat wel beschouwd als dekking voor de in-situ vloerwapening. De vloerelementen zijn verankerd in de in-situ vloerstort door de hijsogen van de vloerelementen hierin te verankeren. Op de onderflenzen van de stalen hoofdlijggers zijn voor het inhangen van de vloerplaten stalen L-profielen aangelast, voorzien van neopreen oplegstrippen. Nadat de vloerplaten (4,95 x 3 x 0,13 m.) zijn ingehesen worden de voegen tussen



6. Hulpconstructie en wapening dek.



8. Wapening rijdek

de vloerelementen en de voegen tussen vloerelementen en hoekstaal aangegoten met gietmortel om het vloerveld te fixeren en gereed te maken voor de in het werk gestorte betonvloer.

Uitvoering

Na afstemming van het alternatief ontwerp met alle betrokken partijen, elders genoemd, werd besloten de fly-over vloer op deze manier uit te voeren. De productie van de stalen hoofdliggers was toen reeds in volle gang. De fasering is als volgt geweest:

1. fabricage hoofdliggerssecties in de hal (sectielengtes ca. 20 á 30 m.);
2. machinaal aanbrengen Köco deuvels Ø 22 mm. en stiftdeuvels M20 op kwartslag gekantelde hoofdliggerssecties;
3. verfwerk van de secties in de spuiterij;
4. transport liggersecties naar de bouwplaats;
5. samenstellen liggersecties tot hijssecties op de bouwplaats door laswerk op maaiveld op de bouwplaats van in elkaars verlengde geplaatste secties;
6. montage stalen randelementen voorzien van bolling en leuningwerk op hijssecties;
7. inhijzen hoofdliggerssecties op de onderbouwsteunpunten. Het hijswerk werd gedaan door de Kil.
8. fixeren hoofdliggers door toepassing van een hulpconstructie met herinzetbare jukken 3 m. hart op hart (afb. 5 en 6), waarmee de vorm van de stalen hoofdliggers tijdens het storten van de betonvloer kon worden gegarandeerd door ophanging van de onderflenzen en afstempeling van de bovenflenzen



7. Deuvels aan de binnenzijde van de stalen hoofdliggers zorgen voor goede aansluiting aan de betonvloer.



9. Fly-over nagenoeg gereed.

9. van de I-liggers op elkaar;
9. maken in-situ lassen op hoogte in de hoofdliggers in laskoelen;
10. inhijzen van voorgespannen prefab betonnen vloerelementen als verloren bekisting op de L-stalen aan de onderflenzen van de stalen hoofdliggers;
11. aangieten vloerelementen met gietmortel
12. vlechten wapening vloer inclusief verbinding vloer-stalen liggers en versterkte vloerstroken ter plaatse van verstijvingsschotten in I-liggers;
13. in het werk storten van de betonnen vloer;
14. opstorten ballastkeerwanden en aanbrengen overige voorzieningen.

Door de goede samenwerking van alle betrokkenen en tijdig onderling overleg kon het werk uiteindelijk naar tevredenheid van alle partijen worden gerealiseerd.

Opdrachtgever: NS Railinfrabeheer bv, Management-groep Betuweroute
 Adviseur: Holland Railconsult
 Architect: Holland Railconsult
 Besteksonwerp: Holland Railconsult
 Aannemer: Combinatie Dive-Under Barendrecht vof (bestaande uit Van Hattem & Blankevoort bv, HBG Civiel bv, Mercon Steel Structures bv
 Mercon Steel Structures bv & HBG Civiel steel structures bv

Staalbouw:
 Prefab betonnen vloerelementen: Alvon Bouwsystemen bv
 Adviseur aannemer: Delta Marine Consultants bv