

# PREFAB OVERLAGEN VAN STALEN BRUGGEN

Rijkswaterstaat (RWS) heeft de oplossing voor de vermoeingsproblematiek van de stalen bruggen gevonden in het in-situ overlagen met HogeSterkteBeton. Heijmans heeft goede alternatieven in de vorm van prefab (HSB-) betonplaten, welke schuifvast, maar ook "zwevend" aangebracht kunnen worden op het stalen brugdek. Een volwaardige oplossing is hiermee tot stand gebracht. Het resultaat van de huidige oplossing van RWS blijft behouden, maar dan met de praktische voordelen van prefab bouwen. Hierdoor ervaart de weggebruiker minder verkeershinder en is een verhoogde veiligheid voor het wegverkeer mogelijk.

ir P.L. Quist (Breijn), ir R. Pepers (Heijmans Beton- en Waterbouw)

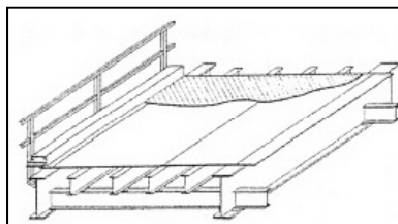
## Inleiding

De in de jaren '60 en '70 van de vorige eeuw gebouwde orthotrope staaldekbruggen in het rijkswegennet van Nederland hebben een probleem. Deze stalen bruggen hebben te kampen met vermoeingsverschijnselen in het zogenaamde orthotroop staaldek door toegenomen verkeersintensiteit en verkeersbelasting. Er treedt hierdoor scheurvorming op in verschillende lasnaden in de bovenbouw van de brug. De scheurvorming is vooral te wijten aan het zware verkeer. Afgelopen decennia heeft de intense toename van het vrachtverkeer ervoor gezorgd dat de bruggen met hogere frequentie en zwaarder belast worden. Deze vermoeingsverschijnselen resulteren in een flinke afname van de levensduur. Heijmans Beton- en Waterbouw en Breijn hebben hiervoor het geotrooieerde zwevend rijdek ontwikkeld. Prefab betonplaten worden niet schuifvast aan het dek verbonden. Dit is een doorontwikkeling van de eerder geotrooieerde prefab overlaging met schuifvaste verbinding. Met de zwevende oplossing worden de benodigde spanningsreducties makkelijk gehaald en wordt de uitvoering sterk vereenvoudigd.

## Geschiedenis van orthotrope staaldekbruggen

De ontwikkeling van de orthotrope staaldek bruggen begint in de jaren '30. Men was op zoek naar een manier om het eigen gewicht van een brug te reduceren. Staal was kostbaar en manuren waren goedkoop. Dit vroeg om een efficiënte configuratie van verschillende liggers om de last

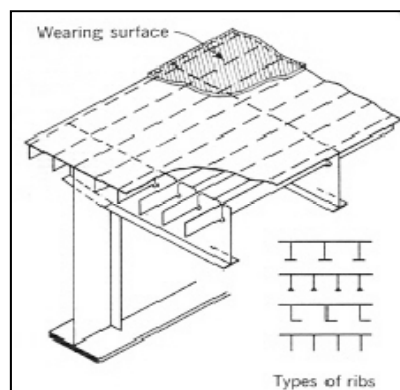
naar de fundering te leiden. De eerste poging daartoe was de ontwikkeling van de 'Battle deck floor', zie figuur 1.



Figuur 1. Battle deck floor

De dekplaatdikte bij deze configuratie varieerde van 10 tot 16 mm, welke werd ondersteund door I - profielen om de 300 tot 500 mm. Deze brengen de last naar de dwarsdragers, die de last aan de langsliggers doorgeven. De langsliggers vervolgens, brengen de last over naar de fundering.

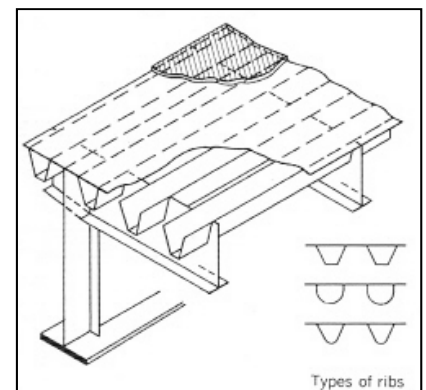
Na de tweede wereldoorlog was staal zeer schaars, wat vroeg om een nog meer economische oplossing. Hiervoor werden de I - profielen in de dwarsdragers geplaatst, zodat het plaatdek als bovenflens kon fungeren voor zowel de I - profielen als ook voor de dwarsdragers, zie figuur 2.



Figuur 2. Dek met open verstijvers

Dit was het eerste 'echte' orthotrope staaldek. Bij deze configuratie werken de spanningen in de dekplaat immers in twee verschillende richtingen en is dus 'orthotroop'. De I - profielen werden meer langsverstijvers van het dek dan echte profielen. Door de beperkte torsiestijfheid van de langsverstijvers, en daarmee de capaciteit om een last te spreiden, werden de dwarsdragers om de 2 of 2.5 meter geplaatst. Desondanks werden de lussen, door de flexibiliteit van de langsverstijvers, niet overbelast.

Om de spreiding van de last in de dekplaat te vergroten begon men gesloten langsverstijvers te gebruiken, oftewel troggen, zie figuur 3.



Figuur 3. Dek met gesloten verstijvers

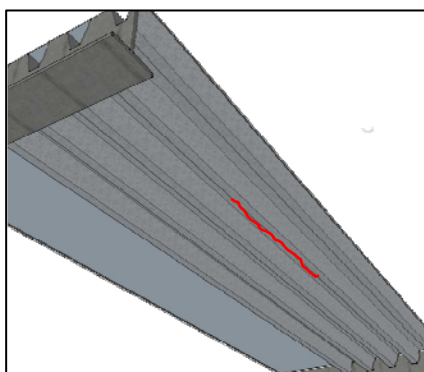
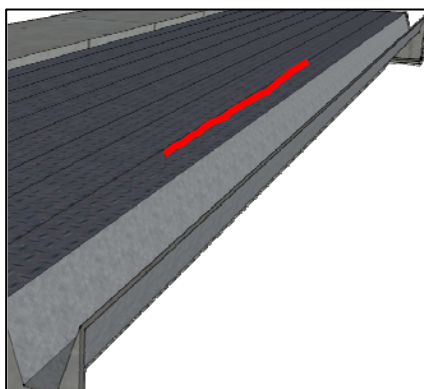
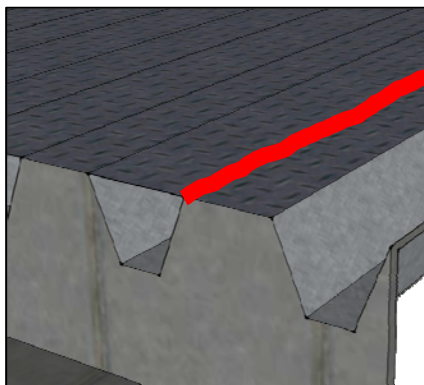
Deze troggen zorgen door hun gesloten doorsnede voor een grotere effectieve breedte. Hierdoor konden de dwarsdragers nog verder uit elkaar geplaatst worden, meestal om de 3,5 of 4 meter, maar soms zelfs wel 5 meter. De troggen zijn geplaatst om de 600 mm hart op hart en de

dekplaatdikte varieerde van 10 tot 16 mm.

### De probleemgebieden

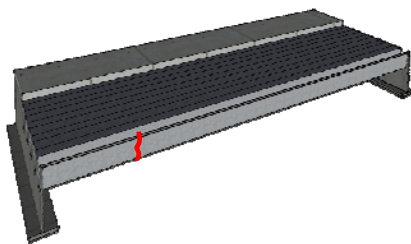
Globaal zijn de vermoeiingsscheuren onder te verdelen in 3 categorieën, welke hieronder afgebeeld zijn. De eerste categorie levert de meeste problemen op, omdat hierbij ook de (asfalt-)deklaag beschadigd wordt. Ook levert deze categorie het meeste gevaar voor de structurele integriteit van de brug.

1) *Scheuren in de dekplaat naast de verbinding trog – dekplaat en scheuren in de las tussen dekplaat en trog.*

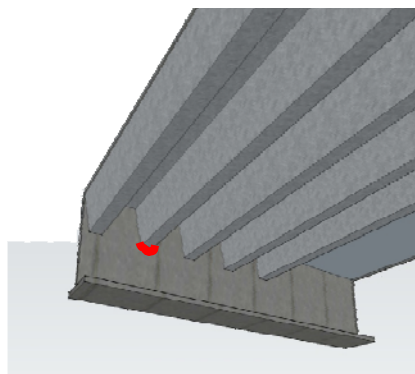


De scheurvorming van categorie 1 wordt voornamelijk veroorzaakt door de spanningen die in dwarsrichting optreden. De categorieën 2 en 3 worden veroorzaakt door de spanningen in lengterichting van de brug.

2) *Scheuren in de lassen van het passtuk van de trog.*



3) *Scheuren in de connectie tussen trog en dwarsdrager*



### De oplossing

Voor een structurele oplossing voor de vermoeiingsproblematiek bij stalen rijvloeren is al veel onderzoek gedaan. Rijkswaterstaat ziet op dit moment één alternatief als oplossing voor het probleem; het in situ en schuifvast overlagen met hoge sterkte beton (HSB). Deze oplossing blijkt echter in de praktijk vele moeilijkheden met zich mee te brengen, zoals:

- Het stalen dek van de brug is niet vlak;
- De kwaliteit van het in-situ gestorte HSB;
- De verdichting van het beton tussen het zeer dichte wapeningsnet;

- Vervormingen en trillingen tijdens het uitharden van het HSB, ook door uitvoeringsprocessen;
- De duurzaamheid van de hechting tussen HSB en stalen dek;
- Onvoldoende stroefheid van het betonoppervlak;
- Scheurvorming in het beton.

Het gevolg hiervan is een lange uitvoeringsperiode met de bijkomende verkeershinder. Tevens is de kwaliteit van het eindproduct onzeker. Veel van deze problemen kunnen opgelost worden door het toepassen van geprefabriceerde beton elementen met een niet schuifvaste verbinding aan het rijdek.

Het belangrijkste probleem wat hiermee aangepakt wordt is de lange uitvoeringstijd van de huidige oplossing. De uitvoeringstijd en vooral de bijkomende verkeershinder kunnen drastisch ingeperkt worden door de toepassing van prefab betonplaten.

Om deze redenen hebben Heijmans Beton- en Waterbouw en Breijne onderzocht of de schuifvaste verbinding wel noodzakelijk was, het wegnemen van de schuifvaste verbinding zal immers bovenstaande problemen oplossen. De gedachte achter de oplossing lijkt aanvankelijk controversieel, maar is hierdoor extra interessant voor het uitgevoerde afstudeeronderzoek.

De doelstelling van het onderzoek is het voorkomen van de vermoeiingverschijnselen tijdens de gebruikstermijn van de bestaande vaste bruggen met een orthotroop staaldek, door de optredende piekspanningen te reduceren door toepassing van niet schuifvast opgelegde geprefabriceerde betonnen elementen.

## Resultaten

Voor de twee hoofdrichtingen, de dwarsrichting en de lengterichting, zijn verschillende modellen ontwikkeld. Op de ontwikkelde modellen zijn de mogelijke belastingmodellen zoals vermeld in de NEN 6706 toegepast. Voor het simuleren van de situatie is met het programma Maple op basis van differentiaalvergelijkingen verschillende programma's geschreven. Uit deze programma's volgden per belastinggeval de spanningsspectra (Delta Sigma's) met resultaten voor de huidige situatie, de situatie met een schuifvaste (sv) en een niet schuifvaste (nsv) overlaging

Uit de resultaten blijkt, opmerkelijk genoeg, dat voor de dünnere dekplaatdikten (tot 16mm) in de staalspanningen weinig verschil bestaat tussen het schuifvast en niet schuifvast overlagen van deze bruggen, zie als voorbeeld voor de dwarsrichting, boven de dwarsdrager figuur 4.

De betonspanningen verdubbelen bij de overgang van de schuifvaste verbinding naar de niet schuifvaste verbinding, zie als voorbeeld voor de dwarsrichting, boven de dwarsdrager figuur 5.

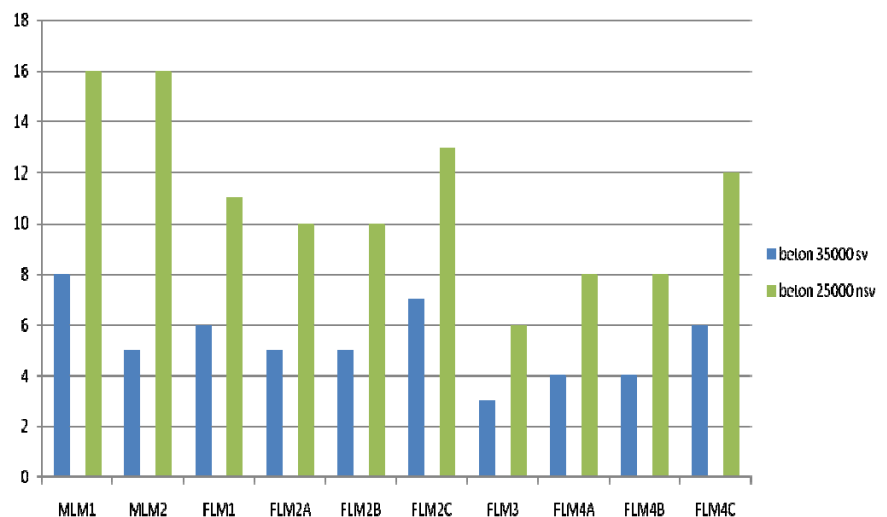
Deze zijn echter niet van een dergelijk niveau dat dit als problematisch voor het beton beschouwd wordt. De betonplaten worden immers in het proces van prefabricage perfect op maat gemaakt.

Voordeel hierbij is dat de effectieve E-modulus van het beton weinig invloed heeft op de verdeling van de spanningen tussen het staal en het beton. Dit geeft de vrijheid om de betonplaat op maat te ontwerpen.

De aansluiting tussen de onderkant van het trogprofiel en de dwarsdrager, categorie 3 vermoeiingsscheuren, wordt net zoals bij de huidige toegepaste methode onvoldoende ontlast, hier blijven op de langere termijn vermoeiingsscheuren optreden. Hiervoor zijn dus, net zoals voor de huidige oplossing, extra maatregelen nodig.



Figuur 4: Delta Sigma [N/mm<sup>2</sup>] in de onderste vezel van het stalen trogprofiel bij de verschillende belastingmodellen uit NEN 6706



Figuur 5: Delta Sigma [N/mm<sup>2</sup>] in de bovenste vezel van de betonnen elementen bij de verschillende belastingmodellen uit NEN 6706

## Conclusie en Vervolg

Het is dus mogelijk om prefab betonnen elementen met een niet schuifvaste verbinding aan het rijdek te gebruiken. Hierbij blijft het resultaat van de huidige oplossing behouden, maar dan met de praktische voordelen van prefab bouwen.

Heijmans Beton- en Waterbouw en Breijn zijn zeer tevreden met het resultaat van dit onderzoek. Hiermee is een goed alternatief ontwikkeld voor de huidige problematiek van stalen bruggen.

Voor het vervolgonderzoek naar het zwevend opgelegde rijdek zijn Heijmans en Breijn nog op zoek naar een afstudeerder om onderzoek te doen naar o.a. het materiaal tussen het stalen rijdek en het prefab betonelement.

breijn  
heijmans