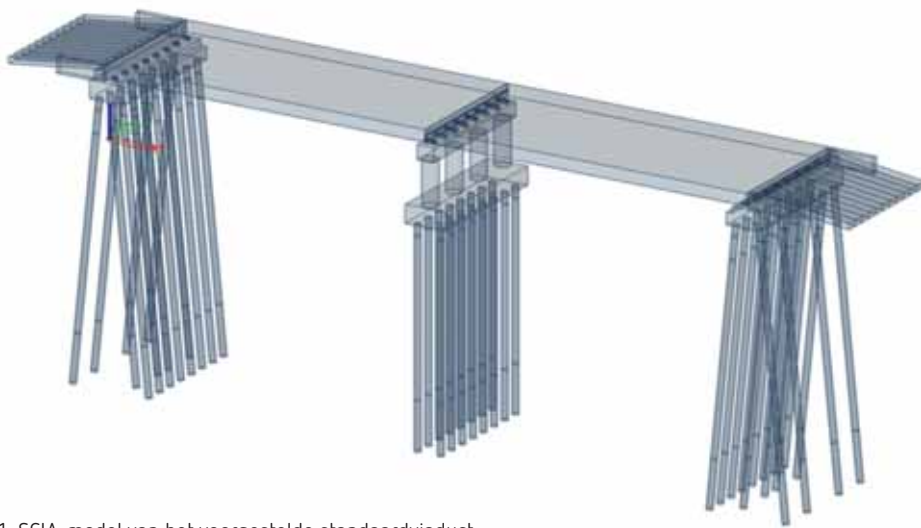


# HET CIRCULAIRE BETONVIADUCT

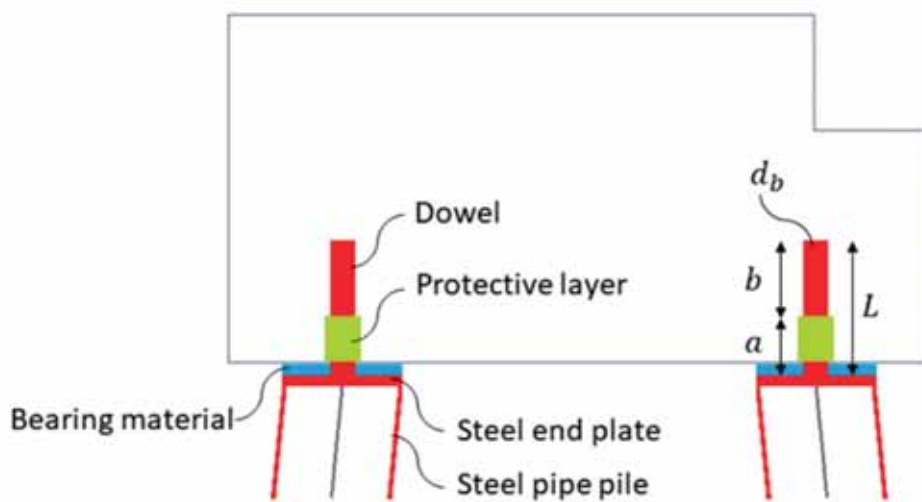
ir. Jaap-Willem Boersma | projectingenieur bij Witteveen+Bos

Ontwikkeling van het concept voor een demontabele deувelverbinding tussen landhoofd/poer en funderingspaal voor toepassing in meerdere levenscycli

**D**e huidige bouwsector wordt nog altijd grotendeels gekenmerkt door een lineair levenscyclus model ('cradle-to-gate'), wat naast vervuiling en verlies van geïnvesteerde energie resulteert in enorme hoeveelheden bouw- en sloopafval. Zo wordt bijvoorbeeld geschat dat de bouwsector wereldwijd 40% van alle CO<sub>2</sub>-emissie veroorzaakt, en dat daarnaast in Nederland de bouwsector goed is voor naar schatting 50% van het primair grondstofverbruik. Alleen al hierom is duidelijk dat in de bouwsector grote stappen zijn te maken met betrekking tot duurzaamheid. Dit is terug te herkennen in het snel groeiende bewustzijn wereldwijd voor de noodzaak om het milieu te beschermen. Met betrekking tot de bouwsector vertaalt zich dit in het doel om over te gaan van een lineaire naar een circulaire bouwsector, welke gekenmerkt wordt door een circulair levenscyclusmodel ('cradle-to-cradle'). In een circulair levenscyclusmodel voor de bouw wordt o.a. de levensduur van zowel materialen en componenten als van gehele gebouwen en kunstwerken verlengd, en wordt de laatste fase van sloop en storten vervangen door een fase van demontage en hergebruik.



1 SCIA-model van het voorgestelde standaardviaduct



2 Impressie van globale lay-out van F2F-verbinding

De Nederlandse overheid heeft de ambitie uitgesproken om uiterlijk in 2050 een volledig circulaire economie te bereiken, wat ook een volledig circulaire bouwsector inhoudt. In lijn met deze ambitie heeft Rijkswaterstaat zich ten doel gesteld om al in 2030 volledig klimaatneutraal en circulair te gaan werken. Op dit moment ligt de focus o.a. op het ontwikkelen van gevalideerde oplossingen voor circulaire viaducten voor (rijks)wegen, aangezien een groot deel van de naar schatting 40.000 bruggen en (voornamelijk) viaducten in Nederland de komende decennia aan vervanging toe zijn. Deze concrete uitdaging is de voornaamste reden geweest voor een afstudeeronderzoek naar een circulair betonnen viaduct als onderdeel van de master Structural Engineering aan de TU Delft in samenwerking met Lieveense/WSP. Binnen dit onderwerp is er vervolgens specifiek gefocust op de ontwikkeling van een

constructieve, demontabele verbinding tussen landhoofd/poer en funderingspaal, aangezien dit als grootste knelpunt in het huidige ontwerp werd geïdentificeerd. Er is bewust gefocust op demontabele, in plaats

van bijvoorbeeld modulaire, oplossingen om standaardisering te vergroten en op die manier tot een circulair betonnen viaduct-concept te komen dat op grote schaal toepasbaar is.

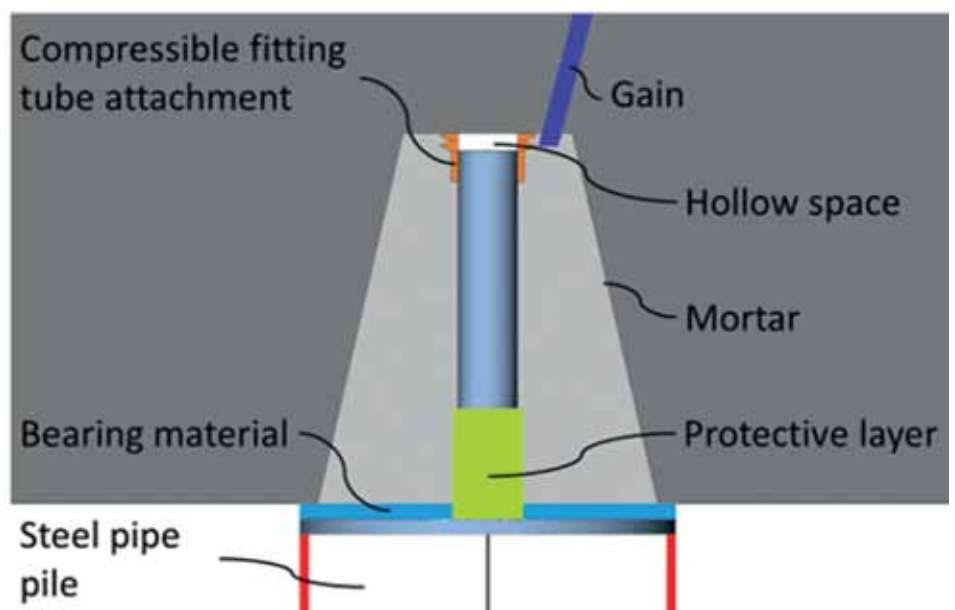
Om op een systematische manier demontabele oplossingen voor betonnen viaducten te ontwikkelen, zijn door middel van een literatuurstudie allereerst de drie belangrijkste technische actiepunten geïdentificeerd om tot de constructie van circulaire viaducten te komen.

Deze drie actiepunten zijn:

- 1 herdefinitie van het Stewart Brand's bouwlagenmodel, specifiek voor viaducten;
- 2 aanpassing van de DfD ('Design for Deconstruction') principes aan de specifieke behoeften en eisen voor viaducten;
- 3 ontwikkeling van een standaardisatieschema zonder concessies te doen aan de architectonische vrijheid.

Het derde actiepunt is zonder twijfel de meest complexe opgave, aangezien het hierbij gaat om de ontwikkeling van een standaard (referentie)ontwerp voor een betonnen viaduct. Dit heeft uiteindelijk geresulteerd in een vereenvoudigd ontwerp, waarin voornamelijk gefocust is op de componenten van de hoofdconstructie, met de volgende globale afmetingen en eigenschappen (zie figuur 1):

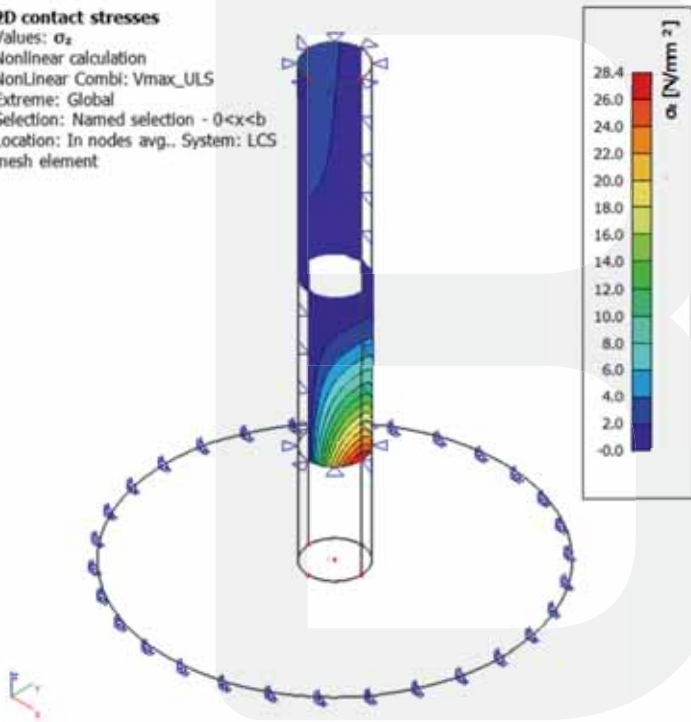
- prefab kokerliggerdek;
- prefab onderbouw;
- overspanning 2x 27,25 m;
- dekbreedte: 12 m;
- vrije hoogte (PVR): 4,70 m;
- 90° kruisingshoek;
- hooggelegen landhoofden;
- fundatie op 3x16 stalen buisपालen.



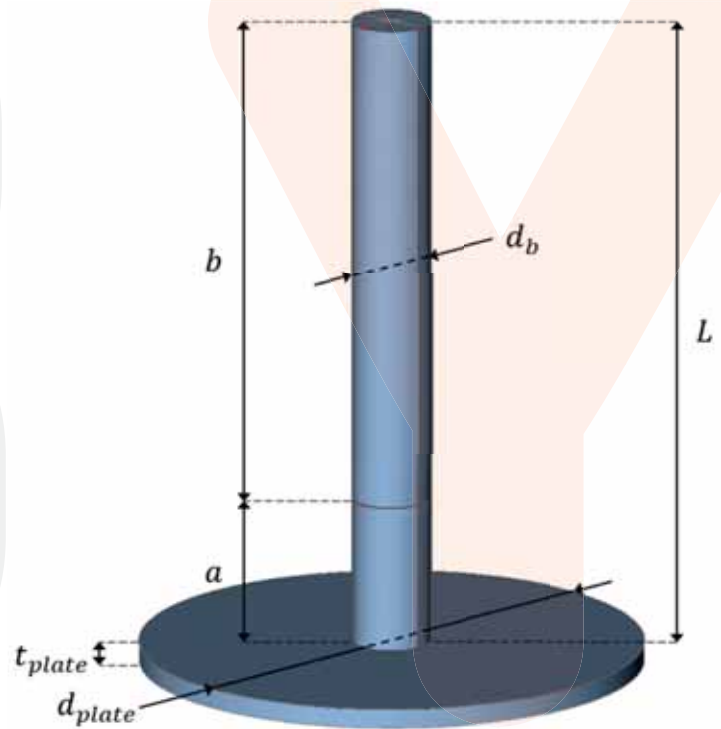
3 Detail van F2F-verbinding

## 2D contact stresses

Values:  $\sigma_z$   
Nonlinear calculation  
NonLinear Combi: Vmax\_ULS  
Extreme: Global  
Selection: Named selection -  $0 < x < b$   
Location: In nodes avg., System: LCS  
mesh element



4a Overzicht van geometrische parameters van stalen deugel en kopplaat



4b Gemodelleerde contactspanning tussen deugel en omsluitend beton

Op basis van het ontwerp van dit zogenoemde 'standaard viaduct' is vervolgens het concept ontwikkeld voor een demontabele deugvelverbinding tussen landhoofd/poer en funderingspaal, kortweg aangeduid als 'F2F verbinding'. Het uiteindelijk voorgestelde ontwerp van de verbinding bestaat uit een stalen deugel en kopplaat, die aan elkaar gelast worden (zie figuur 2 en 3, blz 37). Vervolgens wordt de kopplaat met deugel aan de bovenkant van een stalen buispaal gelast. Het voorafvervaardigde landhoofd en idem poer, met overmaatse gaten, worden daarna over de deugvels geplaatst en de resterende ruimte wordt opgevuld met betonspecie via ingestorte buizen. Aan het einde van een levenscyclus wordt het landhoofd/de poer weer van de deugvels gehesen en blijft (als het goed is) de klomp beton achter rondom de deugel. Om dit te realiseren, is voorgesteld om de overmaatse gaten in het landhoofd/de poer vooraf in te smeren met ontkistingsolie, zoals ook toegepast is bij het ontwerp van de voegen van het eerste circulaire viaduct, gerealiseerd door Rijkswaterstaat, Spanbeton en Van Hattum en Blankevoort. Daarnaast wordt een beschermende laag (met bijvoorbeeld Densoband) toegepast rondom het onderste gedeelte van de deugel om te voorkomen dat de deugel direct contact kan maken met het beton buiten de

hoofdwapening, en op die manier de betondekking te beschermen. Een ander detail dat van belang is, betreft het feit dat er een holle ruimte tussen de bovenkant van de deugel en het beton moet worden gevormd, zodat er geen contact met het beton gemaakt kan worden. Zodoende wordt hier geen verticale (normaal)kracht overgebracht. Daarnaast is de belangrijkste voorwaarde voor de oplossing om toepasbaar te zijn dat er geen trek in de palen optreedt, aangezien de F2F verbinding geen trekkrachten over kan brengen. Het voorgestelde ontwerp van de F2F verbinding is ontwikkeld door middel van een iteratief ontwerpproces, waarbij gebruik gemaakt is van twee 2D FEM modellen in SCIA Engineer en van een 1D analytisch 'semi-oneindige staaf op een elastische bedding' model in Maple. Het eerste SCIA model betreft een model van het ontwikkelde standaardviaduct (zie figuur 1), en is gebruikt om de maatgevende snedekrachten ter plaatse van de F2F verbinding te bepalen. Het andere SCIA model betreft een non-lineair model van de demontabele F2F verbinding (zie figuur 4a). Dit model is gebruikt om verschillende geometrieën en eigenschappen van de verbinding te testen en te verifiëren op basis van de maximale deugvelvorming en de maximale contactspanning tussen de

deugel en het omsluitende beton (zie figuur 4b). Als laatste is het 1D analytische model (zie figuur 5) o.a. gebruikt voor enkele variantenstudies. Daarnaast is het gebruikt om een gevoeligheidsanalyse uit te voeren met betrekking tot de parameters waarmee de bedding van het omsluitende beton op de deugel is gemodelleerd ('*foundation modulus of concrete under dowel action*'; in figuur 5), aangezien dit de meest kritische parameter bleek te zijn, waarover tegelijkertijd ook de meeste onzekerheid bestond (en bestaat). De uiteindelijk bepaalde geometrie en aangehouden materiaaleigenschappen van de F2F verbinding zijn (zie figuur 4b):

$a = 150$  mm;  
 $b = 500$  mm;  
 $L = a + b = 650$  mm;  
 $d_b = 80$  mm;  
 $d_{plate} = 508$  mm;  
 $t_{plate} = 50$  mm;  
Betonsterkteklasse C30/37;  
Staalsoort S355.

Uiteindelijk heeft het onderzoek geresulteerd in een voorstel voor zowel een standaardisatieschema voor het ontwerp van een circulair betonnen viaduct als in het concept voor een demontabele F2F-deugvelverbinding voor toepassing in meerdere levenscycli. De conclusie is dat de



Voor ons  
is geen brug  
te ver



Bekijk alle projecten  
op onze website!



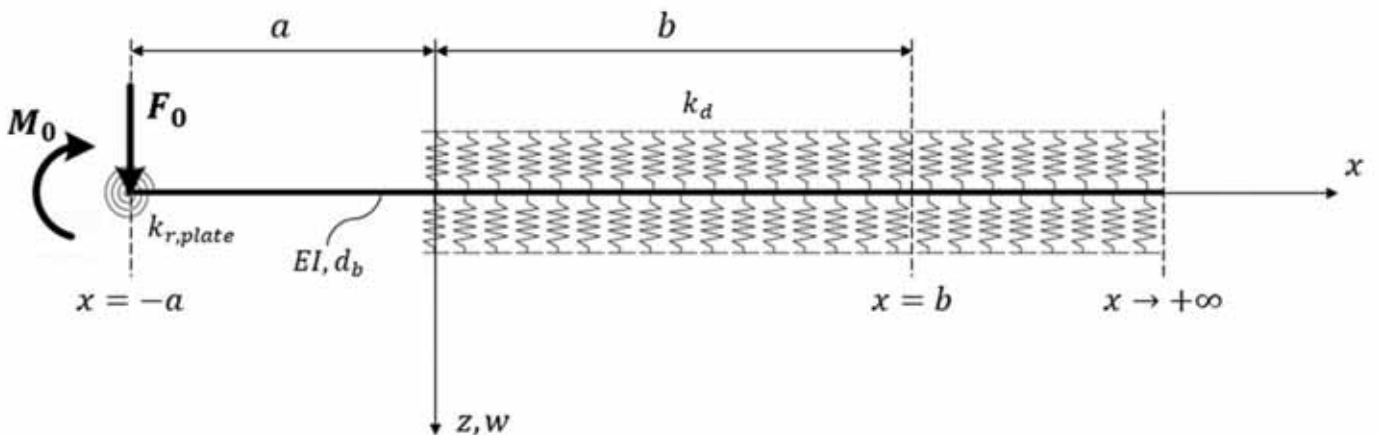
voorgestelde F2F verbinding een potentiële, circulaire oplossing kan zijn voor wat het grootste knelpunt in het huidige ontwerp wordt geacht te zijn. Echter, het is van belang zich ervan bewust te zijn dat het nog slechts gaat om een concept, en dat verdere doorontwikkeling noodzakelijk is. Met name wordt geadviseerd om een gedetailleerder 3D volumiek FEM model te ontwikkelen, en om parallel daaraan meer onderzoek te

verrichten naar de beddingsparameters van beton op de deugel. Op die manier kan het constructieve gedrag van de F2F verbinding verder geverifieerd worden.

Tenslotte is de algemene conclusie getrokken dat het onderzoek concrete handvaten biedt om het huidige (lineaire) ontwerp van een betonnen viaduct te transformeren in een demontabel (circulair) ontwerp, en daarmee

bijdraagt aan een toekomst voor groot-schalige, circulaire viaductconstructies.

NB: voor referentie/bronvermelding (zowel tekstueel als figuren) wordt verwezen naar het afstudeerrapport, te verkrijgen via: <http://resolver.tudelft.nl/uuid:78eb1842-968a-40cc-9756-3217ecb4cb94>



5 Schematisering van deugel, omsloten door beton, als semi-oneindige staaf op een elastische bedding