

Tram muisstil op

dr.ir. M. Huurman; TU-Delft
ir. M.F.C. van de Ven; TU-Delft

Mede door de grote drukte op de Nederlandse wegen en de hoge maatschappelijke kosten van filevorming, wordt continu gestreefd naar een grotere bijdrage van openbaar vervoer. Dit streven resulteert rondom grotere steden onder andere in uitbreiding van bestaande tramnetten zodanig dat ook de voorsteden worden bediend.

Door een gebrek aan ruimte kan er in de grotere steden vaak geen aparte trambaan worden aangelegd en moeten weg- en tramverkeer samen de straat delen. Om dit mogelijk te maken wordt veelal eerst een spoorconstructie aangebracht. Daarna wordt de wegverharding als aparte constructie aangelegd, over het dan al bestaande spoor. Daardoor ontstaat een zogenaamde gesloten spoorconstructie.

Deze standaard manier van aanpak blijkt steeds vaker te leiden tot trilling- en geluidsoverlast veroorzaakt door de tram. De standaard aanpak is bovendien, als je er goed naar kijkt, eigenlijk wat vreemd. Waarom zou je twee constructies aanleggen als je ook met één constructie je doel kunt bereiken?

Deze simpele gedachte heeft geresulteerd in het concept van ingegoten spoor. Hierbij wordt uitgegaan van de basis en dat is het verlenen van draagkracht aan zowel tram- als wegverkeer. Om deze draagkracht te kunnen leveren wordt een stijve plaat aangebracht. De bovenzijde van deze plaat vormt het weggoppervlak. In dit weggoppervlak zijn gleuven aanwezig waarin de rails worden aangebracht. De rails worden zodoende in de dragende plaat geïntegreerd waardoor een aparte spoorconstructie overbodig wordt.

Het concept van ingegoten spoor heeft vooral ten aanzien van de spoorconstructie een aantal grote voordelen:

- Omdat de plaat de rails continu ondersteunt kan een lichtere rail worden toegepast.
- Door de continue ondersteuning kan de rail worden ingegoten in een zeer flexibele massa. Hierdoor treedt een sterke reductie op van geluidshinder, trillingshinder en slijtage aan rail en wielen.

Voor het wegverkeer heeft ingegoten spoor als voordeel dat de rail aan het weggoppervlak minder fysiek aanwezig is. Bij een goed ontwerp hoeven er voor wegverkeer geen nadelen aan de ingegoten spoorconstructie te kleven.

Asfalt versus beton

Omdat de ligging van de spoorstaven direct de loop van de tram beïnvloedt wordt de dragende plaat tot nu toe altijd gemaakt van beton. Omdat beton zeer vormvast is wordt door deze materiaalkeuze gegarandeerd dat de rails blijven liggen. Dit levert een goede constructie op die zich in de praktijk al heeft bewezen.

Het gebruik van beton heeft in de drukke stedelijke omgeving als nadeel dat de aanleg van de constructie veel tijd kost. Bovendien is beton zo sterk dat onder-

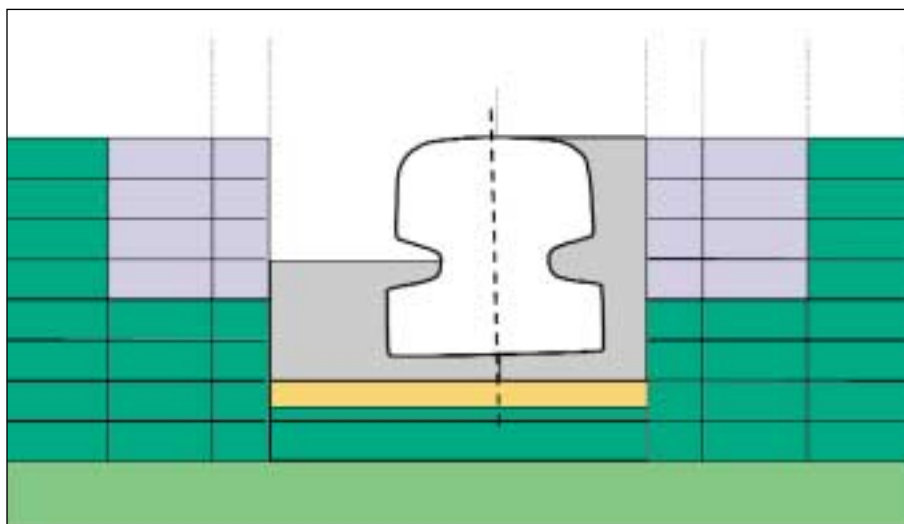
grondse infrastructuur niet of nauwelijks meer is te bereiken, wat in een stedelijke omgeving een groot nadeel is. Omdat asfalt sneller is aan te leggen en eenvoudiger is open te breken, is door de praktijk voorgesteld te onderzoeken of het mogelijk is een ingegoten spoorconstructie te bouwen waarbij de dragende plaat bestaat uit asfalt. Om de ligging van de rails te garanderen zou dit een moeilijk vervormbaar asfalt moeten zijn. Een dergelijk type asfalt, de combinatie-deklaag, bestaat al langer en ontstaat wanneer een cementslurry in ZOAB wordt gegoten. De combinatie-deklaag heeft zich in de praktijk bewezen, maar is nog nooit toegepast in een situatie waarbij zwaar verkeer over een verticale rand rijdt. Het is dus niet op voorhand duidelijk of een ingegoten spoor in asfalt haalbaar is.

Onderzoek

Om de geschetste innovatieve gedachte verder uit te werken heeft een consortium van HTM, Wegenbouwmij J. Heijmans, Koninklijke Wegenbouw Stevin, Bolidt en de TU-Delft een aanvraag ingediend bij het Fonds Collectief Onderzoek. Het project is goedgekeurd en kreeg de titel ERIA, een afkorting voor Embedded Rail In Asphalt.

Omdat de financiële risico's van het aanleggen van een proefvak zonder onderzoek vooraf te groot werden geacht is besloten om langs theoretische weg af te tasten of de voorgestane constructie haalbaar is. Hiertoe wordt de belasting van de combinatie-deklaag vergeleken met de sterkte van dit materiaal. Deze aanpak vergt computersimulaties om de materiaalbelasting vast te stellen en materiaal karakterisering om de kritische sterkte van het materiaal te bepalen.

asfalt ???



Schematisering constructie in elementen

Eindige Elementen Methode

De constructie van ingegoten spoor is geometrisch te ingewikkeld om met eenvoudige modellen door te rekenen. De in de wegebouw veel gebruikte meerlaagenmodellen zijn niet bruikbaar. In dit type modellen kan de railgoot met de daarin aanwezige rail immers niet worden opgenomen. De belasting van de combinatieklaag direct rond de goot kan met dit type modellen dus niet worden bepaald.

Met de Eindige Elementen Methode (EEM) kan de constructie wel worden doorgerekend. Bij de EEM wordt de werkelijke constructie opgedeeld in een groot aantal kleine stukjes, Elementen.

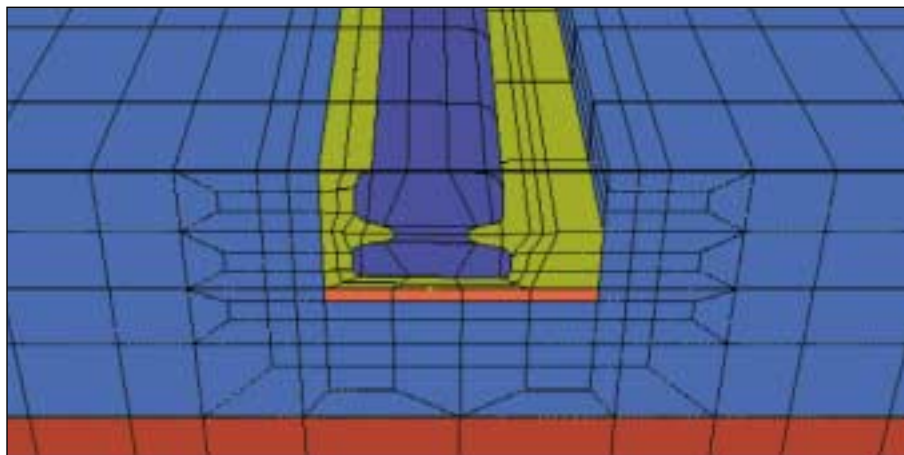
Samen vormen deze kleine stukjes vervolgens de gemodelleerde versie van de werkelijke constructie. Omdat de beschikbare computerkracht beperking oplegt en een element per definitie een volume inhoud moet hebben, is het

aantal elementen dat kan worden gebruikt *Eindig*.

De EEM vormt met deze eigenschappen een zeer flexibel gereedschap. Het is immers mogelijk elke constructie, hoe vreemd gevormd dan ook, te modelleren. De methode is door deze flexibiliteit bij uitstek geschikt om de ingegoten spoorconstructie door te rekenen.

Resultaten

Met EEM-simulaties is onderzocht welke belasting de combinatieklaag ondergaat wanneer de constructie wordt belast door verschillende weg- en trambelastingen. Gebleken is dat wegverkeer de zwaarste belasting van de combideklaag veroorzaakt wanneer een vrachtwagenas als het ware de railgoot "inremt". De zwaarste belasting onder trams treedt op wanneer het tramwiel alleen verticale krachten op de rail uitoefent (een rechtdoor rijdende tram). Deze twee belastingen blijken tot vrijwel dezelfde materiaalbelasting te leiden. Echter wanneer de combinatieklaag warm is, blijkt de remmende vrachtwagenas maatgevend. De trambelasting blijkt maatgevend te zijn wanneer de combinatieklaag koud is.



Schematisering in drie dimensies

Om te bepalen of de ingegoten spoorconstructie met een dragende plaat van combinatieklaag mogelijk is, moeten de berekende spanningen worden vergeleken met de gemeten materiaalsterkte. De sterkte is bepaald door het uitvoeren van uniaxiale trekproeven onder verschillende omstandigheden. De proeven hebben duidelijk gemaakt dat een standaard combinatieklaag materiaal haar sterkte in belangrijke mate verliest wanneer de temperatuur hoog oploopt. Vergelijking van de berekende spanningen (zie tabel) met de

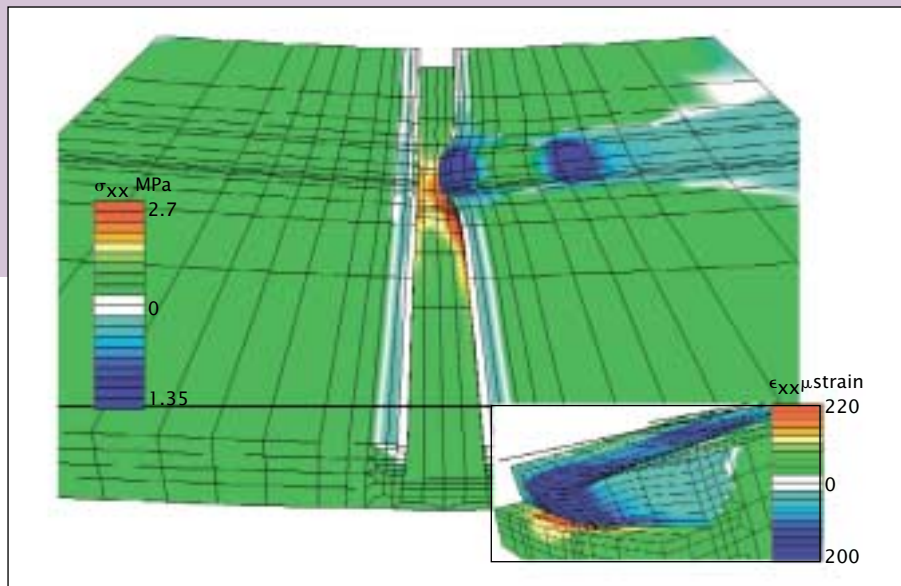
gemeten sterkte resulteert in de conclusie dat de constructie bij hoge temperaturen zal falen.

Met deze conclusie is niet gezegd dat combinatiedeklaag een slecht materiaal is. Duidelijk is echter wel dat een standaard combinatiedeklaag in deze specifieke toepassing niet zal voldoen. Een conclusie die ertoe heeft geleid dat er geen proefvakken zijn aangelegd, waardoor een negatieve uitstraling van het product "asfalt" is voorkomen.

De werkelijke conclusie moet zijn dat je niet moet proberen materialen functies te laten vervullen die ze vanuit hun eigenschappen onmogelijk kunnen vervullen. Dit zal immers leiden tot vroegtijdig falen en een negatieve productuitstraling. De introductie van functionele eisen moet dergelijke vergissingen in de toekomst voorkomen.

De oplossing

De waarden in de tabel tonen duidelijk aan dat de combinatiedeklaag onder



Belasting van de combideklaag onder een "inremmend" vrachtwagenwiel bij de nominale temperatuur. (Voor de duidelijkheid is de rail weggelaten.)

	Maximale trekbelasting [MPa]	Treksterkte combinatiedeklaag [MPa]
koud & trambelasting	1,8	3,7
warm & inremmende as	1,5	0,2

Vergelijking van sterkte en belasting.



Uniaxiale trekopstelling met proefstuk combinatiedeklaag

warme omstandigheden niet in staat zal zijn de optredende spanningen te weerstaan. Uit de figuur blijkt dat dit zeer lokaal falen, in de directe omgeving van de railgoten, betreft. Omdat het gebruik van asfalt het toepassingsgebied van ingegoten spoor enorm kan vergroten wordt gezocht naar versterking van de gootwanden door lokaal minder temperatuurgevoelige materialen toe te passen. Met deze minder temperatuurgevoelige materialen kan de gootwand worden versterkt. De rest van de constructie kan hierna uit combinatiedeklaag blijven bestaan. Het materiaal wordt daar dan immers opgesloten tussen de versterkte gootwanden.

Momenteel wordt op de Technische Universiteit Delft onderzocht of ZOK, het kunststof equivalent van ZOAB gevuld met cementslurry, voldoende sterk is om te leiden tot stabiele gootwanden over de totale range van temperatuur. Dit onderzoek is nog niet voltooid, maar de eerste resultaten zijn veelbelovend.