

## TRANSPORTBESPARING: ONTWIKKELING VAN EEN LICHTGEWICHT VLOER (DEEL II)

**Begin 2006 is FOCWA met een aantal carrosseriebouwers gestart met de ontwikkeling van een lichtgewicht vloer. De ontwikkeling is mogelijk gemaakt met subsidie van het Programma Transportbesparing. Dit programma heeft onder andere tot doel om het gewicht dat verplaatst moet worden te verminderen. En wat is dan mooier om te starten met het voertuig dat de goederen vervoert. In twee artikels -vorige maand is deel I geplaatst- een verslag van de ontwikkeling van een lichtgewicht vloer.**

### Wat vooraf ging

In het project wordt een vloer voor een 18 tons open wagen herontwikkeld, die 25% lichter moet zijn dan een huidige vloer: de zgn. referentievloer. De te ontwikkelen vloer is volledig zelfdragend en moet voldoen aan vooraf bepaalde criteria. In het vorige artikel zijn vier vloerconcepten besproken die aan de criteria zouden kunnen voldoen:

1. stalen wafelplaat met toplaag van hout
2. sandwich vloer
3. pultrusievloer
4. aluminium extrusieprofiel met houten toplaag.

Van de vier vloerconcepten zijn de eigenschappen en voor- en

nadelen behandeld. Het bleek dat vloerconcept 4 het meest voldoet aan de vastgesteld randvoorwaarden. Daarom werden van dat concept nog extra belastinggevallen berekend, die -net als de eerdere belastingen- telkens afgezet werden tegen de resultaten, verkregen bij de referentievloer.

Aan het einde van het vorige deel van deze artikelreeks bleek dat de doorbuiging bij een gelijkmatig belaste vloer met 10 ton vele malen groter was dan de grenswaarde. Aanpassingen aan dit vloerconcept zijn daarom noodzakelijk. Dit artikel komt nader terug op de aanpassingen die nodig zijn om de vloer (concept 4 dus) zodanig te maken, dat die niet zal bezwijken onder de vastgestelde belastinggevallen.

### Toevoeging ondersteunende elementen

Door een aantal stalen dwarsbalken van 70\*40\*2 mm onder de vloer aan te brengen, zullen de vervormingen en spanningen kleiner zijn. De dwarsbalken moeten in de nabijheid van de rongen geplaatst worden. Bij de berekening is ervan uitgegaan dat er twee dwarsbalken worden toegevoegd. Het gewicht neemt hierdoor met 0,9 kg/m<sup>2</sup> toe.

Door de toevoeging van de beide dwarsbalken zijn de vervormingen gelijkwaardig aan die

van de referentievloer. Bij een belasting van 10 ton zijn de optredende spanningen acceptabel. Bij een belasting van 16 ton wordt de vermoeiingsgrens overschreden, de optredende spanning ligt lager dan de vloei-grens. Ook bij de referentievloer treedt dit verschijnsel op bij deze belasting. Wanneer bij de referentievloer geen schade optreedt zal dit mogelijk ook zo zijn bij dit concept. Ook bij belasting van de heftruck van 6,5 ton kan mogelijk blijvende schade ontstaan omdat de vloei-grens van 190 N/mm<sup>2</sup> overschreden wordt.

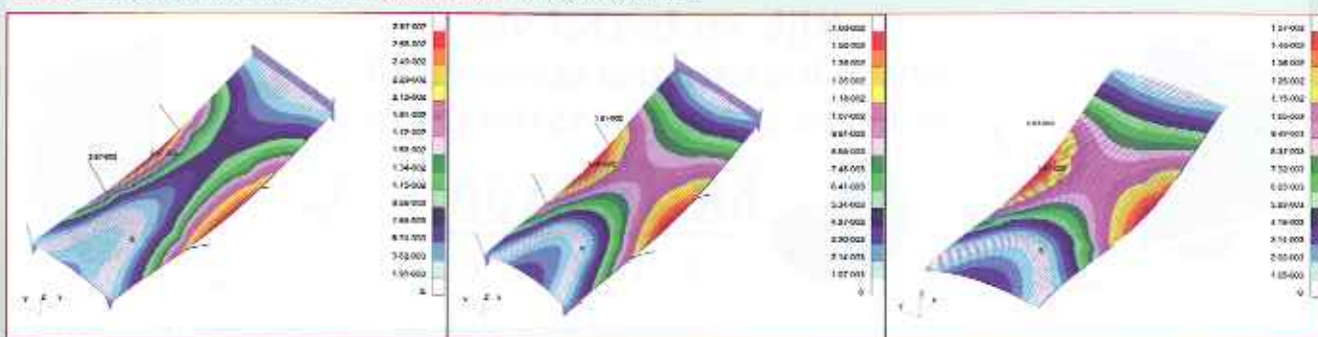


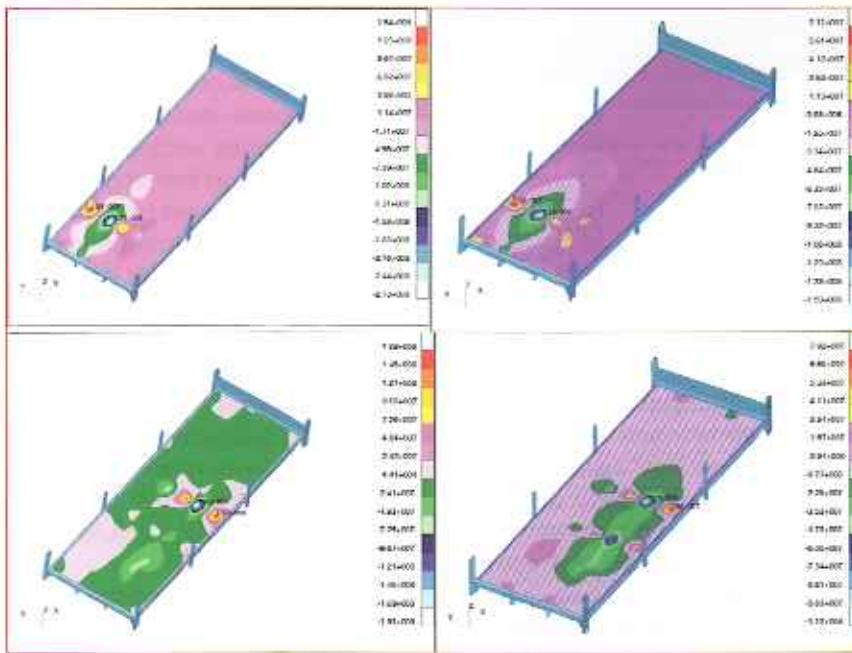
De ontwikkelde vloer, uitgebreid met twee stalen dwarsbalken.

### Aanpassing van de doorsnede

Wanneer de doorsnede van het aluminium profiel aangepast wordt door het hoger en dikker maken van de pootjes wordt het traagheidsmoment groter. Bij een groter traagheidsmoment zal de maximaal optredende

Doorbuiging bij een gelijkmatig belaste vloer met 10 ton. Links: de doorbuiging van concept 4; midden: vloer met ondersteuning van twee stalen dwarsbalken en rechts: vloer met aangepast profiel.



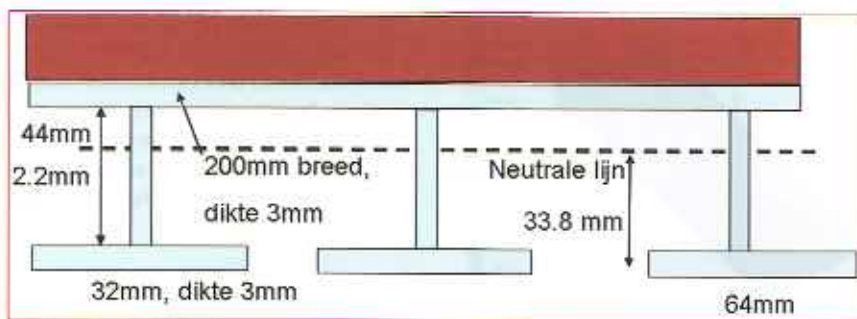


Spanningen in  $N/m^2$  bij een belasting door een heftruck van 6,5 ton. Links: vloer met twee ondersteunende dwarsbalken. Rechts: vloer met aangepast profiel. Links- en rechtsboven: de heftruck aan de achterzijde van de vloer; links- en rechtsonder: in het midden van de vloer.

spanning afnemen; zie ook de formule in het vorige artikel. In het aangepaste profiel is de hoogte met 20 mm toegenomen en de dikte van het aluminium is nu 3 mm. Uit de berekeningen komen nu waarden waaruit blijkt dat deze aangepaste vloer wel bestand is tegen de vastgestelde belastingen. De vloer wordt door de toevoeging van aluminium wel  $2,8 \text{ kg/m}^2$  zwaarder.

	Referentie vloer	Concept 4	Concept 4 met twee extra dwarsbalken	Concept 4 met aangepaste doorsnede
<b>10 ton gelijkmatig verdeelde belasting</b>				
Doorbuiging*	18 mm	29 mm	16 mm	16 mm
Effectieve doorbuiging*	5 mm	19,5 mm	6,3 mm	5,6 mm
Max. spanning*	115 $N/mm^2$	67 $N/mm^2$	44 $N/mm^2$	37 $N/mm^2$
<b>16 ton gelijkmatig verdeelde belasting</b>				
Doorbuiging*	29 mm	46 mm	26 mm	26 mm
Effectieve doorbuiging*	8 mm	30,4 mm	10,5 mm	10 mm
Max. spanning*	184 $N/mm^2$	107 $N/mm^2$	70 $N/mm^2$	59 $N/mm^2$
<b>Heftruck aan de rechterkant van de vloer (1,2 g)</b>				
<b>6,5 ton heftruck</b>				
Doorbuiging	67 mm		55 mm	64 mm
Effectieve doorbuiging	38 mm		26 mm	30 mm
Max. spanning	360 $N/mm^2$		193 $N/mm^2$	112 $N/mm^2$
<b>3,5 ton heftruck</b>				
Doorbuiging	36 mm		29 mm	34 mm
Effectieve doorbuiging	20 mm		14,5 mm	16 mm
Max. spanning	194 $N/mm^2$		104 $N/mm^2$	60 $N/mm^2$
<b>Heftruck aan de achterkant van de vloer (1,2 g)</b>				
<b>6,5 ton heftruck</b>				
Doorbuiging	48 mm		36 mm	31 mm
Max. spanning	420 $N/mm^2$		273 $N/mm^2$	153 $N/mm^2$
<b>3,5 ton heftruck</b>				
Doorbuiging	26 mm		19 mm	17 mm
Max. spanning	226 $N/mm^2$		147 $N/mm^2$	82 $N/mm^2$

\*Betreft waarden bij 1g. Omdat de resultaten lineair zijn moeten bij een belasting van 2g de resultaten met een factor 2 vermenigvuldigd worden.



Doorsnede van het aangepaste profiel.

### Bevestiging van de vloer aan het chassis

Een ander detail dat nog berekend moest worden is de bevestiging van de vloer aan de langsliggers. Voor de berekening is uitgegaan van de eisen die in de norm EN-12195 zijn opgenomen. Dit houdt in dat de vloerbevestiging een schuivende lading van 0,8 maal het gewicht van de lading dient te kunnen hebben. Is de vloer belast met 10 ton lading, dan dient de vloer op minimaal 20 à 30 plekken aan de langsliggers vastgemaakt te worden, bijvoorbeeld met kikers. Wordt de vloer met 16 ton belast, dan moet het aantal bevestigingspunten met 1,6 worden verhoogd.

Momenteel worden in de praktijk soortgelijke aluminium extrusie profielen toegepast voor andere vloertypen. Wanneer de bevestiging aan het chassis te stijf is, is het mogelijk dat het aluminium rond de bevestiging afbreekt. Wanneer de bevestiging aan de voorkant van de vloer torsie slap is kan dit voorkomen worden. Dat geldt ook voor deze vloer.

### Randbalk

Na het ontwerpen van de vloer is er gerekend aan een randbalk. Als referentie is er van een stalen

randbalk uitgegaan. De randbalk heeft de afmetingen 140\*60\*4 mm en weegt 7,97 kg/m. Om gewicht te besparen op de randbalk is gerekend aan een aluminium exemplaar. Met name de buigstijfheid is een belangrijk aspect bij de randbalk. Omdat de eigenschappen van aluminium anders zijn dan van staal (het is 3 maal minder stijf en is 1,25 maal minder sterk) zal het traagheidsmoment een stuk groter moeten zijn dan bij de stalen randbalk. Dit heeft tot gevolg dat de randbalk hoger moet worden. Uit de berekeningen blijkt dat een aluminium randbalkprofiel van 200\*100\*4 mm gelijke eigenschappen heeft als de referentie balk. De hoogte is met 60 mm toegenomen maar het gewicht is nu 6,1 kg/m. Voor de eerder vastgestelde vloerafmetingen betekent dit een gewichtswinst van 36,4 kg.

In de onderstaande tabel zijn de gewichten en de materiaalkosten van de beide aangepaste vloeren ten opzichte van de referentie vloer opgenomen. Ook de gegevens van de randbalken zijn opgenomen.

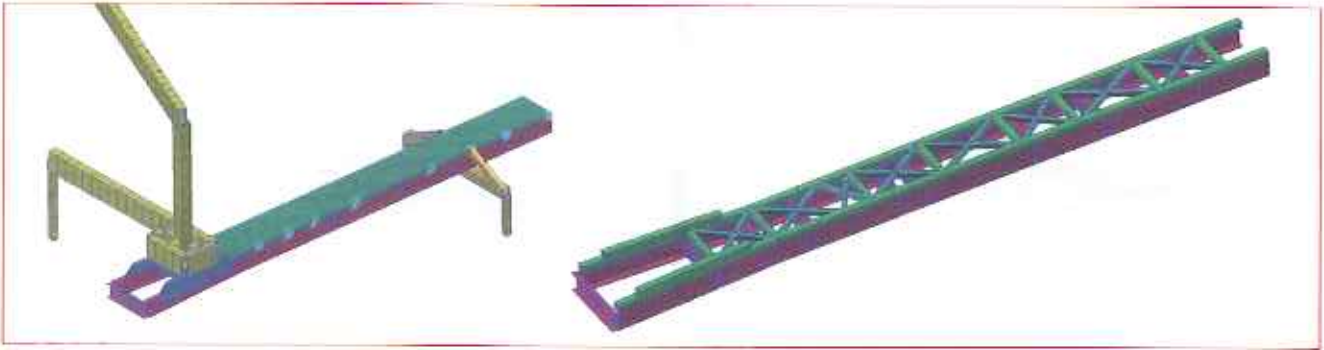
Ten opzichte van een huidige vloer, bestaande uit dwarsliggers

en een toplaag, is het nieuwe vloerconcept met twee dwarsbalken 30% lichter. De vloer met de aangepaste doorsnede is 25% lichter. Hiermee voldoet de vloer aan de eis die in het begin van het ontwikkelproces gesteld is. Ook aan de overige eisen kan de vloer voldoen. Zo is de hoogte van de vloer met 66 mm afgenomen tot 42 mm. Ook blijkt uit de berekeningen dat een 3,5 tons heftruck op de nieuwe vloerconcepten kan rijden. Door gebruik te maken van een extrusieprofiel met een beperkte breedte is de vloer modulair in de breedte en lengte. Of de nieuwe vloerconcepten ook goedkoper zijn, zal in de praktijk moeten blijken. Het aantal uren arbeid voor het vervaardigen van de vloer is niet bekend, maar de verwachting is dat deze lager ligt dan voor de huidige vloer. Verlaging van de arbeidstijd moet de hogere materiaalprijzen (€ 61,50 per m<sup>2</sup> i.p.v. € 46,- per m<sup>2</sup>) van de nieuwe vloerconcepten goed maken. De meerkosten voor deze gewichtsbesparing op basis van de materiaalkosten bedragen slechts € 1,50 per kg. Volgens de carrosseriebouwers die deelgenomen hebben aan de ontwikkeling van de nieuwe vloerconcepten is er een vloer ontwikkeld die voor de praktijk veel mogelijkheden biedt. Het zal waarschijnlijk niet lang gaan duren voordat het eerste voertuig van deze vloer voorzien gaat worden.

Behalve de herontwikkeling van een vloer wordt er door FOCWA samen met een aantal carrosseriebouwers ook gewerkt aan een rekenmethodiek voor het bere-

Gewichten en materiaalkosten.

	Gewicht	Gewichtsbesparing	Hoogte	Materiaalkosten
Referentie vloer	33 kg/m <sup>2</sup>	-	108 mm	€ 46 /m <sup>2</sup>
Nieuw vloer concept met twee extra dwarsbalken	23 kg/m <sup>2</sup>	192 kg	42 mm	€ 61,5 /m <sup>2</sup>
Nieuw vloer concept met aangepaste doorsnede	25 kg/m <sup>2</sup>	153 kg	62 mm	€ 63,3 /m <sup>2</sup>
Referentie randbalk	7,97 kg/m	-	140 mm	€ 11,8 /m <sup>2</sup>
Aluminium randbalk	6,1 kg/m	36 kg	200 mm	€ 25 /m <sup>2</sup>



Links: het pontonchassis, rechts: het ladderframe met gelijke hoogte als het pontonchassis.

tussen de hulpchassis balken geplaatst worden of er bovenop. Beide keren worden de linker- en rechterbalk aan elkaar verbonden. Voor de dwarsbalken worden C-profielen toegepast. Kokers hoeven niet toegepast te worden omdat de dwarsbalken niet torderen.

Uit de nieuwe berekeningen blijkt dat bij deze variatie:

- de maximale vervorming afneemt tot 123 mm;
- de optredende spanning toeneemt tot 163 N/mm<sup>2</sup>.

Wanneer er meer dwarsbalken toegevoegd worden, wordt het effect groter.

Conclusie is dat bij het toepassen van extra dwarsbalken in het hulpchassis de vervorming en spanningen iets verminderen. Het netto effect is beperkt.

### Extra kruisverband in het hulpchassis

Het extra kruisverband moet behoorlijk aan het begin van het

hulpchassis geplaatst worden, omdat verder naar achteren al een aantal kruisverbanden aanwezig is. De functie van het kruisverband is het tegengaan van de afschuiving van de chassisbalken ten opzichte van elkaar.

Uit de nieuwe berekeningen blijkt dat bij deze variatie:

- de maximale vervorming afneemt tot 111 mm;
- de optredende spanning in de dwarsbalken van het chassis omhoog gaat doordat het kruisverband vervorming aan de bovenzijde tegen gaat en de dwarsbalken aan de onderzijde hetzelfde moeten doen. De dwarsbalken zijn echter veel minder geschikt om deze vervorming op te vangen. Eigenlijk moet hier ook een kruisverband toegepast worden.

Conclusie is dat de torsiestijfheid aanzienlijk toeneemt door het toepassen van een extra kruisverband. Door het extra kruisverband komt er een extra

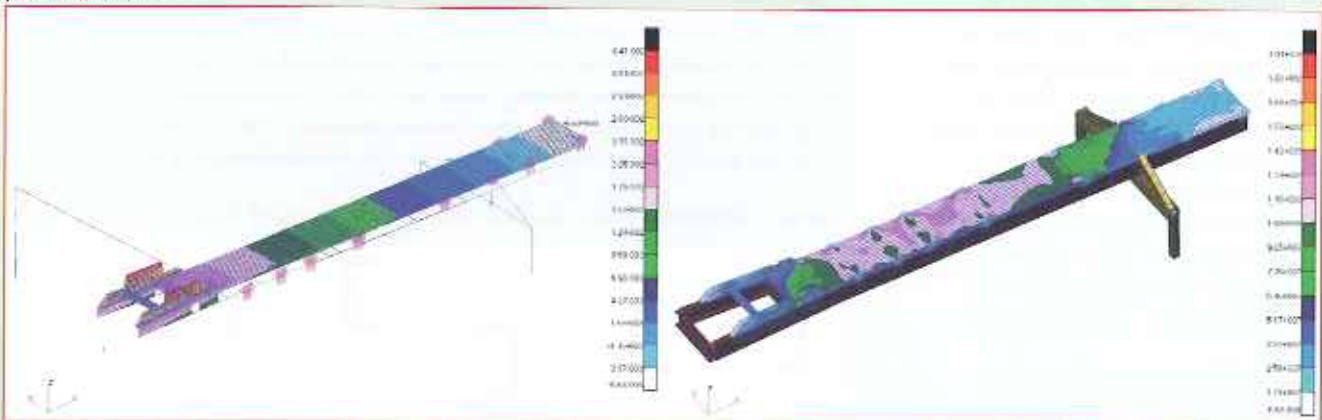
belasting in de dwarsbalken van het chassis.

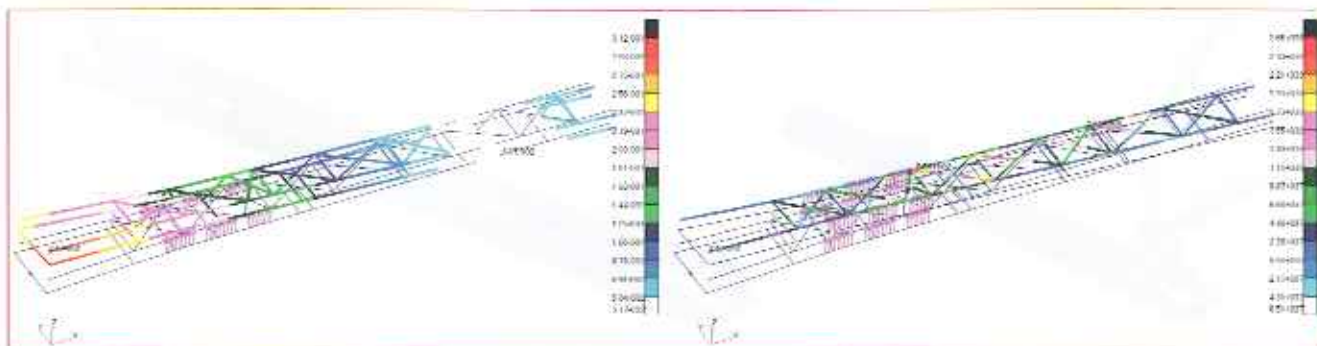
### Ponton chassis

Wanneer hoogte belangrijk is en daarom de autolaadkraan op een laag chassis gebouwd moet worden, wordt ook wel een pontonchassis gebruikt. Een pontonchassis is een doosvormige constructie. Binnen het project is gekeken of een pontonchassis wat torsiebetreeft vergelijkbaar is met een traditioneel hulpchassis. Uitgangspunt is wel dat de hoogte van het hulpchassis gelijk blijft. Uitgangspunt voor de vergelijking is een ladderframehulpchassis van 600 kg, dat al relatief veel dwarsbalken en kruizen bevat (gewicht van de ponton is 1.100 kg).

Voor het uitvoeren van de vergelijking tussen een normaal hulpchassis en het pontonchassis is als voertuigconfiguratie een 19 tons Scania gekozen. Op deze Scania is

Vervorming (links) en optredende spanning (rechts) bij belastingsgeval twee (heffen tot aan kantelen van het voertuig) bij het pontonchassis.





Vervorming (links) en optredende spanning (rechts) bij belastingsgeval twee (heffen tot aan kantelen van het voertuig) bij het ladderframe.

een 35 ton\*meter kraan aangebracht. De maximale last op 12,8 meter is 2.500 kg. Het voertuig is voorzien van vier steunpoten, twee ter hoogte van de kraan en twee aan de achterkant van het voertuig.

Uit de berekeningen aan het voertuigchassis voorzien van het pontonchassis blijkt dat er bij het heffen van de maximale last geen torsie optreedt. Bij het heffen tot aan het kantelen van het voertuig (1,45 maal het maximaal hefvermogen) treedt er wel torsie op. De resultaten zijn:

- de verplaatsing van de vooras is 171 mm;
- het verschil tussen de linker- en de rechterkant is 41 mm;
- de maximale spanning in de chassisbalken is 258 N/mm<sup>2</sup>;
- de maximale spanning in de dwarsbalken is 299 N/mm<sup>2</sup>;
- de maximale spanning in het ponton is 70 - 170 N/mm<sup>2</sup>.

Het ladderframe hulpchassis dat vergeleken wordt met het pontonchassis bestaat uit langs- en dwarskokers van 80\*80\*8. Tussen deze kokers zijn diverse kruisverbanden aangebracht van 60\*60\*3. De resultaten van de berekening bij het heffen tot aan het kantelen zijn:

- de vervorming is 310 mm;
- de maximale spanning in het hulpchassis is 265 N/mm<sup>2</sup>;
- de maximale spanning in de chassisbalken is 405 N/mm<sup>2</sup>.

Door de geringe beschikbare ruimte is het niet mogelijk om

het ladderframe hulpchassis verder te verstijven. Het aanbrengen van een aantal kruisverbanden aan de onderkant van het chassis is een mogelijkheid om de totale constructie te verstijven. Door de componenten die aan het chassis gemonteerd zijn, wordt dit lastig.

Wanneer deze mogelijkheid toch berekend wordt, is het resultaat:

- de vervorming is 105 mm;
- de maximale spanning in het hulpchassis is 211 N/mm<sup>2</sup>;
- de maximale spanning in de chassisbalken is 217 N/mm<sup>2</sup>.

Conclusie van de vergelijking tussen het pontonchassis en het ladderframe hulpchassis is dat bij een lage chassis hoogte een pontonchassis de voorkeur heeft.

Onder de hijsbelasting zal het chassis van de kraanwagen op een bepaalde manier vervormen. Deze vervorming is op te delen in drie componenten:

#### Buiging

- Van invloed op de hoeveelheid buiging is de hoogte van het chassis en de afmetingen van de flenzen.

#### Differentiaalbuiging

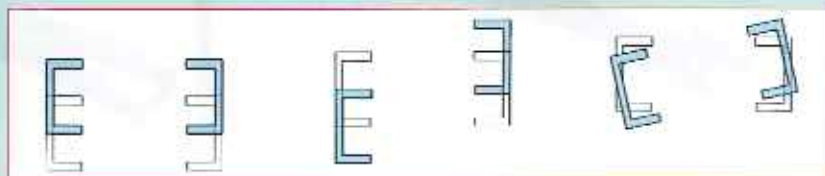
- Hierbij wordt een torsiebelasting opgenomen door één chassisbalk omhoog te buigen en de andere omlaag. Deze vervorming wordt tegengegaan door de afschuif- en buigvervorming van de dwarsbalken. Van invloed is daarom niet alleen de buigstijfheid van het chassis, maar ook het aantal en de afmeting van de dwarsbalken.

#### Torsie

- Torsie wordt het beste opgenomen door een gesloten kokervormige doorsnede, een torsiedoos. Hoe groter het omsloten oppervlak, des te beter torsie opgenomen wordt. Kruisverbanden aan de boven- en onderkant van de chassisbalken zijn effectief om de torsiestijfheid te vergroten. Ook is de hoogte van het chassis van invloed omdat hiermee het omsloten oppervlak vergroot kan worden. De torsiestijfheid zal sterk teruglopen wanneer de 'doos' niet volledig gesloten is (vergelijkbaar met het verschil tussen kokerbalk en U-balk).

Het buigmoment ten gevolge van het heffen zal uiteraard door buiging van de chassisbalken opgenomen worden. Het torsiemoment zal in de praktijk verdeeld zijn tussen differentiaalbuiging en torsie.

Soorten vervorming: v.l.n.r. buiging, differentiaalbuiging en torsie.



Dit type hulpchassis werkt goed bij buiging en torsie.

Kan van het hulpchassis echter een 'torsiedoos' gemaakt worden, - het ladderframe wordt ook door plaatvelden en kruisverbanden aan de onderzijde van het chassis gesloten -, dan kan dit hulpchassis ook voor zware autolaadkranen worden

toegepast. Ook is dit soort hulpchassis ongeveer 400 kg lichter dan een ponton chassis.

Met de vergelijking tussen het pontonchassis en het ladderframe hulpchassis is de verdieping over het gevolg van het monteren en gebruik van een autolaadkraan van een aantal carrosseriebouwers beëindigd.

Voor vragen naar aanleiding van dit artikel kunt u terecht bij FOCWA Carrosseriebouw, Roelof de Haan, 0252-265 222 of [r.dehaan@focwacb.nl](mailto:r.dehaan@focwacb.nl), of bij Lightweight Structures B.V. Edwin Velds, 015-278 18 12, [edwin.velds@lightweight-structures.com](mailto:edwin.velds@lightweight-structures.com).

tot 15% zuiniger

## AËRODYNAMISCHE VRACHTWAGEN

**Ingrepen aan de achterkant en onder een vrachtwagen kunnen het brandstofverbruik tot vijftien procent terugdringen. Dat stellen Delftse aërodynamica onderzoekers in een recente uitgave van Delft Integraal. Binnenkort wordt op de weg het effect van een 'toeter' achter op een truck getest; tenminste: als de RDW vergunning afgeeft.**

### Zog

Vrachtwagens zijn energieslurpers door hun gebrek aan aërodynamica. Toeters en vleugels aan de achterkant en ingrepen onder de vrachtwagen kunnen volgens de Delftse onderzoeker ir. Gandert van Raemdonck het brandstofverbruik van de wagens tot vijftien procent terugdringen. Overigens is ook FOCWA Carrosseriebouw bij dit project betrokken.

Er bestaan al veel maatregelen om de voorkant aerodynamischer te maken. Maar aan de achterkant van de 'doos op wielen' is nog veel te doen voor een betere geleiding van de lucht. "Aërodynamische hulpmiddelen achterop kunnen de luchtweerstand van de truck met ongeveer 25% verminderen, op een gemiddeld, in Nederland realistisch traject. Op grote afstanden waar heel constant gereden wordt, is meer winst te behalen" zegt de onderzoeker.



Met een 'toeter' van vier kunststof platen als boat tail is het de bedoeling te testen of luchtverwelingen achter de vrachtwagen beperkt kunnen worden.

Een groot deel van de luchtweerstand die een vrachtwagen ondervindt, wordt veroorzaakt door het zog. Aan de achterkant, daar waar de rijdende vrachtwagen net weg is, ontstaat kort een vacuüm. Lucht stroomt al snel in dat 'gat' en achter het voertuig ontstaan twee in tegengestelde richting draaiende wervels en allerlei rommelige stromingen eromheen. In dit zogenoemde zog heerst een onderdruk, waardoor het de vrachtwagen als het ware naar achteren trekt. Dit effect wordt groter naarmate de vrachtwagen sneller rijdt.

### Toeter

"Hoe kleiner dat zog, hoe beter", aldus Van Raemdonck.



Hij zocht in patenten en publicaties van de afgelopen honderd jaar naar manieren om het zog te verkleinen. Eén van die oplossingen is de boat tail, een soort afgestompte piramide achter op de vrachtwagen. 'Het werkt eigenlijk hetzelfde als een fietshelm die naar achteren in een punt loopt', vergelijkt Van Raemdonck. In de windtunnel waren de resultaten van de boat tail veelbelovend. Van Raemdonck bouwde de 'toeter' al op een trailer en hoopt hem binnenkort op de weg te kunnen testen. Onzekere factor is daarbij