

DE INVLOED VAN HET HOOGTEVERSCHIL TUSSEN EEN WEGDEKVERHARDING VAN ZEER
OPEN ASFALT BETON (ZOAB) EN DE WEGBERM OP DE VERKEERSVEILIGHEID

R-91-75

Ing. W.H.M. van de Pol

Leidschendam, 1991

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

1. Inleiding

2. Uitvoering van het onderzoek
 - 2.1. Probleemstelling
 - 2.2. Opzet van het onderzoek
 - 2.3. Uitgevoerde simulaties
 - 2.4. Resultaten van de simulaties

3. Conclusies

Literatuur

Tekeningen 1 t/m 2

Plots 1 t/m 10

Bijlage 1

1. INLEIDING

In de provincie Utrecht is op de provinciale weg S 13, tussen Utrecht en Bunnik, een wegdekverharding van zeer open asfalt beton (ZOAB) aangebracht. Het is de bedoeling dat in de toekomst meer wegen van een ZOAB-verharding worden voorzien.

Voor een goede afwatering van ZOAB-verharding is het noodzakelijk dat de berm een aantal centimeters lager ligt dan de bovenkant van de ZOAB-verharding. Vanuit overwegingen van verkeersveiligheid is het in het algemeen aan te bevelen dat er geen hoogteverschil tussen verharding en wegberm aanwezig is. Het bestaan van een bepaald hoogteverschil kan derhalve tot problemen leiden. De Dienst Wegen, Verkeer en Vervoer van de provincie Utrecht heeft de SWOV gevraagd een visie te geven over de extra onveiligheid, die het gevolg zou kunnen zijn van dit hoogteverschil.

2. UITVOERING VAN HET ONDERZOEK

2.1. Probleemstelling

Er kan een verkeersveiligheidsprobleem ontstaan als auto's van de weg raken en de chauffeurs proberen het voertuig weer op de weg te krijgen. Dit probleem treedt in het bijzonder op bij een wegdek met zeer open asfalt beton, omdat het bij dit wegdek vanwege de hemelwaterafvoer nodig is dat het water kan uitstromen. Derhalve zal het wegdek een aantal centimeters boven de berm moeten liggen.

In dit onderzoek is de volgende probleemsituatie verondersteld. Het wegdek kan tot 7 cm boven de berm uitsteken. Deze hoogte is door wegbouwkundige deskundigen als een reële hoogte opgegeven. Een personenauto raakt met de twee rechterwielen in de berm. De chauffeur doet vervolgens via stuurbewegingen pogingen zijn voertuig weer op de weg te krijgen. Daarbij moet het hoogteverschil overwonnen, zodat het vervolgens mogelijk is de auto weer op de rechterweghelft te brengen, dus zonder het midden van de weg te overschrijden. In dit onderzoek wordt derhalve nagegaan of een chauffeur de in de berm geraakte auto weer veilig op de eigen rijstrook kan krijgen. Mocht dit niet goed mogelijk zijn dan ontstaat de mogelijkheid dat zo'n voertuig in botsing komt met een tegenligger waardoor een ernstig ongeval het gevolg zou kunnen zijn.

Er zijn ten aanzien van de geometrie van de zijkant van het wegdek twee mogelijkheden aangegeven. De zijkant van de verharding staat haaks op de weg en de berm, dan wel onder een hoek van 45° . Een rechte zijkant is een voor de hand liggende en eenvoudig te maken zijkant. Een hoek van 45° is gekozen omdat verondersteld mag worden dat een voertuig bij een hoek minder dan 90° gemakkelijker op de weg terug kan komen.

Het onderzoek is uitgevoerd met computersimulaties waarbij gebruik gemaakt is van het computerprogramma VEDYAC. Voor meer informatie over dit programma wordt verwezen naar Bijlage 1.

Validatie van de resultaten van de simulaties met resultaten van full-scale tests kunnen niet plaatsvinden omdat dergelijke proeven, voor zover ons uit de literatuur bekend is, niet zijn uitgevoerd. Wel hebben validaties plaats-

gevonden tussen resultaten van simulaties en full-scale tests van voertuigen die de weg verlaten en daarbij met opstaande randen van diverse hoogten in botsing komen (Dunlap, 1973a, 1973b en SWOV, 1990). Het enige verschil met de simulaties uit dit onderzoek is, dat de verharding en de berm van plaats hebben gewisseld. Op grond van deze validaties mag worden geconcludeerd dat de simulaties uit dit onderzoek een goed beeld kunnen geven van wat er in de praktijk kan plaatsvinden.

2.2. Opzet van het onderzoek

Alle simulaties zijn uitgevoerd met een veel voorkomend type personenauto (Volkswagen Golf van 975 kg) bij een snelheid van 80 km/uur. Daarbij zijn zowel een rechte (90°) als een afgeschuinde (45°) overgang van ZOAB naar de berm beproefd. Als hoogteverschil is 7 cm en éénmaal 5 cm aangehouden.

Als uitgangssituatie bij de simulaties is ervoor gekozen dat een voertuig met de twee rechterwielen in de berm terecht is gekomen en de simulaties starten op het ogenblik dat de chauffeur probeert de auto het randje op te sturen. Eenmaal met alle vier wielen op de weg aangeland zal een chauffeur normaal gesproken terugsturen. Er zijn derhalve simulaties uitgevoerd met en zonder tegenstuurbeweging.

Aan de keuze van de uitgevoerde stuurmanoeuvres liggen de volgende overwegingen ten grondslag:

De maximale wieluitslag van een gemiddelde personenauto bedraagt 35 à 40° naar beide zijden, totaal dus 70 à 80°. Deze maximale wieluitslag wordt verkregen met ongeveer 3,5 stuurwielomwentelingen. Zonder een hand van het stuur te nemen kan de bestuurder ongeveer een halve stuurwielomwenteling maken in een tijdsbestek van ca. 1 seconde. Dit komt overeen met een wieluitslag van 10 à 15°. In de simulaties zijn beide hoeken gebruikt; 10 en 15° wieluitslag in 1 seconde. Dit is te kenschetsen als een nogal abrupte stuurmanoeuvre passend bij een schrikreactie.

Het terugsturen gebeurt in principe met dezelfde stuursnelheid. Stuurbewegingen, waarbij de wieluitslag binnen 2 à 5° blijft en uitgevoerd in dezelfde tijd, zijn in het verkeer nog als normaal te beschouwen.

Het terugsturen wordt ingezet wanneer het rechtersvoorwiel ca. 15 cm. op de verharding is teruggekeerd. Nadat een chauffeur bemerkt dat het wiel weer op de weg staat zal hij wellicht reageren met een tegenstuurbeweging. Hier is een fractie van een seconde mee gemeoid, waarbij het voertuig enige afstand zal afleggen. De maat van 15 cm is daarbij arbitrair gekozen, maar vermoedelijk niet aan de ruime kant.

Samengevat is uitgegaan van het volgende schema:

	ZOAB-rand 90°	ZOAB-rand 45°
stuurbeweging	15 graden in 1 seconde	15 graden in 1 seconde
	10 graden in 1 seconde	10 graden in 1 seconde
	2,5 graad in 1 seconde	2,5 graad in 1 seconde

Omdat het simulatieprogramma niet zelf detecteert wanneer de tegenstuurbeweging moet worden ingezet, is er steeds een voorbereidende simulatie nodig, om vast te stellen wanneer het voorwiel 15 cm op de verharding staat. Aldus levert dit in totaal 12 simulaties op.

Voor de wrijvingscoëfficiënt tussen band en ZOAB-verharding is 0,7 gekozen en tussen band en berm 0,3. Dit zijn waarden uit de praktijk (gegevens Rijkswaterstaat). Het startpunt van het voertuig is zo gekozen dat de binnenkant van de banden in de berm ongeveer 4 cm van de verharding staan. Deze afstand is nodig om de stuurbeweging te kunnen inzetten. De grootte is arbitrair gekozen.

Tekening 1 geeft een overzicht van de doorsnede van de weg.

Het al-dan-niet op de verharding terugkomen van het voertuig hangt niet alléén van de voorwieluitslag af. Afgezien van de grootte van de wrijvingscoëfficiënten is het terugkomen op de verharding mede afhankelijk van de volgende factoren:

- De diameter van de band. Hoe groter de diameter van de band is, hoe gemakkelijker de band het hoogteverschil kan overbruggen. Dit betekent bijvoorbeeld dat vrachtwagens geen problemen zullen ondervinden als zij eenmaal van de weg geraakt zijn en weer op de weg proberen te komen.
- Voor- of achterwielaandrijving. Een aangedreven wiel klimt wat gemak-

kelijker tegen een verhoging op dan een niet aangedreven wiel.

- De rijsnelheid. Bij een lage rijsnelheid zal de band iets eerder omhoog klimmen dan bij een hoge rijsnelheid.
- De draagkracht van de berm. In een zachte berm zal een wiel verder wegzakken en daarom moeilijker het hoogteverschil kunnen overwinnen.

De invloed van de bestuurder op de afloop van het gebeuren is, met uitzondering van de tegenstuurbeweging, niet verder beschouwd. Het is niet mogelijk meer ingewikkelde, representatieve reacties van de bestuurder te definiëren zonder te beschikken over informatie uit de praktijk.

2.3. Uitgevoerde simulaties

De resultaten van de eerste simulaties maakten een modificatie van het bovenstaande simulatieschema noodzakelijk. Uit de simulaties bleek namelijk dat bij de 90° rand en de 10 grd/sec stuurbeweging het voertuig niet op de verharding terugkomt. De simulaties met 2,5 grd/sec stuurbeweging zijn daarom niet uitgevoerd. Bij de simulatie met de 45° rand en de 2,5 grd/sec stuurbeweging bleken snellere, maar wel uitvoerbare, tegenstuurbewegingen noodzakelijk om veilig op de weg terug te komen.

Uiteindelijk zijn, na de initiële simulaties, de volgende simulaties uitgevoerd:

- Simulatie 1: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg, rand 90°;
- Simulatie 2: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg, rand 90°;
- Simulatie 3: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur, rand 90°;
- Simulatie 4: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg, rand 45°;
- Simulatie 5: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg, rand 45°;
- Simulatie 6: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur, rand 45°;
- Simulatie 7: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg en 10 grd/sec tegenstuur, rand 45°;
- Simulatie 8: Stuurbeweging 2,5 grd/sec naar de weg en 5 grd/sec tegenstuur, rand 45°;
- Simulatie 9: Stuurbeweging 2,5 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur, rand 45°;

In overleg met de opdrachtgever is nog één simulatie toegevoegd waarbij de verharding 5 cm in plaats van 7 cm hoog is met een stuurbeweging van 10 grd/sec naar de weg toe en 10 grd/sec tegenstuur. De verharding maakt een hoek van 90°. Bij deze simulatie is verder verondersteld dat een verharde onderlaag 30 cm uitsteekt en eenzelfde wrijvingscoëfficiënt van 0,7 heeft als het ZOAB-wegdek (Simulatie 10). Als de wrijvingscoëfficiënt van wegdek en berm hetzelfde is zal een voertuig dat van de weg raakt geen onverwachte bewegingen maken en wegtrekken. In zijn algemeenheid kan worden aanbevolen om deze voorziening aan te leggen.

2.4. Resultaten van de simulaties

Simulatie 1: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg, rand 90°.

Uit de simulatie blijkt dat het voertuig bij deze stuurbeweging wel op de verharding terugkomt maar daarbij in een slipbeweging raakt en uiteindelijk op de andere weghelft terecht kan komen (plot 1).

Simulatie 2: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg, rand 90°.

Uit de simulaties blijkt dat het voertuig bij deze stuurbeweging niet op de verharding terugkomt (plot 2).

Simulatie 3: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur, rand 90°.

Uit simulatie 1 is het moment bepaald waarop het rechter voorwiel ongeveer 15 cm op de verharding is teruggekeerd. Op dat tijdstip wordt in deze simulatie de tegenstuurbeweging ingezet. Uit de simulatie blijkt dat het inzetten van de tegenstuurbeweging niet tot gevolg heeft, dat het voertuig op zijn eigen weghelft blijft. Het voertuig kan al slippend op de andere weghelft terecht komen (plot 3).

Simulatie 4: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg, rand 45°.

De simulatie is gelijk aan simulatie 1 met uitzondering van de rand van de verharding. Deze is onder een hoek van 45° aangebracht in plaats van 90° bij simulatie 1. Het voertuig rijdt tegen de rand op. De stuurbeweging heeft wel tot gevolg dat het voertuig ook hier, zij het in mindere mate als bij simulatie 1, in een slipbeweging raakt en ook op de andere weghelft kan komen (plot 4).

Simulatie 5: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg, rand 45°.

De simulatie is gelijk aan simulatie 2 met uitzondering van de rand van de verharding. Deze is onder een hoek van 45° aangebracht in plaats van 90°. In tegenstelling tot simulatie 2 komt het voertuig nu wel op de verharding. Ook deze stuurbeweging heeft tot gevolg, dat het voertuig in een slippende beweging raakt en op de andere weghelft terecht kan komen (plot 5).

Simulatie 6: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur, rand 45°.

De invloed van de tegenstuurbeweging is niet groot genoeg om te voorkomen dat het voertuig op de andere weghelft kan belanden. In tegenstelling tot simulatie 4 gaat het voertuig niet slippen (plot 6).

Simulatie 7: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg en 10 grd/sec tegenstuur, rand 45°.

Ook hier is de invloed van de tegenstuurbeweging is niet groot genoeg om te voorkomen dat het voertuig op de andere weghelft beland. In tegenstelling tot simulatie 5 gaat het voertuig niet slippen (plot 7).

Simulatie 8: Stuurbeweging 2,5 grd/sec naar de weg en 5 grd/sec tegenstuur, rand 45°.

Op het moment dat het rechter voorwiel ongeveer 15 cm op de verharding is, wordt de tegenstuurbeweging ingezet. De beide stuurbewegingen zijn aanzienlijk minder fors dan in voorgaande simulaties. Uit deze simulatie blijkt, dat de ingezette tegenstuurbeweging net niet groot genoeg is om op de eigen weghelft te blijven (plot 8).

Simulatie 9: Stuurbeweging 2,5 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur, rand 45°.

In deze simulatie is de tegenstuurbeweging t.o.v. simulatie 8 vergroot van 5 grd/sec naar 15 grd/sec. Deze snellere stuurbeweging heeft tot gevolg, dat het voertuig nu wel op de eigen weghelft blijkt. Een stuurbeweging van 10 grd/sec zal waarschijnlijk ook voldoende zijn (plot 9). Dit resultaat geeft dus aan dat een minder forse stuurbeweging om op het randje te komen en vervolgens een snelle tegenstuurbeweging, zonder dat daardoor de auto in een slip terecht komt, tot de beste resultaten leidt.

Simulatie 10: Verlaging van het hoogteverschil van 7 cm naar 5 cm heeft tot gevolg dat het voertuig nu wel op de verharding terug komt (zie simulatie 2). De tegenstuurbeweging heeft niet tot gevolg dat het voertuig op zijn eigen weghelft blijft, maar al slippend op de andere weghelft terecht komt. Het gedrag van het voertuig vertoont veel overeenkomst met het gedrag van het voertuig van simulatie 3.

3. CONCLUSIES

Als een weg wordt voorzien van wegverharding van zeer open asfalt beton (ZOAB) is een hoogteverschil met de berm noodzakelijk voor een goede afwatering. De vraag is of dit randje tot veiligheidsproblemen leidt in situaties dat een personenauto van de weg raakt en de chauffeur probeert de auto weer op de weg te krijgen. Met behulp van computersimulaties, uitgevoerd met het VEDYAC-programma is - afhankelijk van een aantal condities - geprobeerd na te gaan of en in welke mate veiligheidsproblemen ontstaan. Verondersteld is dat er problemen kunnen ontstaan als het niet lukt het voertuig weer op de weg te krijgen dan wel dat dit zodanig gebeurt dat het voertuig naar de andere weghelft doorschiet.

De uitgevoerde simulaties geven aan dat een geleidelijke maar krachtige stuurbeweging bij een hoogteverschil van 5 à 7 cm toereikend is om op de weg te komen en dat daarna bij een forse tegenstuurbeweging, zonder dat een voertuig in een slip komt, een voertuig op de eigen weghelft kan blijven. Dit vereist derhalve zodanige kennis en vaardigheden dat betwijfeld moet worden of een voertuigbestuurder deze manoeuvre succesvol kan uitvoeren.

De simulaties laten verder zien dat de geometrie van de rand van invloed is op de afloop. Is de rand haaks dan komt het voertuig bij kleine stuurbewegingen niet op de weg terug maar blijft gedeeltelijk in de berm rijden. Het op de weg terugkomen gebeurt pas bij grote voorwieluitslag. Het gevolg is dan wel dat het voertuig in een slipbeweging kan raken. Het inzetten van de tegenstuurbeweging kort nadat de beide rechterwielen weer op het wegdek staan heeft hierop geen invloed. Het voertuig blijft in een slipbeweging en kan op de andere weghelft terecht komen.

Bij de rand van 45° heeft de bestuurder een goede mogelijkheid om het voertuig op de weg terug te sturen, mits deze stuurbeweging rustig wordt uitgevoerd. Met de tegenstuurbeweging kan het voertuig in dit geval op de eigen weghelft gehouden worden. Worden de stuurbewegingen te heftig uitgevoerd, dan raakt ook bij een 45° rand het voertuig in een slipbeweging en kan het voertuig ook op de andere weghelft terechtkomen.

Op grond hiervan is de conclusie te trekken dat een tot 45° afgeschuinde rand een wezenlijke verbetering betekent ten opzichte van een haakse rand, maar zelfs bij deze hoek van 45° bestaat er een reëel risico dat een voertuig dat van de weg geraakt is en probeert weer op de wegdek te komen, daarbij gaat slippen en zo op de andere weghelft raakt.

Het doortrekken van de onderverharding zodanig dat de wrijvingscoëfficiënt van het wegdek en de berm ongeveer dezelfde is, is onder alle omstandigheden aan te bevelen omdat dit de kans verkleint op onverwachte bewegingen van het voertuig, vooral bij remmen!

Samengevat: Een recht randje tussen de bovenkant van het wegdek en de berm in de orde van grootte van 5 à 7 cm leidt ertoe dat personenauto's in de problemen kunnen komen, waarbij slechts een geoefende chauffeur een slechte afloop zou kunnen vermijden. Een zo klein mogelijk hoogteverschil en een randje onder een zo scherp mogelijk hoek is aan te bevelen, uiteraard zonder de werking van ZOAB onmogelijk te maken en onder de voorwaarde dat een en ander in de praktijk te realiseren is. Als deze grenzen zijn vastgesteld is aan de hand van vervolgsimulaties hieromtrent uitsluitel te geven. Daarbij bevelen we aan om ook enkele praktijkproeven te doen teneinde te kunnen vaststellen in hoeverre de hier gehanteerde aannamen de meest reële zijn.

LITERATUUR

Dunlap, D.F. (1973a). Barrier-curb redirection effectiveness. In: Highway Research Record Number 460, 1973.

Dunlap, D.F. (1973b). Curb-gaurdrail vaulting evaluation. In: Highway Research Record Number 460, 1973.

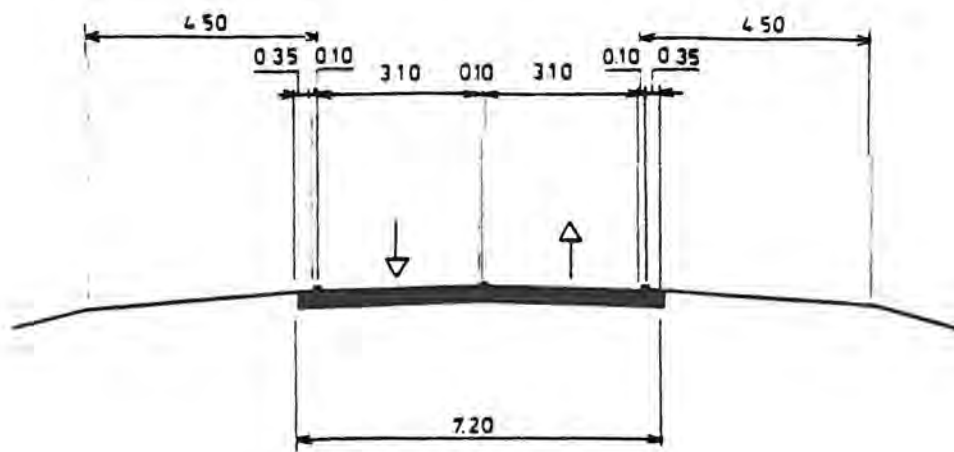
SWOV (1991). Trottoirband langs de Bosdreef te Rotterdam. A-90-1. SWOV, Leidschendam.

Richtlijnen voor het ontwerpen van niet-autosnelwegen. Voorlopige richtlijnen Hoofdstuk II Dwarsprofielen. Commissie RONA, december 1986.

TEKENINGEN 1 EN 2

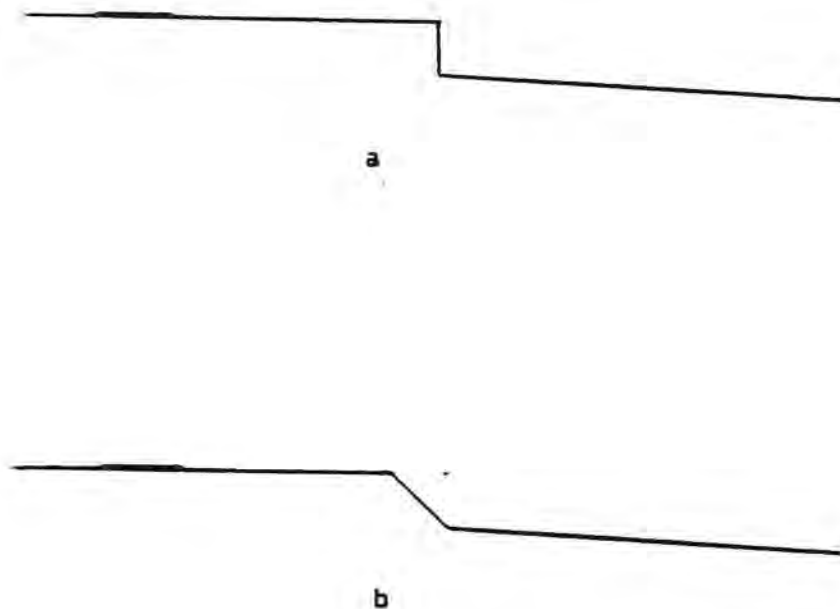
Tekening 1: Dwarsprofiel provinciale weg conform RONA-richtlijnen.

Tekening 2a en b: ZOAB-verharding onder 90° (a) en onder 45° (b)



CATEGORIE IV, Ontwerpsnelheid 80 km/h

Tekening 1: Dwarsprofiel provinciale weg conform RONA-richtlijnen.



Tekening 2a en b: ZOAB-verharding onder 90° (a) en onder 45° (b)

PLOTS 1 T/M 10

Plot 1: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg, rand 90°

Plot 2: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg, rand 90°

Plot 3: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur,
rand 90°

Plot 4: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg, rand 45°

Plot 5: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg, rand 45°

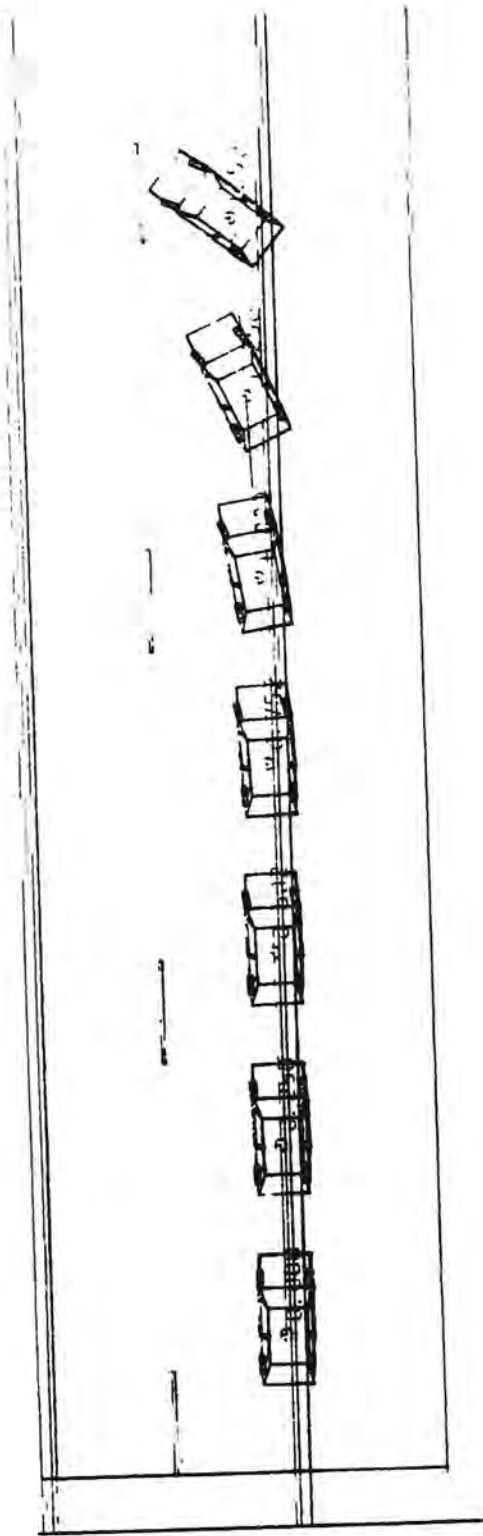
Plot 6: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur,
rand 45°

Plot 7: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg en 10 grd/sec tegenstuur,
rand 45°

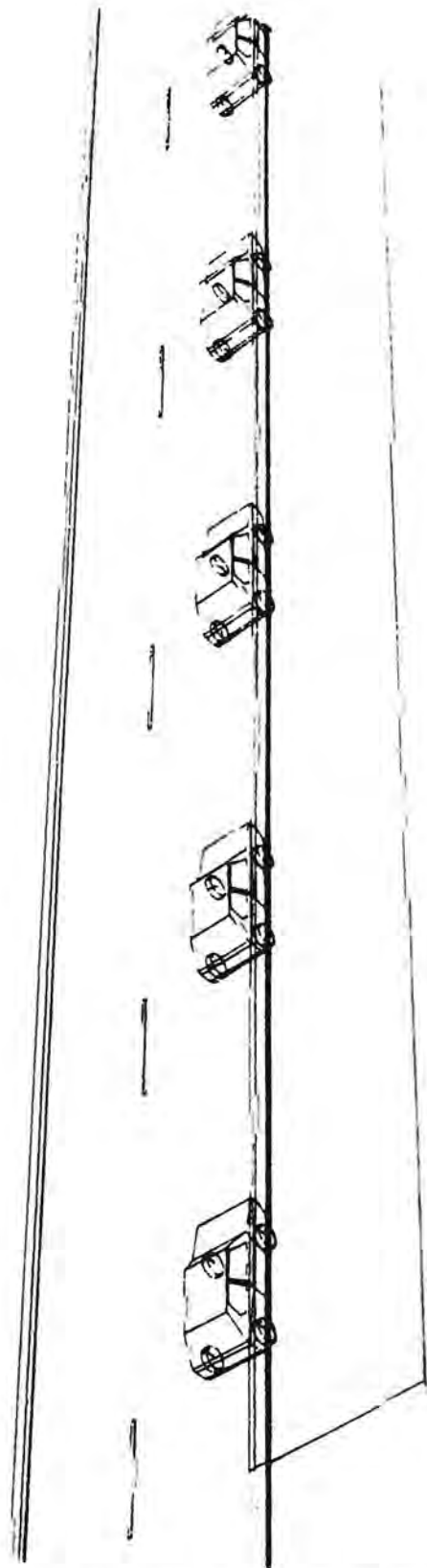
Plot 8: Stuurbeweging 2,5 grd/sec naar de weg en 2,5 grd/sec tegenstuur,
rand 45°

Plot 9: Stuurbeweging 2,5 grd/sec naar de weg en 10 grd/sec tegenstuur,
rand 45°

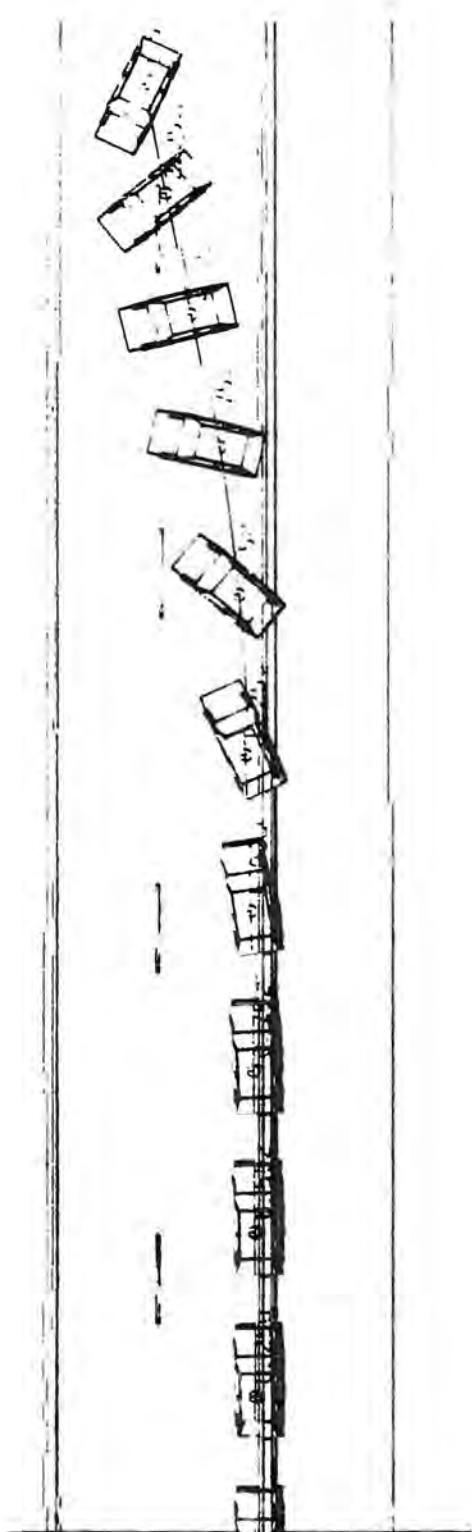
Plot 10: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg en 10 grd/sec tegenstuur,
rand 90° en 5 cm hoog



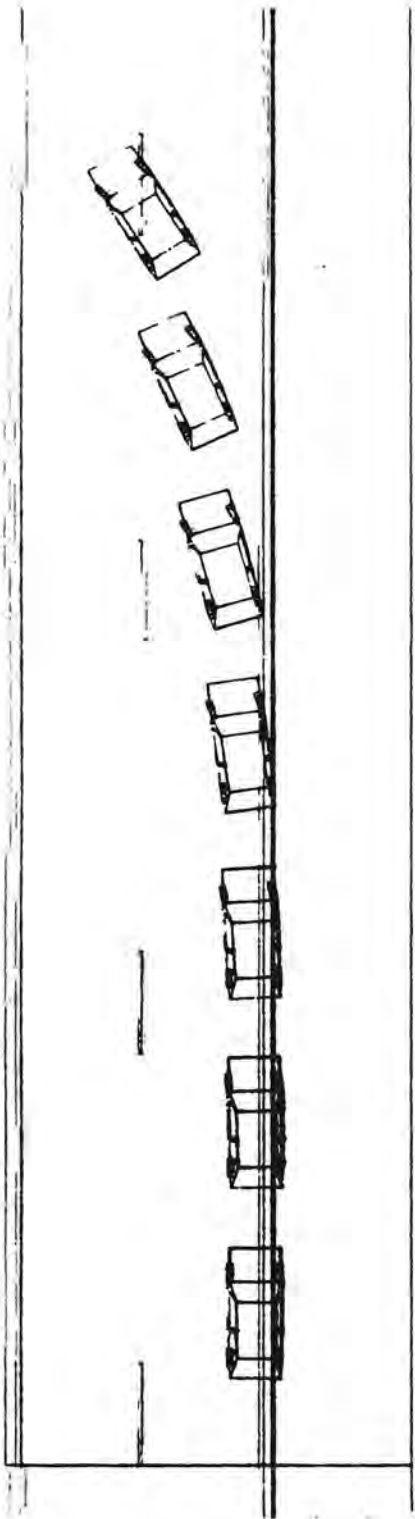
Plot 1: Stuurbeweging 15 grd/sec
naar de weg, ZOAB 90 graden



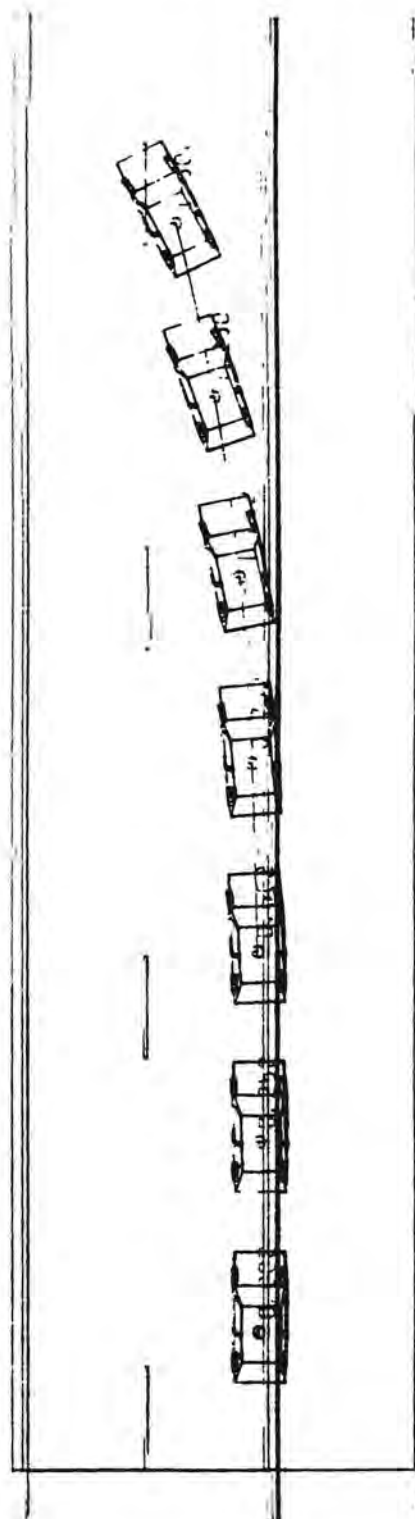
Plot 2: Stuurbeweging 10 grd/sec
naar de weg, ZOAB 90 graden



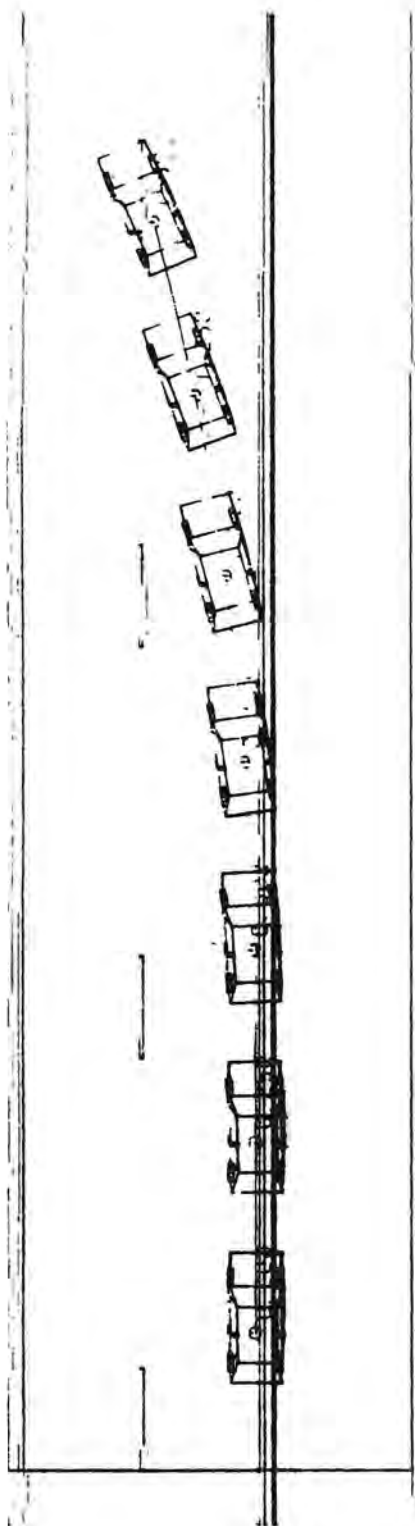
Plot 3: Stuurbeweging 15 grd/sec
naar de weg en 15 grd/sec
tegenstuur, ZOAB 90 graden



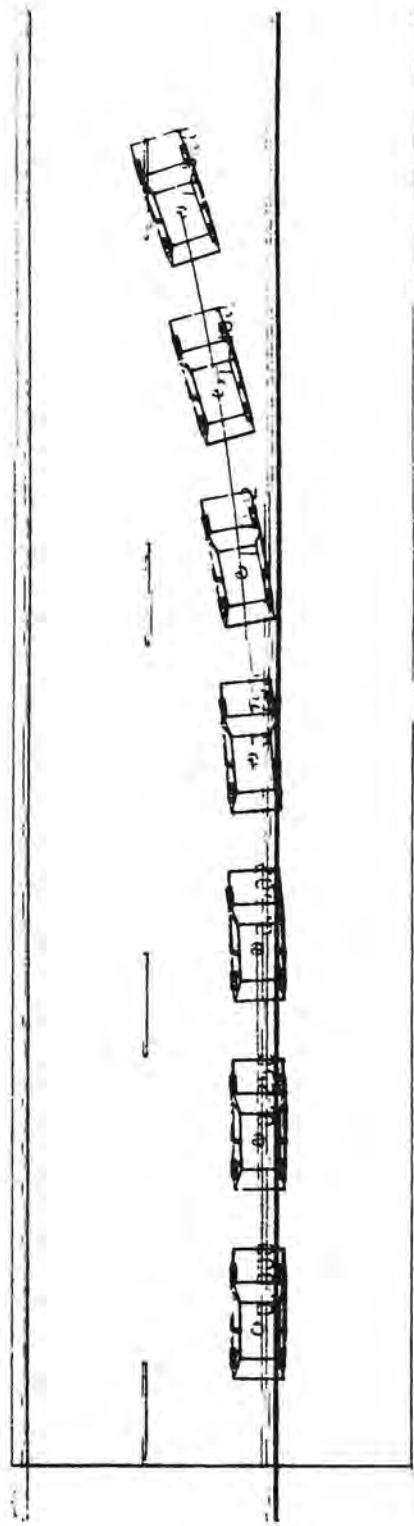
Plot 4: Stuurbeweging 15 grd/sec
naar de weg, ZOAB 45 graden



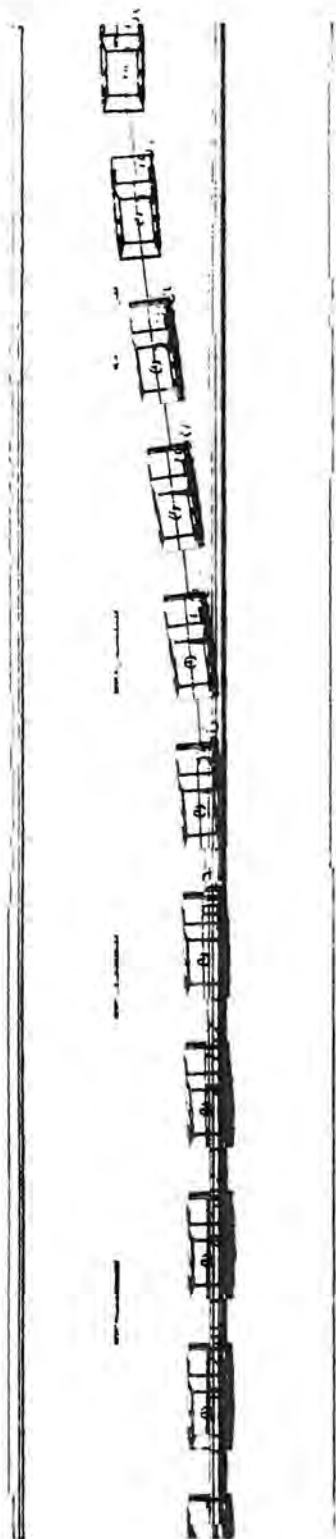
Plot 5: Stuurbeweging 10 grd/sec
naar de weg, ZOAB 45 graden



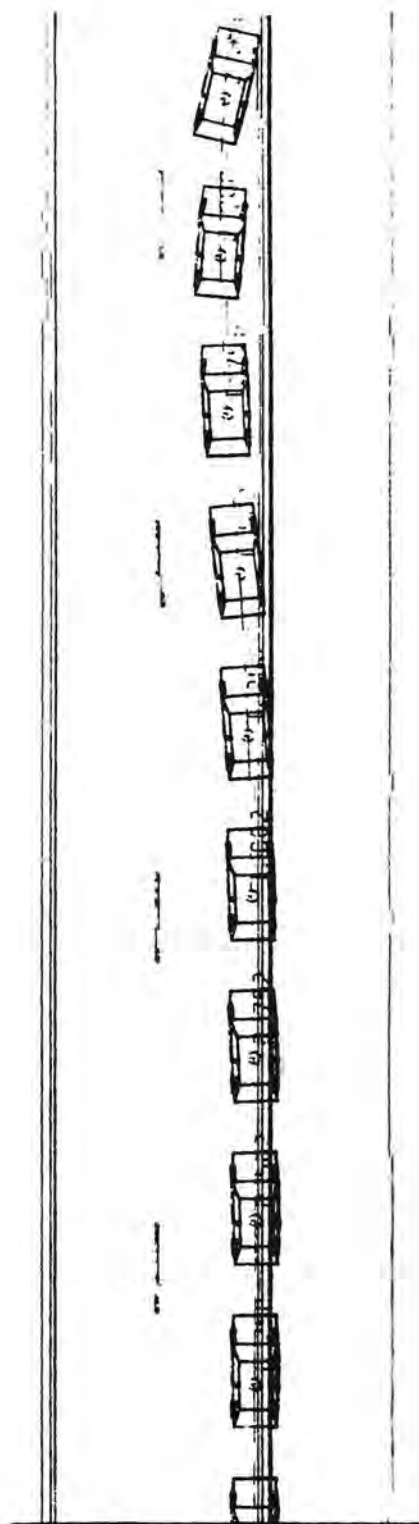
Plot 6: Stuurbeweging 15 grd/sec naar de weg en 15 grd/sec tegenstuur, ZOAB 45 graden



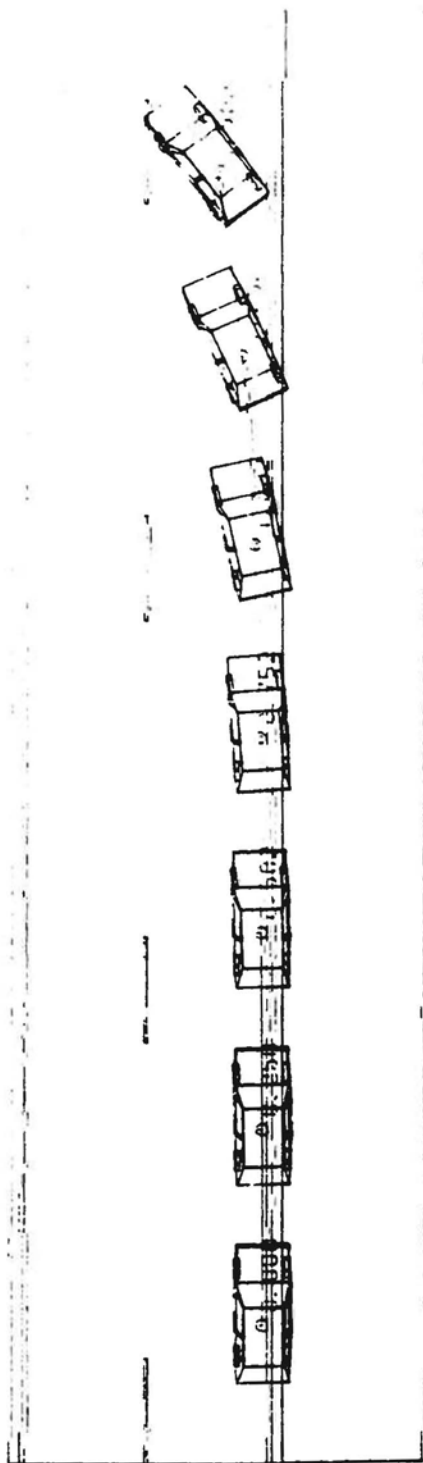
Plot 7: Stuurbeweging 10 grd/sec naar de weg en 10 grd/sec tegenstuur, ZOAB 45 graden



Plot 8: Stuurbeweging 2.5 grd/sec
naar de weg en 2.5 grd/sec
tegenstuur, ZOAB 45 graden



Plot 9: Stuurbeweging 2.5 grd/sec
naar de weg en 10 grd/sec
tegenstuur, ZOAB 45 graden



Plat 109: Stuurbeweging 10 grad/sec
naar de weg en 10 grad/sec
tegenstuur, 20AB 90grad en
5 en hoog

Bijlage 1

HET MATHEMATISCH MODEL VEDYAC

VEDYAC (dat staat voor Vehicle Dynamics and Crash Dynamics) is een flexibel computermodel dat voertuigen in botssituaties kan berekenen en plotten. Het model is geschikt voor de simulatie van een veelheid van bewegende (en integrerende) lichamen. Binnen een simulatie kunnen twee of meer zogenaamde "systemen" worden gedefinieerd, die in het algemeen kunnen bewegen, maar ook "vast" kunnen zijn zoals een wegoppervlak of een betonnen constructie. Die systemen bestaan uit onvervormbare lichamen waaraan, willekeurig, subsystemen van de volgende aard kunnen worden bevestigd:

- Vlakstructuren, die ofwel een onbegrensd vlak beschrijven, dan wel door een aantal rechte lijnen zijn begrensd. Elk vlak kent een afzonderlijke hardheid en wrijving. De vlakken worden gebruikt voor de beschrijving van weinig of niet vervormbare delen van een systeem, zoals de trottoirband.
- Cylinders, die, in interactie met vlakken, kunnen vervormen en op een 'pneumatische' manier, via druk- en oppervlakteveranderingen, tot interactiekrachten leiden. De cylinders zijn eenvoudig en goed toepasbaar in gevallen waarin krachten en vervormingen geen al te grote waarden zullen krijgen.

- Vervormbare structuren, op eindige elementen gelijkend, die voor grotere vervormingen gebruikt worden. De elementen bestaan uit:

- . staven die uitsluitend op trek en druk worden belast en elastisch en plastisch vervormen;

- . liggers, die daarnaast ook elastische en plastische buiging kunnen ondergaan (alleen in de uiteinden);

- . afschuifpanelen, die, omdat de elementen altijd vierhoekig zijn, steeds als twee diagonale staven worden gemoduleerd.

De elementen kunnen onderling interageren, maar kunnen ook met de cylinders botsen, waardoor het mogelijk is eenvoudige en meer ingewikkelde systemen te mengen.

- Wielophangingen, in feite de enige subsystemen met een specifieke voertuigfunctie. Op dit moment kan gekozen worden uit onafhankelijke wielophanging en starre (tandem)assen, waarbij het aantal wielen per as te variëren is. De veer- en dempingeigenschappen kunnen per as worden bepaald alsmede een aantal bandeigenschappen (druk, wrijving). Het model voorziet ook in de mogelijkheid van anti-rolstabilisatoren.

De wielophanging kan bestuurbaar of vast zijn, stuurbewegingen kunnen als tijdfunctie in het model worden opgelegd. Ook rem- en acceleratiemomenten op de wielen kunnen als tijdfunctie worden ingevoerd. Het aantal en de plaats van de wielophanging aan een systeem kunnen door de gebruiker worden bepaald.

Behalve door interactiekrachten op vlakken e.d. kunnen systemen op een of meer punten met elkaar worden verbonden. Aan die punten kunnen elastische, plastische en bezwijkeigenschappen worden toegekend, zowel voor translaties als rotaties.

De integratie van de bewegingsvergelijkingen van deze complexe modellen vindt stapsgewijs, op twee manieren, plaats:

- bewegingen binnen een systeem, inclusief de beweging van de wielophangingen, worden geïntegreerd met een impliciete methode;
- bewegingen van systemen worden expliciet geïntegreerd. Het gaat hier om een Predictor-Corrector methode met variabele tijdstap; de tijdstap wordt afhankelijk van de maximale versnellingsverschillen (door de gebruiker te bepalen) vergroot of verkleind.