

Simulatie-onderzoek 'Mini Halve STEP-barrier' in aardebaan

Een simulatie-onderzoek in aardebaan van de N65 tussen Den Bosch en Tilburg

R-98-11

Ing. W.H.M. van de Pol

Leidschendam, 1998

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

Documentbeschrijving

Rapportnummer: R-98-11
Titel: Simulatie-onderzoek 'Mini Halve STEP-barrier' in aardebaan
Ondertitel: Een simulatie-onderzoek in aardebaan van de N65 tussen Den Bosch en Tilburg
Auteur(s): Ing. W.H.M. van de Pol
Onderzoeksmanager (plv): Ir. L.T.B. van Kampen
Projectnummer SWOV: 55.417
Opdrachtgever: Bouwdienst Rijkswaterstaat, Apeldoorn

Trefwoord(en): Simulation, safety fence, steel, evaluation (assessment), program (computer), car, bus, collision, design (overall design), deflection.

Projectinhoud: De N65 is een niet-autosnelweg tussen Den Bosch en Tilburg. Door het beperkte dwarsprofiel van de weg is het niet mogelijk de bestaande geleiderailconstructies toe te passen. Daarom heeft de Bouwdienst van Rijkswaterstaat een alternatief ontwikkeld voor deze specifieke omstandigheden: de Mini Halve STEP-barrier (MHS-barrier). De SWOV heeft simulaties uitgevoerd om de werking van deze MHS-barrier te kunnen beoordelen. De simulaties zijn uitgevoerd met het computermodel VEDYAC.

Aantal pagina's: 22 + 76 blz.
Prijs: f 82,50
Uitgave: SWOV, Leidschendam, 1998

Samenvatting

In opdracht van de Bouwdienst van Rijkswaterstaat te Apeldoorn zijn simulaties uitgevoerd om de werking van de zogenaamde 'Mini Halve STEP-barrier' (= MHS-barrier) te kunnen beoordelen.

De MHS-barrier heeft het profiel van de STEP-barrier, maar is maar 0,500 meter hoog. De elementlengte bedraagt 5,320 meter bij een paalafstand van 1,333 meter, of een elementlengte van 6,000 meter bij een paalafstand van 2,000 meter. De palen zijn van het profiel INP 140 en ze zijn een meter in de grond geheid.

De MHS-barrier moet voldoen aan het N1-niveau uit de NEN-EN 1317-1-norm en NEN-EN 1317-2-norm. Dit niveau houdt een proef met een zware personenauto (TB31) in met een massa van 1.500 kg, een snelheid van 80 km/uur en een inrijhoek van 20 graden.

De simulaties zijn uitgevoerd met het computermodel VEDYAC. Er zijn drie TB31-simulaties uitgevoerd: één met een paalafstand van 1,333 meter, één met een paalafstand van 2,000 meter en één met een paalafstand van 2,000 meter en 40% minder paalweerstand. Behalve deze TB31-simulaties, is er ook een simulatie uitgevoerd met een bus, de TB51-test. Deze simulatie is alleen uitgevoerd om een indruk te krijgen van de wijze waarop de MHS-barrier zich onder deze zware inrijconditie zal gedragen, en niet om na te gaan of de constructie aan de TB51-testcriteria voldoet. De paalafstand bij deze simulatie bedraagt 1,333 meter.

De simulaties laten een bevredigend verloop zien bij de aanrijding met de zware personenauto. De uitbuigingen blijven klein: dynamisch maximaal 11 centimeter en statisch maximaal 2 à 3 centimeter. De uitrijhoek blijft beperkt tot 3 graden. De ASI-waarden blijven beneden het niveau A uit de NEN-EN norm, respectievelijk 0,83, 0,80 en 0,77. De bewegingen van de zware personenauto's blijven binnen redelijke grenzen, de rolhoek wordt maximaal 15 graden. Tijdens het 'rear-end effect' komt de zware personenauto even los van de weg.

De TB51 simulatie laat zien, dat de bus niet door de MHS-barrier heen rijdt. De boutverbindingen tussen de elementen onderling en tussen het MHS-profiel en de palen worden zwaar belast: er treedt vervorming en/of breuk op. De statische uitbuiging bedraagt ongeveer 18 cm; de dynamische uitbuiging bedraagt circa 34 cm. Door de geringe hoogte van de MHS-barrier vindt een roll-over van de bus plaats.

De MHS-barrier met paalafstanden van 1,333 meter en 2,000 meter voldoet wat de TB31-test (met de gekozen paalweerstand) betreft, aan het 'normal containment level' N1 uit de NEN-EN 1317-2. De TB11-test, die ook voor het N2-niveau wordt voorgeschreven, is niet gesimuleerd in dit simulatie-onderzoek. Vooralsnog is verondersteld dat die proef op vergelijkbare wijze zal verlopen als bij de 'standaard' STEP-barrier.

Summary

Simulation study: Mini Half-STEP barrier in earth fill

By order of the Civil Engineering Division of the Department of Public Works in Apeldoorn, simulations involving the 'Mini Half-STEP barrier' (MHS barrier) were conducted to assess its function.

The MHS barrier has a profile similar to the STEP barrier, but with a height of only 0.500 metres. The length of an element is either 5.320 metres with post spacing of 1.333 metres, or 6.000 metres with a post spacing of 2.000 metres. The posts have an INP 140 profile and are driven one metre into the ground.

The MHS barrier must meet the N1 level in the NEN-EN 1317-1 norm and the NEN-EN 1317-2 norm. This level involves a test with a heavy passenger car (TB31) having a mass of 1500 kilograms, a speed of 80 km/h, and an entry angle of 20 degrees.

The simulations were conducted using the VEDYAC computer model. Three TB31 simulations were conducted: one with a post spacing of 1.333 metres, one with a post spacing of 2.000 metres, and one with a post spacing of 2.000 metres with 40% less post resistance. In addition to these TB31 simulations, another simulation was carried out with a bus: the TB51 test. This simulation was conducted only to obtain an idea of the way in which the MHS barrier would behave under these heavy entry conditions, and not to verify whether the construction would meet TB51 test criteria. The post spacing for this simulation was 1.333 metres.

The simulations displayed satisfactory results for the collision involving the heavy passenger car. The deflections remained small: no more than 11 centimetres for dynamic, and no more than 2-3 centimetres for static deflections. The exit angle remained limited to 3 degrees. The ASI values remained below the A level in the NEN-EN norm (0.83, 0.80 and 0.77 respectively). The movements of the heavy passenger cars remained within reasonable limits with a maximum roll angle of 15 degrees. The heavy passenger car left the road surface very briefly during the rear-end effect. The TB51 simulation showed that the bus would not drive through the MHS barrier. The mechanical joints between the elements and between the MHS profile and the posts were subjected to heavy strain as evidenced by deformation and/or fracture. The static deflection was about 18 centimetres; the dynamic deflection was about 34 centimetres. Due to the MHS barrier's low height, the bus experienced a roll-over.

As far as the TB31 test with these post spacings is concerned, the MHS barriers with a post spacing of 1.333 metres and 2.000 metres meet the normal containment level N1 in the NEN-EN 1317-2. The TB11 test which is also prescribed for the N2 level was not simulated in this simulation study. For the time being, it is being assumed that this test would produce results similar to what were obtained from tests involving the standard STEP barrier.

Inhoud

1.	<i>Inleiding</i>	6
2.	<i>Criteria</i>	7
3.	<i>Probleemstelling</i>	8
4.	<i>Opzet en uitvoering van het simulatie-onderzoek</i>	9
5.	<i>Literatuuronderzoek paalweerstand</i>	10
6.	<i>De MHS-barrier</i>	13
6.1.	Werking van de MHS-barrier	13
6.2.	Modellering MHS-barrier	13
6.3.	Modellering boutverbindingen	14
7.	<i>De uitgevoerde simulaties</i>	15
7.1.	Simulatie met de zware personenauto	15
7.1.1.	Het 5,32 meter-element; paalafstand 1,333 meter	15
7.1.2.	Het 6,000 meter-element, paalafstand 2,000 meter	16
7.1.3.	Het 6,000 meter-element, paalafstand 2,000 meter, minder paalweerstand	16
7.2.	Simulatie met de bus	17
7.2.1.	Het 5,32 meter-element, paalafstand 1,333 meter	17
7.3.	Boutverbindingen	17
8.	<i>Conclusies</i>	20
	<i>Literatuur</i>	22
	<i>Bijlagen 1 t/m 4</i>	23
1.	Afbeeldingen 1 t/m 8	25
2A.	Afbeeldingen A1 t/m A9	35
2B.	Afbeeldingen B1 t/m B9	47
2C.	Afbeeldingen C1 t/m C9	59
2D.	Afbeeldingen D1 t/m D8	71
3.	Korte beschrijving van de werking van het computer-programma VEDYAC	83
4.	Modellering modelcomponenten van de MHS-barrier	93

1. Inleiding

De N65 is een niet-autosnelweg tussen Den Bosch en Tilburg. Het is een 'oude' tweebaans autoweg. Er staan veel oude bomen, die niet mogen worden verwijderd. Gezien het in ruimte beperkte dwarsprofiel van de weg, is het niet mogelijk de bestaande geleiderailconstructies toe te passen. Daarom heeft de Bouwdienst een alternatief ontwikkeld voor deze specifieke omstandigheden: de Mini Halve STEP-barrier (MHS-barrier).

De Bouwdienst Rijkswaterstaat te Apeldoorn heeft de SWOV opdracht gegeven om simulaties uit te voeren op de MHS-barrier. Het doel van de simulaties is zicht te krijgen op de werking van de MHS-barrier. De Bouwdienst heeft aangegeven dat de barrier moet voldoen aan de proeven op N1-niveau zoals is aangegeven in de prEN 1317-1-norm en de prEN 1317-2-norm. De uit te voeren simulaties komen overeen met de bovengenoemde norm.

Deze norm houdt een proef in met een zware personenauto (TB31: 80 km/uur, 20 graden, 1.500 kg). De simulatie met een bus is extra uitgevoerd (TB51: 70 km/uur, 20 graden, 13.000 kg uit de prEN-norm). Deze simulatie moet meer inzicht geven in de wijze waarop de constructie zich houdt onder een dergelijke zware belasting.

2. Criteria

De eisen die in het algemeen aan afschermvoorzieningen worden gesteld, gelden ook voor de MHS-barrier:

1. Het botsende voertuig mag niet door de constructie breken, eroverheen rijden of kantelen, dan wel er onderdoor schieten.
2. Letsel van inzittenden, schade aan de constructie en schade aan het voertuig moeten zo beperkt mogelijk blijven.
3. Het voertuig mag niet door de constructie in de eigen verkeersstroom worden teruggekaatst.
4. De constructie moet na een aanrijding zijn werking zo veel mogelijk blijven behouden.
5. De begin- en eindverankering mogen niet bezwijken.

Bij de beoordeling van de constructie wordt ook gelet op de voertuigbewegingen, als rol-, dump- en gierhoeken (roll, pitch en yaw), en op het loskomen van het voertuig van de weg. Ook zijn de voertuigvertragingen van belang; deze worden in de ASI-waarde vertaald. In de voorlopige CEN-voorstellen¹ (CEN, 1994a, 1994b) worden twee ASI-waarden gegeven:

- niveau A: $ASI \leq 1$.
- niveau B: $ASI \leq 1,4$.

Deze waarden gelden voor het zwaartepunt van het voertuig. De veronderstelling hierbij is dat indien de vertragingen beneden niveau A blijven, er geen ernstig letsel van inzittenden zou hoeven optreden. Voor stijve, respectievelijk starre constructies wordt niveau B nog wel acceptabel geacht. De ASI-waarden worden alleen voor de personenauto's bepaald.

De MHS-barrier moet voldoen aan het N1-niveau uit de NEN-EN 1317-1-norm en NEN-EN 1317-2-norm. De extra simulatie met de bus (TB51) wordt alleen uitgevoerd om inzicht te verkrijgen in de werking van de MHS-barrier. De TB51 wordt niet vereist voor het N1-niveau.

¹ Het CEN (Comité Européen de Normalisation) stelt voor Europa normen op waaraan afschermvoorzieningen moeten voldoen; ook wordt bepaald onder welke inrijcondities de proeven op deze afschermvoorzieningen moeten worden uitgevoerd.

3. Probleemstelling

Het Comité Européen de Normalisation (CEN) stelt voor Europa normen op voor de beproeving van afschermvoorzieningen; zij bepalen onder meer onder welke inrijcondities de proeven op deze afschermvoorzieningen moeten worden uitgevoerd.

De stalen STEP-barrier die met elk element aan het wegdek is verankerd, is met goed gevolg getest op H2-niveau uit de CEN-norm (Quincy, 1996a, 1996b, 1996c). Deze stalen STEP-barrier is ontworpen voor autosnelwegen. De MHS-barrier is een afgeleide van deze bestaande stalen STEP-barrier en is bedoeld voor toepassing op niet-autosnelwegen. Bij de ontwikkeling van de MHS-barrier gaat de Bouwdienst er vooralsnog van uit, dat dergelijke constructies moeten voldoen aan het N1-niveau uit de CEN-norm. Deze norm houdt een proef in met een zware personenauto met een massa van 1.500 kg bij een snelheid van 80 km/uur en een hoek van 20 graden (TB31).

In het beschikbare smalle dwarsprofiel van de N65 is het niet mogelijk de bestaande geleiderailconstructies toe te passen. De beschikbare ruimte is (veel) te klein. Voor deze situaties zijn andere beveiligingsvoorzieningen noodzakelijk. Deze zijn echter nog niet beproefd en niet kant en klaar beschikbaar.

Als alternatief voor de geleiderailconstructie kan de MHS-barrier worden geplaatst. De MHS-barrier wordt aan de in de berm geheide INP-14-palen bevestigd. De MHS-barrier is 0,5 meter hoog en de paallengte in de berm bedraagt 1 meter. De paalafstand bedraagt h.o.h. 1.333 mm of 2.000 mm. De MHS-barrier is nog niet op N1-niveau getest. De simulaties worden uitgevoerd om meer inzicht te verkrijgen in de werking van de MHS-barrier.

4. Opzet en uitvoering van het simulatie-onderzoek

Het simulatie-onderzoek is opgesplitst in drie delen. Het eerste deel bestaat uit het verzamelen van gegevens uit beschikbare literatuur ten behoeve van de simulaties, namelijk over de paalweerstand in de grond. Het tweede deel van het simulatie-onderzoek bestaat uit de simulaties met de personenauto: de TB31-simulaties. Het derde deel bestaat uit de simulaties met de bus: de TB51-simulaties. De TB51-simulaties worden alleen uitgevoerd om een indruk te verkrijgen in het gedrag van de MHS-barrier onder deze zware inrijcondities.

Tabel 1 geeft een overzicht van de uit te voeren simulaties zoals deze in eerste instantie door de Bouwdienst zijn vastgesteld.

Barrier	Simulatie	Inrijcondities			Botsenergie voertuig [kNm]
		snelheid [km/uur]	hoek [graden]	massa [kg]	
MHS-barrier paalafstand 1333	TB31	80	20	1.500	43
MHS-barrier paalafstand 2000	TB31	80	20	1.500	43
MHS-barrier paalafstand 1333	TB51	70	20	13.000	288

Tabel 1. Overzicht van de uit te voeren simulaties zoals deze in eerste instantie door de Bouwdienst zijn vastgesteld.

In overleg met de Bouwdienst is een keuze gemaakt uit de beschikbare gegevens, er is bepaald welke paalweerstand(en) bij de simulaties wordt toegepast en welke invloed deze keuze heeft op de paalafstand. In dit overleg is aan de hand van de in de literatuur gevonden paalweerstand, de definitieve paalafstand vastgesteld. Ook is bepaald dat er met twee verschillende paalweerstand, de definitieve paalafstand vastgesteld. Ook is bepaald dat er met twee verschillende paalweerstand, de definitieve paalafstand vastgesteld. Ook is bepaald dat er met twee verschillende paalweerstand, de definitieve paalafstand vastgesteld.

5. Literatuuronderzoek paalweerstand

In de literatuur zijn enkele rapporten gevonden die praktijkproeven beschrijven met diverse soorten palen en verschillende grondsoorten. Het betreft hier proeven uit de Verenigde Staten en Nederland. Omdat de N65 aangelegd is op zandgrond zijn hieruit de proeven geselecteerd die in zandgrond zijn uitgevoerd en die betrekking hebben op I-profielen.

De resultaten van deze proeven zijn samengevoegd in *Tabel 2*.

Paaltype	Grondsoort	Kracht		Moment	Stijfheid grond	Verplaatsing paal	
		Piek	Gemid.			[m]	[m]
		[kN]	[kN]	[kNm]	[kN/m]		
W6x8.5* [Rossen]	zand		26,6	26,6	436	0,061	0,508
			19,7	19,7	353	0,056	0,508
6B8.5* [Michie]	zand	62,92	30,7	30,7			
		68,2	36,52	36,52			
		70,4	35,2	35,2			
		67,32	28,6	28,6			
315.7 [Michie]	zand	21,56	14,96	14,96			
		22,0	15,4	15,4			
		24,2	12,76	12,76			
		28,6	19,8	19,8			
INP 140 [Faber]	zand	19,4	16,5	16,5			0,517
		14,55	14,55	14,55			
		13,6	13,6	13,6			0,726
		23,2	18,4	18,4			0,846

* De W6x8.5-paal en de 6B8.5-palen zijn 152,4 mm breed, de 315.7 paal is 76,2 mm breed en de INP-140-paal is 66 mm breed. De W6x8.5-paal en de 6B8.5-palen zijn ongeveer 2,3 maal zo breed dan de beide andere palen. De krachten op deze paal zijn dus te groot in vergelijking met de andere twee palen. Of dit een factor 2 zal zijn, is de vraag, maar de orde-grootte van de krachten komt wel redelijk overeen met de krachten van de beide andere palen.

Tabel 2. Overzicht van de uit de literatuur verzamelde gegevens van de I-profiel-palen.

In *Tabel 3* op de hiernavolgende bladzijde zijn de uit *Tabel 2* verzamelde gegevens van de W6x8.5-paal en de 6B8.5-paal met een factor 2 verkleind. Na deze verkleining zijn de gemiddelde waarden uitgerekend.

De momentarm wordt in beide tabellen op 1 meter gesteld, 0,7 meter onder maaiveld en 0,3 meter boven maaiveld.

In overleg met de Bouwdienst is besloten de paalafstand te handhaven op de voorgestelde paalafstanden. Hiervoor zijn drie redenen:

- de berm blijft ongeroerd (tijdens de renovatie van de N65 worden de bermen niet wezenlijk veranderd) ;
- er is weinig uitbuigruimte;
- er is geen verstijving in de elementen nodig;
- het geeft meer zekerheid dat de uitbuiging van de MHS-barrier binnen de beschikbare uitbuigruimte zal blijven.

Paaltype	Grondsoort	Kracht		Moment	Stijfh. grond	Verplaatsing paal	
		Piek	Gemid.			[m]	[m]
Factor 2 kleiner		[kN]	[kN]	[kNm]	[kN/m]	[m]	[m]
W6x8.5 [Rossen]	zand		13,3	13,3			
			9,85	9,85			
6B8.5 [Michie]	zand	31,46	15,35	15,35			
		34,1	18,26	18,26			
		35,2	17,6	17,6			
		33,66	14,3	14,3			
315.7 [Michie]	zand	21,56	14,96	14,96			
		22,0	15,4	15,4			
		24,2	12,76	12,76			
		28,6	19,8	19,8			
INP 140 [Faber]	zand	19,4	16,5	16,5			0,517
		14,55	14,55	14,55			
		13,6	13,6	13,6			0,726
		23,2	18,4	18,4			0,846
gem. paalweerstand		25,13	15,33	15,33	400		0,7
max. paalweerstand		35,2	19,8	19,8	400		0,846
min. paalweerstand		13,6	9,85	9,85	280		0,517

Tabel 3. Overzicht van de uit de literatuur verzamelde gegevens, omgewerkt naar de INP 140-paal.

In Tabel 4 worden de geselecteerde waarden van de paalweerstandgrootheden gegeven, die in de simulaties zullen worden toegepast. Deze waarden gelden voor de paalafstand van 1.333 mm. en 2.000 mm. In de simulatie wordt niet met de piekwaarden van de krachten gerekend.

	k	d	el+	b+	el-	b-
	[N/m]	[Ns/m]	[N]	[m]	[m]	[m]
kracht in x-as	-	-	-	-	-	-
kracht in y-as	4E5	-	1,8E4	0,7	-1,8E4	-0,7
kracht in z-as	-	-	-	-	-	-

Tabel 4. De geselecteerde waarden van de paalweerstandgrootheden die in de simulaties worden toegepast.

Opmerking 1

Voor de verklaring van de paalweerstandsgrootheden wordt verwezen naar Bijlage 3, Afbeelding B1. Voor de verklaring van de dempingsgrootheid (d) wordt verwezen naar Bijlage 4.

Opmerking 2

In de literatuur zijn palenproeven gevonden waarbij de paal ook om zijn andere as beproefd wordt. Deze proefresultaten geven een goed inzicht in de paalweerstand in de lengterichting van de paal gezien. De totale paal-

weerstand, in lengterichting van de barrier gezien, is zo groot, dat de minimaal te plaatsen lengte van de barrier (veel) kleiner kan zijn dan de 100 meter van de geleiderailconstructie. Een lengte van 50 meter lijkt voldoende.

6. De MHS-barrier

De MHS-barrier wordt in de *Afbeelding 3 t/m 6* in *Bijlage 1* weergegeven. De MHS-barrier is een ontwikkeling die is voortgekomen uit de hele stalen STEP-barrier. Het is echter de bedoeling deze in de berm van niet-autosnelwegen toe te passen. De bestaande geleiderailconstructies en STEP-barriers zijn ontworpen voor autosnelwegen en niet voor de niet-autosnelwegen. Deze constructies passen daardoor ook niet in het beeld van de niet-autosnelwegen en zijn vaak (veel) te breed en/of te hoog.

De MHS-barrier is veel lager (0,50 meter tegen 0,90 meter) en smaller (0,287 meter tegen 0,540 meter) dan de hele stalen STEP-barrier. Een ander groot verschil is dat de MHS-barrier via geheide INP-140-palen in de berm staat en de hele stalen STEP-barrier los op het wegdek staat, of met vier ankerbouten op de 'ondergrond' wordt verankerd.

Er zijn twee soorten MHS-barriers ontworpen: één met een elementlengte van 5,32 meter en een paalafstand van 1,333 meter, en één met een elementlengte van 6,0 meter en een paalafstand van 2,0 meter.

De hele stalen STEP-barrier is met goed gevolg 'full-scale' getest, de MHS-barrier niet. De simulaties moeten inzicht geven in de werking van de barrier.

6.1. Werking van de MHS-barrier

Tijdens de aanrijding worden de botskrachten via het Mini Halve STEP-profiel op de INP-140-palen en via de palen in de berm overgebracht. De INP-140-palen worden een meter in de berm geheid. Het STEP-profiel is door vier bouten M 16 4.6 aan de achterkant van de INP-140-palen bevestigd. Deze boutverbinding wordt tijdens een aanrijding het zwaarst belast. Alle botskrachten worden via deze verbindingen op de palen en via de palen in de berm overgebracht.

6.2. Modellerings MHS-barrier

Bij de 'vertaling' van de MHS-barrier in het simulatie-model worden de volgende aannamen gedaan:

- Gezien het verwachte starre karakter van de barrier, treedt er geen breuk op tijdens de aanrijding met de zware personenauto als gevolg van krachten in de drie richtingen in de elementverbinding.
- Per element zijn er minimaal drie boutverbindingen tussen het STEP-profiel en de palen, dus twaalf bouten. Tijdens de aanrijding met de zware personenauto treedt in deze verbindingen geen breuk op.
- Tijdens de verplaatsing van de paal door de grond treedt geen vervorming op in de paal.
- Het 'draaipunt' van de paal in de grond ligt op 70% van de paaldiepte in de grond.
- Dit 'draaipunt' verplaatst zich niet in de x- of y-richting tijdens de aanrijding door de grond.
- De paal kan wel uit de grond getrokken worden.
- Het element wordt als één geheel gezien, dus het Mini Halve STEP-profiel en INP-140-palen zijn niet afzonderlijk ingevoerd.

6.3. Modelling boutverbindingen

De boutverbinding tussen de elementen is als volgt gesimuleerd: de krachten en momenten in de drie richtingen worden in één punt (zwaartepunthoogte element) geconcentreerd. Deze punten worden in het verslag verder als POINT-verbinding aangeduid.

De paalweerstand wordt in het draaipunt van de paal in de berm gelegd. De krachten en momenten in de drie richtingen worden in dit punt (draaipunt) geconcentreerd. Deze punten worden in het verslag verder als POINT-verbinding aangeduid. In *Bijlage 3* wordt nader uitleg gegeven over de POINT-verbinding. Een overzicht van de POINT-verbindingen is weergegeven in *Afbeelding 7* van *Bijlage 1*.

In *Bijlage 4 (Modelling modelcomponenten van de MHS-barrier)* wordt nader ingegaan op de uitwerking en details van het voor de simulaties ontwikkelde specifieke model van de barrier.

7. De uitgevoerde simulaties

Het gedrag van de MHS-barrier is gesimuleerd aan de hand van de in de CEN-normen vermelde testcondities. De MHS-barrier moet voldoen aan het 'normal containment level' N1. De daarvoor vereiste test is de TB31. In overleg met de Bouwdienst Apeldoorn zijn vier simulaties vastgesteld. De simulaties zijn uitgevoerd met een zware personenauto (TB31) bij verschillende paalafstanden en -weerstanden en een bus (TB51). De simulatie met de bus wordt alleen uitgevoerd om een indruk te verkrijgen van de werking van de MHS-barrier en wordt niet meegenomen in de waardebeoordeling van de barrier.

Tabel 4 geeft een overzicht van de simulaties inclusief de inrijcondities.

Voertuig	Inrijnsnelheid	Inrijhoek	Massa	Botsenergie	Paalafstand
	[km/uur]	[graden]	[kg]	[kJm]	[m]
TB31	80	20	1.500	43	1,333
TB31	80	20	1.500	43	2,000
TB31	80	20	1.500	43	2,000*
TB51	70	20	13.000	288	1,333

* Circa 40 procent minder paalweerstand.

Tabel 4. Inrijcondities bij de vier uitgevoerde simulaties.

De MHS-barrier staat in de middenberm op 0,50 meter van de verharding. Er zijn twee varianten van de MHS-barrier gesimuleerd: één met een paalafstand van 1,333 meter en één met een paalafstand van 2,000 meter. De simulaties met de personenauto worden A, B en C genoemd en de simulatie met de bus D. De resultaten van de simulaties worden gegeven in *Bijlage 2A, 2B, 2C en 2D*. De simulatie-opstelling is weergegeven in *Afbeelding 8* in *Bijlage 1*.

7.1. Simulatie met de zware personenauto

7.1.1. Het 5,32 meter-element; paalafstand 1,333 meter

De afbeeldingen van de simulatie zijn ondergebracht in *Bijlage 2A (Afbeelding A1 t/m Afbeelding A9)*.

Uit de simulatie blijkt dat de MHS-barrier als een nagenoeg starre constructie reageert. De blijvende uitbuiging is erg klein, minder dan 2 centimeter. De dynamische uitbuiging is iets groter: 8 centimeter (zie *Afbeelding A9* in *Bijlage 2A*).

De belasting op de palen blijft eigenlijk in het stijfheidsgebied van de grond. Tijdens de aanrijding worden zes elementen in meer of mindere mate verplaatst, die na de aanrijding weer in hun oorspronkelijke stand terugveren (*Afbeelding A1* in *Bijlage 2A*).

De zware personenauto wordt in korte tijd omgeleid. De eigenlijke botsing duurt ongeveer 0,2 seconde. Bij het verlaten van de constructie heeft de personenauto een 'roll'-hoek van ongeveer 10 graden (zie *Afbeelding A2* in *Bijlage 2A*). Het rechter voorwiel klimt enigszins tegen de barrier op. De uitrijhoek bedraagt circa 3 graden, gemeten op de snelheidsvector. Het voertuig heeft ook een hoek van circa 4 graden. De uitrijnsnelheid

bedraagt ongeveer 72 km/uur (*Afbeelding A3* in *Bijlage 2A*). De ASI-waarde bedraagt 0,83 (*Afbeelding A6* in *Bijlage 2A*).

De belasting op de koppelingen in de botszone is weergegeven in *Afbeelding A7* (zie *Bijlage 2A*). De koppeling tussen elementen 13 en 14 wordt het zwaarst belast; de maximale dwarskracht bedraagt circa 100 kN (als piekbelasting) en het buigmoment om de z-as bedraagt maximaal circa 14 kNm. Zowel de krachten als de momenten blijven ver onder de ingevoerde waarden van *Tabel 1* in *Bijlage 4*.

De belasting op drie van de vier palen van element 14 zijn weergegeven in *Afbeelding A8* (zie *Bijlage 2A*). Uit de belastingsgrafieken blijkt dat de krachten en momenten zich voornamelijk in het elastische gebied bevinden.

7.1.2. *Het 6,000 meter-element, paalafstand 2,000 meter*

De afbeeldingen van de simulatie zijn ondergebracht in *Bijlage 2B* (*Afbeelding B1* t/m *Afbeelding B9*).

Uit de simulatie blijkt, dat de MHS-barrier als een nagenoeg starre constructie reageert. De blijvende uitbuiging is klein, minder dan 4 centimeter. De dynamische uitbuiging is iets groter, namelijk 10 centimeter (zie *Afbeelding B9*). De belasting op de palen blijft voornamelijk in het stijfheidsgebied van de grond en voor maar een klein gedeelte in het plastische gebied. Tijdens de aanrijding worden zes elementen in meer of mindere mate verplaatst, die na de aanrijding weer voor een groot gedeelte in hun oorspronkelijke stand terugveren (*Afbeelding B1*).

De zware personenauto wordt in korte tijd omgeleid. De eigenlijke botsing duurt ongeveer 0,2 seconde. Bij het verlaten van de constructie heeft de personenauto een 'roll'-hoek van ongeveer 15 graden (zie *Afbeelding B2*). De uitrijhoek bedraagt circa 3 graden, gemeten op de snelheidsvector; het voertuig heeft een hoek van circa 4 graden. De uitrijnsnelheid bedraagt ongeveer 72 km/uur (*Afbeelding B3*); de ASI-waarde bedraagt 0,80 (*Afbeelding B6*).

De belasting op de koppelingen in de botszone is weergegeven in *Afbeelding B7*. De koppeling tussen elementen 13 en 14 wordt het zwaarst belast; de maximale dwarskracht bedraagt circa 76 kN (als piekbelasting) en het buigmoment om de z-as bedraagt maximaal circa 21 kNm. Zowel de krachten als de momenten blijven ver onder de ingevoerde waarden van *Tabel 1* in *Bijlage 4*.

De belasting op de drie palen van element 14 is weergegeven in *Afbeelding B8*. Uit de belastingsgrafieken blijkt dat de krachten en momenten zich voornamelijk in het elastische gebied bevinden.

7.1.3. *Het 6,000 meter-element, paalafstand 2,000 meter, minder paalweerstand*

De afbeeldingen van de simulatie zijn ondergebracht in *Bijlage 2C* (*Afbeelding C1* t/m *Afbeelding C9*).

Uit de simulatie blijkt, dat de MHS-barrier als een nagenoeg starre constructie reageert. De blijvende uitbuiging is klein, 2 á 3 centimeter.

De dynamische uitbuiging is iets groter, namelijk 11 centimeter; zie *Afbeelding C9*. De belasting op de palen blijft voornamelijk in het stijfheidsgebied van de grond en voor een klein gedeelte in het plastische gebied. Tijdens de aanrijding worden zeven elementen in meer of mindere mate verplaatst, die na de aanrijding weer voor een groot gedeelte in hun oorspronkelijke stand terugveren (*Afbeelding C1*; de verplaatsingen zijn klein en daarom niet erg goed zichtbaar).

De zware personenauto wordt in korte tijd omgeleid. De eigenlijke botsing duurt ongeveer 0,2 seconde. Bij het verlaten van de constructie heeft de personenauto een 'roll'-hoek van ongeveer 15 graden (zie *Afbeelding C2*). De uitrijhoek bedraagt circa 3 graden, gemeten op de snelheidsvector; het voertuig heeft een hoek van circa 4 graden. De uitrijnsnelheid bedraagt ongeveer 71 km/uur (*Afbeelding C3*); de ASI-waarde bedraagt 0,77 (*Afbeelding C6*).

De belasting op de koppelingen in de botszone is weergegeven in *Afbeelding C7*. De koppeling tussen elementen 14 en 15 wordt het zwaarst belast; de maximale dwarskracht bedraagt circa 97 kN (als piekbelasting) en het buigmoment om de z-as bedraagt maximaal circa 17 kNm. Zowel de krachten als de momenten blijven ver onder de ingevoerde waarden van de *Tabel 1 van Bijlage 4*.

De belasting op de drie palen van element 15 zijn weergegeven in *Afbeelding C8*. Uit de belastingsgrafieken blijkt, dat de krachten en momenten zich voornamelijk in het elastische gebied bevinden.

7.2. Simulatie met de bus

7.2.1. Het 5,32 meter-element, paalafstand 1,333 meter

De afbeeldingen van de simulatie zijn ondergebracht in *Bijlage 2D (Afbeelding D1 t/m Afbeelding D8)*.

Uit de simulatie blijkt dat de MHS-barrier deze als 'zwaar' aan te merken aanrijding qua sterkte redelijk doorstaat; qua geleiding van de bus is dit niet het geval: er vindt een roll-over plaats. De blijvende uitbuiging bedraagt ongeveer 18 centimeter van element 15. De dynamische uitbuiging is groter, namelijk 34 centimeter (zie *Afbeelding D8*). Er worden tijdens de aanrijding 9 elementen in meer of mindere mate verplaatst (*Afbeelding D1*).

De bus wordt in korte tijd omgeleid. De eigenlijke botsing duurt ongeveer 1,0 seconde. Gedurende de primaire aanrijding blijft de 'roll'-hoek beperkt tot ongeveer 8 graden. Na het 'rear-end effect', wordt de 'roll'-hoek snel groter; de bus rolt op de zijkant (zie *Afbeelding D2*).

De belasting op de koppelingen in de botszone is weergegeven in *Afbeelding D6*. De koppeling tussen elementen 14 en 15 wordt het zwaarst belast: de maximale dwarskracht bedraagt circa 160 kN (als piekbelasting) en het buigmoment om de z-as bedraagt maximaal circa 16 kNm. Zowel de krachten als de momenten blijven onder de ingevoerde waarden van *Tabel 1 in Bijlage 4*.

De belasting op drie van de vier palen van element 14 is weergegeven in *Afbeelding D7*. Uit de belastingsgrafieken blijkt dat de krachten en momenten binnen de opgegeven waarden blijven, met uitzondering van het moment om de x-as. Dit moment bevindt zich in het plastische gedeelte. Uit de verplaatsingsgrafieken (*Afbeelding D8*) van de elementen 13, 14 en 15 blijkt dat het zogenoemde 'rear-end effect' grote invloed heeft op de grootte van de uitbuiging. Tijdens de primaire botsing (voorkant bus) wordt de uitbuiging circa 15 centimeter. Tijdens de secundaire botsing, het 'rear-end effect' (achterkant bus) wordt de uitbuiging vergroot tot 34 centimeter. De palen snijden hierbij over een afstand van ongeveer 20 centimeter door de grond.

7.3. Boutverbindingen

Bij de simulaties is de MHS-barrier als één geheel gesimuleerd. De boutverbinding tussen het Mini Halve STEP-profiel en de palen is niet apart in

de simulatie opgenomen. Deze benadering vereenvoudigt de berekening en geeft meer numerieke stabiliteit tijdens het simuleren.

Tijdens de aanrijding worden de botskrachten tussen voertuig en barrier-profiel via deze boutverbindingen op de palen en in de berm overgebracht. Deze boutverbindingen moeten dus sterk genoeg zijn om dit te kunnen doen. Uit de CEN-norm prEN 1317-1 blijkt dat voor de zware personenauto tijdens een aanrijding tegen een min of meer starre constructie (uitbuiging tot maximaal 10 cm) gerekend wordt met een gemiddelde botskracht van 59,2 kN. Voor een aanrijding met de bus geldt een gemiddelde botskracht van 116,8 kN, bij een uitbuiging van de constructie van maximaal 40 centimeter. Tevens wordt vermeld dat de piekkracht een factor 2,5 hoger kan liggen. Dit levert piekkrachten op van 148 kN voor de zware personenauto en 292 kN voor de aanrijding met de bus.

Uit de simulaties met de zware personenauto blijkt, dat de personenauto een piekkracht van 240 kN tijdens het ‘rear-end effect’ op de MHS-barrier met een paalafstand van 1,333 meter uitoefent. Tijdens de primaire botsing is deze piekkracht 165 kN (zie *Afbeelding A5* in *Bijlage 2A*).

Voor de MHS-barrier met een paalafstand van 2,000 meter gelden respectievelijk de volgende waarden: 170 kN en 150 kN (zie *Afbeelding B5*). Voor de MHS-barrier met een paalafstand van 2,000 meter en 40 procent verminderde paalweerstand gelden de volgende waarden: 180 kN en 145 kN (zie *Afbeelding C5* in *Bijlage 2C*). De duur van deze piekbelastingen bedraagt ongeveer 0,05 seconde.

Uit de simulaties met de bus blijkt dat de bus een piekkracht van 280 kN tijdens het ‘rear-end effect’ op de MHS-barrier met een paalafstand van 1,333 meter uitoefent. Tijdens de primaire botsing is deze piekkracht 255 kN (zie *Afbeelding D5* in *Bijlage 2D*).

De duur van deze piekbelastingen bedraagt ongeveer 0,3 seconde.

Per boutverbinding van het Mini Halve STEP-profiel aan de paal zijn vier M16 4.2 bouten aanwezig. Per 5,32 meter element met paalafstand van 1,333 meter betekent dit $4 \times 4 = 16$ bouten. Per 6,0 meter element met paalafstand van 2,000 meter betekent dit $4 \times 3 = 12$ bouten. Per boutverbinding kan de volgende maximale trekkracht worden opgevangen:

$$F_v = A_b \sigma_t n$$

Hieruit volgt, met $A_b = 1,57E-4 \text{ m}^2$, $\sigma_t = 400E6 \text{ N/m}^2$ en $n = 4$ bouten:

$$F_v \text{ is } 251 \text{ kN}$$

In *Tabel 5* zijn alle waarden verzameld.

Full scale test		prEN 1317-1/2		Simulatiekrachten		Sterkte bout- verbinding
TB31	TB51	TB31	TB51	primair	secundair	
		[kN]	[kN]	[kN]	[kN]	[kN]
2A		150		165	240	250
2B		150		150	170	250
2C		150		145	180	250
	2D		290	255	280	250

Tabel 5. De in de CEN-norm vermelde piekwaarden en de gesimuleerde waarden.

De hier vermelde krachten zijn de optredende piekwaarden die kunnen optreden (prEN) of zijn gesimuleerd.

Uit de waarden van de tabel blijkt dat één boutverbinding tussen het Mini Halve STEP-profiel en een paal de TB3 1-test kan doorstaan. Vervormingen in de boutverbinding tijdens de piekbelasting lijken echter waarschijnlijk wanneer de botskrachten tijdens de aanrijding over twee of meer boutverbindingen verdeeld worden.

Voor de aanrijding met de bus geldt dat de botskrachten voor één boutverbinding te groot zijn. Grote vervormingen dan wel een breuk zijn waarschijnlijk afhankelijk van de piekduur.

8. Conclusies

Uit de resultaten van de simulaties met de zware personenauto blijkt dat de MHS-barrier de aanrijdingen goed doorstaat. De statische uitbuiging bedraagt circa 2 à 3 cm; de dynamische uitbuiging bedraagt ongeveer maximaal 11 cm. De voertuigbewegingen blijven binnen redelijke grenzen: maximale rolhoek is circa 15 graden, de dumphoek is circa 5 graden en de gierhoek 4 graden. De uitrijhoek is klein: maximaal 3 graden. Tijdens de aanrijding klimt het botsende voorwiel enigszins tegen de MHS-barrier op. Beide voorwielen komen los van de weg. Net na het 'rear-end effect' komt de zware personenauto met de vier wielen even los van de weg. De verschillen tussen de paalafstand van 1,333 meter (*Bijlage 2A*) en 2,000 meter (*Bijlage 2B*) zijn klein. Ook de resultaten van de simulatie met 40 procent verminderde paalweerstand (*Bijlage 2C*) wijken maar weinig af. De oorzaak van deze kleine verschillen ligt naar alle waarschijnlijkheid in de werking van de palen. De weerstand van de palen blijft voornamelijk in het elastische gebied van de grondweerstand; doorsnijding van de palen door de grond vindt nauwelijks plaats.

Uit de resultaten van de simulatie met de bus (*Bijlage 2D*) blijkt dat de MHS-barrier de aanrijding met de bus redelijk doorstaat. De bus rijdt niet door de MHS-barrier heen. De boutverbindingen tussen de elementen onderling en tussen het Mini Halve STEP-profiel en de palen worden wel zwaar belast: er treedt vervorming en/of breuk op. De statische uitbuiging bedraagt ongeveer 18 cm; de dynamische uitbuiging bedraagt circa 34 cm. Door de geringe hoogte van de MHS-barrier vindt een roll-over van de bus plaats.

De aanrijding met de bus is alleen gesimuleerd om de sterkte van de MHS-barrier te testen. Het geleidend vermogen voor dergelijke aanrijdingen is niet getest. Gezien de hoogte van de barrier is een roll-over bij een inrijhoek van 20 graden met een zwaar voertuig voorspelbaar.

De TB51-aanrijding geldt voor autosnelwegen en is er erg zwaar voor de situatie op de N65. Een aanrijding met een kleinere inrijhoek kan tot (veel) betere resultaten leiden. Het is goed denkbaar, dat de constructie goed zal voldoen bij een TB42 aanrijding met een maximale botsenergie van 126 kNm.

Bovenstaande conclusies gelden voor de MHS-barrier in alle situaties met paalweerstand zoals in de simulaties zijn toegepast. Wordt de MHS-barrier toegepast in grondsoorten met andere paalweerstand, dan zijn andere conclusies mogelijk.

Conclusies samengevat

Kort samengevat, kunnen de volgende conclusies uit het simulatie-onderzoek worden getrokken.

- De MHS-barrier reageert, bij de twee gekozen paalweerstand, als een starre constructie op de aanrijding met de zware personenauto (TB31). De maximale (dynamische) uitbuiging bedraagt 11 centimeter.
- De voertuigbewegingen zijn acceptabel; de maximale rolhoek bedraagt ongeveer 15 graden. De zware personenauto komt even met de vier wielen los van de grond.

- De zware personenauto wordt in korte tijd (circa 0,2 seconde) omgeleid. De ASI-waarden blijven daarbij binnen het niveau A = 1,0 (prEN 1317-1) namelijk respectievelijk ASI = 0,83; 0,80 en 0,77.
- Er moet rekening worden gehouden met enige vervorming van een boutverbinding tussen het Mini Halve STEP-profiel en een paal.
- Tijdens de aanrijding met de zware personenauto bevindt de paalweerstand zich voornamelijk in het elastische gebied van de grondweerstand. Doorsnijding van de palen door de grond vindt nauwelijks plaats.
- Bij de aanrijding met de bus (TB51) buigt de MHS-barrier bij de gekozen paalweerstand 34 centimeter uit.
- Er moet rekening worden gehouden met vervorming/breuk van de boutverbinding tussen het Mini Halve STEP-profiel en een paal.

Aanbevelingen

De grondsamenstelling in Nederland kan nogal verschillen qua samenstelling en dichtheid. Dit kan tot gevolg hebben dat er (grote) verschillen in paalweerstand mogelijk zijn. Deze verschillen hebben een rechtstreekse invloed op de werking van de MHS-barrier. Daarom wordt aanbevolen om nog enkele simulaties uit te voeren met andere (lagere) paalweerstand. Ook een MHS-barrier met een paalafstand van 4 meter lijkt, bij een aanrijding met een zware personenauto en bij voldoende paalweerstand, mogelijk. Bij een simulatie met deze paalafstand moet dan wel meer aandacht besteed worden aan de boutverbinding tussen het Mini Halve STEP-profiel en de paal.

Om de sterkte van de boutverbinding van het Mini Halve STEP-profiel en de paal groter te maken, wordt verlenging van de achterkant van het profiel aanbevolen. Deze is nu 170 mm. Verlenging van een 2 x 3 boutverbinding (in plaats van 2 x 2) wordt aanbevolen. Een bijkomend voordeel is dat ook de verbinding tussen de elementen onderling verbeterd kan worden. Er zijn meer bouten aanwezig, waardoor de verbinding een groter moment kan opnemen.

Literatuur

Calcote, L.R. & Kimball, C.E. (1978). *Properties of Guardrail Posts for Various Soil Types*. T.R.R. 679. National Research Council, Washington D.C.

Comité Européen de Normalisation (CEN) (1994a). *Road restraint systems; Part 1: Terminology and general criteria for tests methods*. Draft. Ref.No. PrEN 1317-1.

Comité Européen de Normalisation (CEN) (1994b). *Road restraint systems; Part 1: Safety barriers. Performance classes, impact test acceptance criteria and test methods*. Draft. Ref.No. PrEN 1317-2.

Ek, J.L.P. van (1964). *Resultaten onderzoek Cornell Laboratorium inzake middenbermbeveiligingsconstructies*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam.

Faber, E.F. (1965). *Valproeven op palen van middenbermbeveiligingen*. Rapport No. 356. Technische Hogeschool Delft.

Michie, J.D., Gatchell, C.J. & Duke, T.J. (1971). *Dynamic Evaluation of Timber Post for Highway Guardrails*. H.R.R. 343. National Research Council, Washington D.C.

Pol, W.H.M. van de (1970). *Palenproeven. MAXI-rapport hoofdstuk 9*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV, Leidschendam. [niet openbaar]

Pol, W.H.M. van de (1974). *Palenproeven ten behoeve van berm/brugbeveiligingsconstructies uitgevoerd door de SWOV met medewerking van IWECO-TNO onder de brug bij Maren en bij IWECO-TNO te Delft*. Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid. SWOV, Leidschendam. [niet openbaar]

Quincy, R., Mounier, B., Yagüe, N. & Mounier, H. (1996a). *STEP-barrier in steel SWOV*. L.I.E.R Laboratoire d'essais Inrets Equipements de la Route. SWO/STB-05/103.

Quincy, R., Mounier, B., Yagüe, N. & Mounier, H. (1996b). *STEP-barrier in steel SWOV*. L.I.E.R Laboratoire d'essais Inrets Equipements de la Route. SWO/STB-06/104.

Quincy, R., Mounier, B., Yagüe, N. & Mounier, H. (1996c). *STEP-barrier in steel SWOV*. L.I.E.R Laboratoire d'essais Inrets Equipements de la Route. SWO/STB-07/124.

Rohde, J.R., Rosson, T.R. & Smith, R. (1996). *Assessment of Guardrail-Strengthening Techniques*. T.R.R. 1528. Transportation Research Record.

Rosson, T.R., Bierman, M.G. & Rohde, J.R. (1996). *Assessment of Guardrail-Strengthening Techniques*. T.R.R. 1528. Transportation Research Record.

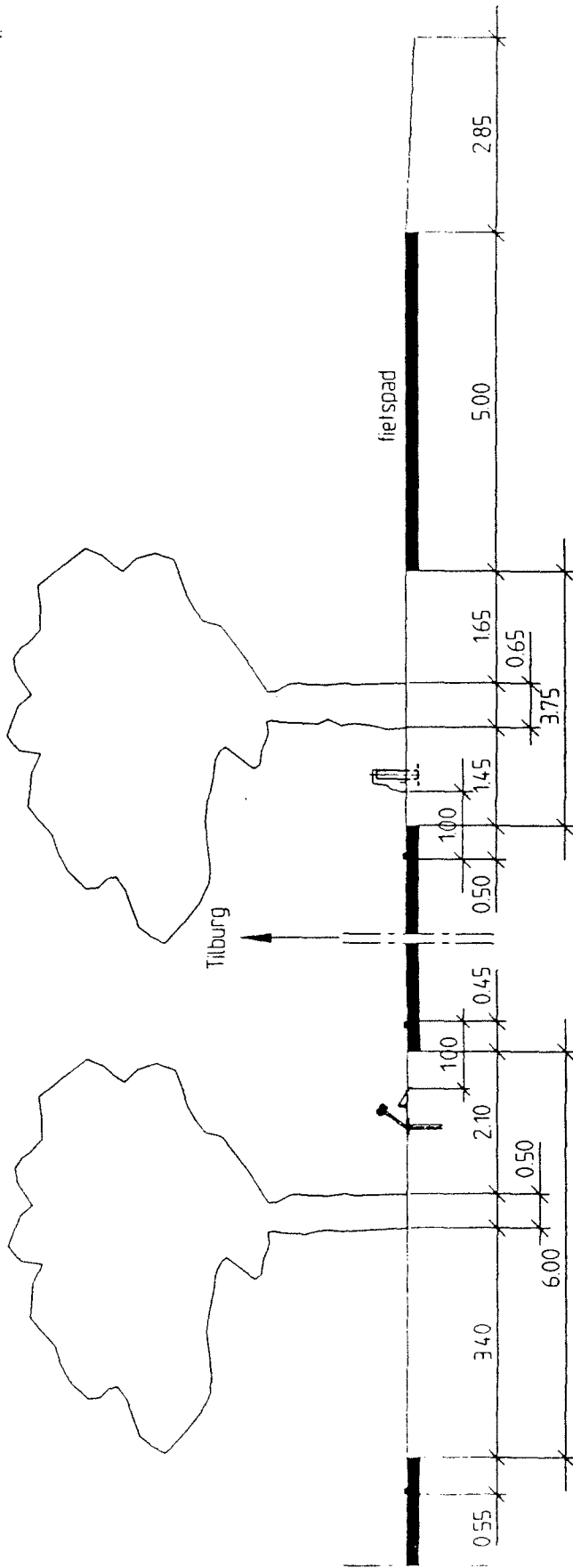
Bijlage 1 t/m 4

1. *Afbeeldingen 1 t/m 8*
- 2A. *Afbeeldingen 1 t/m 9*
- 2B. *Afbeeldingen 1 t/m 9*
- 2C. *Afbeeldingen 1 t/m 9*
- 2D. *Afbeeldingen 1 t/m 8*
3. *Korte beschrijving van de werking van het computerprogramma VEDYAC*
4. *Modellering modelcomponenten van de MHS-barrier*

Bijlage 1

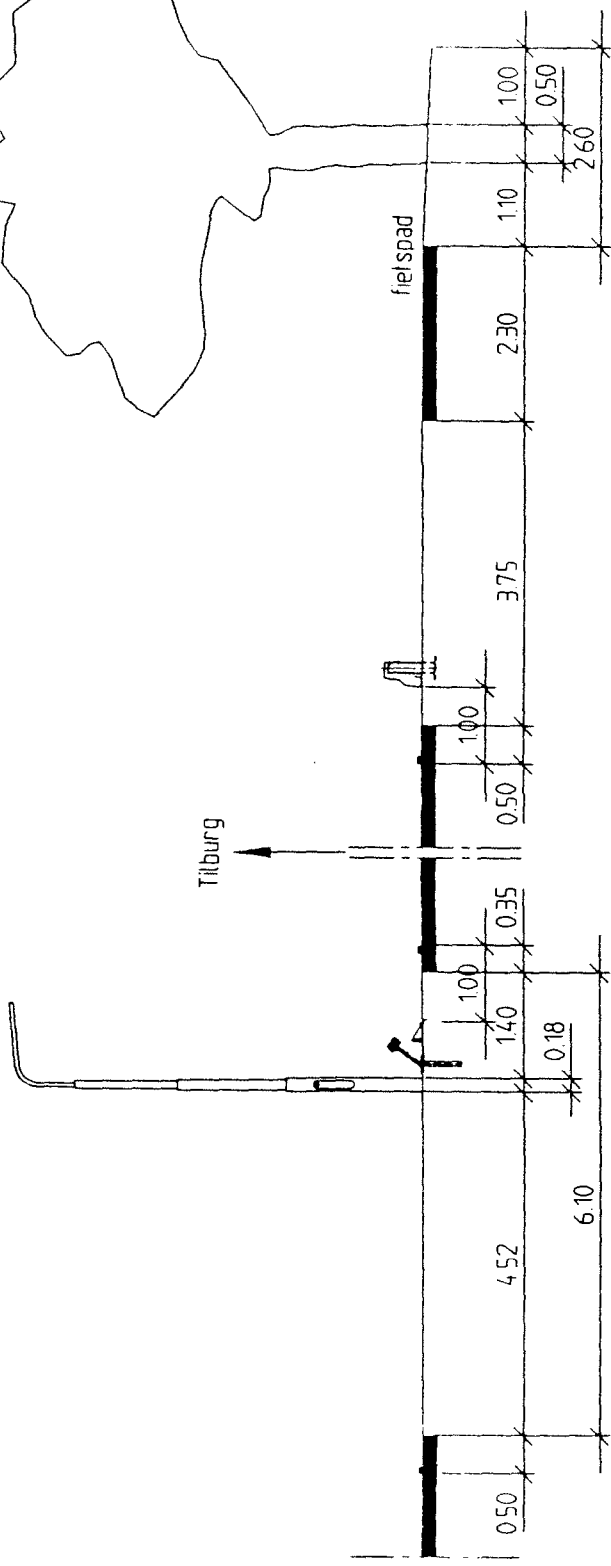
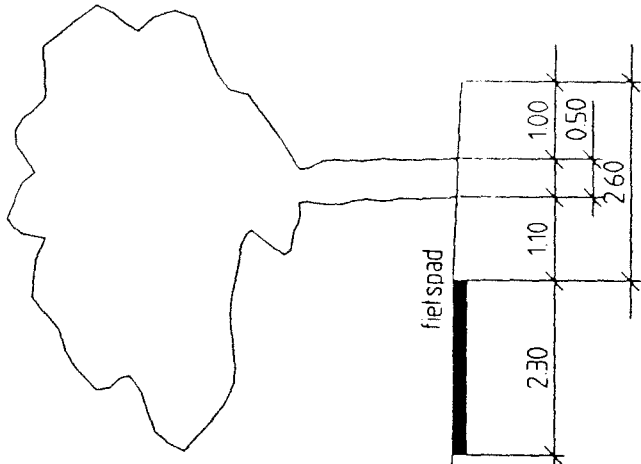
Afbeeldingen 1 t/m 8

1. *Overzicht dwarsdoorsnede N65 ter hoogte van km 6,113.*
2. *Overzicht dwarsdoorsnede N65 ter hoogte van km 7,895.*
3. *Overzicht element van de MHS-barrier, paalafstand 1,333 meter.*
4. *Aanzicht MHS-barrier.*
5. *Doorsnede MHS-barrier ter plaatse van een schets-plaat*
6. *Overzicht koppeling elementen MHS-barrier.*
7. *Overzicht POINT-verbindingen tussen de elementen en de palen in de berm met paalafstand van 1,333 meter.*
8. *Overzicht simulatie-opstelling MHS-barrier met een paalafstand van 1,333 meter.*



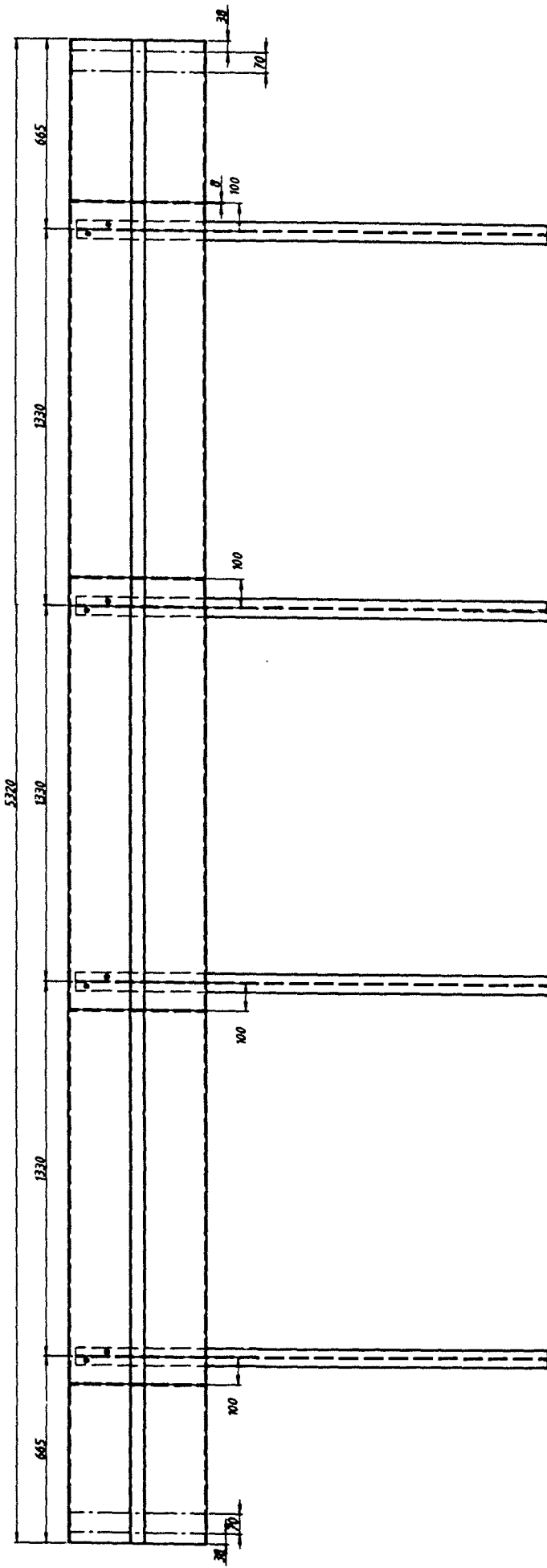
km 6.113

Abbeiding 1. Overzicht dwarsdoorsnede N65 ter hoogte van km 6.113.

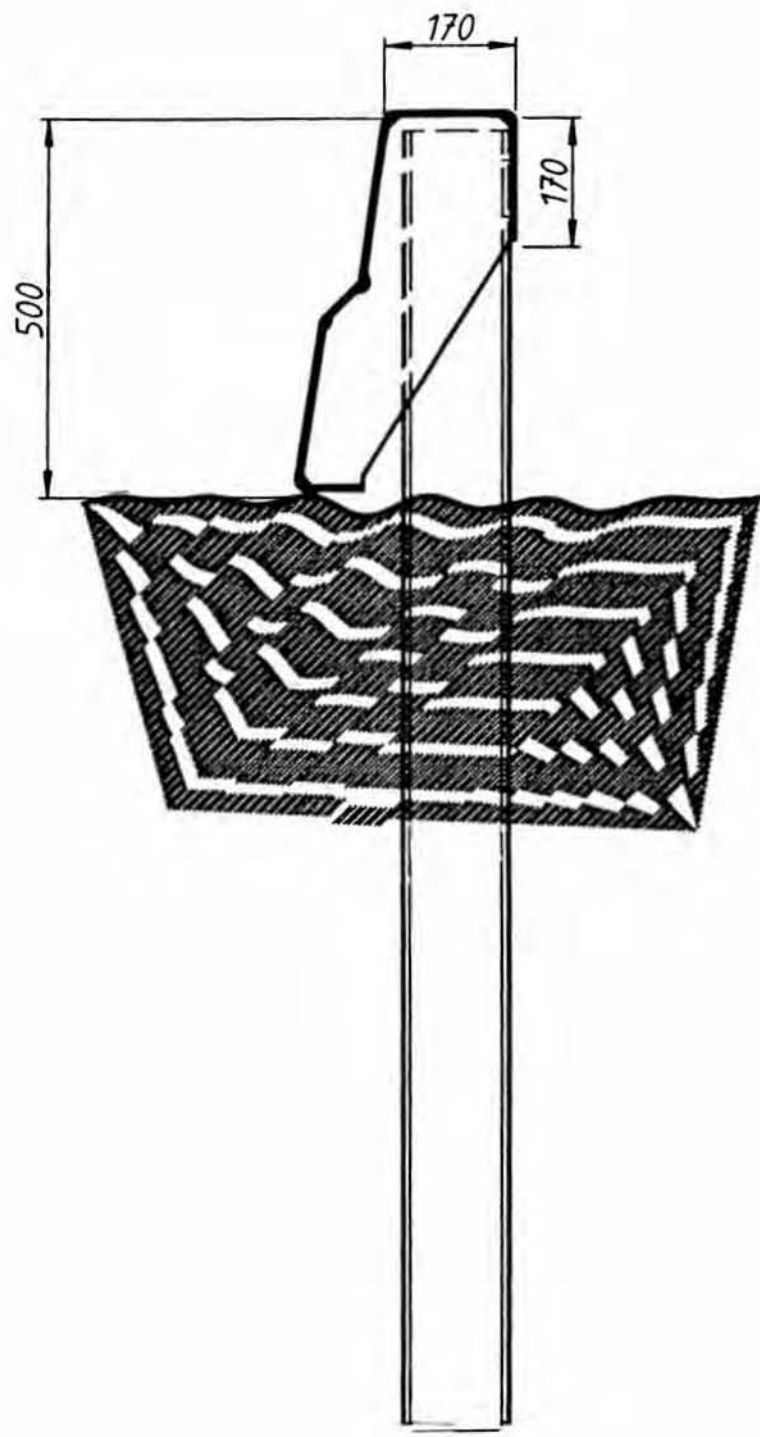


km 7.895

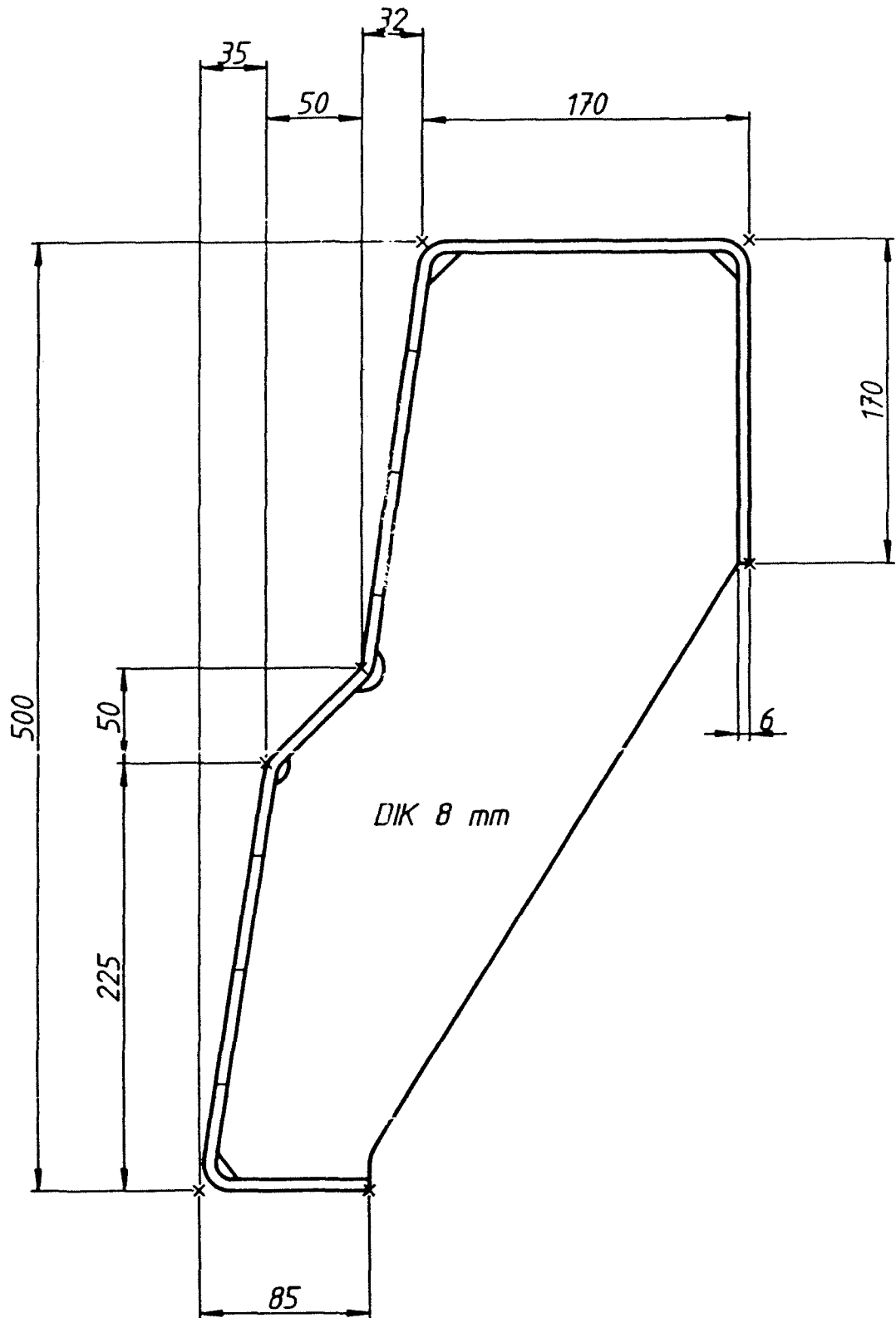
Abbeelding 2. Overzicht dwarsdoorsnede N65 ter hoogte van km 7.895.



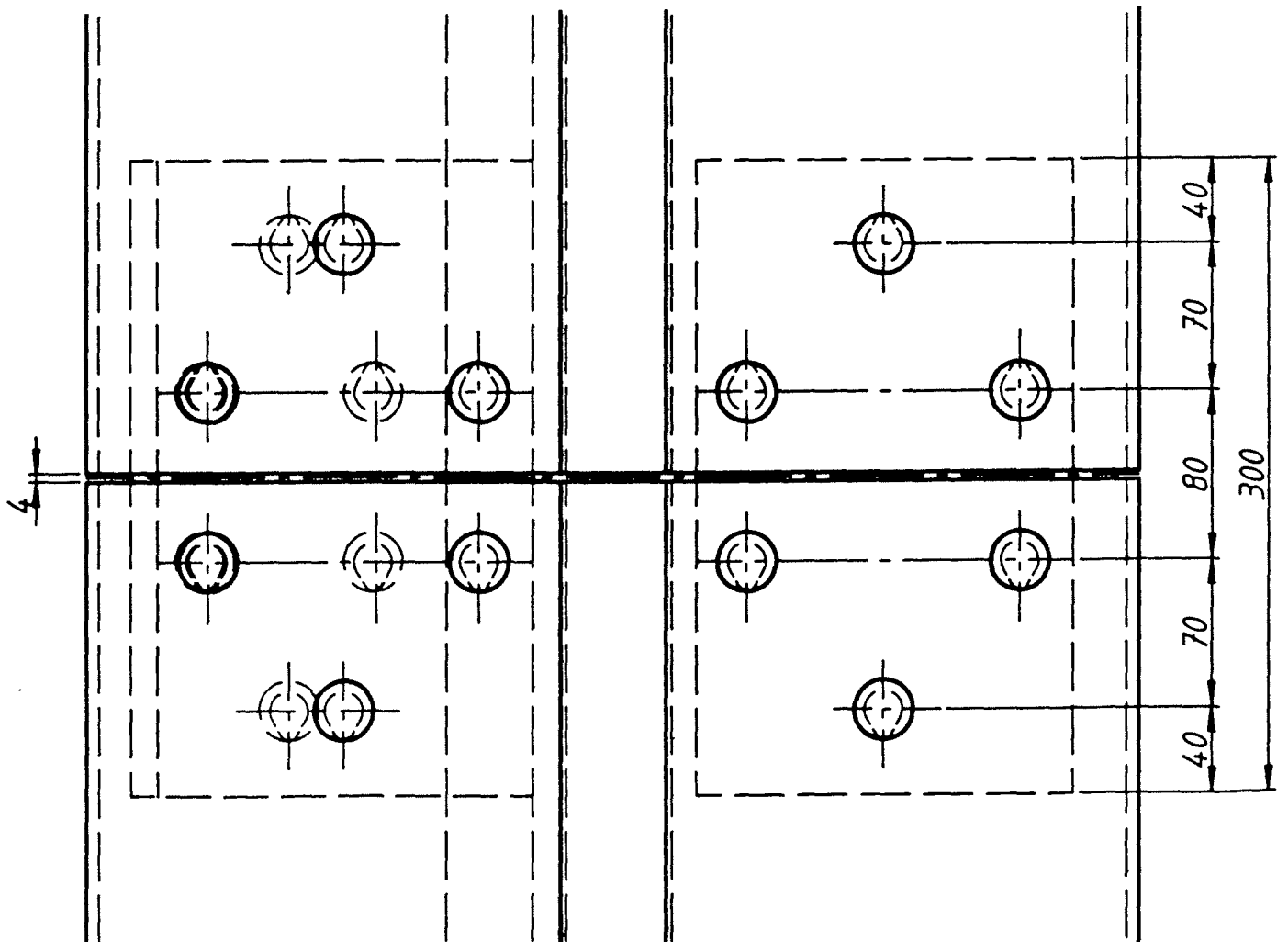
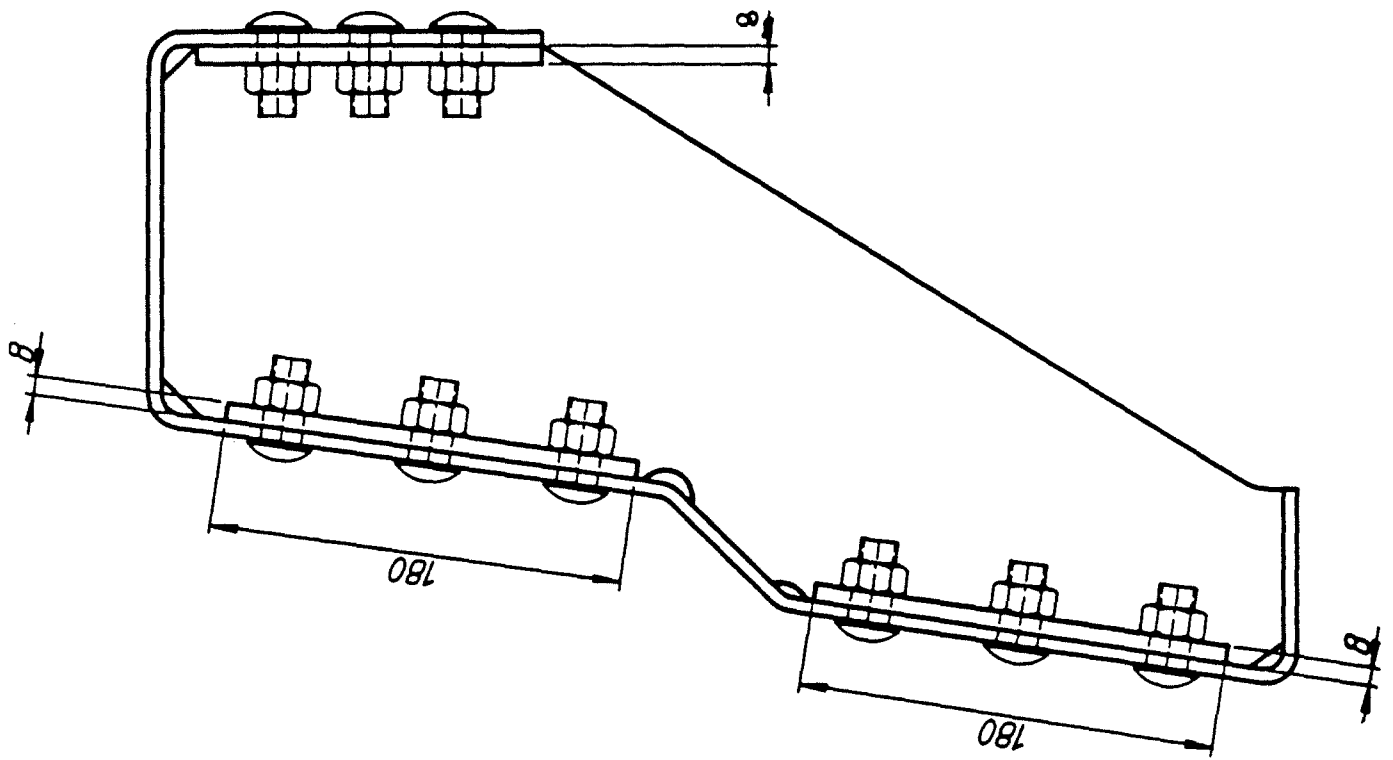
Abbeelding 3.0)verzicht element van de Mini Halve Step-barrier, paaafstand 1,333 meter.



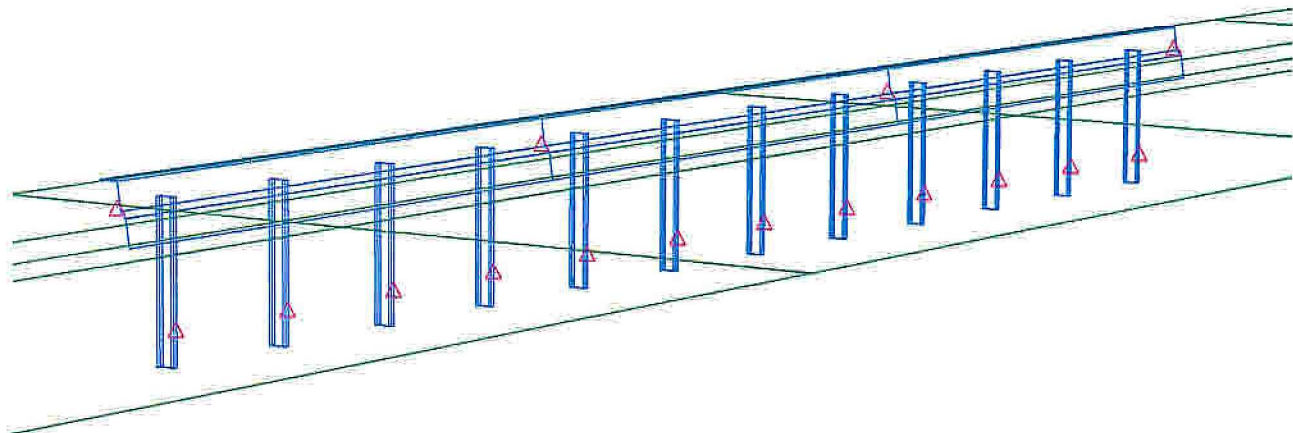
Afbeelding 4. Aanzicht Mini Halve Step-barrier.



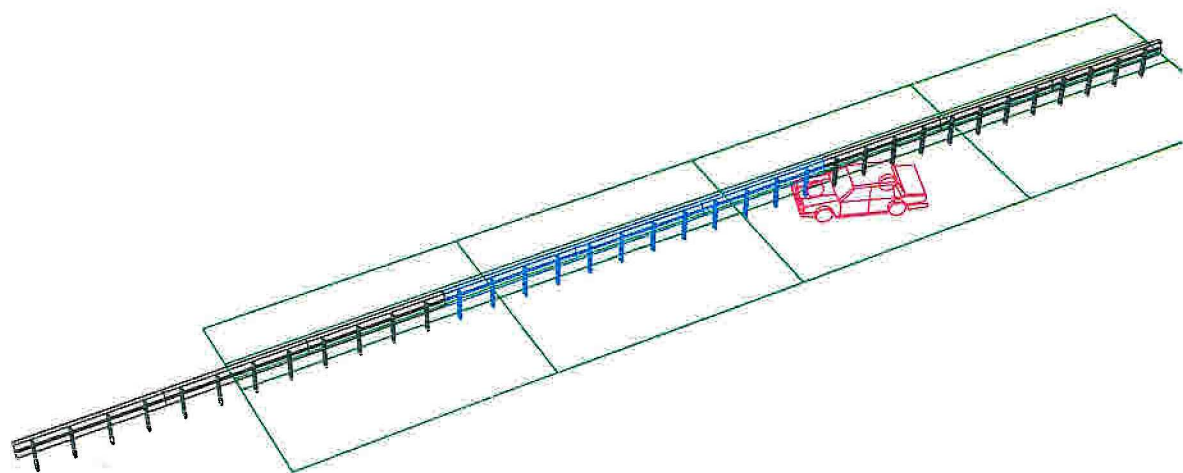
Afbeelding 5. Doorsnede Mini Halve Step-barrier ter plaatse van een schets-plaat



Abbeelding 6. Overzicht koppeling elementen Mimihalve Step-barrier.



Afbeelding 7. Overzicht POINT-verbindingen tussen de elementen en de palen in de berm met paalafstand van 1,333 meter.



Afbeelding 8. Overzicht simulatie-opstelling Mini Halve Step-barrier met een paalafstand van 1,333 meter.

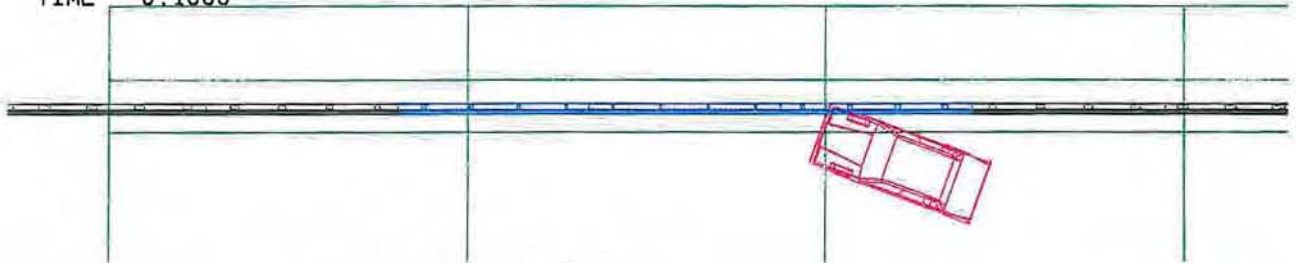
Simulatie met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, elementlengte 5,320 meter en paalafstand 1,333 meter.

- A1. *Overzicht aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve STEP-barrier, paalafstand 1.333 mm*
- A2. *Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*
- A3. *Verloop van de snelheid tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*
- A4. *Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*
- A5. *Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*
- A6. *De ASI-waarde in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*
- A7. *Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 13/14, 14/15 en 15/16 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*
- A8. *Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 14 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*
- A9. *Verloop van de uitbuiging van de elementen 13, 14 en 15 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 1.333 mm.*

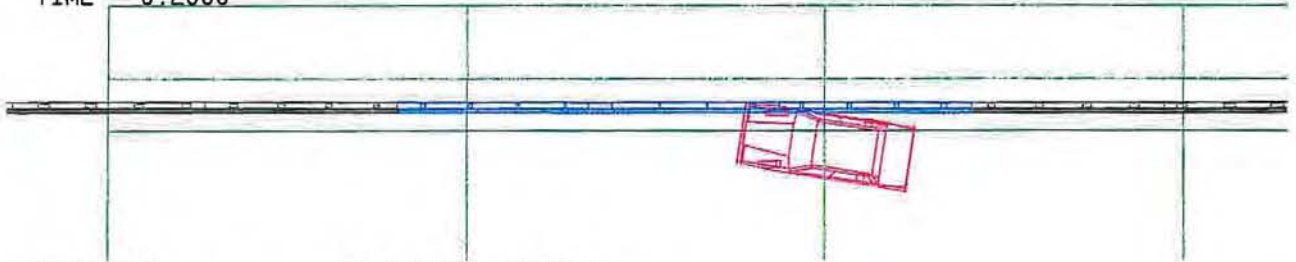
TB31_133 20-JAN-98 10: 15: 37
TIME 0.0000



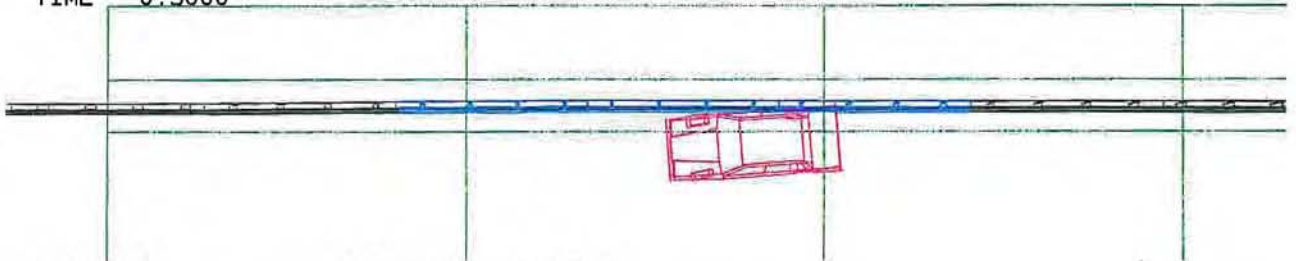
TB31_133 20-JAN-98 10: 15: 37
TIME 0.1000



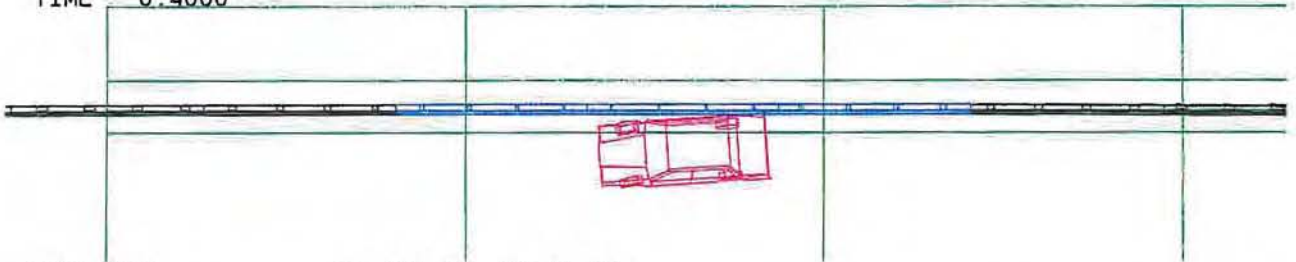
TB31_133 20-JAN-98 10: 15: 37
TIME 0.2000



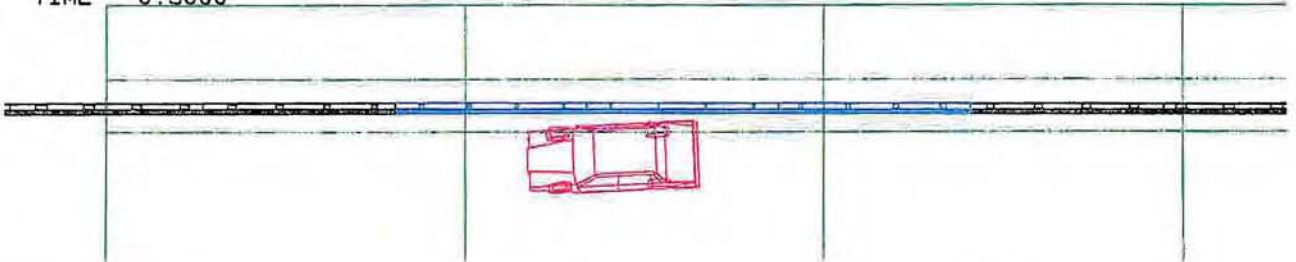
TB31_133 20-JAN-98 10: 15: 37
TIME 0.3000



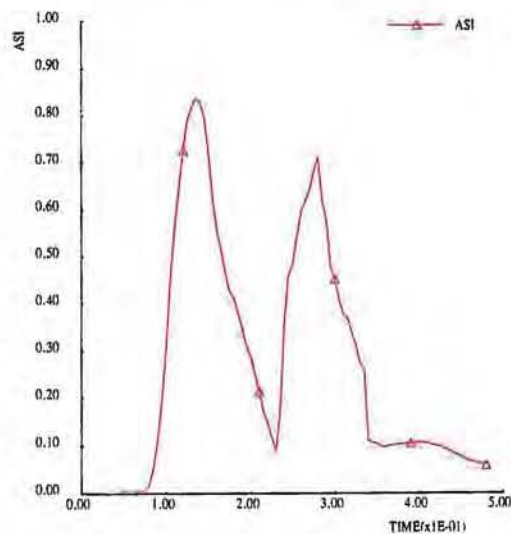
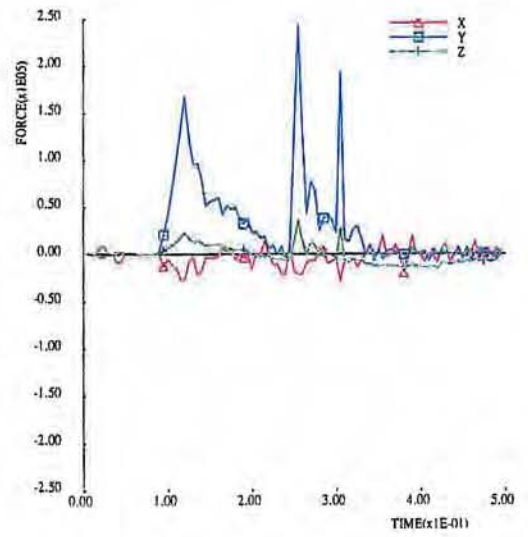
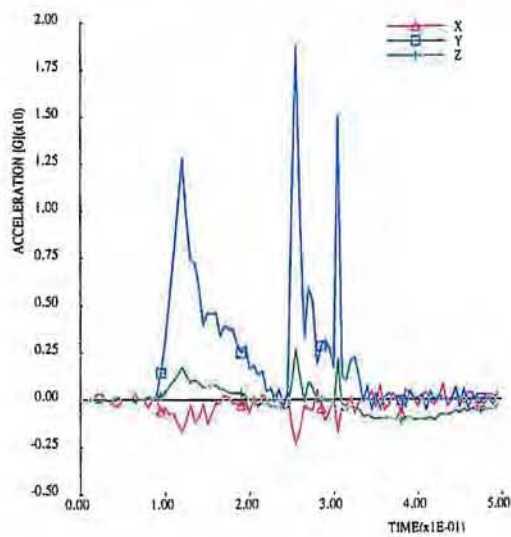
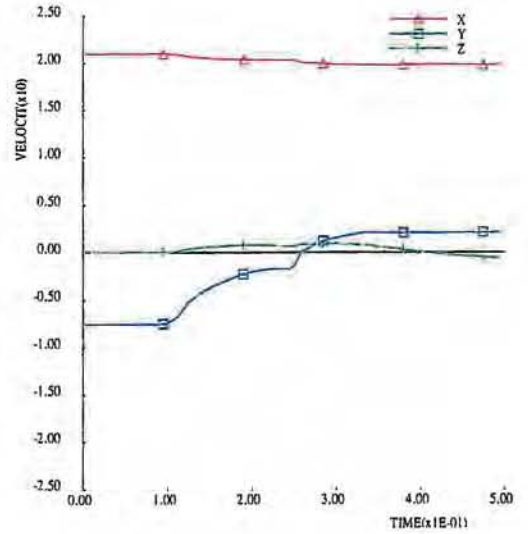
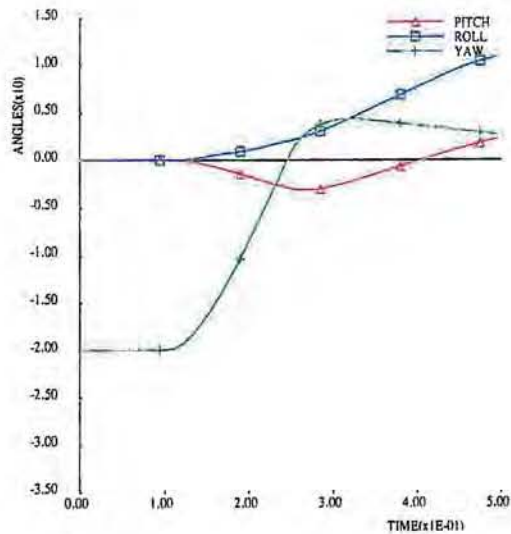
TB31_133 20-JAN-98 10: 15: 37
TIME 0.4000



TB31_133 20-JAN-98 10: 15: 37
TIME 0.5000



Afbeelding A1. *Overzicht aanrijding met de zwarte personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paallafstand 1333 mm.*



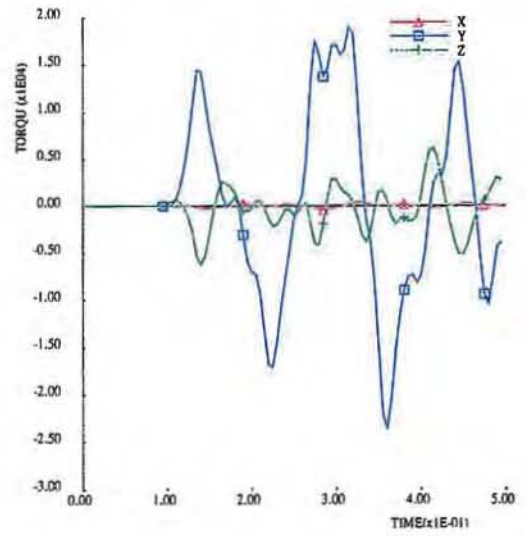
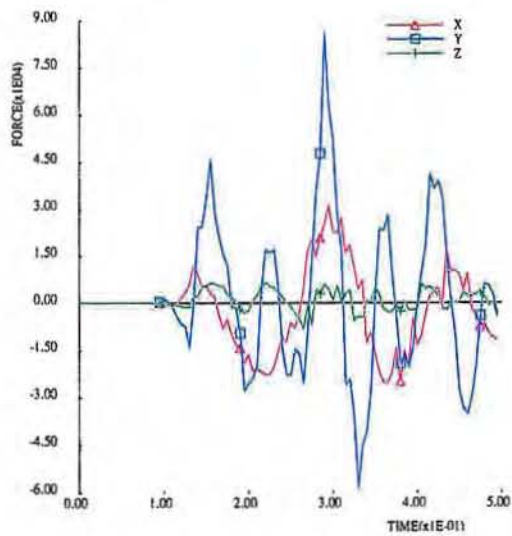
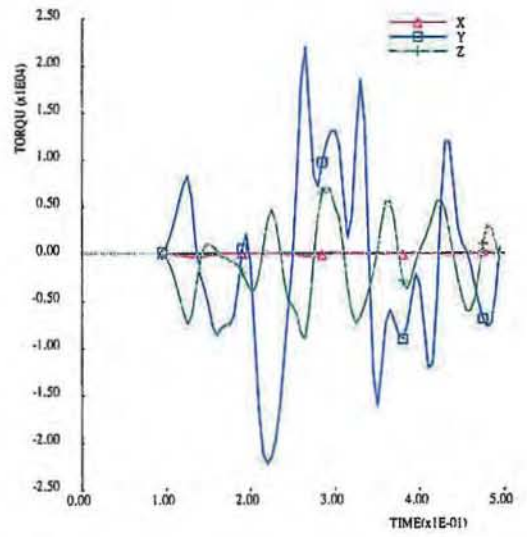
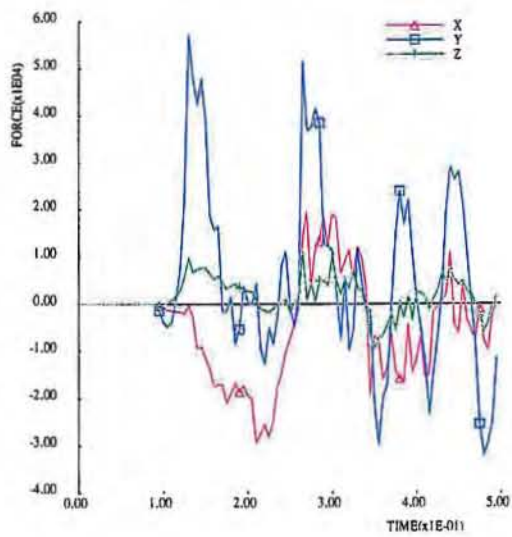
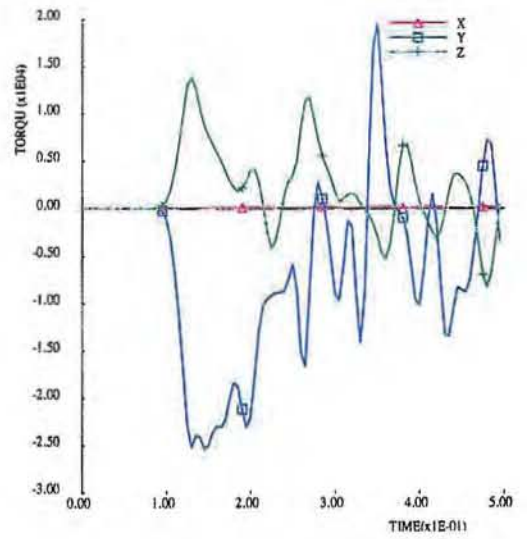
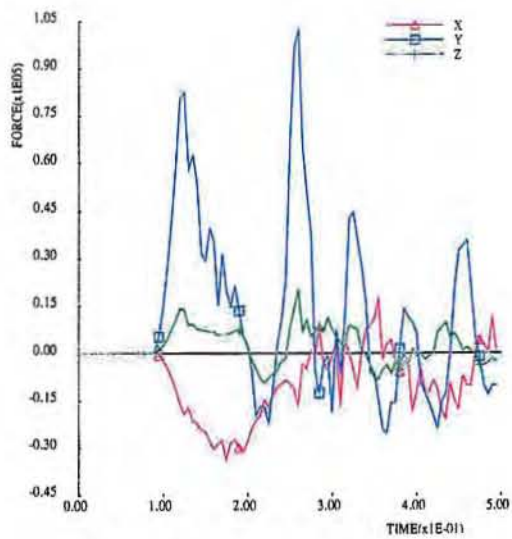
Afbeelding A2. Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

Afbeelding A3. Verloop van de snelheid tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

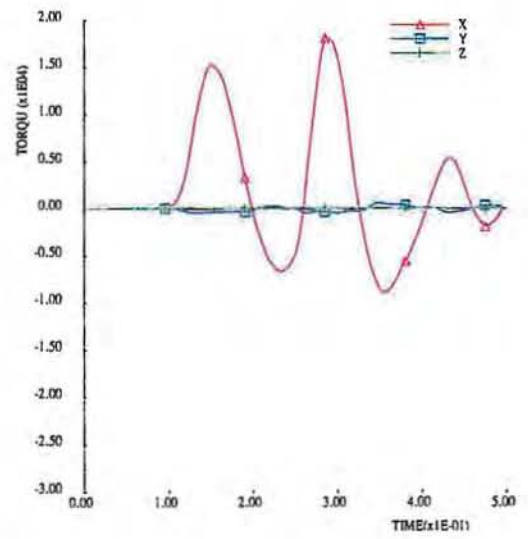
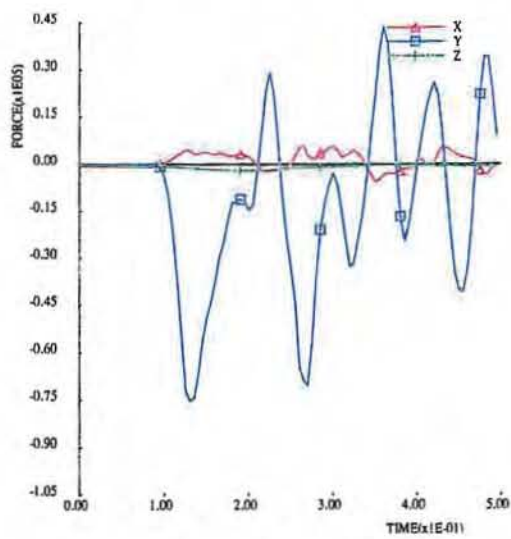
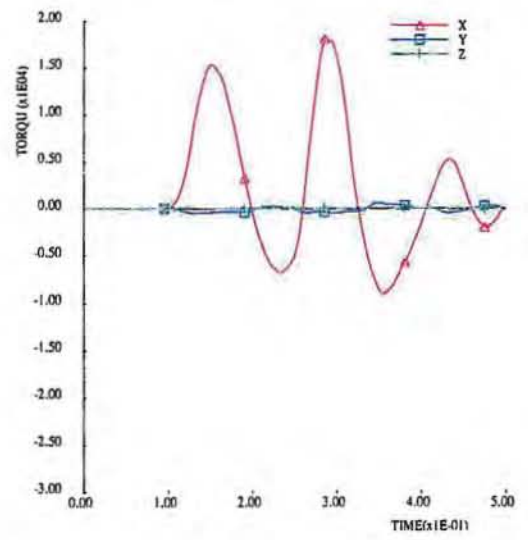
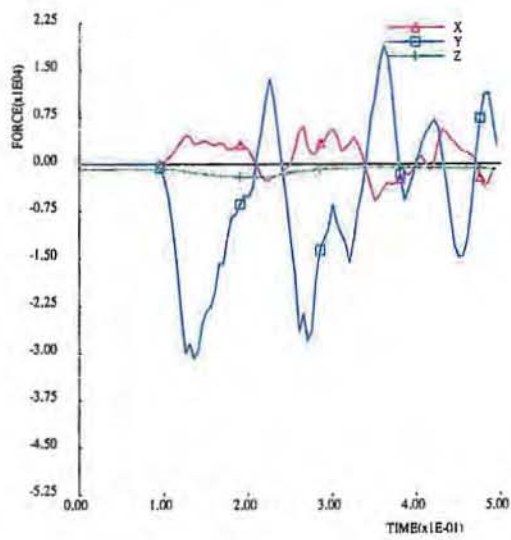
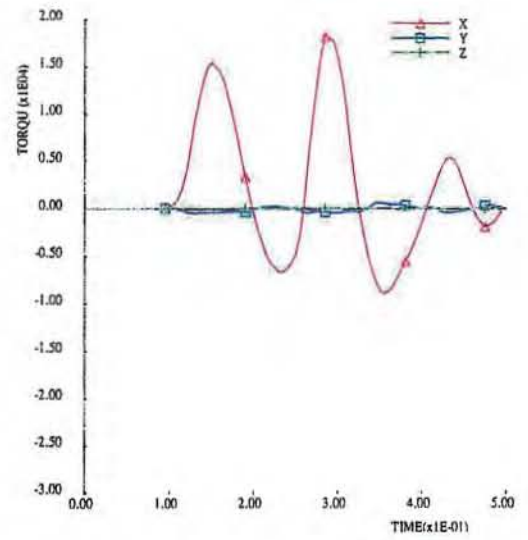
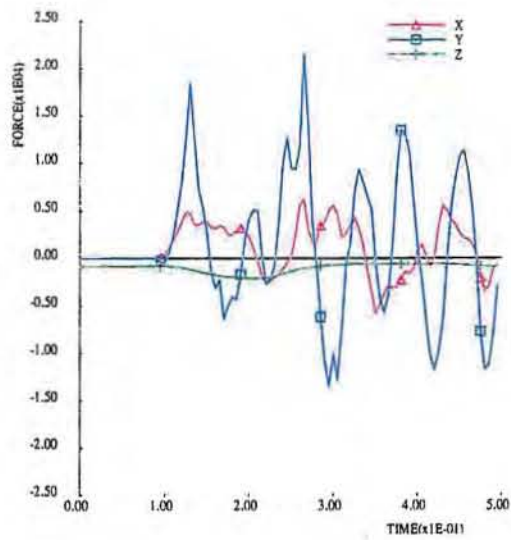
Afbeelding A4. Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

Afbeelding A5. Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de halve stalen STEP-barrier, stijfstand 1333 mm.

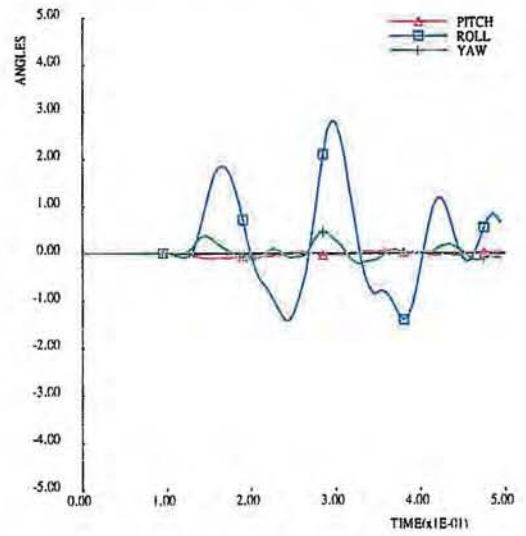
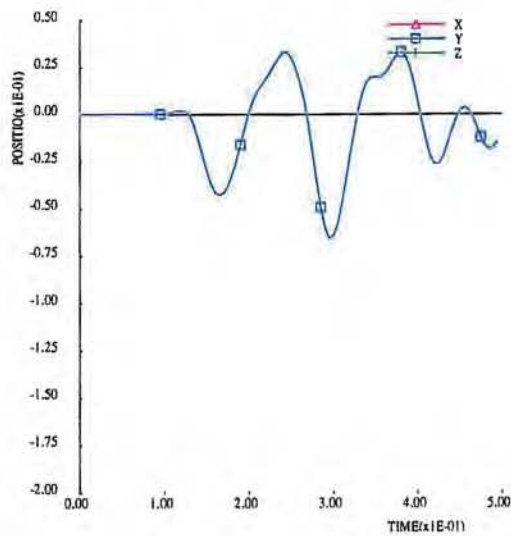
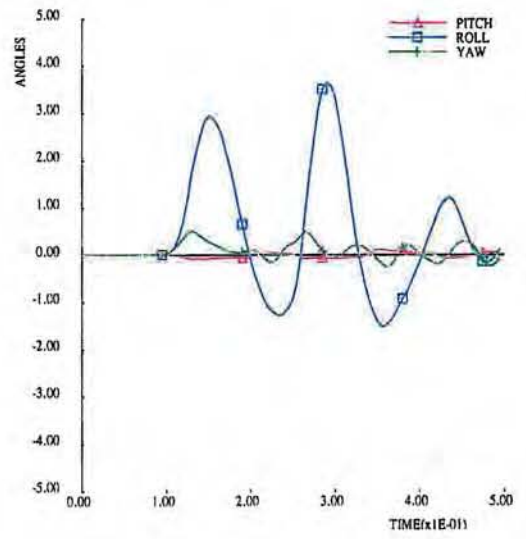
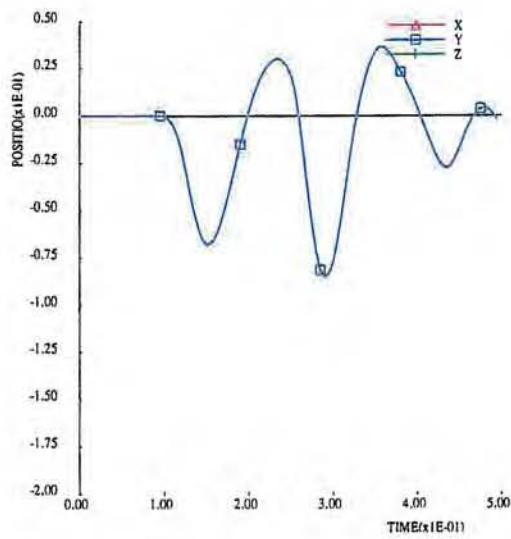
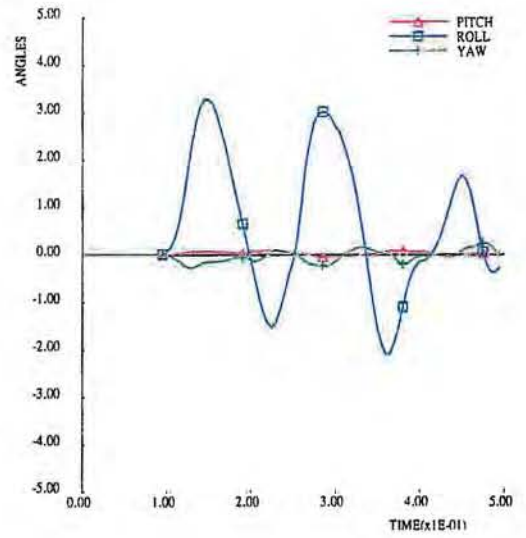
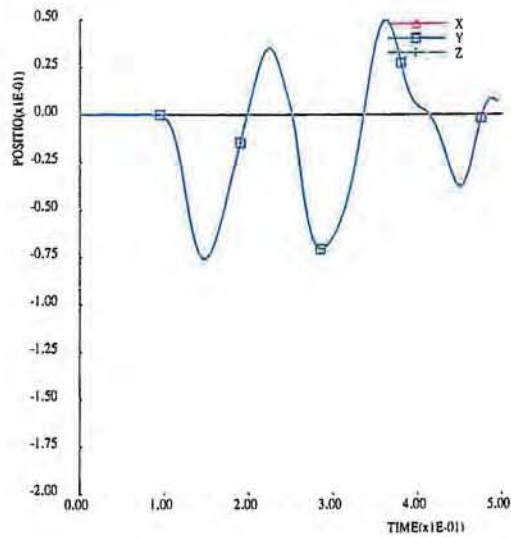
Afbeelding A6. Verloop van de ASI-waarde in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.



Abbeiding A7. Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 13/14, 14/15 en 15/16 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.



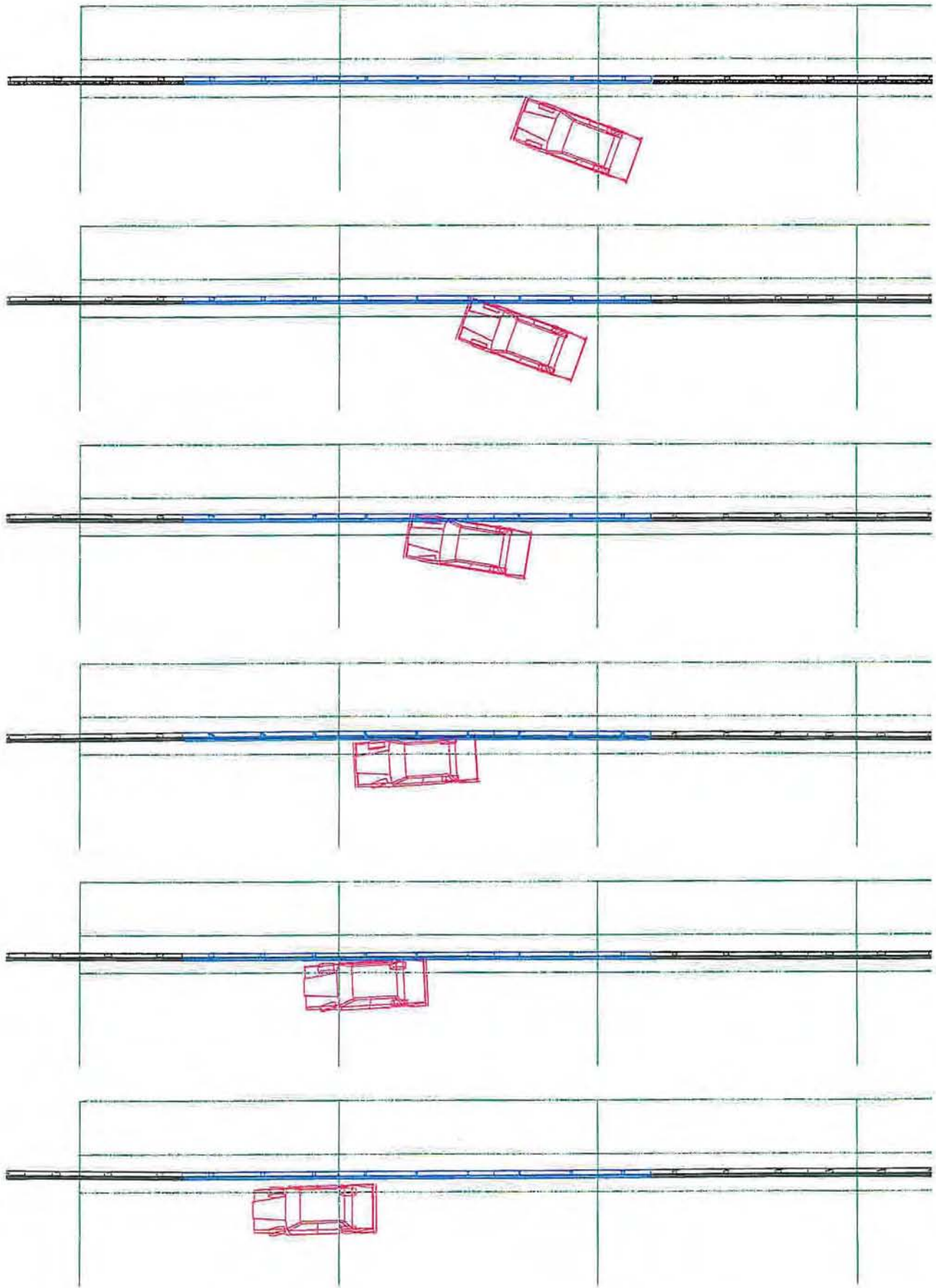
Afbeelding A8. Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 14 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.



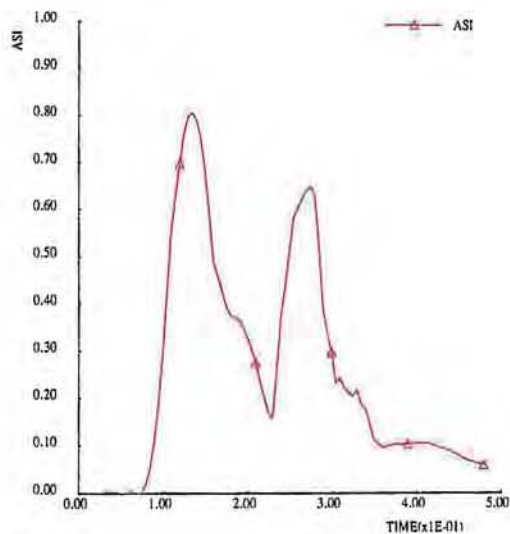
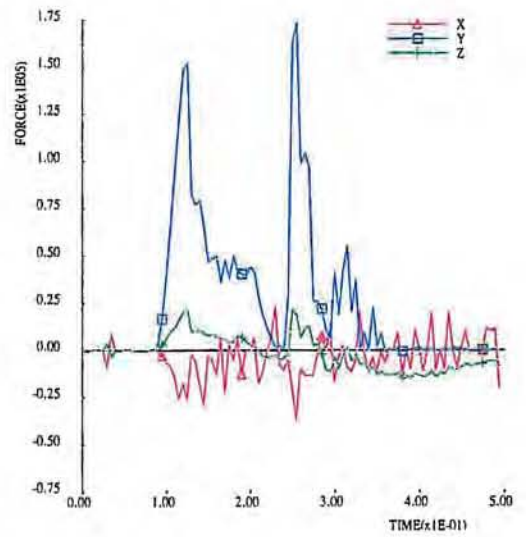
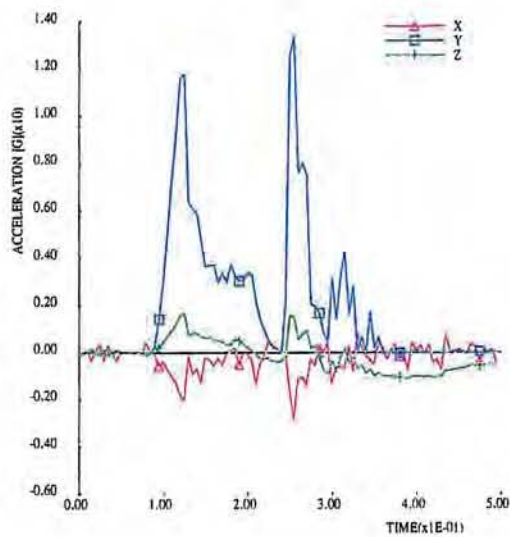
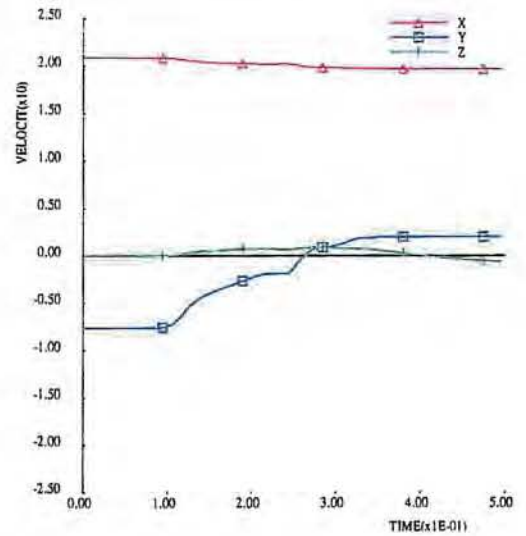
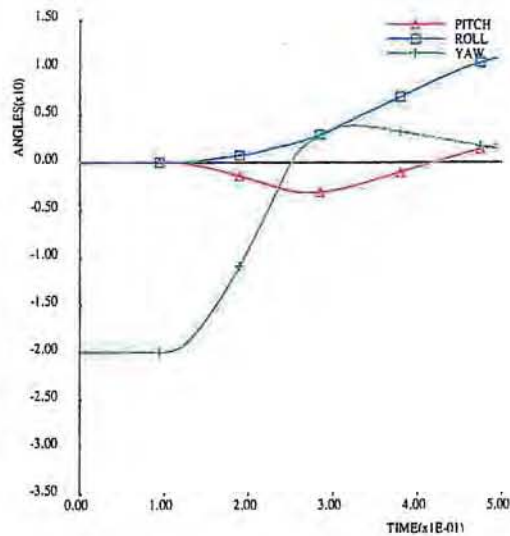
Afbeelding A9. Verloop van de uitbuiging van de elementen 13, 14 en 15 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

Simulatie met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, elementlengte 6,000 meter en paalafstand 2,000 meter.

- B1. *Overzicht aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve STEP-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B2. *Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B3. *Verloop van de snelheid tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B4. *Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B5. *Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B6. *De ASI-waarde in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B7. *Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 13/14, 14/15 en 15/16 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B8. *Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 14 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- B9. *Verloop van de uitbuiging van de elementen 13, 14 en 15 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*



Abbeelding B1. *Overzicht aanrijding met de zwarte personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paallafstand 2000 mm.*



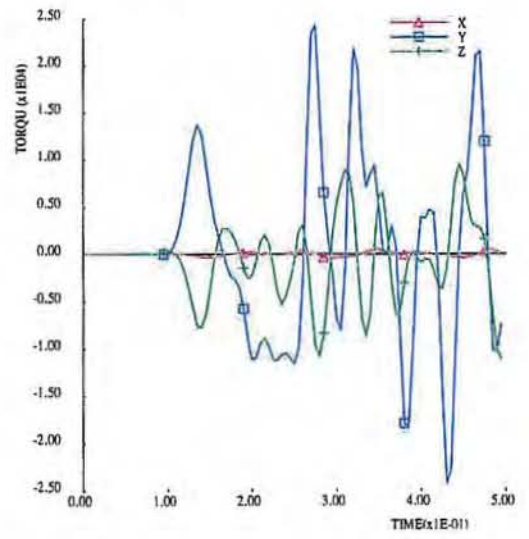
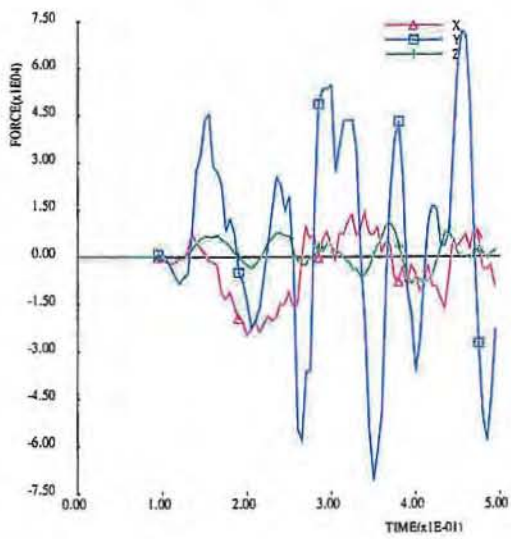
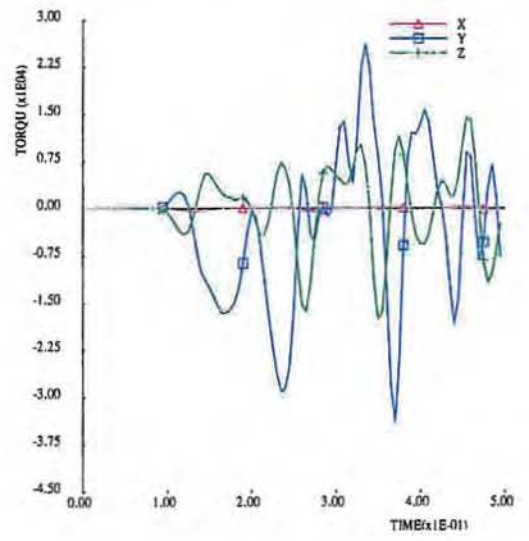
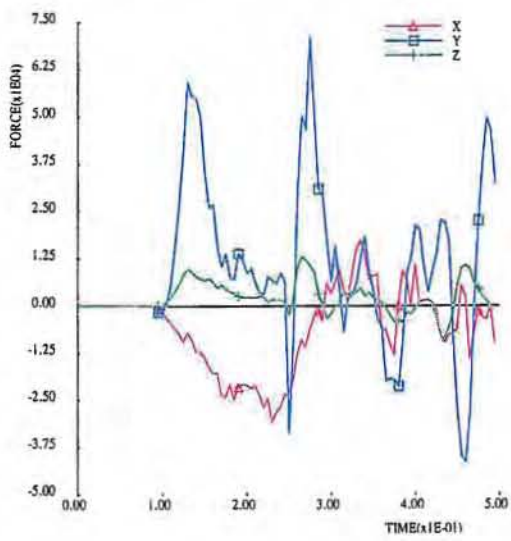
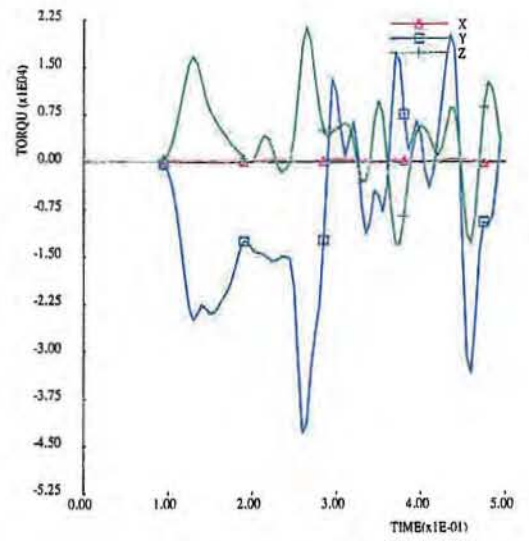
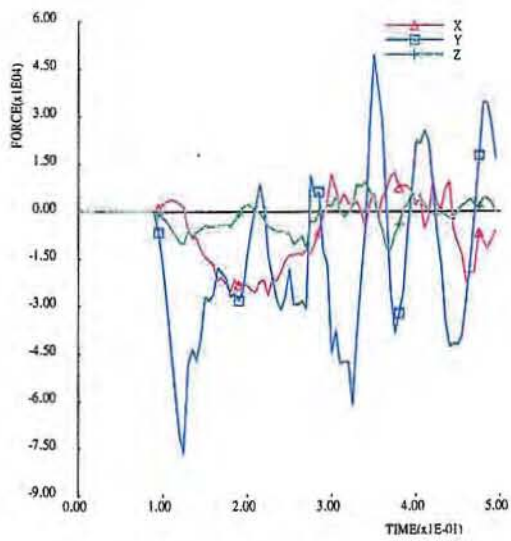
Afbeelding B2. Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.

Afbeelding B3. Verloop van de snelheid tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.

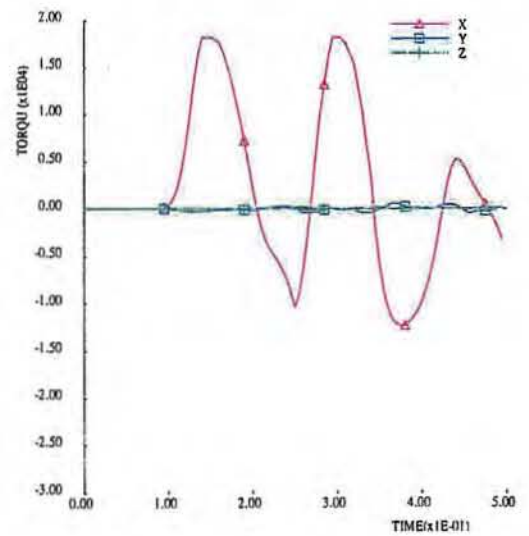
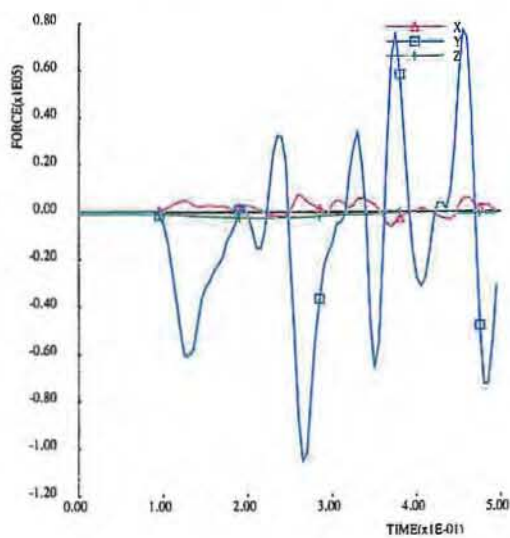
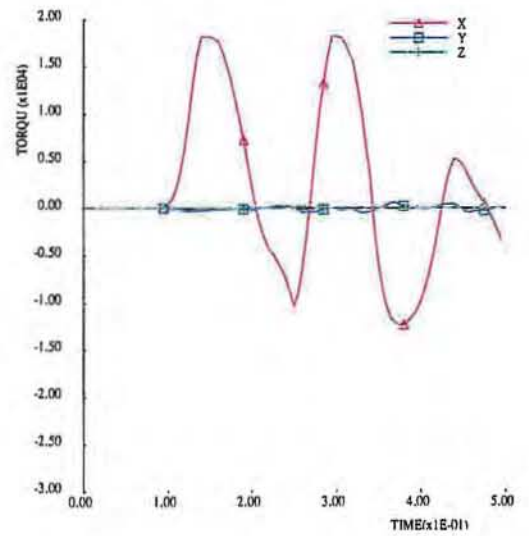
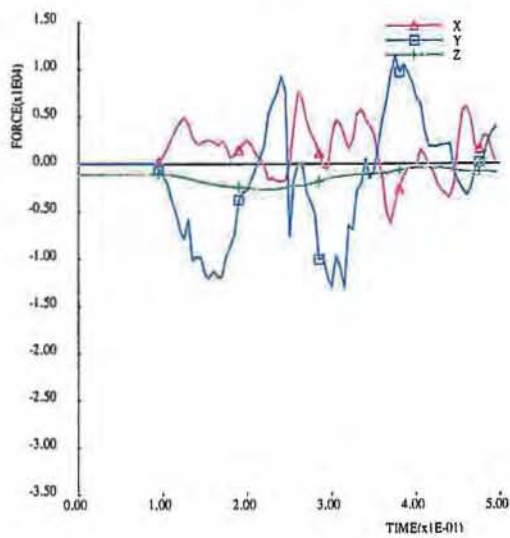
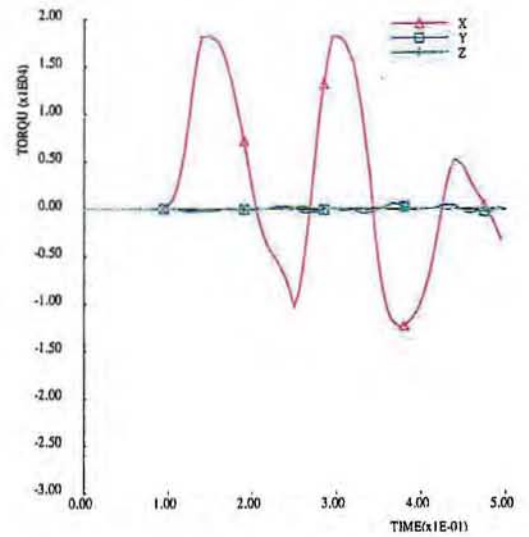
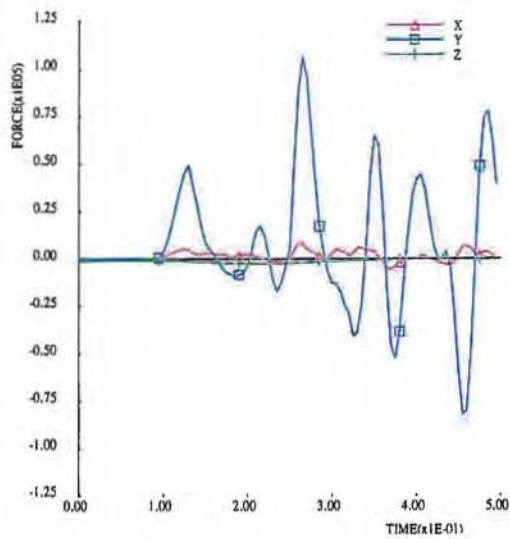
Afbeelding B4. Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.

Afbeelding B5. Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de halve stalen STEP-barrier, stijlfstand 2000 mm.

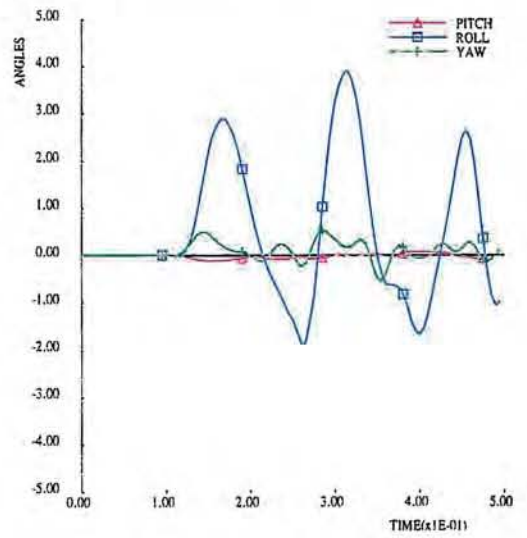
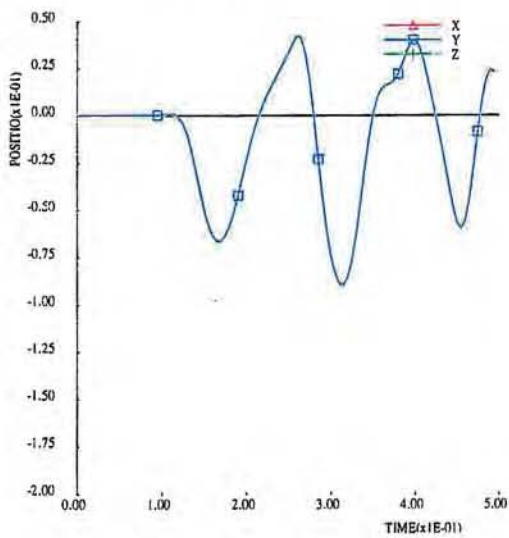
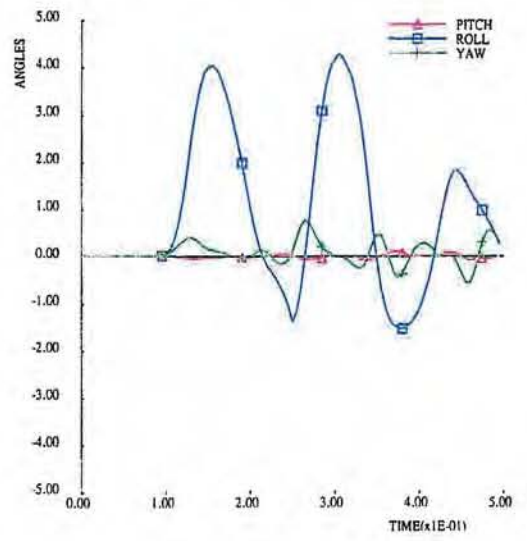
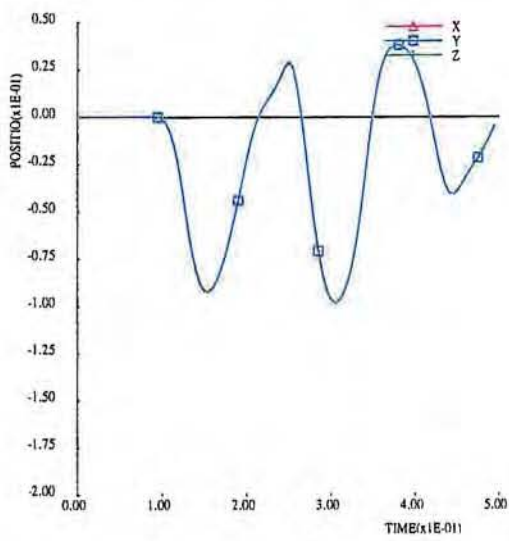
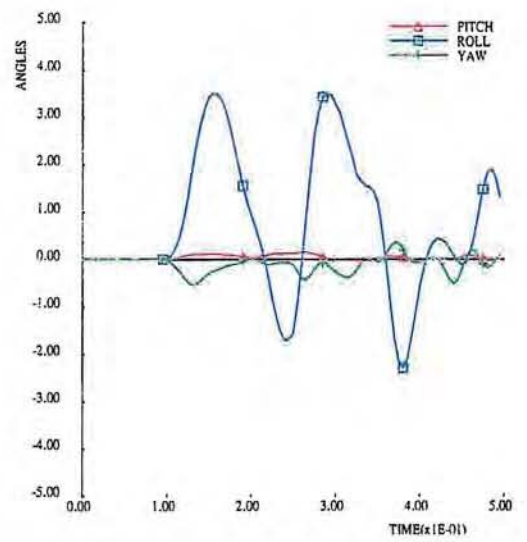
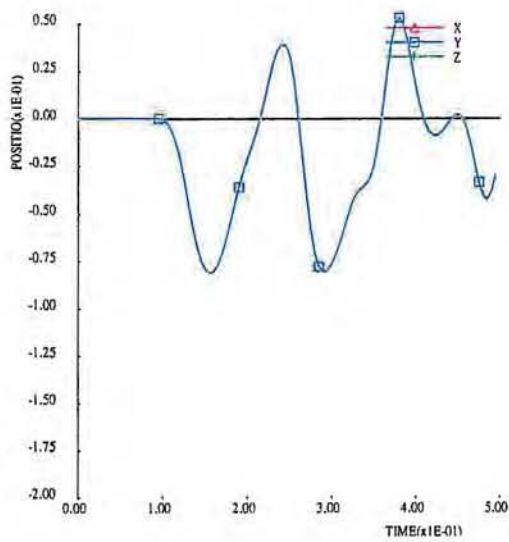
Afbeelding B6. Verloop van de ASI-waarde in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.



Afbeelding B7. Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 13/14, 14/15 en 15/16 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mim Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.



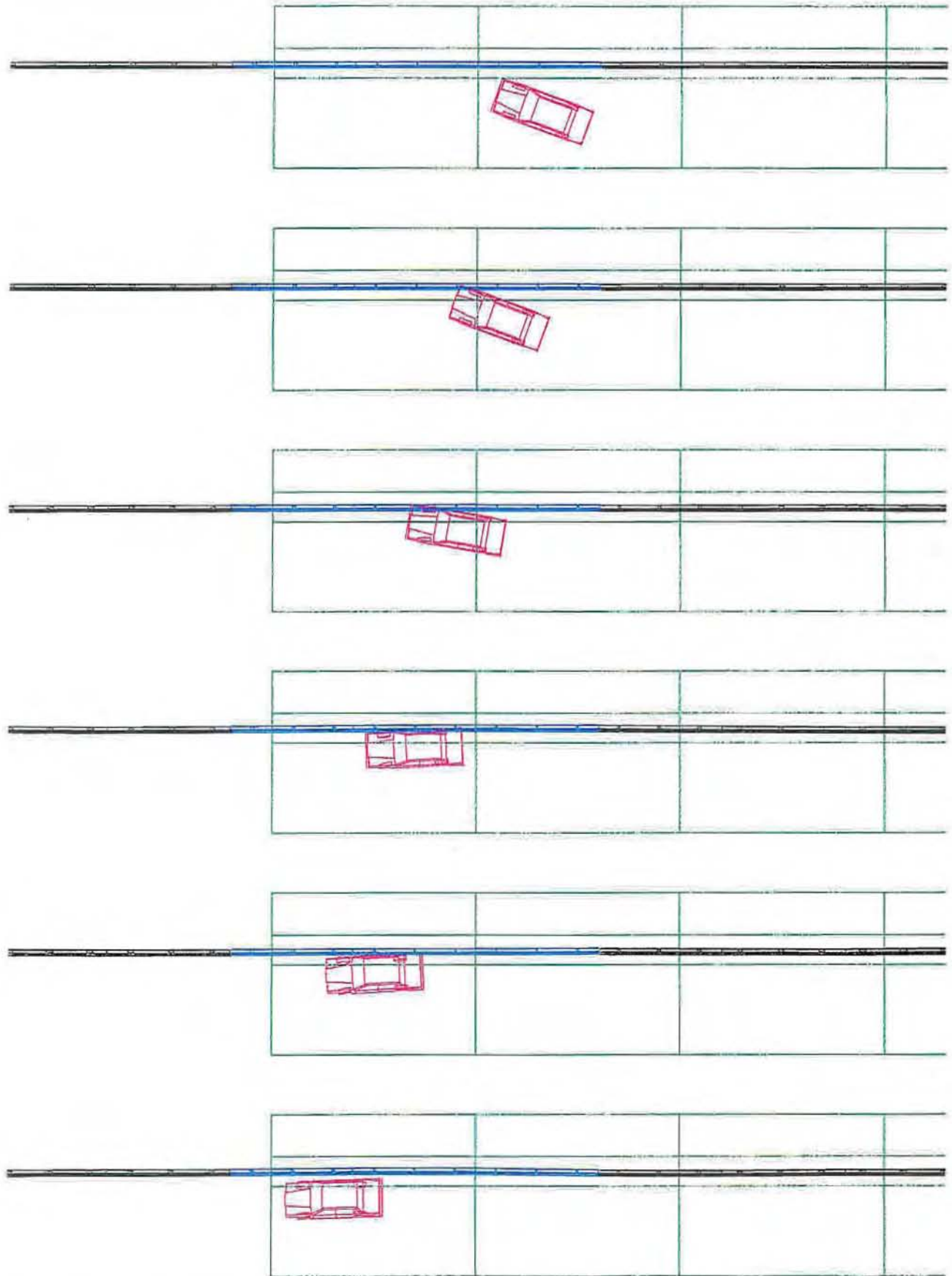
Abbeelding B8. Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 14 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.



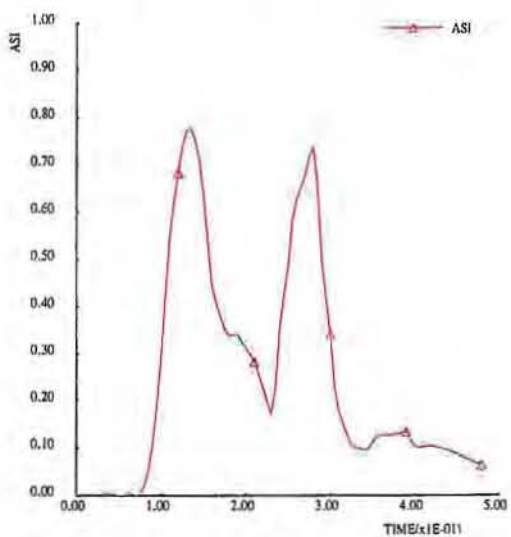
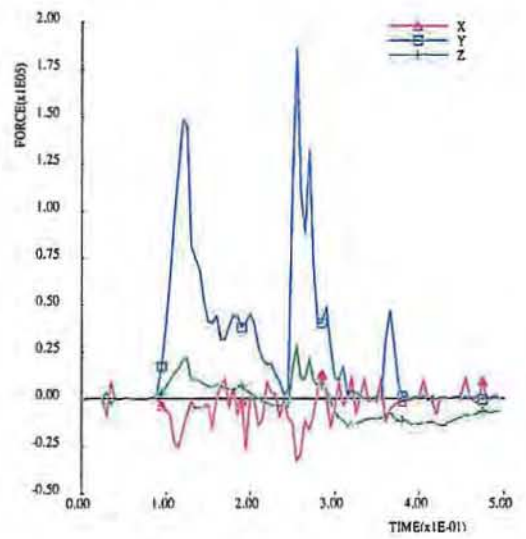
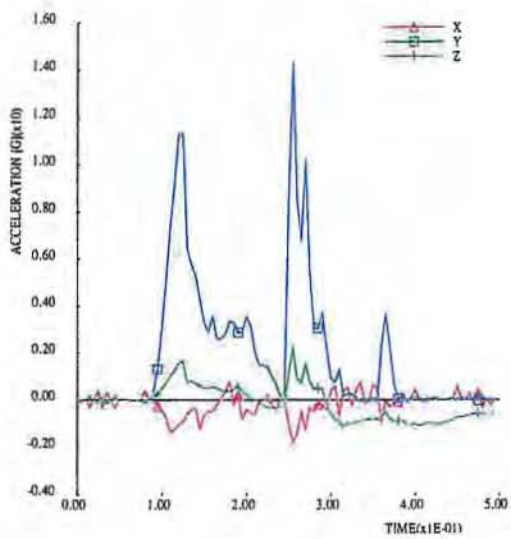
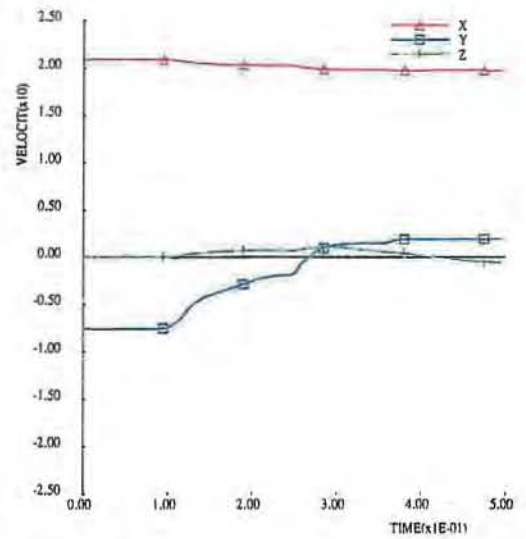
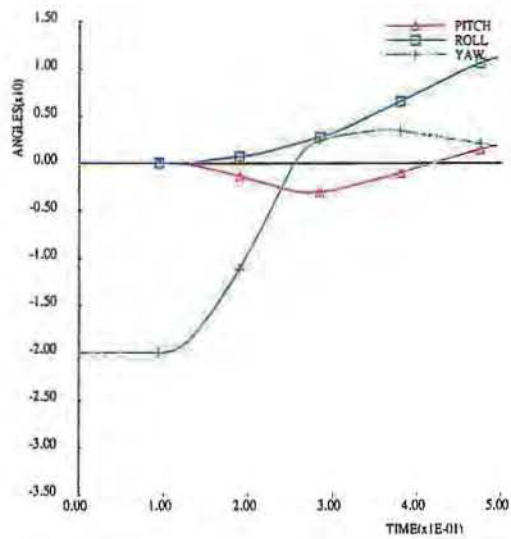
Afbeelding B9. Verloop van de uitbuiging van de elementen 13, 14 en 15 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.

Simulatie met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, elementlengte 6,000 meter en paalafstand 2,000 meter, 40 procent minder paalweerstand

- C1. *Overzicht aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier.*
- C2. *Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- C3. *Verloop van de snelheid tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- C4. *Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- C5. *Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- C6. *De ASI-waarde in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- C7. *Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 14/15, 15/16 en 16/17 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- C8. *Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 15 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- C9. *Verloop van de uitbuiging van de elementen 15, 16 en 17 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*



Abbeiding C1. *Overzicht aanrijding met de zwarte personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier. paallafstand 2000 mm.*



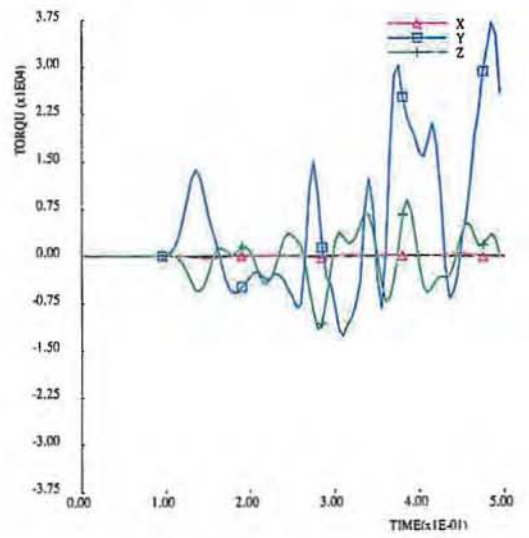
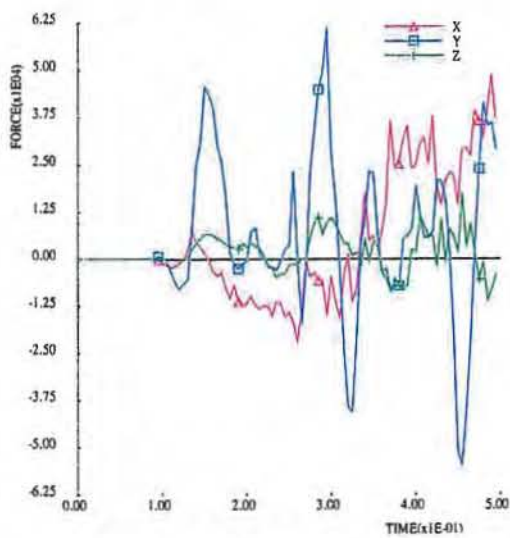
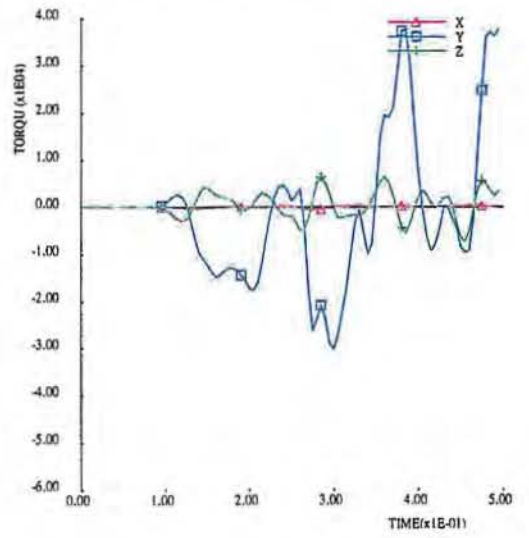
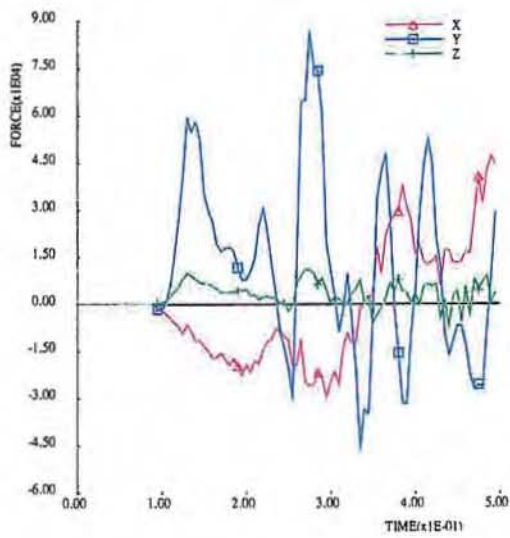
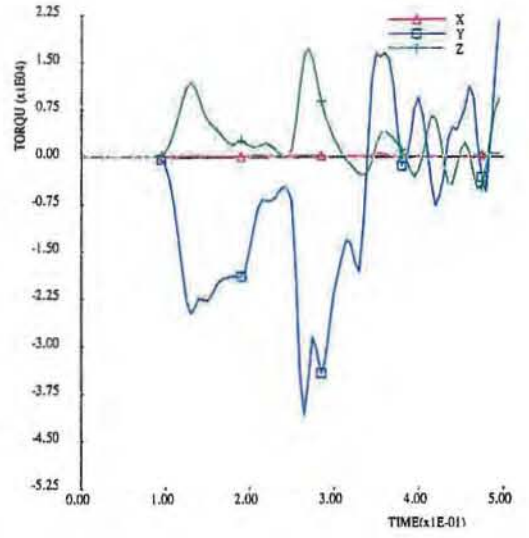
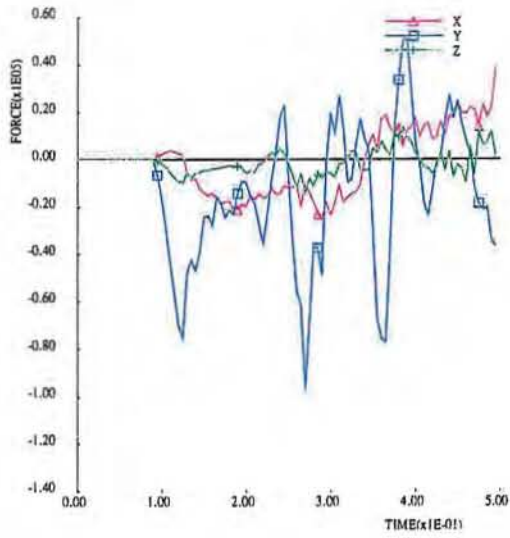
Abbeelding C2. Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding tegen de Mini Halve Step-barrier, paalfstand 2000 mm.

Abbeelding C3. Verloop van de snelheid tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalfstand 2000 mm.

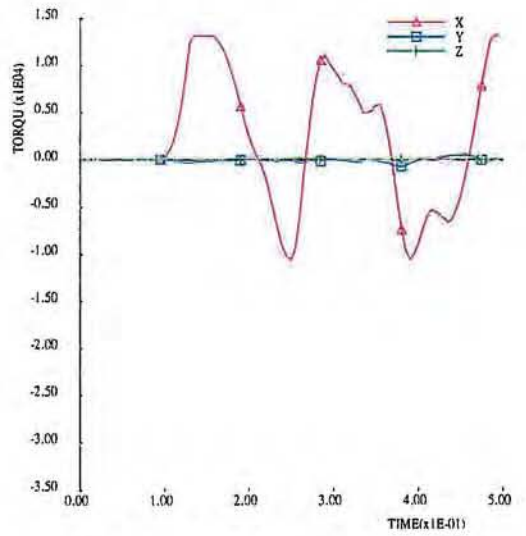
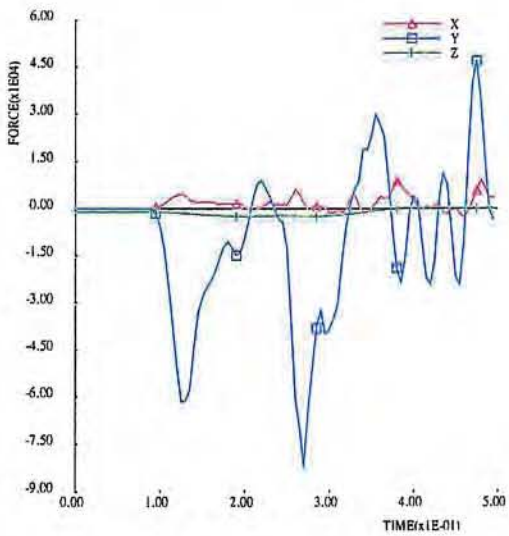
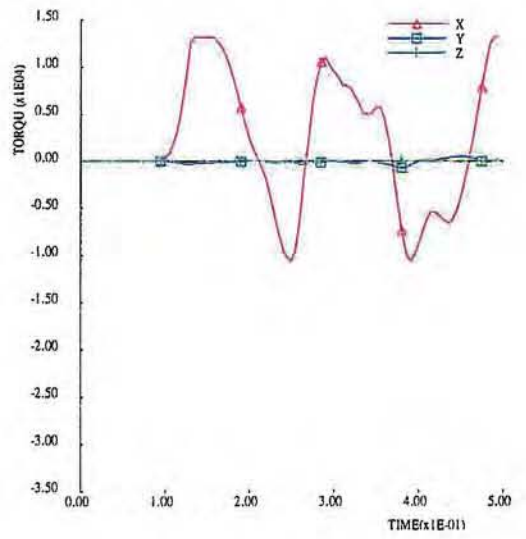
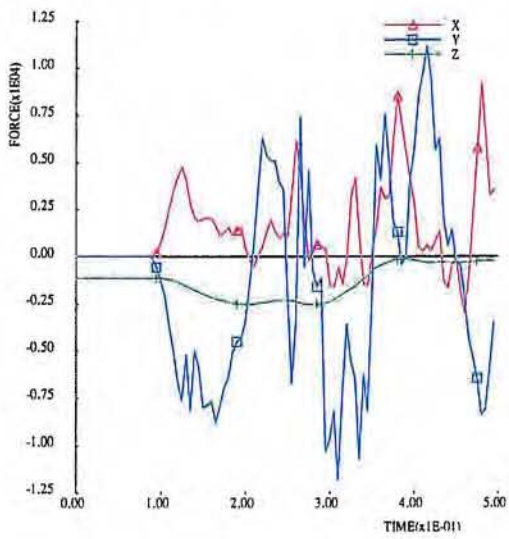
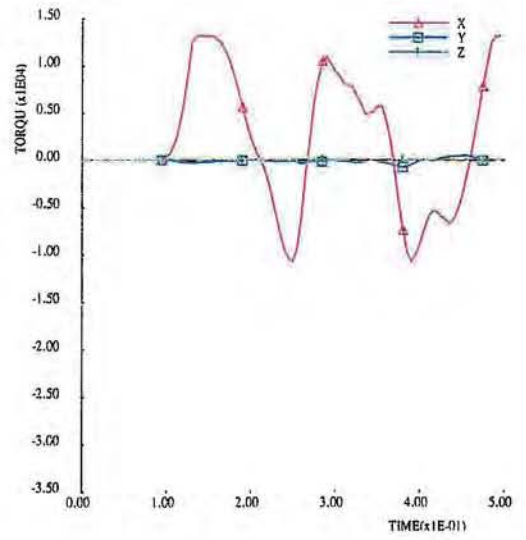
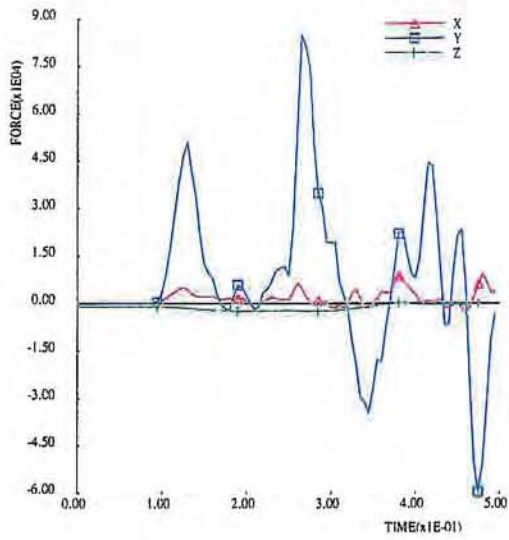
Abbeelding C4. Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalfstand 2000 mm.

Abbeelding C5. Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de halve stalen STEP-barrier, stijfstand 2000 mm.

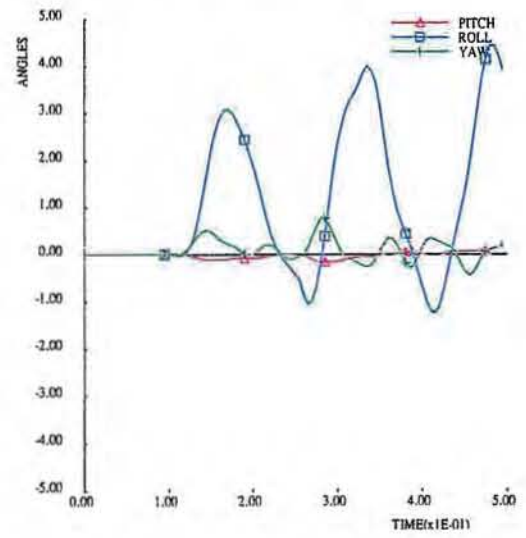
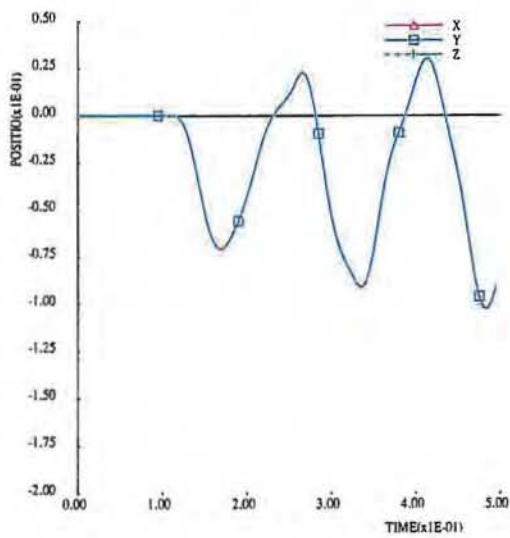
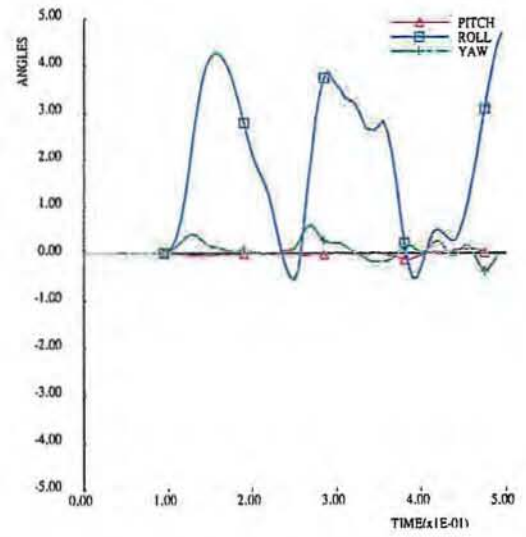
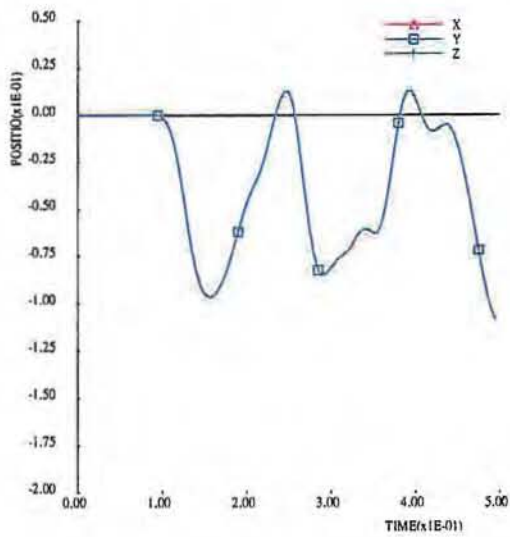
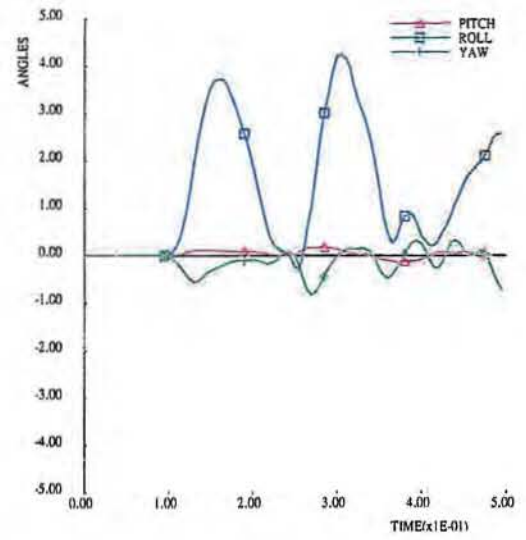
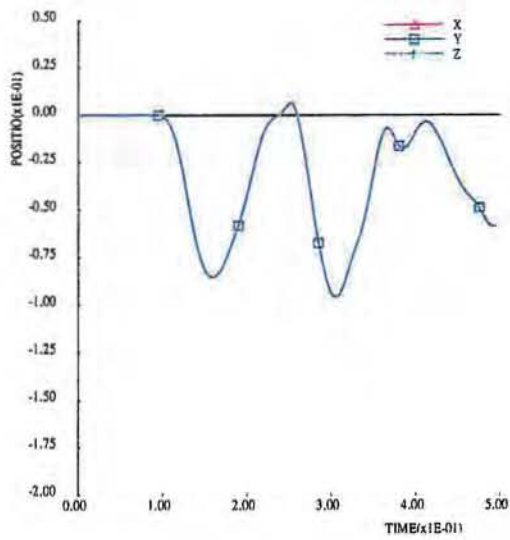
Abbeelding C6. Verloop van de ASI-waarde in het zwaartepunt van de zware personenauto tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalfstand 2000 mm.



Abbeelding C7. Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 14/15, 15/16 en 16/17 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.



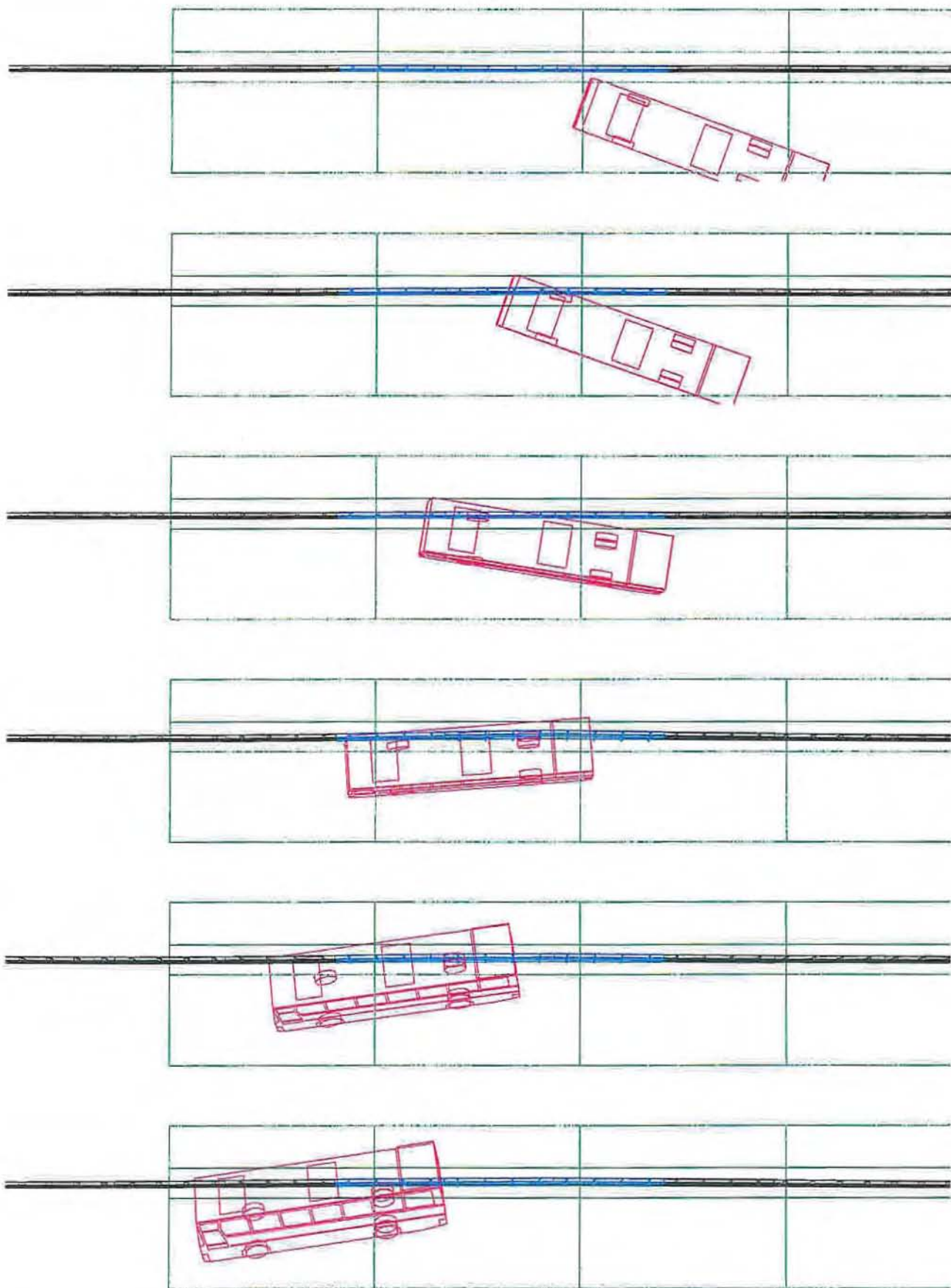
Afbeelding C8. Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 15 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.



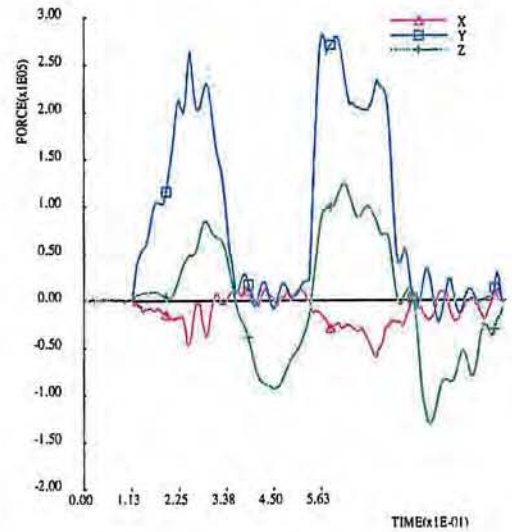
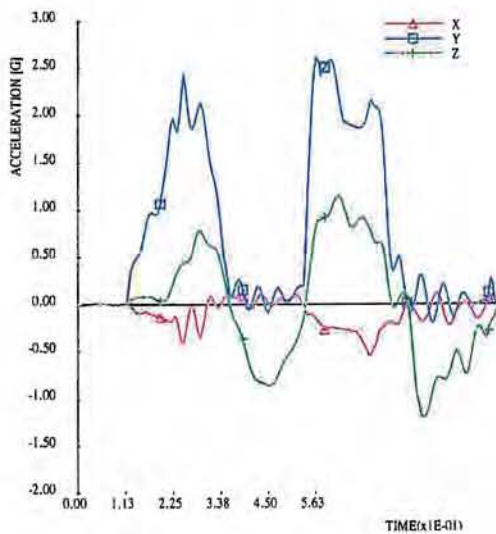
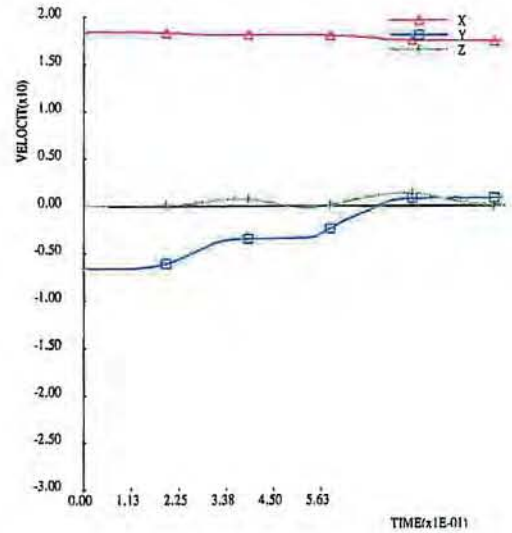
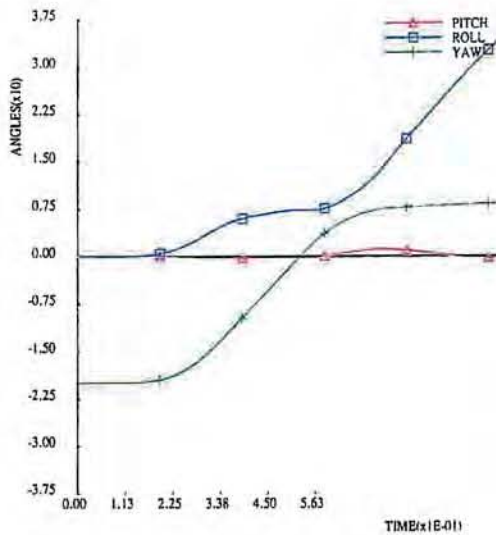
Afbeelding C9. Verloop van de uitbuiging van de elementen 14, 15 en 16 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de zware personenauto tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 2000 mm.

Simulatie met de bus tegen de MHS-barrier, elementlengte 6,000 meter en paalafstand 2,000 meter.

- D1. *Overzicht aanrijding met de bus tegen de MHS-barrier.*
- D2. *Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de bus tegen de tijd, tijdens de aanrijding tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- D3. *Verloop van de snelheid tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de bus tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- D4. *Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de bus tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de bus tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- D5. *Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de bus tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de bus tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- D6. *Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 13/14, 14/15 en 15/16 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de bus tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- D7. *Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 14 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de bus tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*
- D8. *Verloop van de uitbuiging van de elementen 14, 15 en 16 tegen de tijd, tijdens de aanrijding met de bus tegen de MHS-barrier, paalafstand 2.000 mm.*



Afbeelding D1. Overzicht aanrijding met de bus tegen de Mini Halve Step-barrier. paalfstand 1333 mm.

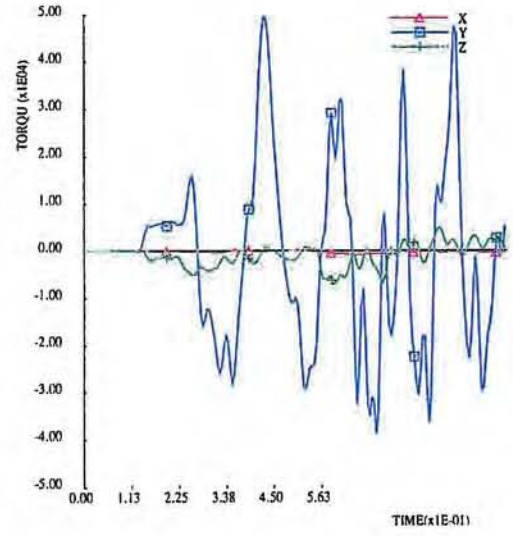
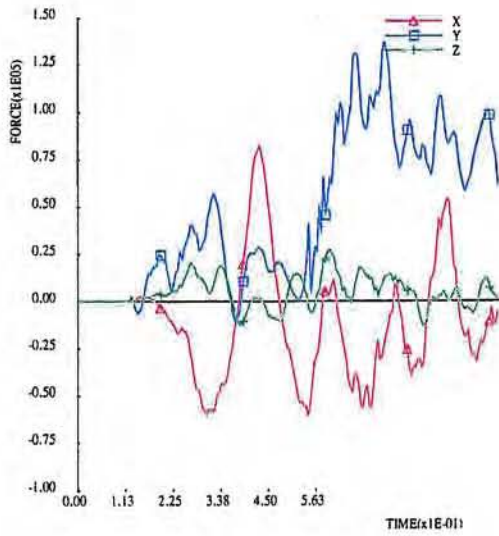
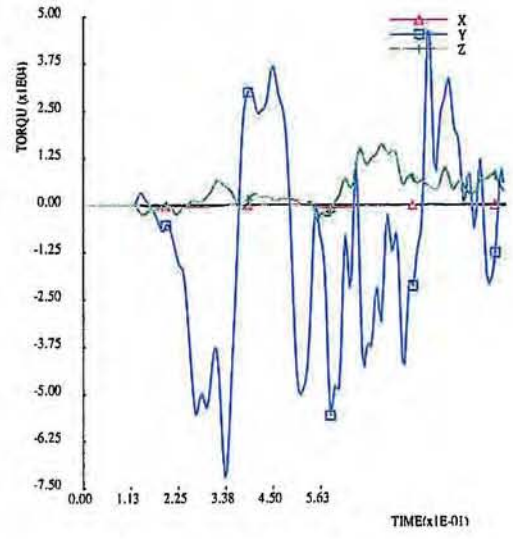
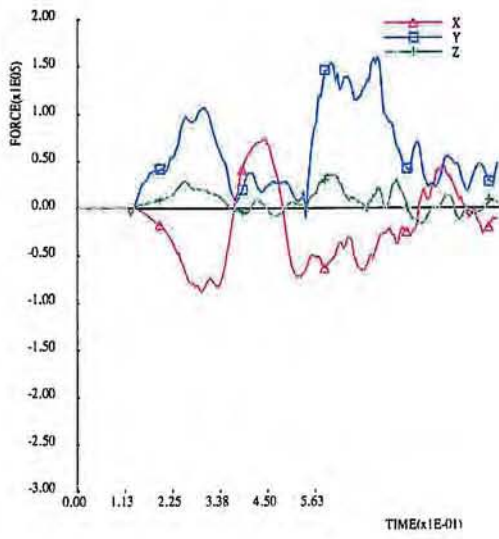
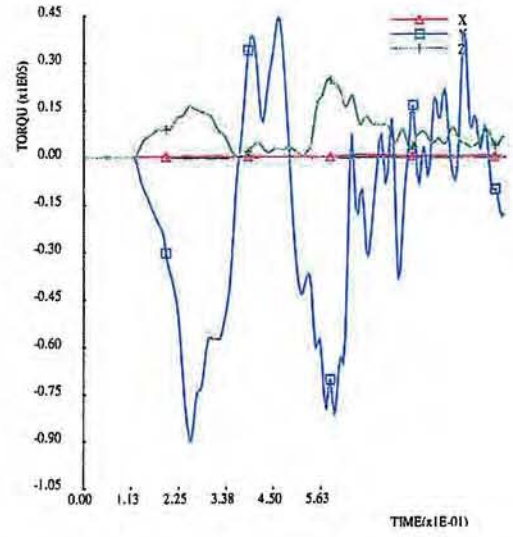
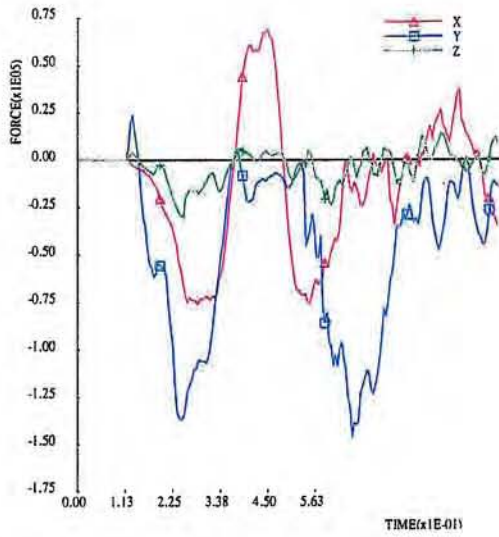


Afbeelding D2. Verloop van de roll-, pitch- en yawhoek van de bus tegen de tijd tijdens de aanrijding tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

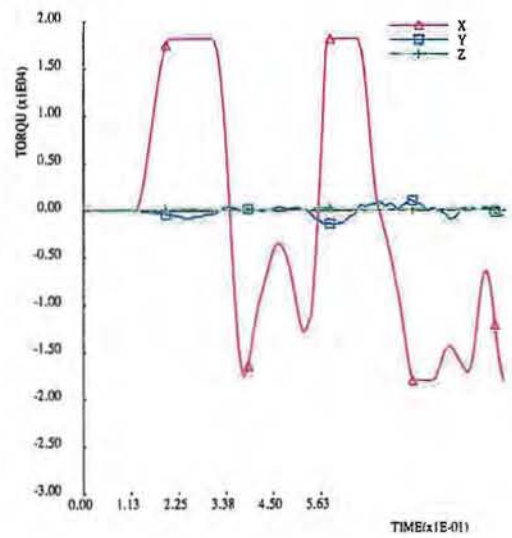
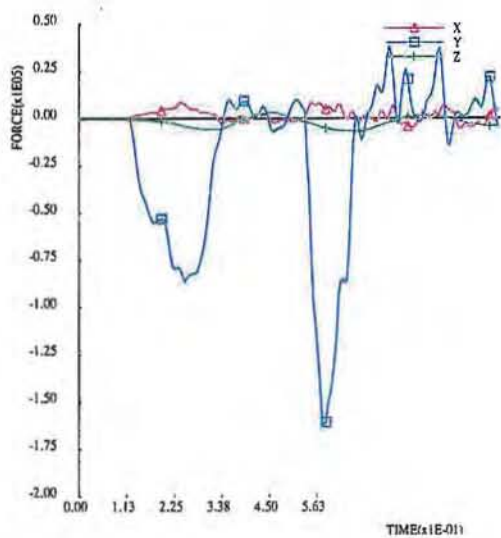
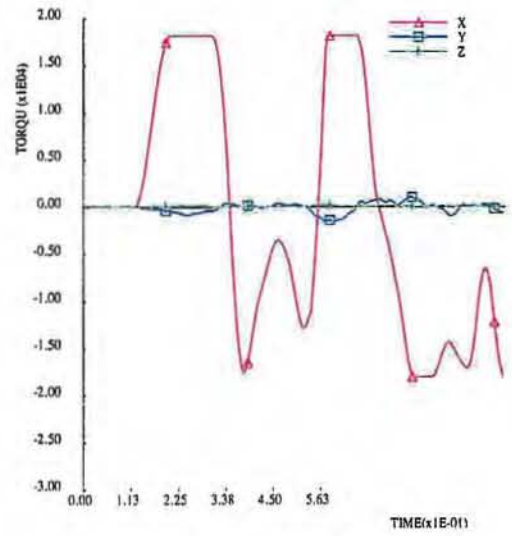
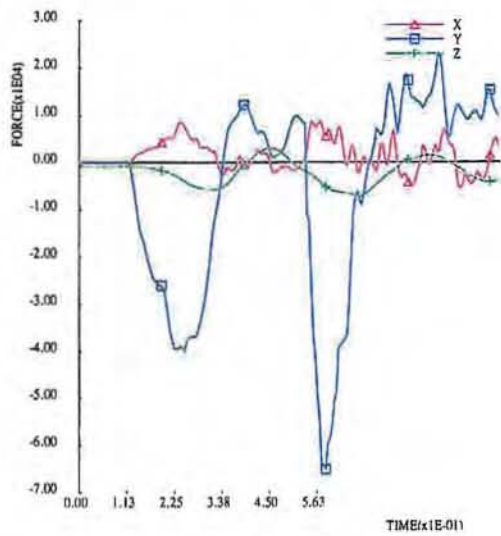
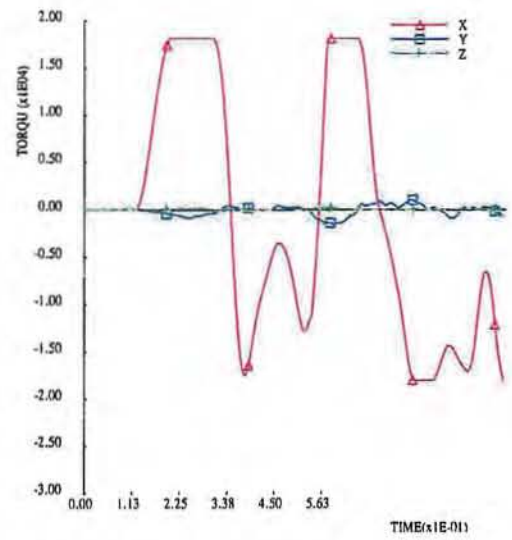
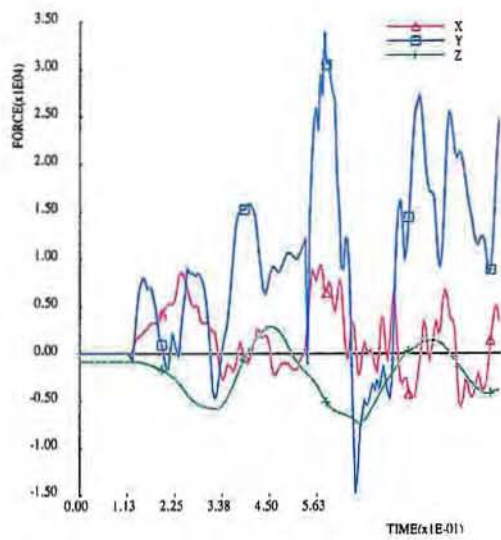
Afbeelding D3. Verloop van de snelheid tegen de tijd tijdens de aanrijding met de bus tegen de Mini Hulve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

Afbeelding D4. Verloop van de vertragingen in het zwaartepunt van de bus tegen de tijd tijdens de aanrijding met de bus tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

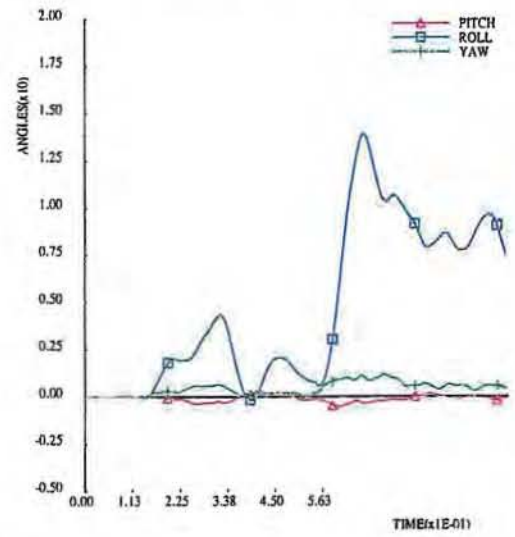
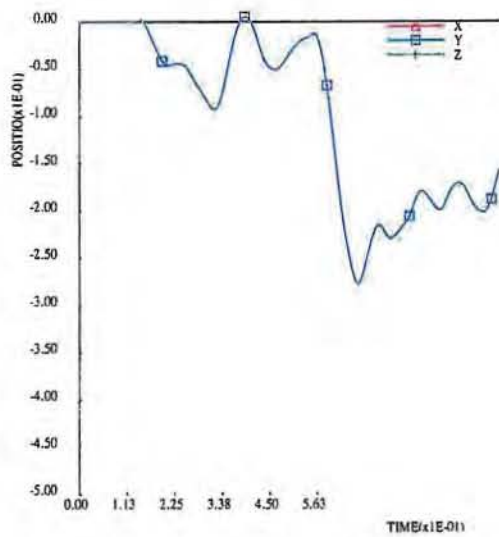
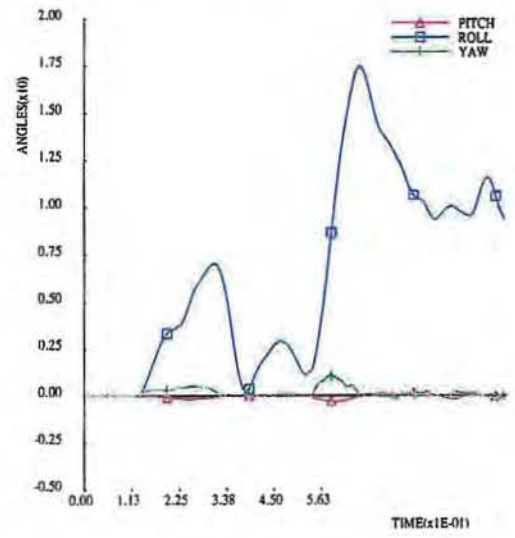
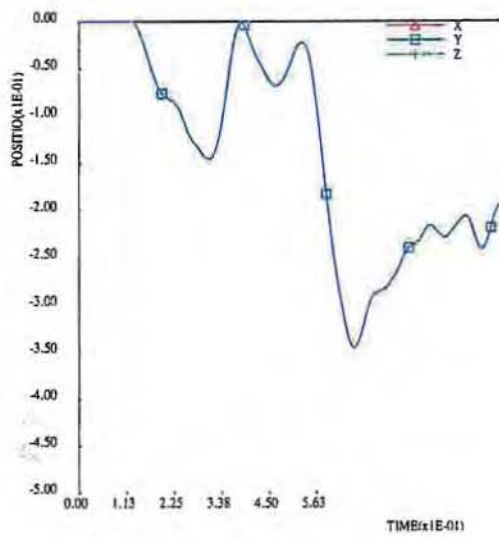
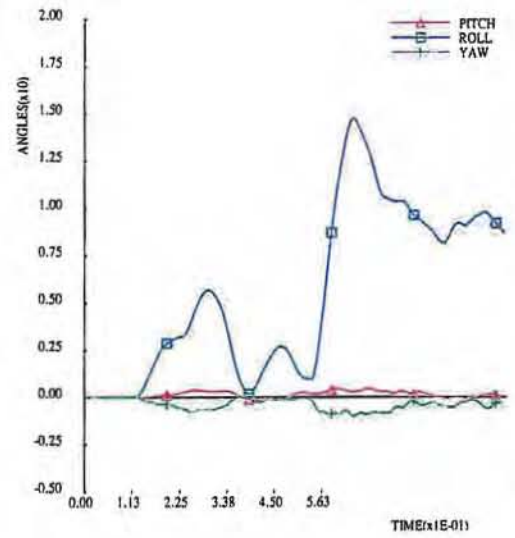
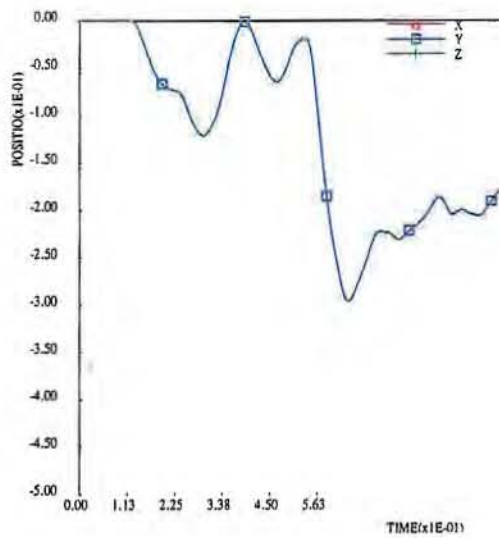
Afbeelding D5. Verloop van de krachten in het zwaartepunt van de bus tegen de tijd tijdens de aanrijding met de bus tegen de halve stalen STEP-barrier, stijlafstand 1333 mm.



Abbeelding D6. Verloop van de krachten en momenten in de koppeling tussen de elementen 12/13, 13/14 en 14/15 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de hus tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.



Abbeiding D7. Verloop van de krachten en momenten in de drie palen van element 14 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de bus tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.



Abbeiding D8. Verloop van de uitbuiging van de elementen 13, 14 en 15 tegen de tijd tijdens de aanrijding met de bus tegen de Mini Halve Step-barrier, paalafstand 1333 mm.

Korte beschrijving van de werking van het computerprogramma VEDYAC

Ir. J. van der Sluis
Leidschendam, 1991
Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid
SWOV

A. Inleiding

VEDYAC (VEHICLE DYnamics And Crash) is een computerprogramma waarmee allerlei dynamica-problemen gesimuleerd kunnen worden; ook botsingen zijn daarbij mogelijk. Het programma is geschreven door V. Giavotto et al. in nauwe samenwerking met de SWOV.

De mogelijkheden die een simulatieprogramma biedt, worden bepaald door het gereedschap dat het programma geeft om fysische objecten te modelleren en de handigheid van de modelontwerper om de geboden gereedschappen optimaal te benutten. Hierna wordt kort ingegaan op:

- de gereedschappen van VEDYAC;
- het ontwikkelen van een VEDYAC-model;
- de manier waarop het programma rekent;
- de mogelijkheden die het programma biedt om resultaten te presenteren;
- de gebruikersinterface.

De bedoeling van dit schrijven is de lezer een globale indruk te geven van VEDYAC: wat zijn de mogelijkheden en hoe werkt het?

B. De Gereedschappen

De basis-gereedschappen zijn:

Puntmassa (MASS)

Met behulp van puntmassa's moeten de traagheidseigenschappen van objecten gemodelleerd worden. De continue massaverdeling van een lichaam moet dus gediscrètiseerd worden. Een star lichaam kan met behulp van één puntmassa gemodelleerd worden. Met een puntmassa worden zeven eigenschappen gedefinieerd: de massa, drie traagheidsmomenten en drie traagheidsprodukten om drie assen van een orthogonaal assenstelsel. De eventueel aanwezige zwaartekrachtversnelling grijpt aan op de puntmassa.

Punten (NODES)

Een NODE is een geometrisch punt dat star aan een MASS vastzit. NODES worden gebruikt voor het definiëren van verbindingen tussen de puntmassa's en voor het definiëren van contactlichamen.

In de definitie van een verbinding worden twee 'nodes' genoemd waartussen de verbinding wordt gemaakt (verbindings nodes). Afhankelijk van het type verbinding zijn één of twee 'nodes' nodig om de oriëntatie van de verbinding vast te leggen (referentie nodes).

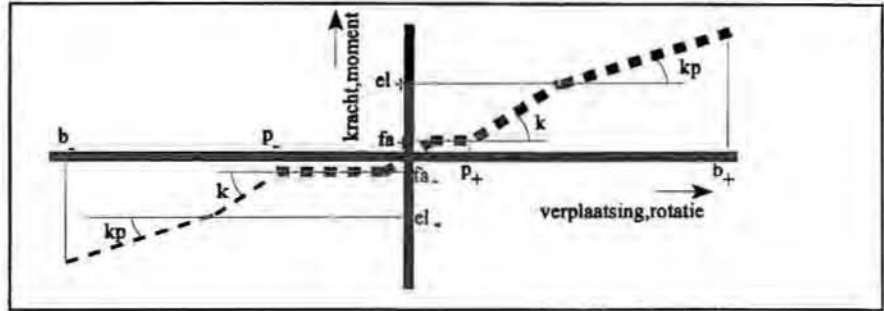
Verbindingen (DEFORMABLE ELEMENTS)

Verbindingen worden tussen twee nodes gedefinieerd en beperken de relatieve beweging van deze twee nodes. De relatieve beweging van twee nodes is te beschrijven door drie translaties en drie rotaties respectievelijk langs en rond de assen van een orthogonaal assenstelsel. Er zijn vier types verbindingen:

1. ROD
2. POINT
3. BEAM
4. DUMPER

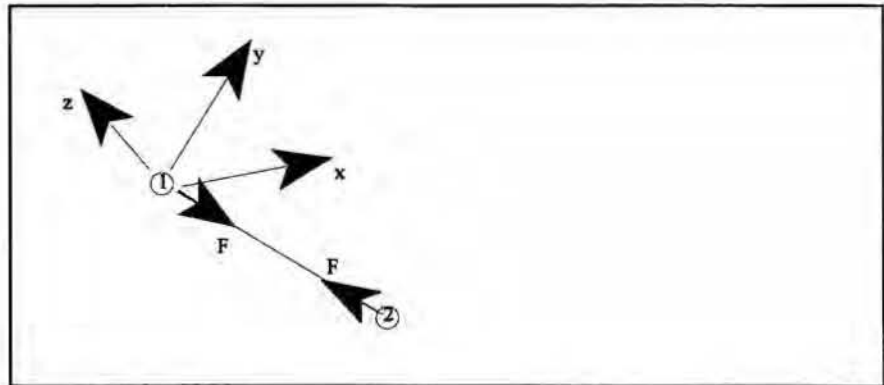
Iedere verbinding legt beperking op aan een aantal componenten van de relatieve beweging van de verbonden NODES. De ROD beperkt de verandering van de onderlinge afstand van de puntmassa's. De POINT-verbinding beperkt alle zes de componenten, waarbij de te verbinden NODES op dezelfde plaats mogen liggen. De BEAM-verbinding beperkt net als de POINT de beweging van alle zes de componenten van de relatieve beweging van de twee verbonden nodes. Bij een BEAM moeten de verbonden NODES op een afstand van elkaar af liggen.

De tegenwerkende kracht voor een bepaalde bewegingscomponent wordt bepaald door een door de gebruiker gedefinieerde krachtverplaatsing of momentrotatie-diagram en een dempingscoëfficiënt (c).

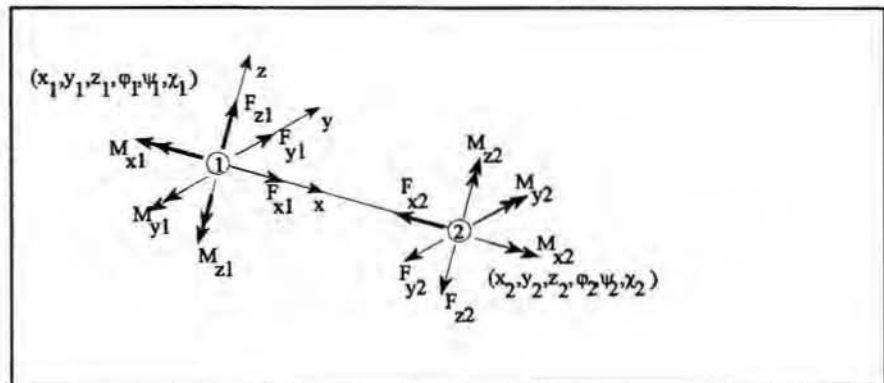


Afbeelding B1. Het kracht-verplaatsingsdiagram.

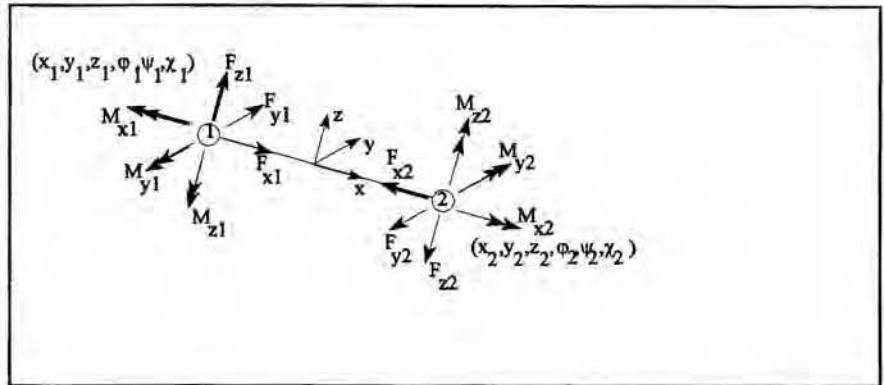
De vorm van een krachtverplaatsing dan wel momentrotatie-diagram is gegeven in *Afbeelding B1*. De karakteristiek in *Afbeelding B1* wordt beschreven door de stijfheid (k), de speling (p_+, p_-), de spelingsweerstand (f_{a+}, f_{a-}), de plasticiteitsgrens (e_{l+}, e_{l-}), de plastische stijfheid (k_p), en de breekverplaatsing/-rotatie (b_+, b_-). Voor iedere verbindingscomponent moet een dergelijke diagram gedefinieerd worden. Aangezien de parameters van iedere component apart gedefinieerd zijn, bestaat de mogelijkheid om anisotrope eigenschappen te beschrijven. In de *Afbeeldingen B2 t/m B4* zijn drie verbindingstypes getekend waarbij de krachten en momenten zijn aangegeven als gevolg van verplaatsingen en rotaties.



Afbeelding B2. De ROD-verbinding.



Afbeelding B3. De POINT-verbinding.



Afbeelding B4. De BEAM-verbinding.

De DUMPER-verbinding is een demper en genereert krachten evenredig aan het snelheidsverschil van de verbonden puntmassa's. De dempingskarakteristiek wordt met behulp van een aantal getalparen gedefinieerd.

Contactlichamen (CONTACT ELEMENTS)

Met contactlichamen worden botsingen tussen lichamen mogelijk gemaakt. De contactlichamen worden met behulp van NODES gedefinieerd en zijn dus star aan een MASS verbonden. Er zijn vijf typen contactlichamen:

1. SPHERE
2. CYLINDER
3. PLANE
4. POLYHEDRON
5. REVOLUTION BODY

In *Afbeelding B5* is aangegeven tussen welke contactlichamen contactkrachten worden berekend.

	SPHERE	CYLINDER	PLANE	POLYHEDRON	REVOLUTION_BODY
SPHERE	1	0	1	0	0
CYLINDER	0	0	1	1	0
PLANE	1	1	0	0	1
POLYHEDRON	0	1	0	0	0
REVOLUTION_BODY	0	0	1	0	0

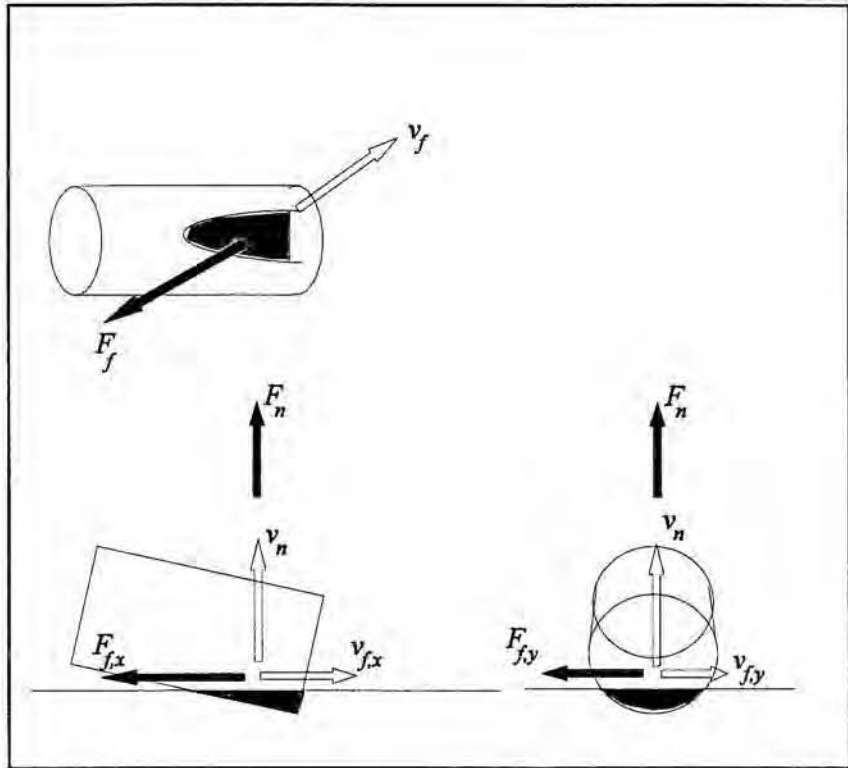
Afbeelding B5. Matrix van mogelijke contacten tussen de verschillende contactlichamen.

In *Afbeelding B5* betekent een 1 dat het programma contact tussen beide contactlichamen kent; een 0 betekent dat het programma geen contacten tussen beide contactlichamen kent. Er worden contactkrachten berekend wanneer het programma een gemeenschappelijk volume of intersectie heeft gevonden tussen twee contactlichamen waartussen contact mogelijk is.

De berekening van de contactkrachten gebeurt op basis van de polytrophe gaswet zoals is weergegeven in *Formule 1*.

$$p = p_0 \left[\frac{v_0}{v_0 - v} \right]^c \quad (1)$$

Aan ieder contactlichaam wordt een referentiedruk (p_0) en een referentie-volume (v_0) toegekend. Met deze twee parameters wordt een door *Formule 1* beschreven grafiek vastgelegd waarmee de hardheid van het te beschrijven object wordt gemodelleerd. De exponent © is een simulatieconstante en is voor ieder contactlichaam gelijk. Wanneer er een intersectie optreedt, dan wordt er op basis van de twee karakteristieken van de beide contactlichamen een resulterende karakteristiek bepaald. Met het volume van de intersectie wordt uit de resulterende kromme een contactdruk bepaald. De contactdruk wordt vermenigvuldigd met het doorsnijdingsoppervlak (A_n), hetgeen resulteert in de contactkracht (F_n).



Afbeelding B6. Contact tussen een PLANE en een CYLINDER.

In *Afbeelding B6* is ter illustratie het contact weergegeven tussen een PLANE en een CYLINDER. Behalve de contactkracht wordt ook nog de wrijvingskracht (F_f) berekend. De grootte van de krachten wordt berekend volgens de *Formules 2* en *3* (de richting is aangegeven in *Afbeelding B6*).

$$F_n = A_n p_c \left[1 + \tanh \left[\frac{v_n}{v_{n0}} \right] \right] \quad (2)$$

$$F_f = \mu_1 \mu_2 F_n \tanh \left[\frac{v_f}{v_{lim}} \right] \quad (3)$$

Wielen (WHEELS)

De wielen zijn bijzondere CYLINDERS waaraan niet alleen contact-eigenschappen worden toegekend, maar ook traagheidseigenschappen. Bovendien worden er dwarskrachten berekend.

C. Het rekenen

VEDYAC kent een heel eenvoudig rekenschema. Bij het begin van een rekenstap zijn positie en snelheid en alle krachten die op de puntmassa's werken bekend. Voor iedere puntmassa wordt met de krachtvector en de traagheidsvector met behulp van de impulswet de versnellingsvector bepaald. De versnellingsvectoren worden vervolgens geïntegreerd over één tijdstap; dit levert de snelheidsvector van iedere puntmassa op. De positie van de puntmassa's volgt uit de integratie van de snelheidsvector.

Op grond van deze nieuwe toestand, worden de verbindingskrachten en de contactkrachten opnieuw bepaald. Alle krachten en momenten die op verschillende plaatsen aangrijpen worden samengesteld tot drie krachten en drie momenten die werken op de bijbehorende puntmassa. Daarna kan een nieuwe tijdstap beginnen.

In VEDYAC wordt een expliciete integratiemethode gebruikt. Bij expliciete integratie is de keus van de tijdstapgrootte waarmee gesimuleerd wordt zeer belangrijk. De numerieke stabiliteit bij expliciete integratie wordt hierdoor bepaald. Een vuistregel is dat de tijdstap tien maal kleiner moet zijn dan de trillingstijd van de grootste eigenfrequentie die in het model voorkomt. Bij VEDYAC kunnen niet alleen numerieke problemen ontstaan vanwege de hoge eigenfrequenties, waardoor er een zeer kleine tijdstap nodig is, maar ook doordat er plotseling zeer hoge contactkrachten kunnen optreden. Te grote sprongen in de contactkrachten worden door VEDYAC voorkomen door een kleinere tijdstap te kiezen wanneer één van de berekende versnellingscomponenten een bepaalde waarde overschrijdt. De kleinst mogelijke tijdstap en het criterium waarbij een kleinere tijdstap genomen wordt, worden bepaald door de gebruiker.

D. De presentatie van de resultaten

De uitkomsten van een simulatie kunnen op een aantal manieren door het programma uitgevoerd worden:

Numeriek

Van iedere puntmassa kunnen de krachten, positie, snelheid en de versnelling als functie van de tijd in tabellen opgevraagd worden. Zo ook de krachten die optreden in verbindingselementen en contactlichamen.

Animatie en plots

Ieder systeem waarin contactlichamen zijn opgenomen of waaraan grafische data is gekoppeld, kan getekend worden op ieder berekend tijdstip. Het programma biedt de gebruiker de mogelijkheid om de gesimuleerde 'scène' te beschouwen door middel van een camera. De instelling en de positie van de camera worden door de gebruiker bepaald. Dit biedt de mogelijkheid om behalve de numerieke uitvoer, de simulatieresultaten met behulp van plaatjes te interpreteren. Men kan de resultaten ook animeren door een aantal opnames, op opeenvolgende tijdstippen opgenomen, snel achter elkaar te presenteren op een beeldscherm.

Grafieken

Alle gegevens die in tabelvorm beschikbaar zijn, kunnen ook in de vorm van grafieken gepresenteerd worden.

Ook is het mogelijk een ASI-evaluatie te laten uitvoeren op vooraf in het model gedefinieerde punten. De ASI-waarden worden als functie van de tijd in een grafiek gepresenteerd.

E. De gebruikersinterface

Het computerprogramma VEDYAC is opgedeeld in een aantal deelprogramma's. Ieder deelprogramma heeft een specifieke functie. Er is een deelprogramma voor data-invoer en het bouwen van de matrices, voor het rekenen, voor het creëren van numerieke uitvoer, voor het creëren van grafieken en voor het maken van plots en animaties.

Ieder deelprogramma presenteert zich aan de gebruiker met behulp van een menu.

F. Het modelleren met VEDYAC

Met het aangeven van de mogelijkheden van VEDYAC heeft men nog geen model waarmee gesimuleerd kan worden. Het ontwikkelen van een model waarmee door VEDYAC een betrouwbaar beeld van de werkelijkheid berekend kan worden, is vaak een tijdrovende aangelegenheid. De SWOV beschikt echter over een grote bibliotheek met voertuigmodellen, waardoor de ontwikkeltijd aanzienlijk bekort wordt.

Bij het ontwikkelen van modellen komen de volgende zaken aan de orde:

Discretiseren

Grote continue lichamen moeten in stukken opgedeeld worden. Aan ieder stuk, ook wel als element aangeduid, worden vervolgens traagheids-eigenschappen toegekend door middel van één massapunt. In de praktijk zal één element overeenkomen met één systeem in een VEDYAC-model. De stijfheidseigenschappen van het continue lichaam worden gemodelleerd door verbindingen tussen de elementen aan te brengen. De vragen die zich hierbij voordoen zijn: In hoeveel stukken moet het continue lichaam opgedeeld worden? Hoeveel nodes en waar moeten ze gepositioneerd worden? Welk type verbinding verdient de voorkeur?

Contactparameters

Er is geen eenduidige relatie tussen de parameters waaruit VEDYAC de contactkrachten berekend en de parameters waarmee in de mechanica botsingen worden beschreven.

Rekentijd

De rekestijd voor een simulatie is afhankelijk van een aantal factoren. De belangrijkste zijn de snelheid van de computer, het aantal massapunten in het model, de hoeveelheid contacten die mogelijk zijn en de rekenstap waarmee gerekend kan worden.

Het is gebleken dat ervaring en creativiteit vereist zijn voor de ontwikkeling van VEDYAC-modellen. Dit is niet alleen van toepassing op VEDYAC, maar geldt voor ieder simulatieprogramma en 'eindig elementen'-programma. De SWOV heeft tientallen jaren ervaring in het simuleren van botsingen met behulp van VEDYAC. Dit heeft geleid tot resultaten die de vergelijking met experimentele simulaties goed kunnen doorstaan.

Bijlage 4

Modellering modelcomponenten van de MHS-barrier

1 Model-parameters

Bij de berekeningen zijn de volgende waarden gebruikt:

Element				
oppervlak	A	0,5632	10^{-2}	m^2
traagheidsmoment	I_x	0,5	10^{-7}	m^4
traagheidsmoment	I_y	0,155	10^{-5}	m^4
traagheidsmoment	I_z	0,513	10^{-6}	m^4
Materiaaleigenschappen				
treksterkte	σ_t	400	10^6	N/m^2
stuiksterkte	σ_{st}	400	10^6	N/m^2
afschuifsterkte	τ	240	10^6	N/m^2 (0,6 treksterkte)
vloeisterkte	σ_{vl}	240	10^6	N/m^2
elasticiteitsmodulus	E	210	10^9	N/m^2
glijdingsmodulus	G	081	10^9	N/m^2
Bout M16 (4.6)				
oppervlak	A_s	1,57	10^{-4}	m^2
Materiaaleigenschappen				
treksterkte	σ_t	400	10^6	N/m^2
stuiksterkte	σ_{st}	400	10^6	N/m^2
afschuifsterkte	τ	240	10^6	N/m^2 (0,6 treksterkte)
vloeisterkte	σ_{vl}	240	10^6	N/m^2

2. Lineaire componenten van de POINT-verbinding tussen elementen

De POINT-verbinding neemt krachten op in de x-, y- en z-richting. Alleen in de x-richting is speling aanwezig. In de koppeling zitten 15 M16 4.6 bouten (Afbeelding 4).

Voor het uitrekenen van de benodigde verbindingsparameters is eerst nagegaan wat de zwakste schakel in de verbinding is.

$$\text{afschuiven bouten} \quad F_{br} = A_s \tau n$$

Uit de formule volgt, met $A_s = 1,57 \cdot 10^{-4} m^2$, $\tau = 240 \cdot 10^6 N/m^2$ en $n = 9$ bouten,

$$F_{br} \text{ is } 339120 \text{ N.}$$

$$\text{stuik bouten} \quad F_{st} = A \sigma_{st} n$$

Uit de formule volgt, met $A = 9,6 \cdot 10^{-5} m^2$, $\sigma_{st} = 400 \cdot 10^6 N/m^2$ en $n = 9$ bouten,
 F_{st} is 345600 N.

De stuikbelasting op de dwarsdoorsnede van de barrier wordt berekend met de formule:

$$F_{stb} = A \sigma_{st}$$

Uit de formule volgt, met $A = 5,632 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$ (oppervlak dwarsdoorsnede van de barrier) en $\sigma_{st} = 400 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$,

$$F_{stb} \text{ is } 2252800 \text{ N.}$$

Uit de berekeningen blijkt dat in de x-richting het afschuiven van de bouten in trekrichting de zwakste schakel is en niet de stuikbelasting op de bouten, 339120 N tegen 345600 N. In de y- en z-richting is de verbinding veel sterker dan in de x-richting. In de simulatie wordt er dan ook van uitgegaan, dat de boutverbinding in deze richtingen niet breekt. In beide richtingen is een waarde genomen, die drie keer de waarde heeft in x-richting. In drukrichting is de stuikbelasting op de bouten en barrierdoorsnede samen maatgevend. De maximale stuikbelasting bedraagt 2252800 N.

Voor de *plasticiteitsgrens* (el+ en el-) in de x-richting voor trek is de kleinste waarde aangehouden van de berekende waarden, dus 3,4E5 N. Voor 'druk' licht deze waarde veel hoger, te weten 2,25E6 N. In § 4.2 is aangegeven, waarom er van wordt uitgegaan dat de elementverbindingen in y- en z-richting niet breken. De waarden moeten alleen groot genoeg zijn. In y- en z-richting is de waarde 5,6E5 N aangehouden (treksterkte 9 bouten).

De *stijfheidscoëfficiënten* (k) worden bepaald uit de plasticiteitsgrens en de mogelijke elastische vervorming in de boutverbinding. De grootte van deze vervorming wordt op 10 mm aangenomen. De *stijfheidscoëfficiënten* worden berekend met behulp van de formule:

$$k_{k(x,y,z)} = F_{pl(x,y,z)} / f_F.$$

Uit de formule volgt dat, met $F_{pl(x)} = 3,4E5 \text{ N}$, $F_{pl(y,z)} = 5,6E5 \text{ N}$ en $f_F = 0,01 \text{ m}$,

$$k_{kx} \text{ is } 3,4E7 \text{ N/m. en}$$

$$k_{k(y,z)} \text{ is } 5,6E7 \text{ N/m.}$$

De *dempingscoëfficiënten* (d) zijn berekend met behulp van de formule:

$$d_{kr} = 2 \sqrt{(m \cdot n \cdot k_{k(x,y,z)})}.$$

Uit de formule volgt dat, met $m = 350 \text{ kg}$ (massa element), $n = 6$ (aantal verbindingen per element) voor het 5,32 meter lange element en de paalafstand van 1,333 meter en met $m = 350 \text{ kg}$ (massa element), $n = 5$ (aantal verbindingen per element) voor het 6,00 meter lange element en de paalafstand van 2,000 meter en $k_{kx} = 3,4E7 \text{ N/m}$ en $k_{k(y,z)} = 5,6E7 \text{ N/m}$,

$$d_{kr(x)} \text{ is } 5,3E5 \text{ Ns/m}$$

$$d_{kr(y,z)} \text{ is } 6,8E5 \text{ Ns/m}$$

voor het 5,32 meter element en

$$d_{kr(x)} \text{ is } 4,9E5 \text{ Ns/m}$$

$$d_{kr(y,z)} \text{ is } 6,3E5 \text{ Ns/m}$$

voor het 6,00 meter element.

Ten behoeve van numerieke stabiliteit in de simulatie is het gebruikelijk om voor de demping ééntiende van de kritische demping te nemen ($d_{kr}/10$). Deze waarde wordt over de zes of vijf, afhankelijk van de elementlengte, koppelingen per element verdeeld. Voor de demping in de berekening in de x-richting geldt de waarde $d = 5,3E5 / 60 = 8,9E3$ Ns/m, en in de y- en z-richting $d = 6,8E5 / 60 = 1,1E4$ Ns/m voor het 5,32 meter lange element. Voor de demping in de berekening in de x-richting geldt de waarde $d = 4,9E5 / 50 = 9,8E3$ Ns/m, en in de y- en z-richting $d = 6,3E5 / 50 = 1,3E4$ Ns/m voor het 6,00 meter lange element.

De *breekverplaatsingen* (b^+ en b^-) in de y- en z-richting zijn groot genomen, omdat er vanuit wordt gegaan dat er geen breuk in die richtingen zullen optreden; b^+ en b^- zijn 0,2 meter. In x-richting is de *breekverplaatsing* (b^+ en b^-) op 0,025 meter berekend (alle bouten zijn afgeschoven plus enige vervorming). In deze breekverplaatsing is tevens de aanwezige speling tussen de bout en boutgat opgenomen. Deze bout/gat-sparing bedraagt 0,004 meter.

3. Rotatie componenten van de POINT-verbinding tussen elementen

Het bezwijken van de barrier om de z-as kan twee oorzaken hebben:

- De barrier-dwarsdoorsnede is te zwak; I_z is te klein voor het optredende moment.
- De boutverbinding kan het optredende moment niet aan; de bouten schuiven af.

Momentsterkte dwarsdoorsnede.

De *plasticiteitsgrens* (e_l^+ en e_l^-) wordt berekend met behulp van de formule:

$$M_{pl(x,y,z)} = \sigma_{vl} I_{x,y,z} / e$$

Uit de formule volgt dat, met $\sigma_{vl} = 240E6$, $1,3$ N/m², $I_x = 0,5E-7$ m⁴ (aanname), $I_y = 1,55E-4$ m⁴, $I_z = 0,513E-4$ m⁴, $e_x = 0,324$ m, $e_y = 0,30$ m, $e_z = 0,165$ m,

$$M_{plx} \text{ is } 46 \text{ Nm.}$$

$$M_{ply} \text{ is } 1,6E5 \text{ Nm.}$$

$$M_{plz} \text{ is } 9,7E4 \text{ Nm.}$$

N.B. De vloeigrens wordt met 30% verhoogd om versteviging tijdens het vloeien te simuleren.

De *rotatiestijfheidscoëfficiënt* (k) wordt bepaald uit de plasticiteitsgrens en de mogelijke elastische hoekverdraaiing Φ om de x-as is 1 rad, om de y-as 0,3 rad en om de z-as 0,07 rad. De *stijfheidscoëfficiënten* worden berekend met behulp van de formule:

$$k_{m(x,y,z)} = M_{pl} / \Phi_{M(x,y,z)}$$

Uit de formule volgt dat, met $M_{plx} = 46$ Nm, $M_{ply} = 1,6E5$ Nm, $M_{plz} = 9,7E4$ Nm, $\Phi_{Mx} = 1,0$ rad, $\Phi_{My} = 0,3$ rad en $\Phi_{Mz} = 0,07$ rad.

$$k_{mx} \text{ is } 46 \text{ Nm/rad.}$$

k_{my} is 5,3E5 Nm/rad.

k_{mz} is 1,4E6 Nm/rad.

De *dempingscoëfficiënten* (d) zijn berekend met behulp van de formule:

$$d_{kr} = 2 \sqrt{(m \cdot n \cdot k_{m(x,y,z)})}$$

Uit de formule volgt dat, met $m = 350$ kg (massa element), $n = 6$ (aantal verbindingen per element) voor het 5,32 meter lange element en de paalafstand van 1,333 meter en met $m = 350$ kg (massa element), $n = 5$ (aantal verbindingen per element) voor het 6,00 meter lange element en de paalafstand van 2,000 meter en $k_{mx} = 46$ Nm/rad, $k_{my} = 5,3E5$ Nm/rad en $k_{mz} = 1,4E6$ Nm/rad

d_{krx} is 622 Nms/rad

d_{kry} is 6,7E4 Nms/rad

d_{krz} is 1,1E5 Nms/rad

voor het 5,32 meter element en

d_{krx} is 567 Nms/rad

d_{kry} is 6,1E4 Nms/rad

d_{krz} is 9,9E4 Nms/rad

voor het 6,00 meter element.

Ten behoeve van numerieke stabiliteit in de simulatie is het gebruikelijk om voor de demping ééntiende van de kritische demping te nemen ($d_{kr}/10$). Deze waarde wordt over de zes of vijf, afhankelijk van de elementlengte, koppelingen per element verdeeld. Voor de demping in de berekening in x-richting geldt de waarde $d = 622 / 60 = 11$ Ns/m., in y-richting $d = 6,7E4 / 60 = 1,1E3$ Ns/m en z-richting $d = 1,1E5 / 60 = 1,8E3$ Ns/m voor het 5,32 meter lange element.

Voor de demping in de berekening in x-richting geldt de waarde $d = 567 / 50 = 11$ Ns/m., in y-richting $d = 6,1E4 / 50 = 1,2E3$ Ns/m en z-richting $d = 9,9E4 / 50 = 2,0E3$ Ns/m voor het 6,00 meter lange element.

De *breekverplaatsingen* ($b+$ en $b-$) om de x- en y-as zijn groot genomen, omdat er vanuit wordt gegaan, dat er geen breuk om de x-as (erg torsieslap) zal optreden; $b+$ en $b-$ zijn 1,0 radiaal en om de y-as zal optreden; $b+$ en $b-$ zijn 0,3 radiaal. Om de z-as is de *breekverplaatsing* $b+$ en $b-$ op 0,07 radiaal (alle bouten aan één zijde zijn afgeschoven) berekend.

In deze breekverplaatsing is tevens de mogelijke hoekverdraaiing door de aanwezige speling opgenomen. Deze hoekverdraaiing bedraagt 0,002 radiaal.

Bovenstaande berekening geldt voor de elementdoorsnede. In de koppeling tussen de elementen wordt het maximale moment bepaald door de bouten. Aan de voorkant van het Mini Halve STEP-profiel zijn zes bouten

aangebracht en aan de achterkant drie bouten. Als de barrier uitbuigt, wordt de voorkant op stuit en de achterkant op trek belast, de bouten worden op afschuiven belast. Deze achterkant met zijn drie bouten is dus maatgevend voor het maximale moment.

afschuiven bouten $F_{br} = A_s \tau n$

Uit de formule volgt, met $A_s = 1,57 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$, $\tau = 240 \cdot 10^6 \text{ N/m}^2$ en $n = 3$ bouten,

$$F_{br} \text{ is } 113040 \text{ N.}$$

De *plasticiteitsgrens* (eI) wordt berekend met behulp van de formule:

$$M_{plz} = F_{br} b$$

Uit de formule volgt, met $F_{br} = 113040 \text{ N}$ en $b = 0,287 \text{ m}$ (breedte profiel),

$$M_{plz} \text{ is } 3,24\text{E}4 \text{ Nm.}$$

Deze waarde ligt beduidend onder de waarde van het moment van de doorsnede van het profiel.

4. Lineaire componenten van de POINT-verbinding tussen paal en berm

Afbeelding 2 geeft een overzicht van de wijze hoe de MHS-barrier in de berm is geplaatst. De palen worden in de grond geheid. Uit de praktijk en uit de slingerproeven is gebleken op welke wijze de palen door de berm bewegen tijdens een aanrijding. Het draaipunt van deze paalbeweging ligt ongeveer op 70 procent van de paaldiepte in de berm. De paal van de MHS-barrier wordt 1 meter in de berm geheid. Het draaipunt van de paal ligt dus op 0,7 meter onder maaiveld. Dit draaipunt wordt in de simulatie door een POINT-verbinding vertegenwoordigd (*Afbeelding 4*).

De POINT-verbinding neemt de krachten en de momenten op in x-, y- en z-richting.

In de simulatie wordt er van uitgegaan dat dit punt tijdens de aanrijding niet verplaatst. Deze aanname lijkt gerechtvaardigd mede door het verwachte stijve karakter van de MHS-barrier bij een aanrijding met de zware personenauto.

In § 4.1 zijn de verzamelde resultaten van de palenproeven gegeven. Uit deze resultaten zijn twee paalweerstandens geselecteerd, één aan de bovengrens en één aan de ondergrens. Het verschil in paalweerstand bedraagt ongeveer 40 procent. Dit zijn paalweerstandens in y-richting gezien voor de kracht en voor de grondstijfheid. In x- en z-richting zijn geen gegevens bekend. Gezien de werking van de MHS-barrier is aangenomen dat de krachten in x- en y-richting groot genoeg moeten zijn om het draaipunt op zijn plaats te houden. In z-richting is een kracht aangenomen die het uittrekken van de paal uit de grond simuleert. In de andere richting gezien, moet de z-kracht voldoende groot zijn om de massa van de barrier (ruimschoots) te kunnen dragen.

Voor de momenten is een gelijkwaardige benadering gekozen. Het moment om de x-as, is gelijk aan de slingerkracht maal de momentarm. De momentarm is gelijk aan de afstand tussen het 'draaipunt' van de paal in de berm tot aan het zwaartepunt van de barrier (0,70 meter plus 0,30 meter is 1,00 meter). Het moment om de y-as moet groot genoeg zijn om het draaipunt op

zijn plaats te houden. Het moment om de z-as speelt in de beweging van de barri er geen rol.

In *Tabel 4.1* zijn de berekende parameters van de POINT-verbinding tussen de elementen opgenomen.

Kracht component	k	d	el+	b+	el-	b-
	[N/m]	[Ns/m]	[N]	[m]	[N]	[m]
in x-as	3E7	1E3	3,3E5	0,05	-2,2E6	-0,05
in y-as	4E7	1E4	3,7E6	0,05	-3,7E6	-0,05
in z-as	4E7	1E4	3,7E6	0,05	-3,7E6	-0,05
Moment component	k	d	el+	b+	el-	b-
	[Nm/rad]	[Nms/rad]	[Nm]	[rad]	[Nm]	[rad]
om x-as	1E4	1E2	1,0E3	1,0	-1,0E3	-1,0
om y-as	1,2E7	1E4	1,5E5	0,3	-1,5E5	-0,3
om z-as	7E5	1E4	3,2E4	0,07	-3,2E4	-0,07

Tabel 4.1. Berekende parameters van de POINT-verbinding tussen de elementen.

Zie voor de verklaring van de gebruikte parameteraanduidingen *Bijlage 3*.

In *Tabel 4.2* zijn de berekende parameters van de POINT-verbinding tussen de palen en de berm opgenomen. In de tabel zijn de waarden van de bovengrens voor de paalweerstand opgenomen.

Kracht component	k	d	el+	b+	el-	b-
	[N/m]	[Ns/m]	[N]	[m]	[N]	[m]
in x-as	4,0E6	1,0E3	1,8E5	0,9	-1,8E5	-0,9
in y-as	4,0E6	1,0E3	1,8E5	0,9	-1,8E5	-0,9
in z-as	4,0E4	1,0E2	2,0E4	0,3	-2,0E4	-0,6
Moment component	k	d	el+	b+	el-	b-
	[Nm/rad]	[Nms/rad]	[Nm]	[rad]	[Nm]	[rad]
om x-as	3,0E5	1,0E3	1,8E4	0,9	-1,8E4	-0,9
om y-as	3,0E5	1,0E3	1,8E4	0,9	-1,8E4	-0,9
om z-as	1,0E4	1,0E2	2,0E3	0,2	-2,0E3	-0,2

Tabel 4.2. Berekende parameters van de POINT-verbinding tussen de palen en de berm.

Zie voor de verklaring van de gebruikte parameteraanduidingen *Bijlage 3*.