

BETONNEN GELEIDEBARRIER MET HET NEW JERSEY PROFIEL

Een literatuurstudie en een simulatie-onderzoek naar de veiligheid van een verplaatsbare betonnen New Jersey barrier met een elementlengte van 6 m

R-90-8

Ing. W.H.M. van de Pol

Leidschendam, 1990

Stichting Wetenschappelijk Onderzoek Verkeersveiligheid SWOV

INHOUD

Voorwoord

1. Inleiding
2. Criteria
3. Constructie
4. Literatuurstudie
 - 4.1. Invloed van speling in de verbindingen van de elementen
 - 4.2. Sterkte van de verbindingen
 - 4.3. Invloed van de lengte van een element
 - 4.4. Invloed van het verankeren van de constructie
 - 4.5. Invloed van een glad oppervlak van een element
 - 4.6. Dynamische en statische uitbuiging van de barrier
 - 4.7. Overige resultaten
 - 4.8. Conclusie
5. Simulaties
 - 5.1. Opzet en uitvoering van de simulaties
 - 5.2. Resultaten
 - 5.2.1. Algemeen
 - 5.2.2. Simulatie met de personenauto
 - 5.2.3. Simulatie met de vrachtwagen
 - 5.2.4. Conclusie
6. Vergelijking van de verplaatsbare betonnen New Jersey barrier met andere beveiligingsconstructies
7. Conclusies
8. Aanbevelingen

Literatuur

Afbeeldingen 1 t/m 13

Tabellen 1 t/m 7

Foto's 1 t/m 3

VOORWOORD

Dit rapport doet verslag van een (beperkte) literatuurstudie naar het gedrag van verplaatsbare betonnen geleidebarriers en van enkele simulaties met een personenauto en een vrachtauto om een verplaatsbare betonnen geleidebarrier volgens een ontwerp van Rijkswaterstaat, op zijn werking en veiligheid te testen.

Het verslag van dit onderzoek, dat is uitgevoerd in opdracht van de Dienst Verkeerskunde van Rijkswaterstaat, is samengesteld door ing. W.H.M. van de Pol.

1. INLEIDING

De Grontmij heeft samen met de Directie Bruggen van de Rijkswaterstaat een verplaatsbare betonnen geleidebarrier ontwikkeld (met het New Jersey profiel) voor toepassing in wisselrijstroken op enkele baanvakken van Rijksweg 1 (A1: Amsterdam-Muiden). Het is de bedoeling deze betonnen barrier bij tijdelijke, bijzondere omstandigheden op autosnelwegen ook op andere plaatsen toe te passen.

De veiligheidsaspecten van het RWS-ontwerp, zoals de optredende vertragingen van botsende voertuigen, de verplaatsing van de barrier in laterale richting, zijn aan een onderzoek onderworpen. Dit is enerzijds gebeurd met behulp van een literatuurstudie naar het gedrag van deze barriers bij botsproeven. Anderzijds zijn de veiligheidsaspecten ervan bestudeerd aan de hand van enkele computersimulaties met het VEDYAC-programma.

2. CRITERIA

De in dit onderzoek op veiligheidsaspecten onderzochte betonnen geleidebarrier (met het New Jersey profiel) is een los op de weg staande constructie. De eisen die aan de geleiderailconstructies worden gesteld gelden ook voor de betonnen geleidebarrier. Deze eisen zijn:

1. Het botsende voertuig mag niet door de constructie heen breken, er over heen rijden of kantelen, dan wel er onder door 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.

In dit bijzondere geval zijn de eisen:

1. Het botsende voertuig mag niet door de constructie heen breken, er over heen rijden of kantelen, dan wel er onder door schieten.
2. Letsel van inzittenden, schade aan de constructie en schade aan het voertuig moeten zo beperkt mogelijk blijven.
3. De dynamische uitbuiging mag niet zodanig groot zijn dat de constructie op de aanliggende rijstrook terecht komt en de verkeersafwikkeling daar beïnvloedt.
4. De constructie moet na een aanrijding zijn werking zo veel mogelijk blijven behouden.

Naast toetsing op de functionele eisen moet worden aangegeven hoever de constructie zal uitbuigen en of de gekozen verbindingmethode aan de verwachtingen voldoet.

Afbeelding 1 geeft een overzicht van de situatie ter plaatse van de wisselrijstrook. De ruimte tussen de barrier en de binnenkant kantstreep bedraagt aan de rijbaanzijde 75 cm en aan de zijde van de wisselrijstrook 100 cm.

De optredende vertragingen moeten voldoen aan het $ASI \leq 1,6$ criterium (zie Bijlage 1) in het zwaartepunt (1) van het voertuig. Voor de personenauto zijn ook de ASI-waarden van de bestuurder (2) en de passagier (3) links achter gegeven, en voor de vrachtwagen van de bestuurder (2) en de bijrijder (3).

De ASI-waarden van de personen zijn in het (geschatte) zwaartepunt van de personen berekend. Deze plaats is vast met het voertuig verbonden. In de praktijk is het zwaartepunt van de persoon al of niet via een gordel met het voertuig verbonden. Afhankelijk van de grootte van de drie hoeksnelheden (roll, yaw en pitch) van het voertuig tijdens een aanrijding tegen diverse soorten constructies kan de invloed van de hoeksnelheid op de bewegingen van de personen ten opzichte van het interieur van het voertuig nogal sterk verschillen. Deze hoeksnelheden en de hoekversnellingen zijn niet in de ASI-waarden betrokken, waardoor een belangrijk deel van het gevaar niet door de ASI wordt gerepresenteerd. Een beoordelingscriterium aan de persoon gekoppeld geeft een juister beeld weer van de ernst van een aanrijding. De ASI-waarden voor de personen zijn relatief en geven hooguit een indicatie over de onderlinge verhoudingen.

N.B. Omdat de ASI-criterium nog niet op een wetenschappelijk geheel verantwoorde wijze is vastgesteld, dient zij met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd (Bijlage 1). Vergelijking van de ASI-waarden met de ASI-waarden van gelijksoortige geleidesystemen is wel goed mogelijk en geeft een goede onderlinge rangschikking.

3. CONSTRUCTIE

De hier besproken constructie is opgebouwd uit aan elkaar gekoppelde betonnen elementen van 6 m lengte en een massa van ca. 3500 kg. De koppeling bestaat uit twee delen, één aan de bovenkant en één in de voet van het element. Aan de bovenkant bestaat de verbinding uit een stalen strip (120 x 18 x 500 mm), die met twee M16 bouten aan elk element gekoppeld is. In de voet is een deugel aangebracht die de dwarskrachten van het éne element op het andere element moet overbrengen. De deugel is niet met de elementen verbonden (zie Afbeelding 6).

De maximale belasting per bout bedraagt 34 kN. Voor de deugel bedraagt de maximale afschuifkracht 39,3 kN. In de koppeling is voldoende speling aanwezig om de elementen in het werk gemakkelijk te kunnen koppelen en om in bogen geplaatst te worden.

De wrijvingscoëfficiënt tussen de betonnen voet van het element en het brugdek is op 0,5 gesteld.

4. LITERATUURSTUDIE

In de literatuur zijn veel full-scale tests op voorgevormde betonnen constructies (New Jersey barrier, General Motors barrier, Configuration F e.d.) te vinden, maar weinig op verplaatsbare voorgevormde betonnen constructies. Als proefvoertuigen zijn alleen personenauto's gebruikt, waarbij voor nagenoeg elke test extreem hoge inrijcondities zijn gehanteerd. De geselecteerde full-scale tests zijn samengebracht in Tabel 1 en 2, enkele van de daarin genoemde constructies zijn afgebeeld in de Afbeeldingen 2 t/m 6.

In de uitgevoerde testen zijn vier (grote) verschillen te onderscheiden in uitvoering van de geteste constructies, nl.:

- de elementlengte en massa;
- al of niet verankerd zijn van begin en/of einde van de barrier;
- al of geen speling in de verbindingen tussen de elementen en ruimte opgevuld;
- de sterkte van de verbindingen.

4.1. Invloed van speling in de verbindingen van de elementen

In een verbinding tussen twee elementen is altijd een zekere speling aanwezig. Deze speling is noodzakelijk om de barrier ook in bogen te kunnen plaatsen. Te veel restspeling vergroot de uitbuiging van de constructie. Deze restspeling kan tijdens het plaatsen er uitgehaald worden en de ontstane ruimte kan worden opgevuld. Bij de tests 2 en 6 is de speling er niet uitgehaald, bij tests 4 en 7 wel (zie Tabel 2).

Uit de tests blijkt dat constructies met speling (2 en 4) een grotere uitbuiging hebben dan de constructies zonder speling (6 en 7). Het grote verschil in uitbuiging tussen test 2 en 4 wordt mede veroorzaakt door het verschil in botsenergie, 173.54 kgfm t.o.v. 135.10 kgfm. Uitgaande van de veronderstelling dat de hoeveelheid energie per verplaatste cm gelijk is, kan voor het energieverval worden gecompenseerd. Uit test 2 en 3 (beide met speling) volgt een energie van 390 kgfm per verplaatste cm $\{(17354 - 3288)/(43 - 7)\}$. De uitbuiging van 43 cm van test 2 wordt dan teruggebracht met $\{(17354 - 13510)/390\} =$ ca. 10 cm tot ca. 33 cm voor gelijke botsenergie van test 4. Het er uithalen van de aanwezige speling in de verbindingen heeft een reductie van ca. 30% tot gevolg.

Voor de tests 6 en 7 geldt ongeveer hetzelfde. De elementen van de tests 6

en 7 zijn 2,5 maal zo lang als bij de tests 2, 3 en 4. Uitgaande van de veronderstelling dat de verplaatsingsenergie per element dan ook 2,5 maal zo groot zal zijn, wordt de compensatie voor het energieverval $\{(14250-11009)/(2,5 \times 390)\}$ ca. 3 cm. In deze situatie heeft het verwijderen van de nog aanwezige speling een reductie van ca. 32% tot gevolg.

4.2. Sterkte van de verbindingen

In Afbeelding 7 zijn de resultaten van de full-scale tests weergegeven voor drie botsniveaus (zie hiervoor Tabel 3). De tests waarbij de constructie is doorbroken, zijn aangegeven met + (tests 8, 9, 11 en 12). In Tabel 6 zijn de sterkte-eigenschappen van de geteste verbindingen weergegeven.

De resultaten van de full-scale tests 10 t/m 13 geven de invloed aan van de sterkte van de verbindingen tussen de elementen. Onder lichte inrijcondities voldoet de verbinding van test 10, maar onder (zeer) zware inrijcondities voldoet deze verbinding niet (test 11) en wordt de constructie doorbroken. De versterkte verbinding toegepast in test 12, voldoet niet onder de gegeven zware inrijcondities, maar voldoet goed onder veel lichtere inrijcondities (test 13).

Voor de tests waarbij de constructie niet is doorbroken, geldt dat de verbinding in ieder geval voldoet aan het botsniveau dat onder het beproefde niveau ligt. Dit wil niet zeggen dat de verbinding niet aan een hoger liggend niveau kan voldoen. De testen 2 t/m 5 maken dit duidelijk. De testen zijn uitgevoerd met dezelfde verbinding, maar onder sterk uiteenlopende inrijcondities.

Voor de tests waarbij de constructie is doorbroken (tests 8 en 9) geldt dat niet kan worden aangegeven aan welk belastingsniveau deze verbinding voldoet.

4.3. Invloed van de lengte van een element

In de gehouden tests zijn vier verschillende lengten van elementen toegepast. Uit de resultaten van de gehouden tests wordt niet duidelijk of de lengte van een element invloed heeft op de grootte van de uitbuiging. De invloed van de lengte van het element ligt (waarschijnlijk) meer in de bewegingen van het voertuig. De hoek tussen lange elementen is groter dan tussen korte elementen bij een gelijke uitbuiging en dus verloopt de uit-

buiging minder vloeiend. De lengte van een element bepaalt ook de massa van het element en dus zijn handelbaarheid tijdens het plaatsen.

4.4. Invloed van het verankeren van de constructie

In de literatuur wordt niet altijd vermeld of de constructie is verankerd of niet. De grootte van de invloed van het al-of-niet verankeren is niet bekend, maar aangenomen mag worden dat, afhankelijk van de totale lengte van de geteste constructie, niet-verankerde barriers verder zullen uitbuigen. Wordt aangenomen dat de constructies niet zijn verankerd (tests 1, 8 t/m 13) tenzij vermeld (tests 2 t/m 7), dan onderschrijven de resultaten van de tests de veronderstelling dat niet-verankerde constructies verder uitbuigen. In de literatuur wordt niet vermeld of er langsverplaatsing in de verankeringen heeft plaats gevonden. In enkele gevallen wordt vermeld of er verruiming in de verbindingen is opgetreden.

4.5. Invloed van een glad oppervlak van het element

Uit tests 3 (grof oppervlak) en 5 (glad oppervlak) blijkt dat een glad oppervlak van de constructie een gunstig effect heeft op de afloop van een aanrijding. Opvallend is dat de constructie van test 3 met meer botsenergie minder ver uitbuigt dan de constructie van test 5 met minder botsenergie. De oorzaak van dit fenomeen is het feit dat een deel van de botsenergie in de beweging van het voertuig gaat zitten. Vooral de rolhoek wordt veel kleiner, 11 grd. van test 5 tegen 40 grd. of meer (zie Tabel 2) van tests met een grof oppervlak. Ook de klimhoek van het voorwiel van het botsende voertuig is kleiner, 22 grd. in plaats van 30 grd. De bewegingen van het voertuig zijn minder heftig bij een glad oppervlak van het element (zie Foto 1).

4.6. Dynamische en statische uitbuiging van de barrier

In de literatuur wordt niet altijd duidelijk aangegeven of het om dynamische of statische uitbuiging gaat. Van de tests waarvan dat wel bekend is, zijn er twee gelijk (test 6 en 7) en bij één test (13) is de dynamische uitbuiging 50% groter dan de statische uitbuiging. Verplaatsing van de elementen in lengterichting wordt nergens vermeld.

4.7. Overige resultaten

In Tabel 3 zijn de vier niveaus gegeven die in de USA gebruikt worden ter beoordeling van de verbindingen van de geteste barriers. De eerste drie niveaus zijn voor aanrijdingen met Amerikaanse personenauto's. Het laatste niveau geldt voor een aanrijding met een schoolbus. Ter vergelijking zijn twee Nederlandse botscondities in de tabel opgenomen. In Afbeelding 7 zijn de drie niveaus met constante dwarsenergie voor de personenauto weergegeven en zijn de resultaten van de full-scale tests verwerkt. In de met een kruis gemerkte tests is de verbinding tussen twee of meer elementen gebroken. Bij de andere tests zijn de verbindingen tussen de elementen heel gebleven en voldoen deze aan het belastingsniveau waar zij boven liggen. Dit wil niet zeggen dat de verbindingen ook niet aan een zwaardere inrijconditie kunnen voldoen.

Voor de Nederlandse inrijcondities voor personenauto's moeten de verbindingen ongeveer aan belastingsniveau 2 voldoen.

4.8. Conclusie

Uit de literatuurgegevens, die betrekking hebben op omstandigheden die gelden in de USA, kan niet direct worden afgeleid of de door RWS voorgestelde constructie wel of niet zal voldoen in de Nederlandse condities; dit zal worden onderzocht met behulp van simulaties. Wel zijn er diverse aanwijzingen omtrent parameters die aanmerkelijke invloed op de werking van de constructie hebben en dus van belang zijn bij het ontwerp of verbetering van een constructie voor de Nederlandse omstandigheden.

5. SIMULATIES

5.1. Opzet en uitvoering van de simulaties

Voor de beoordeling van de veiligheid van de betonnen New Jersey barrier zijn twee voertuigen geselecteerd, nl. een middenklasse personenauto met een massa van 990 kg en een beladen vrachtwagen met een totale massa van 10.000 kg. De inrijconditie is voor de personenauto 100 km/uur en 20 grad en voor de vrachtwagen 80 km/uur en 15 grad (zie Tabel 6).

Als criteria voor de beoordeling van de simulaties gelden de ASI-waarden van de voertuigen in het zwaartepunt (zie Bijlage 1) en de dynamische uitbuiging van de barrier tijdens de aanrijding. De ASI-waarden, een maximale gewogen som van de gelijktijdig optredende lineaire versnellingen in de betreffende punt van het voertuig, zijn ook voor de beide voertuigen op de plaats van bestuurder en passagier links achter of bijrijder berekend. De dataset van de elementen is zo gemaakt dat de kopse kanten van de elementen elkaar raken na een verdraaiing van ca. 4 graden. In de simulaties het eerste element verankerd. Het laatste element is niet verankerd, omdat de totale lengte van de constructie na de botsfase voldoende massa heeft om de verankering te simuleren.

5.2. Resultaten

5.2.1. Algemeen

De wijze waarop de constructie zal werken hangt sterk af van de hoeveelheid botsenergie die het voertuig heeft. Is deze hoeveelheid klein, dan blijft de constructie staan en werkt deze als een starre constructie. Bij voldoende botsenergie gaat de constructie enige tijd na de botsing bewegen. Dit moment is afhankelijk van de massa(traagheid) van de constructie en de heersende wrijvingcoëfficiënt.

De botsenergie van de botsende personenauto is klein in verhouding tot de massatraagheid van de barrier, zodat de verplaatsbare betonnen New Jersey barrier op een aanrijding met de personenauto reageert als een zeer stijve (starre) constructie. De ASI-waarden zijn echter een factor 2 lager. De bewegingen van de personenauto zijn daarentegen veel heftiger, de rol- en domphoeken zijn veel groter en het voertuig komt verder van de grond los dan bij de starre constructie.

Het niet-verankerde einde van de constructie verplaatst zich ca. 2 cm in langsrichting; bij de vrachtauto is de verplaatsing groter, ca. 6 cm

5.2.2. Simulatie met de personenauto

Afbeelding 8 geeft een overzicht van het verloop van de aanrijding.

De primaire botsing vindt plaats ca. 2 m voor de verbinding 6/7. Door de botsing wordt verbinding 6/7 aan de voet verbroken. De verbindingen 5/6 en 7/8 blijven intact. 0,12 seconde na de botsing vindt het rear-end effect plaats. Tijdens het verder uitbuigen van de constructie schuiven element 6 en element 8 verder uit, breekt ook de deugel in de voet van verbinding 7/8 en kantelt element 7. Hierdoor komt de voet van element 7 buiten de constructie uit te steken. Het rechter achterwiel rijdt tegen de kopse kant van dit element aan en wordt omhoog "geschoten" waardoor de grote domphoek ontstaat (zie Afbeelding 9). Het kantelen van element 7 wordt door het hoge aanrakingspunt met het botsende voertuig veroorzaakt. Door het uitbuigen van de constructie worden alle elementen in lengterichting verplaatst, waarbij de elementen voor de botsing meer verplaatst worden. De ASI-waarden voor de personenauto zijn met resp. 2,1 (zwaartepunt), 2,2 (bestuurder) en 3,3 (achterpassagier), veel hoger dan het $ASI \leq 1,6$ criterium voor inzittenden met een gordel (Afbeelding 10).

De toegepaste verbinding voldoet niet; de deugel is te zwak omdat deze niet gewapend is en dus geen moment kan opnemen. De personenauto doorschrijdt de constructie niet omdat de botsenergie daarvoor te klein is. De dynamische uitbuiging blijft beperkt tot 59 cm ter hoogte van de verbinding tussen element 6 en 7.

5.2.3. Simulatie met de vrachtwagen

De aanrijding met de vrachtwagen vindt plaats ca. 1,5 m na de verbinding 5/6. Door de botsing worden de verbindingen 6/7 en 7/8 aan de voet verbroken. Elementen 6, 7 en 8 beginnen te kantelen. Ca. 0,52 seconde na het begin van de botsing vindt het rear-end effect plaats tegen element 7. De vrachtwagen bevindt zich dan naast de elementen 7 en 8. Door het rear-end effect kantelen deze elementen, waarbij de verbinding 6/7 breekt. Het rechter achterwiel overschrijdt element 8 (Afbeelding 11). De ASI-waarden voor zwaartepunt, bestuurder en bijrijder zijn resp. 0,3, 0,7 en 1,1 en daarmee veel lager dan het $ASI \leq 1,6$ criterium voor inzittenden met gordel

(Afbeelding 12). Door het uitbuigen van de constructie worden alle elementen in hun lengterichting verplaatst. Hierbij valt op dat de elementen voor het botsende voertuig meer in lengterichting van de constructie verplaatst worden dan de elementen achter het botsende voertuig.

5.2.4. Conclusie

Uit de simulaties blijkt dat de voorgestelde verbinding niet bij de gestelde inrijcondities voldoet. Vooral de deugel is het zwakke punt. De niet-gewapende deugel is niet in staat de optredende dwarskracht en buigmoment op te nemen. Zeker met het oog op de inrijcondities met vrachtwagens zal de verbinding veel zwaarder moeten worden uitgevoerd. Bij de (in de USA) voorgestelde waarden van Tabel 5 is te verwachten dat de verbinding sterk genoeg is voor een aanrijding met een personenauto. Maar ook dan nog is de deugel de zwakke schakel en zal breken.

6. VERGELIJKING VAN DE VERPLAATSBARE BETONNEN NEW JERSEY BARRIER MET ANDERE BEVEILIGINGSCONSTRUCTIES

In Afbeelding 13 is een vergelijking gemaakt van de ernst van een aanrijding tegen een verplaatsbare betonnen New Jersey barrier met de geleiderailconstructie en de starre betonnen constructie. Hiervoor is de ASI-waarde uitgezet tegen de laterale botsenergie. De gegevens zijn van zowel full-scale tests als van simulaties. De gegevens zijn alleen van personenauto's en gelden voor het zwaartepunt.

Uit de afbeelding blijkt dat een verplaatsbare betonnen New Jersey barrier beter functioneert dan de starre betonnen New Jersey barrier, maar minder goed dan een stijve geleiderailconstructie. Dat de verplaatsbare betonnen constructie minder goed reageert dan een stijve geleiderailconstructie ligt aan het feit dat de verplaatsbare betonnen constructie een (veel) grotere beginweerstand heeft voordat die gaat verplaatsen. In het begin van de botsing reageert de constructie min of meer als een starre constructie.

In Hoofdstuk 2 is aangegeven waarom de gegeven ASI-waarden met de nodige voorzichtigheid moeten worden behandeld. Het verschil in voertuigbeweging bij de verschillende constructievormen kan een grote invloed hebben op de letselkans. De ASI-waarden van verschillende inrijcondities tegen dezelfde constructie geeft een betrouwbaarder beeld van de kans op letsel.

7. CONCLUSIES

In de literatuur worden over het gedrag van betonnen geleidebarriers met het New Jersey profiel de volgende conclusies aangegeven:

1. De verbindingen tussen de elementen zijn belangrijk voor een goede werking van de constructie en moeten zo sterk zijn dat zij het optredende hoge belastingsniveau kunnen verwerken. Tabel 5 geeft een overzicht van de in de USA aanbevolen (nog experimentele) sterkte van de verbindingen.
2. De constructie moet worden verankerd wanneer geen uitbuigruimte aanwezig is.
3. Een glad oppervlak heeft een gunstig effect op de afloop van de aanrijding.
4. De schade aan de constructie wordt beperkt door de speling uit de verbindingen te halen en de vrije ruimte in de voet op te vullen met vulspecie, zowel aan de voorkant als aan de achterkant.

Uit de twee simulaties blijkt dat de voorgestelde verbinding te zwak is om een aanrijding met een personenauto, onder normale inrijcondities 100 km/uur en 20 grad., te kunnen doorstaan. De deukel wordt op afschuiving en op buiging belast. Beide belastingsgevallen zijn voor een ongewapende deukel funest. De personenauto wordt wel omgeleid.

Voor een aanrijding met de vrachtwagen geldt dat de constructie breekt en de vrachtwagen op de constructie belandt.

Uit zowel full-scale tests als de simulaties blijkt dat de voertuigbewegingen nogal heftig zijn: grote rolhoeken, grote klimhoogte, roll-over na de botsing e.d. (zie Foto 3, test 7).

De ernst van een aanrijding tegen een verplaatsbare betonnen geleidebarrier is, in termen van de ASI-waarden, kleiner dan de ernst van een aanrijding tegen een starre geleidebarrier, maar groter ten opzichte van een geleiderailconstructie. Hierbij wordt wel aangemerkt dat de verbinding tussen de elementen niet moet breken. Verder zij opgemerkt dat het, op lineaire versnellingen gebaseerde, ASI-criterium in dit geval door de optredende, zeer heftige, voertuigrotaties een weinig betrouwbaar beeld van de veiligheid geeft; de rotaties vergroten de kans dat de inzittenden (hard) tegen het voertuiginterieur botsen. De gordels zijn minder effectief voor dit soort beweging, waardoor het risico ook hoger moet worden geschat dan uit de ASI-waarden kan worden afgeleid.

Samenvattend luidt de conclusie dat afgeraden wordt de verplaatsbare betonnen geleidebarrier in de voorgestelde vorm te plaatsen; de verbinding moet versterkt worden. De deugel in zijn huidige vorm (geen wapening) kan geen moment of trekkracht opnemen, alleen enige schuifkracht.

In het volgende hoofdstuk zullen aanbevelingen worden gedaan om tot een acceptabel werkende constructie te geraken.

8. AANBEVELINGEN

Zowel de literatuur als de simulaties geven aan dat een goede verbinding tussen de elementen van essentieel belang is. Het verdient aanbeveling de sterkte van een verbinding zo te verhogen dat die ook bij aanrijding door een vrachtauto niet verbroken kan worden. De elementen zullen dan ook in de voet, waar nu de deuvel zit, vastgekoppeld moeten worden. Als minimale sterkte van beide verbindingen te zamen kan worden uitgegaan van niveau 3 in Tabel 5 : dwars 220 kN, voor buiging 68 kNm en voor torsie 34 kNm.

Verder kan o.a. worden gedacht aan het koppelen van de verbinding aan de wapening van het element en/of het onderling koppelen van de verbindingen aan weerszijde van een element.

Voorts kan de verkleining van de elementlengte tot onder de normale 6 m waarschijnlijk een gunstige invloed op de bewegingen van het botsende voertuig hebben, omdat de uitbuiging wat vloeiender zal zijn doordat de hoekverdraaiing tussen twee elementen kleiner is. Deze kleinere elementen zijn bovendien handelbaarder op het werk. De grotere handelbaarheid van kleine elementen wordt echter weer deels teniet gedaan door het grotere aantal verbindingen.

Onder de voorwaarde dat de verbindingen tussen de elementen van een verplaatsbare constructie altijd intact blijven, kan worden geconstateerd dat de verschillen in werking tussen vaste en verplaatsbare constructies niet zodanig groot zijn dat er een sterke voorkeur kan worden uitgesproken. Uit zowel full-scale tests als simulaties blijkt dat de verplaatsbare constructies onder vergelijkbare omstandigheden een lagere ASI-waarde veroorzaken, maar dat starre constructies tot wat gunstiger verloopende voertuigbewegingen leiden. Daarbij komt dat de meeste aanrijdingen onder gunstiger condities plaatsvinden dan de gebruikte testcondities, waardoor het functionele verschil ook verder afneemt. De keuze zal daarom in de praktijk afhangen van de aard van de toepassing (tijdelijk of permanent) en de beschikbare uitbuigingsruimte. Hierbij kan wel worden aangetekend dat het de voorkeur verdient om het eerste en laatste element van verplaatsbare constructies altijd te verankeren, zeker als de constructie een relatief geringe lengte heeft. De wijze waarop dit gebeurt (grondanker, paal o.i.d.) is van minder belang, zolang de sterkte van de ver-

binding aan de bodem maar tenminste zo groot is als die van de lang/dwars-verbinding van de elementverbindingen.

Tabel 5 geeft een overzicht van de in de USA voorgestelde sterkte-eigenschappen voor de verbindingen voor een aantal botsenergieniveaus. Hierbij wordt onderscheid gemaakt in elementlengte, waarbij de verschillen in sterkte-eigenschappen van de verbinding nogal groot zijn.

Zoals reeds gesteld, nemen we op grond van het voorliggende onderzoek aan dat de verbindingen tenminste de sterkte van niveau 3 moeten kunnen realiseren.

LITERATUUR

Bronstad, M.E. & Kimball, C.E. (1980). Temporary barriers used in construction zones. Report FHWA/RD-80/095. Southwest Research Institute, 1980.

Bronstad, M.E.; Valcote, I.R. & Kimball, C.E. (1976). Concrete median barrier research, Volume 2. Report FHWA-RD-77-4. Southwest Research Institute, 1976.

Fortuniewicz, J.S.; Bryden, J.E. & Phillips, C.G. (1982). Crash tests of portable concrete median barrier for maintenance zones. Report FHWA/NY/RR-82/102. New York State Department of Transportation, 1982 (zie ook T.R. Record 942).

Hahn, K.C. & Bryden, J.E. (1980). Crash tests of construction zone traffic barriers. Report FHWA/NY/RR-80/82. New York State Department of Transportation, 1980.

Hirsch, T.J.; Marquis, E.L.; Nixon, J.F. & Hustace, D. (1976). Crash test and evaluation of a precast concrete median barrier. Texas Transportation Institute, 1976.

Ivey, D.L.; Ross, H.E.; Hirsch, T.J.; Buth, C.E. & Olson, R.M. (1980). Portable concrete median barriers: Structural design and dynamic performance. In: Roadside hazards, traffic barriers, and safety appurtenances. T.R. Record 769. Transportation Research Board, 1980.

Lynn Beason, W.; Ross, H.E. jr.; Perera, H.S. & Marek, M. (1990). A single slope concrete median barrier. Texas Transportation Institute, 1990.

Pol, W.H.M. van de (1989). Geleiderailconstructies met vervormbare afstandhouders. R-89-46. SWOV, 1989.

Schoon, C.C. (1985). De invloed van de wrijvingscoëfficiënt van betonnen geleideconstructies op de grootte van de voertuigverlaging en de klimhoogte van voorwielen. R-85-68. SWOV, 1985.

AFBEELDINGEN 1 T/M 13

Afbeelding 1. Overzicht van de plaats van betonnen New Jersey barriers ter weerszijde van een wisselrijstrook in Rijksweg A1.

Afbeelding 2. Texas dowel connection.

Afbeelding 3. New York "CI" interlock.

Afbeelding 4. Concrete median barrier CMB-18.

Afbeelding 5. California pin-rebar connection.

Afbeelding 6. RWS-verbinding.

Afbeelding 7. Resultaten full-scale tests naar drie niveaus met constante dwarsenergie (personenauto).

Afbeelding 8. Verloop simulatie met personenauto.

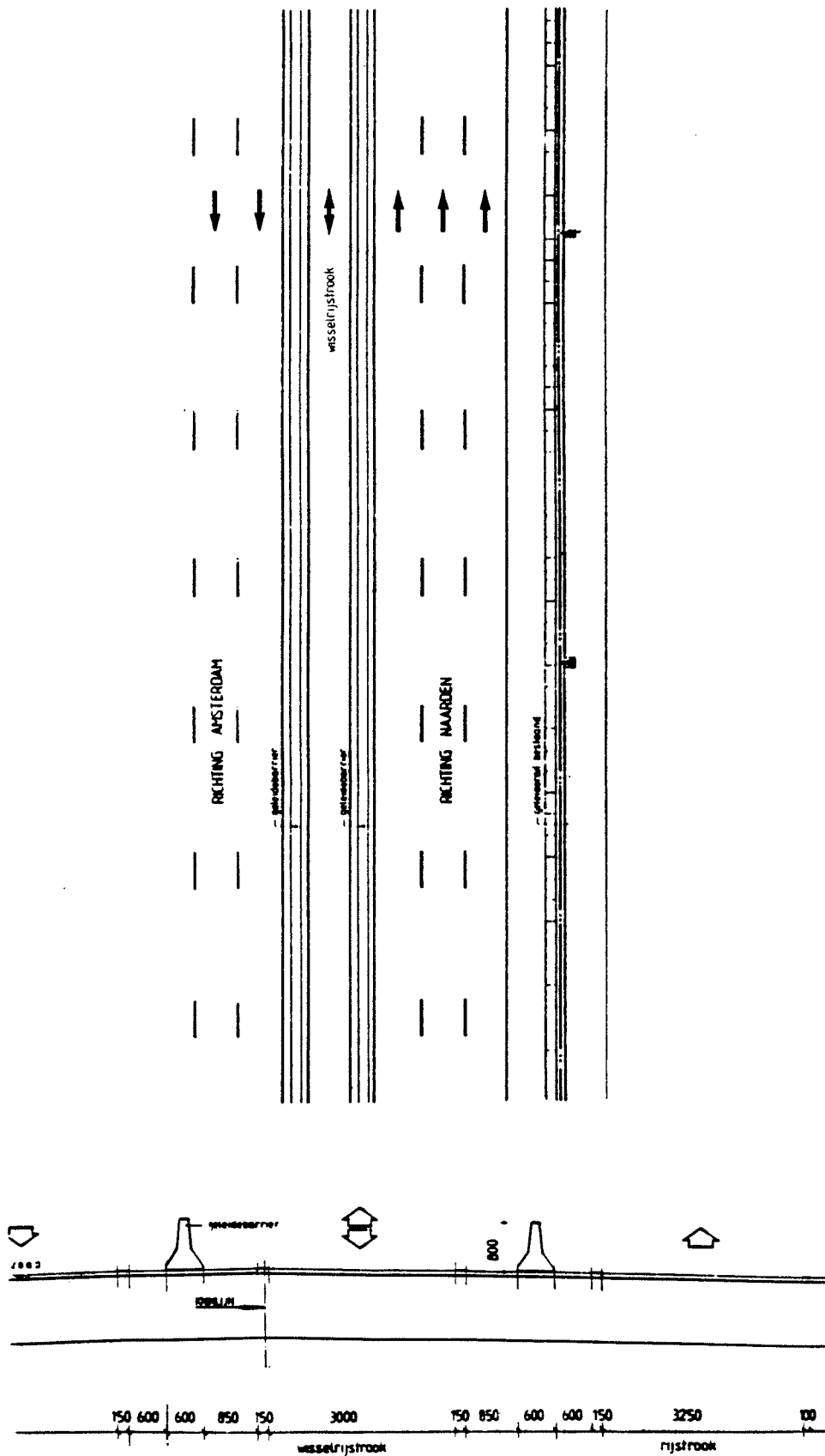
Afbeelding 9. Rechter achterwiel raakt element 7.

Afbeelding 10. Verdragingswaarden zwaartepunt en ASI-waarden zwaartepunt (1), bestuurder (2) en passagier links achter (3).

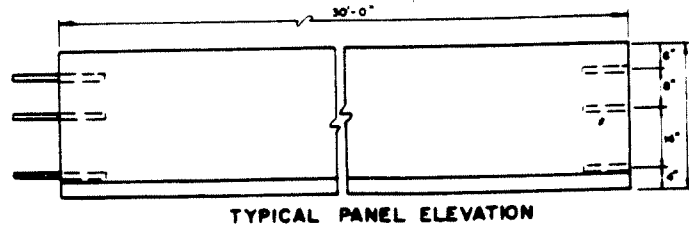
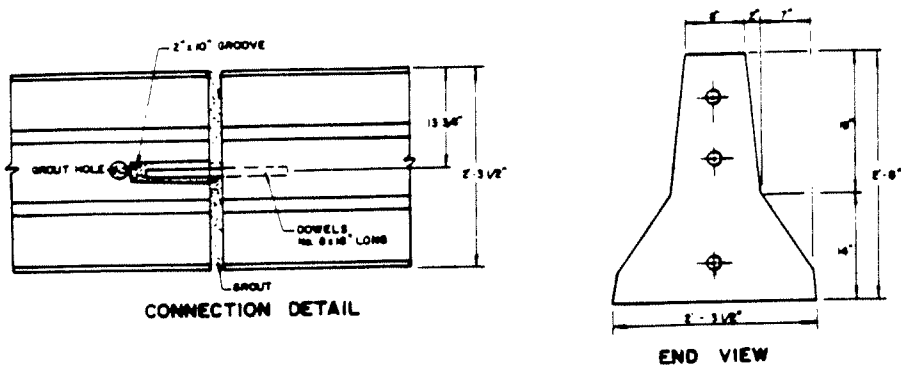
Afbeelding 11. Overzicht verloop aanrijding met vrachtwagen.

Afbeelding 12. Verdragingswaarden zwaartepunt en ASI-waarden zwaartepunt (1), bestuurder (2) en bijrijder (3).

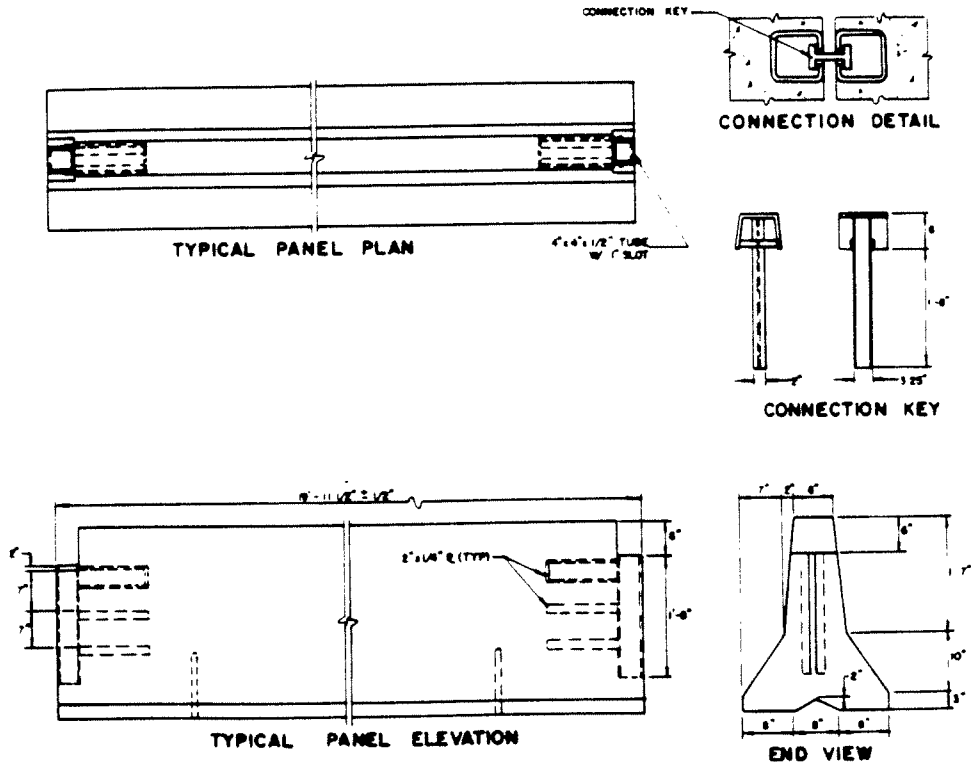
Afbeelding 13. Vergelijking van de verschillende geleidesystemen.



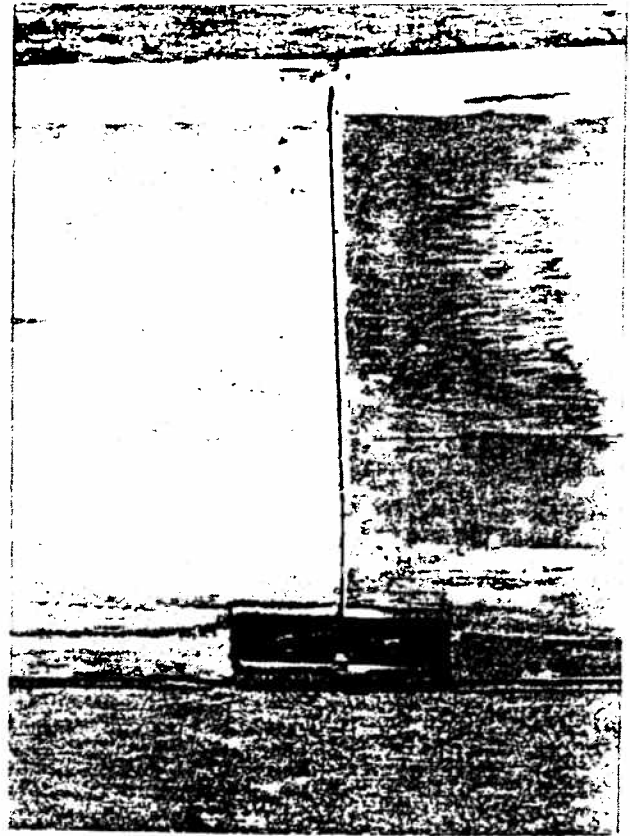
Afbeelding 1. Overzicht van de plaats van betonnen New Jersey barriers ter weerszijde van een wisselrijstrook in Rijksweg A1.



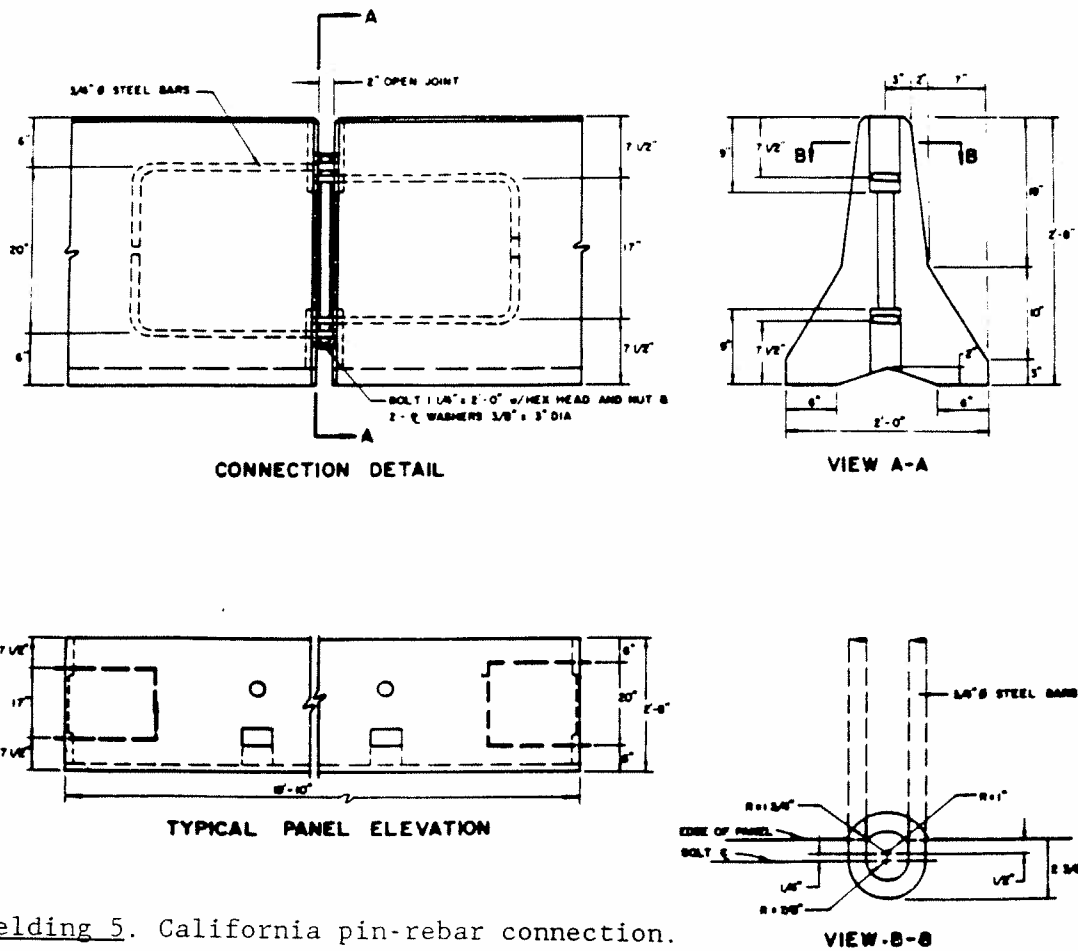
Afbeelding 2. Texas dowel connection.



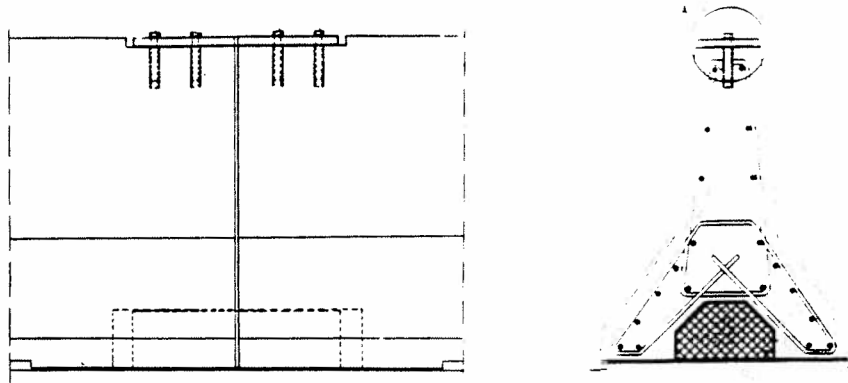
Afbeelding 3. New York "CI" interlock.



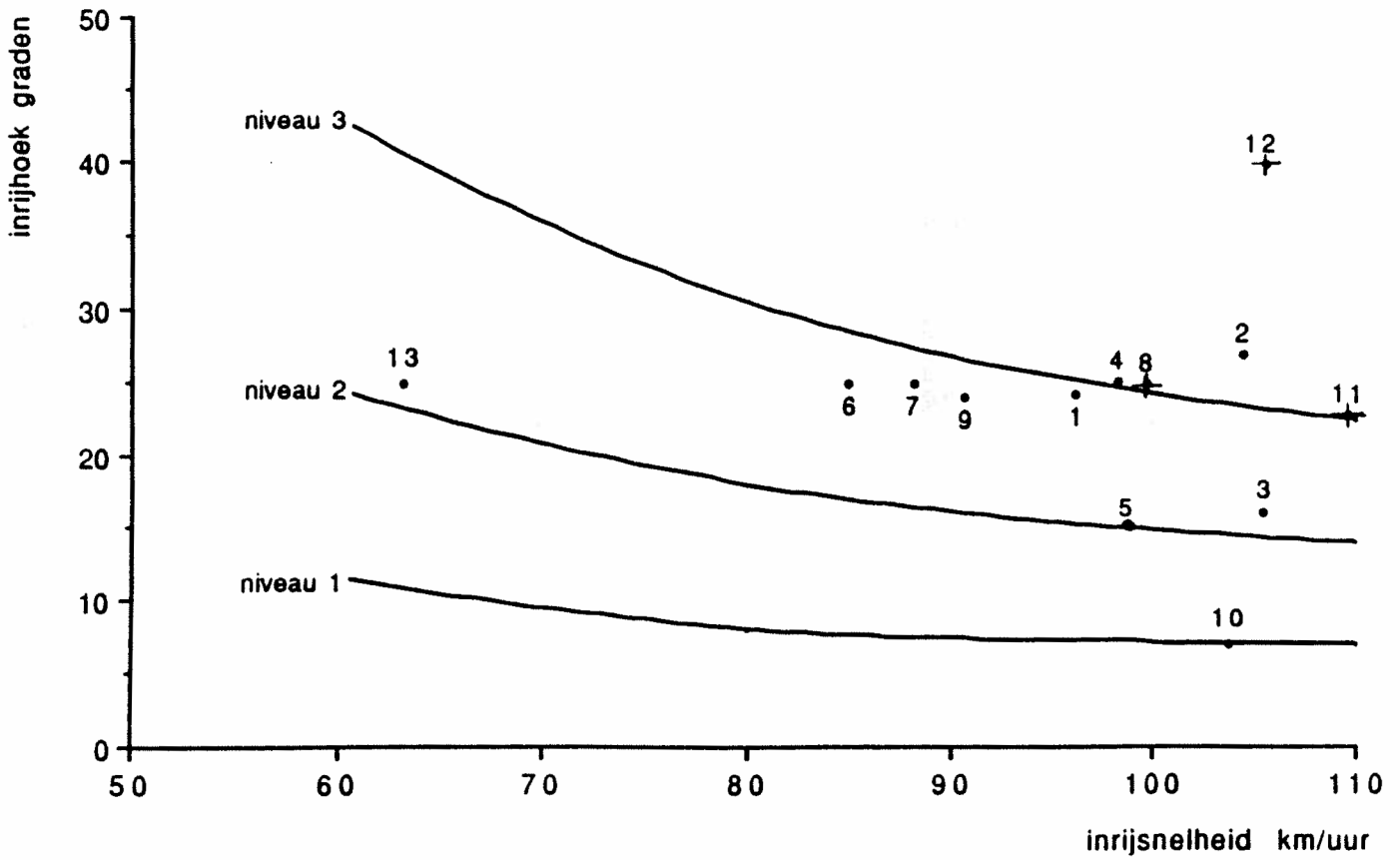
Afbeelding 4. Concrete median barrier CMB-18.



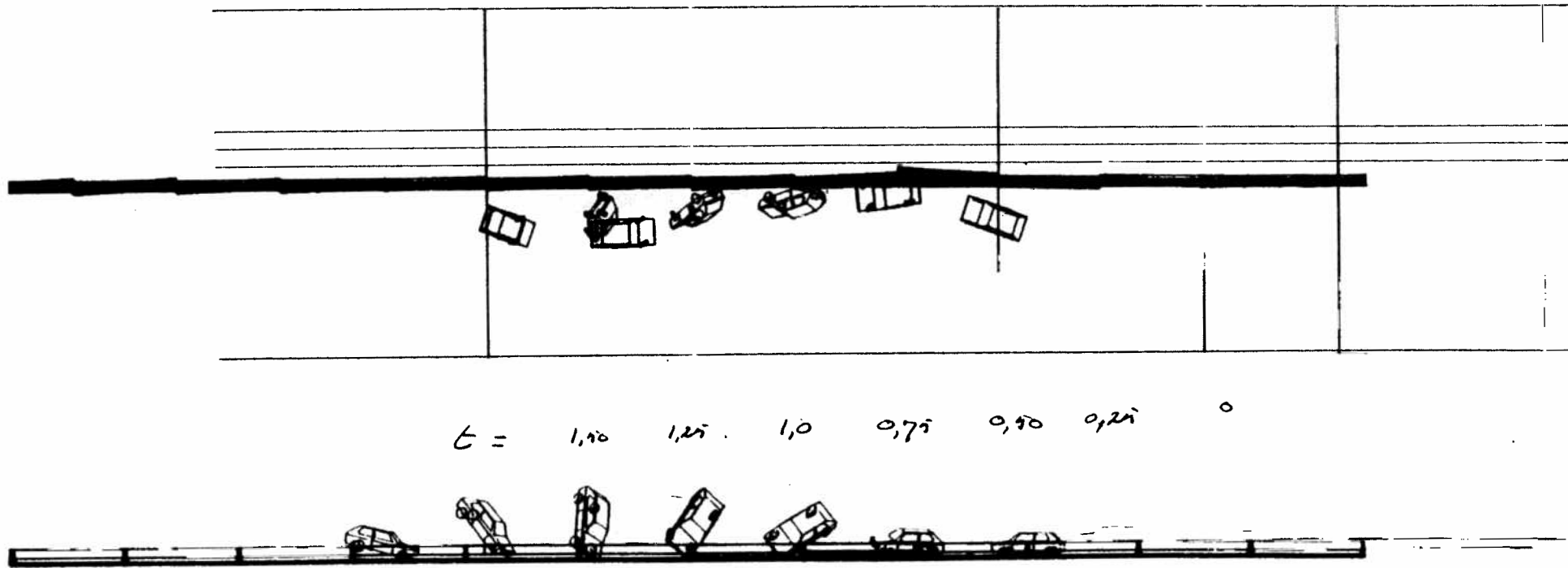
Afbeelding 5. California pin-rebar connection.



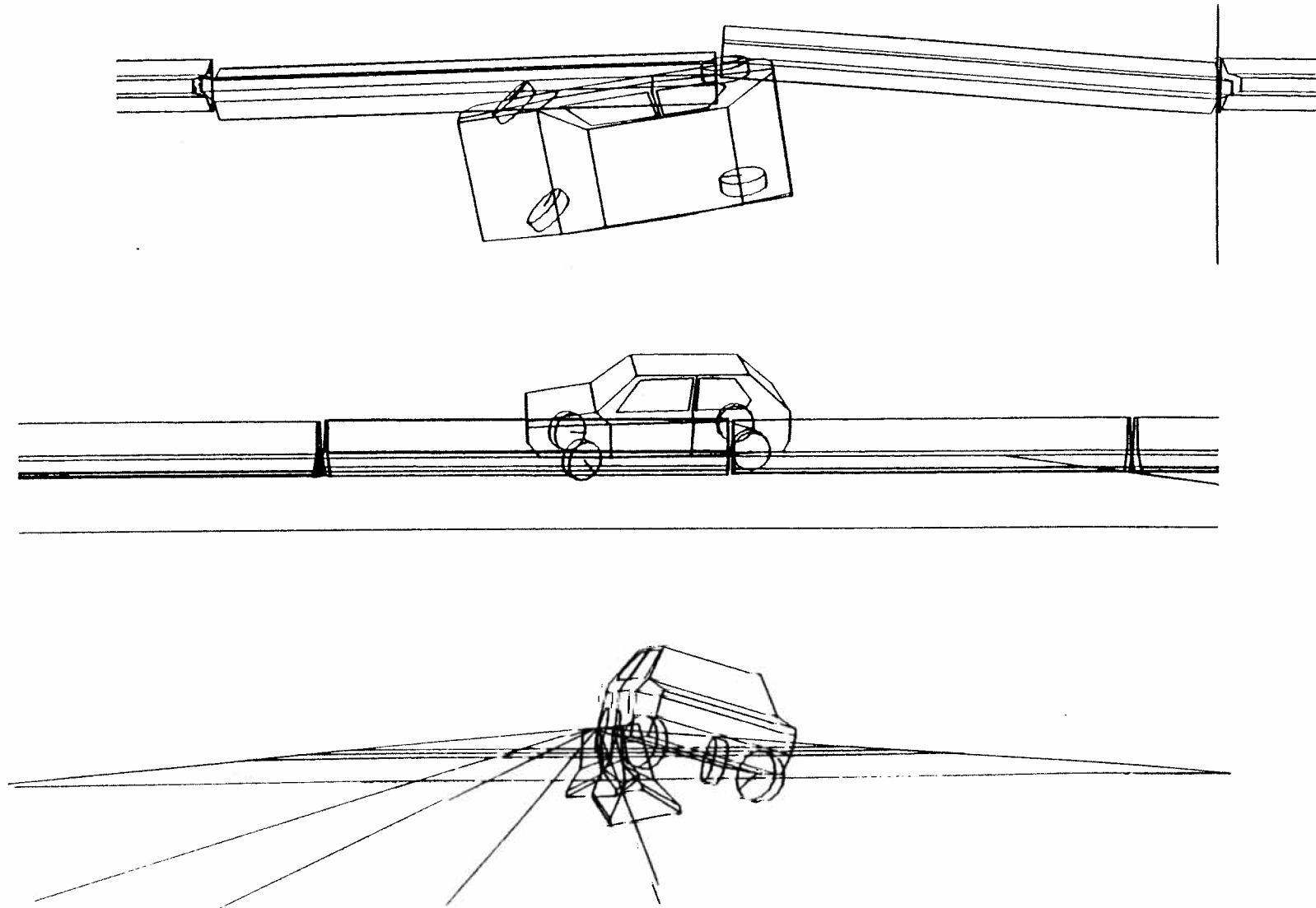
Afbeelding 6. RWS-verbinding.



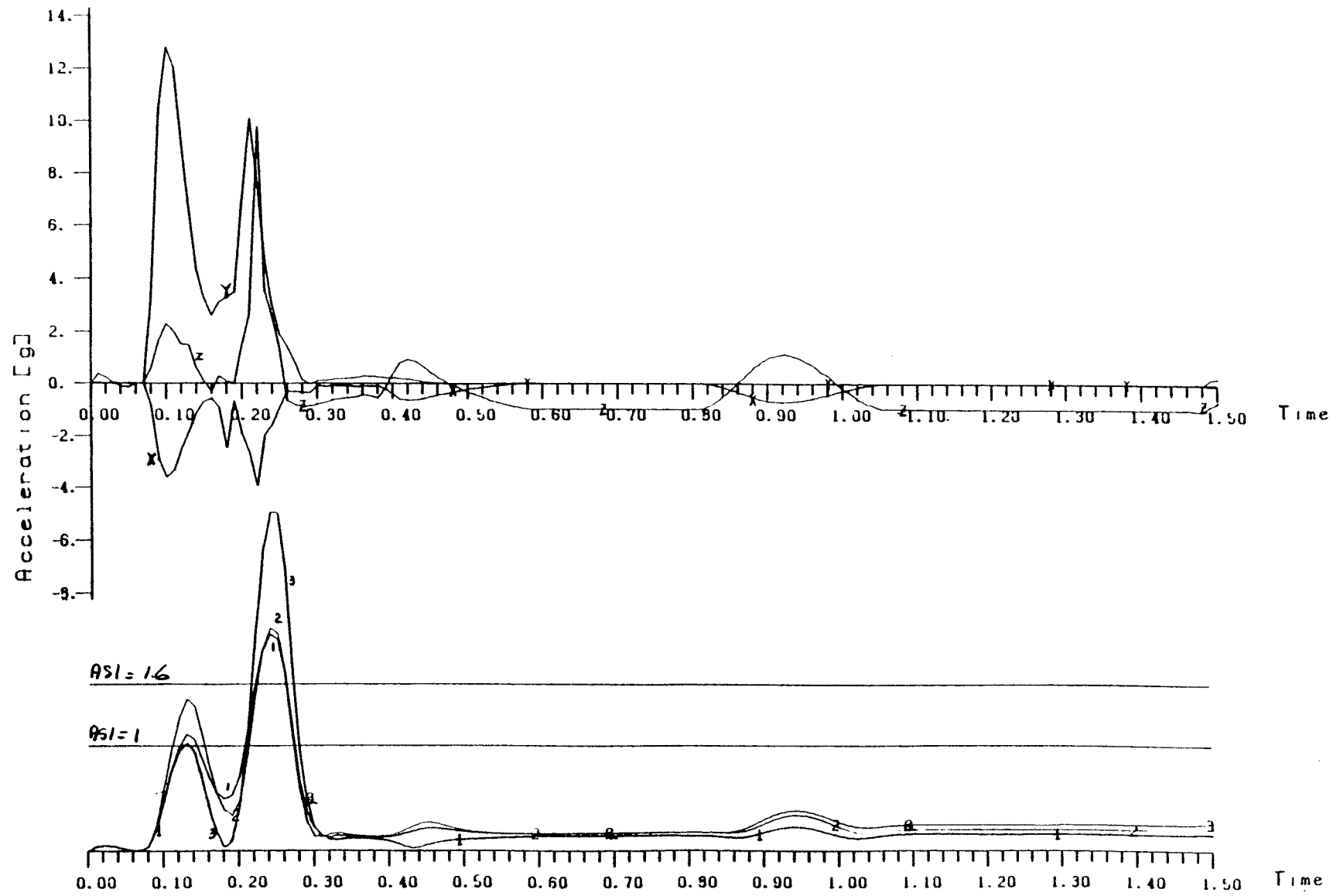
Afbeelding 7. Resultaten full-scale tests naar drie niveaus met constante dwarsenergie (personenauto).



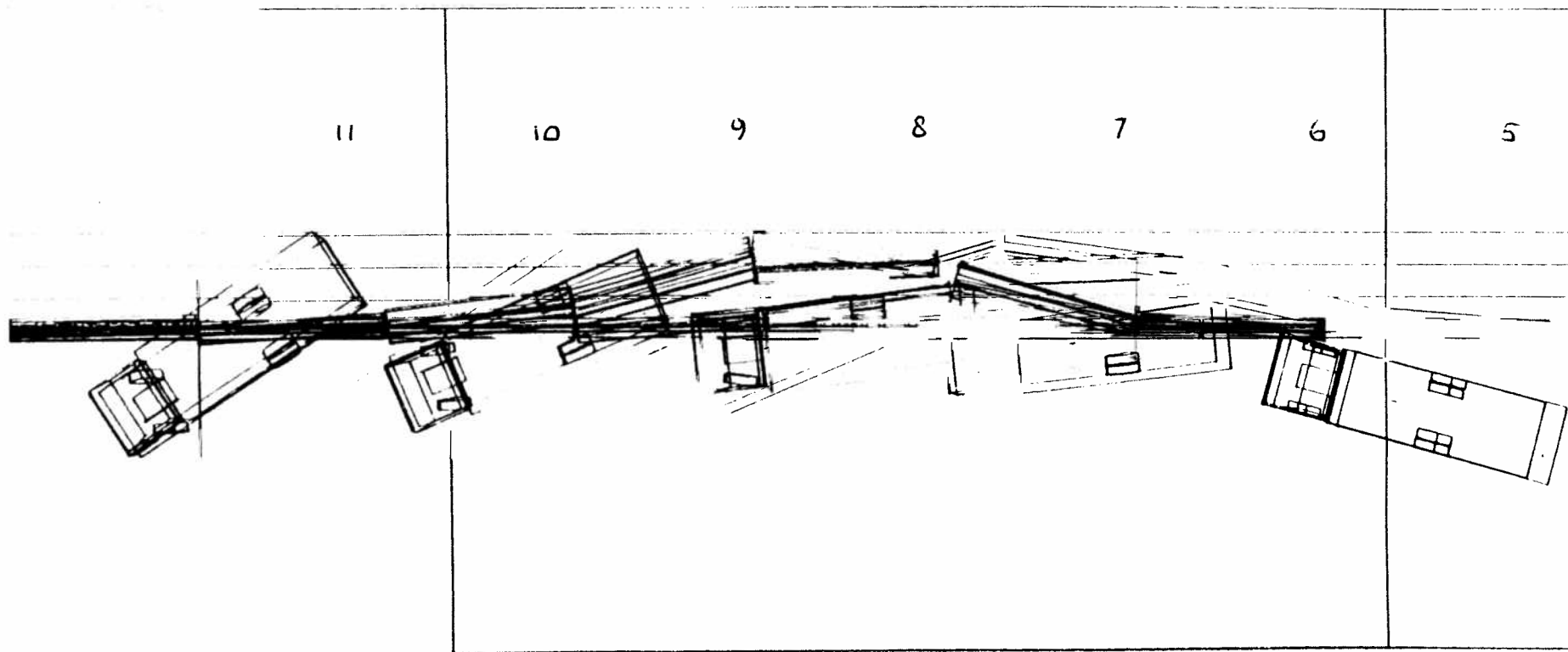
Afbeelding 8. Verloop simulatie met personenauto.



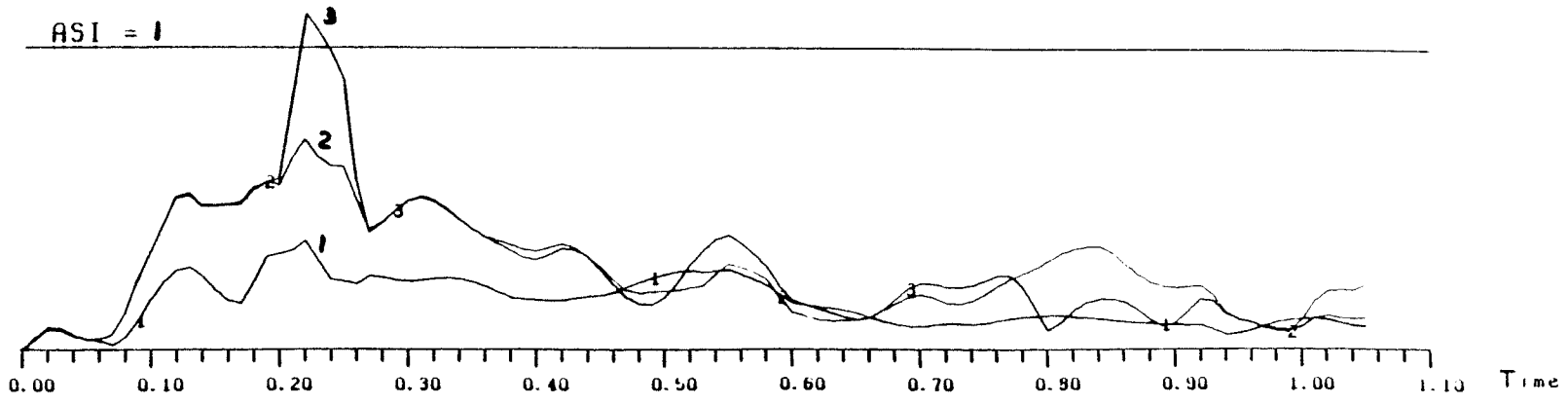
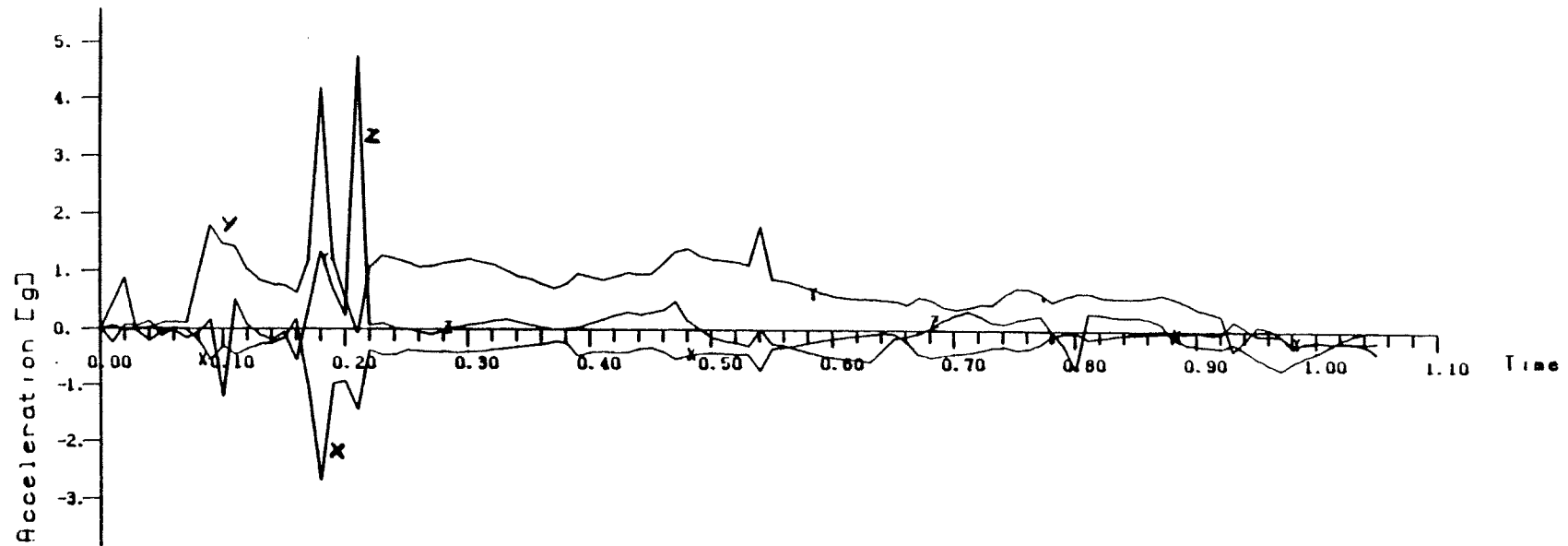
Afbeelding 9. Rechter achterwiel raakt element 7.



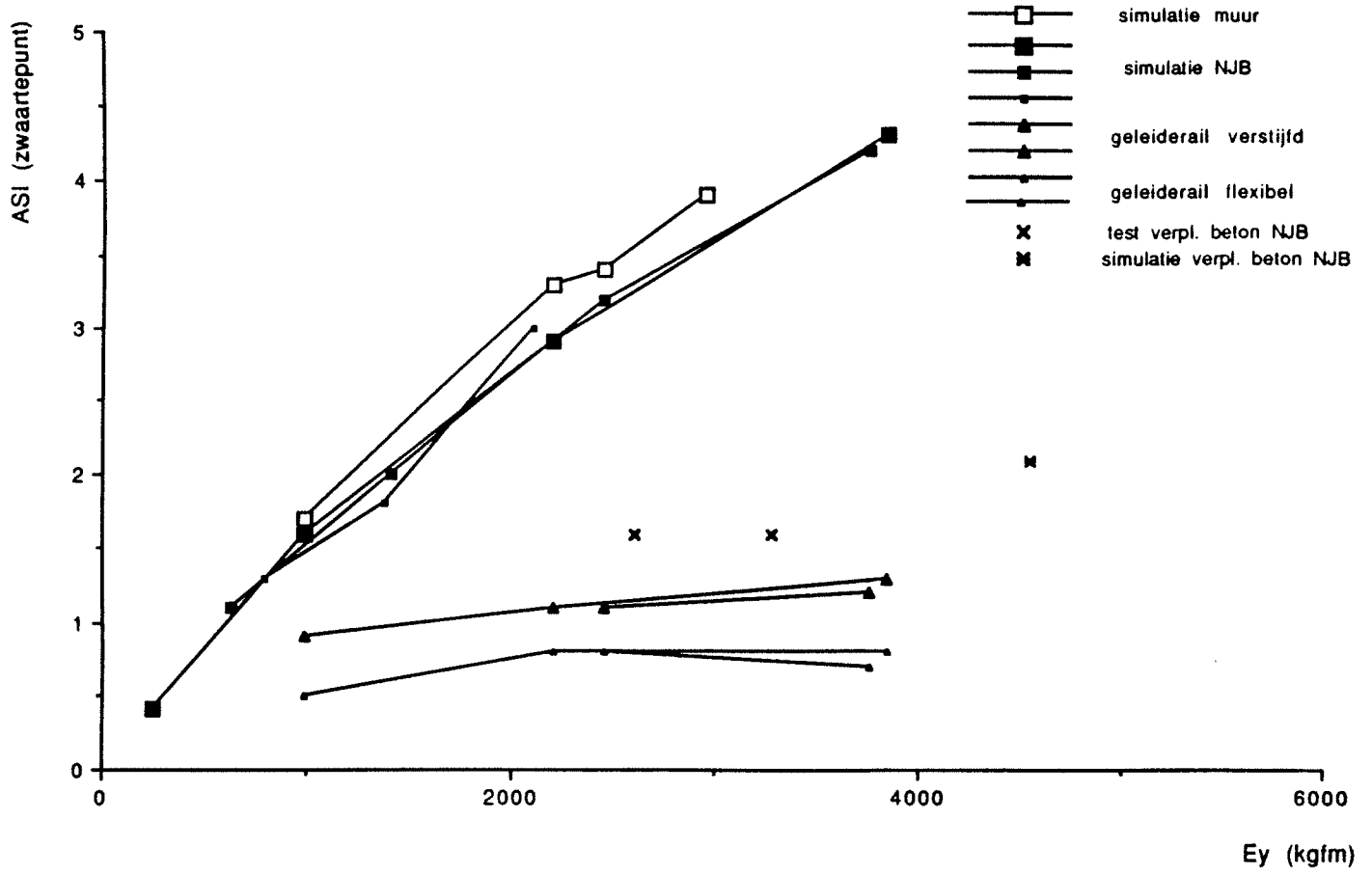
Afbeelding 10. Vertragingswaarden zwaartepunt en ASI-waarden zwaartepunt (1), bestuurder (2) en passagier links achter (3).



Afbeelding 11. Overzicht verloop aanrijding met vrachtwagen.



Afbeelding 12. Vertragingwaarden zwaartepunt en ASI-waarden zwaartepunt (1), bestuurder (2) en bijrijder (3).



Afbeelding 13. Vergelijking van de verschillende geleidesystemen.

TABELLEN 1 T/M 5

Tabel 1. Uitgevoerde proeven.

Tabel 2. Testresultaten.

Tabel 3. Inrijcondities in de USA en Nederland.

Tabel 4. Verbindingsmethode elementen.

Tabel 5. Mogelijke grenzen.

Tabel 6. Vergelijking belastingsniveau testresultaten versus voorgesteld niveau.

Tabel 7. Gegevens simulaties betonnen New Jersey barrier.

Test	Voertuig				Barrier (element)			totale		Afb
	massa kg	inrijcondities kmpu	grd	Ey kgfm	massa kg	lengte m	aantal	massa kg	lengte m	
1	2060	96.2	24.2	12598	6810	9.10	3	20430	27.3	2
2	1950	104.4	27.1	17354	1453	2.44	20	29040	48.5	3
3	986	105.4	16.1	3288	1453	2.44	20	29040	48.5	
4	1973	98.3	25.2	13510	1453	2.44	20	29040	48.5	
5	986	98.8	15.2	2613	1453	2.44/6.10	15/2*	29040	48.5	
6	1928	85.0	25.0	9784	3630	6.10	8	29040	48.5	
7	1919	88.2	25.0	10486	3630	6.10	8	29040	48.5	3
8	2041	99.7	25.0	14250	3630	6.10	5	18150	30.5	4
9	2041	90.7	24.1	11009	3630	6.10	5	18150	30.5	
10	2204	103.8	7.0	1387	2268	3.80	12	27220	45.6	5
11	2204	109.6	23.0	15896	2268	3.80	12	27220	45.6	
12	2204	105.4	40.0	39785	3630	6.10	5	18150	30.5	
13	2045	63.2	25.0	5737	3630	6.10	6	21780	36.6	4ca
14	2043	97	15.2	5197	9100	9.10	4	36400	36.4	
15	2043	99.8	15.1	5431	9100	9.10	6	54600	54.6	
sim	975	100	20	4554	3500	6.00	15	52500	90	6
sim	10000	80	15	16860	3500	6.00	15	52500	90	

* de twee 6,10 m elementen zijn in de botszone geplaatst

Tabel 1. Uitgevoerde proeven en simulaties.

Test Voertuig	hoek		vertragingen		Barrier uitbui- ging stat/dyn cm	aantal elemen- ten verpl.	verbindingen		veran- kerd begin/ eind
	uitrij/roll		langs dwars				scheuren/opegevuld gebroken	ja	
	grd	grd	G	G					
1	3	18	1.1	6.3 (a)	34 *	2	scheuren	ja	-/-
2	10	54	7.2	8.6 (b)	43 *	8	scheuren	nee	b/e
3	5	64	5.6	6.8	7	5	scheuren	nee	b/e
4	8	42	5.6	6.1	17	9	scheuren	ja	b/e
5	5	11	3.5	7.5	9	4	scheuren	nee	b/e #
6	5	90	-	6.0 (b)	41/41	4	scheuren	nee	b/e
7	15	36	4.9	11.5	28/28	4	scheuren	ja	b
8	-	-	-	- (b)	-	-	gebroken	nee	-/-
9	-	26	3.5	4.9	104/104	3	gebroken	nee	-/-
10	-	-	-	-	16/ -	-	-	nee	-/-
11	-	-	-	-	57/ -	-	gebroken	nee	-/-
12	-	-	-	-	130/ -	-	gebroken	nee	-/-
13	-	-	-	-	14/21	-	-	nee	-/-
14	1	12	3.3	6.8 (b)	-/18	-	-	-	-/-
15	4	17	5.3	7.3	-/15	-	-	-	-/-
sim	13	48	zie Afb 10		-/59	3	gebroken	ja	b/
sim	op	12	zie Afb 12		-/226	6	gebroken	ja	b/
	con								

(a) over 223 milliseconden

(b) over 50 milliseconden

- wordt niet in literatuur vermeld

oppervlakte barrier glad gemaakt

* wanneer één getal bij uitbuiging, niet bekend stat. of dyn.

Tabel 2. Testresultaten.

Niveau	Snelheid kmpu	Hoek grd	Massa kg	Ey kgfm	Voertuig
1	96.54	7	2041	1111	personenauto
2	96.54	15	2041	5011	personenauto
3	96.54	25	2041	13361	personenauto
4	96.54	15	11340	27843	schoolbus
Inrijcondities NL					
a	100	20	990	4554	personenauto
b	80	15	10000	16860	vrachtauto

Tabel 3. Inrijcondities in de USA en Nederland.

Verbinding	Kracht		Moment		Verdraaiing speling grd	Afb.
	langs	dwars	buig	torsie		
	kN	kN	kNm	kNm		
New Jersey Welsbach	1188	704	183	129	4	
New York "CI" interlock	506	792	130	102	10	3
California pin and rebar	194	194	50	26	9	5
California cable posttension	158	88	27	13	0	
Texas lapped with bolt	136	97	28	15	0	
Minnesota pin and eye bolt	101	101	27	20	14	
Idaho pin and wire rope	101	101	26	23	5	
Georgia pin and rebar	66	66	16	15	18	
Texas dowel calculated	0	224	0	30	NA	
as tested	264	224	68	NA	NA	2
Oregon tongue and groove	0	18	0	16	NA	
Virginia tongue and groove	0	238	0	16	NA	4
Colorado latch	35	26	9	0	9	
Directie Bruggen	68	107	32	31	4	6

Tabel 4. Verbindingsmethode elementen.

Niveau	Ey		Element lengte m	Sterkte verbinding		
	kNm / kgfm			dwars kN	buig kNm	torsie kNm
1	11	1111	3.8	44	10.8	10.8
2	49	5011	6.1	66	16.3	16.3
3	132	13361	6.1	220	13.6	20.3
			9.1	220	67.8	33.9
4	275	27843	6.1	792	122.0	94.9
			9.1	440	135.6	135.6

Tabel 5. Mogelijke grenzen.

Test	Sterkte verbindingen				Test uitkomst niveau (a)	Voldoet aan belastings- niveau	Opmerkingen
	kracht K langs/dwars kN		moment M buig/torsie kNm				
1	264	224	68	NA	2	3	torsie ?
2	506	792	130	102	3	4	L=6.1 wel, 9.1 niet
3	506	792	130	102	2	4	idem
4	506	792	130	102	3	4	idem
5	506	792	130	102	2	4	idem
6	506	792	130	102	2	4	
7	506	792	130	102	2	4	
8	13	13	8	NA	-	-	
9	13	13	8	NA	-	-	
10	40	40	12	19	1	1	K wel, M niet
11	40	40	12	19	-	1	K wel, M niet
12	53	53	16	25	-	1	
13	53	53	16	25	2	1	
sim per.	68	107	32	31	-	2	
sim vra.	68	107	32	31	-	2	

- Niet vast te stellen.
(a) voldoet minimaal aan dat niveau

Tabel 6. Vergelijking belastingsniveau testresultaten versus voorgesteld niveau.

Betonnen New Jersey barrier

Element lengte : 6 m
Massa per element : 3500 kg
Aantal elementen : 15
Totale lengte : 90 m
Totale massa : 52500 kg

Samenvatting resultaten simulaties betonnen New Jersey barrier

Personenauto

Uitrijnsnelheid : 84 km/uur
Snelheidsverschil
inrij/uitrij : 16 km/uur
Uitrijhoek : ca. 13 grd, wordt groter
Rolhoek : 48 grd naar barrier toe
ASI-waarden : 2,1 (zwaartepunt)
: 2,2 (bestuurder)
: 3,3 (achterpassagier)
Maximale uitbuiging : 59 cm
Aantal elementen
verplaatst : 3
Rolhoek constructie : 27 grd

Vrachtwagen

Uitrijnsnelheid : vrachtwagen op constructie.
Snelheidsverschil
inrij/uitrij :
Uitrijhoek :
Rolhoek : 12 grd naar barrier toe
ASI-waarden : 0,3 (zwaartepunt)
: 0,7 (bestuurder)
: 1,1 (bijrijder)
Maximale uitbuiging : 226 cm
Aantal elementen
verplaatst : 6
Rolhoek constructie : 90 grd

Tabel 7. Gegevens simulaties betonnen New Jersey barrier.

FOTO'S 1 T/M 3

Foto 1. Verschil in rolhoek voertuig en klimhoogte voorwiel bij ruw oppervlak (boven) en glad oppervlak (onder).

Foto 2. Overzicht test 9, uitbuiging constructie en sterkte verbindingen.

Foto 3. Verloop test 7, voertuigbewegingen tijdens de test.

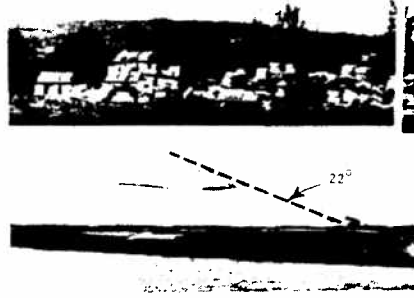
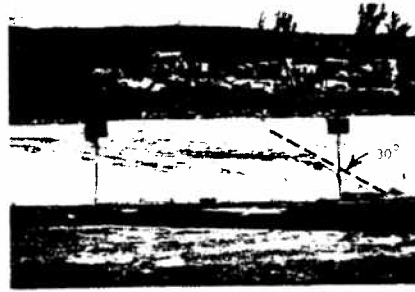


Foto 1. Verschil in rolhoek voertuig en klimhoogte voorwiel bij ruw oppervlak (boven) en glad oppervlak (onder).

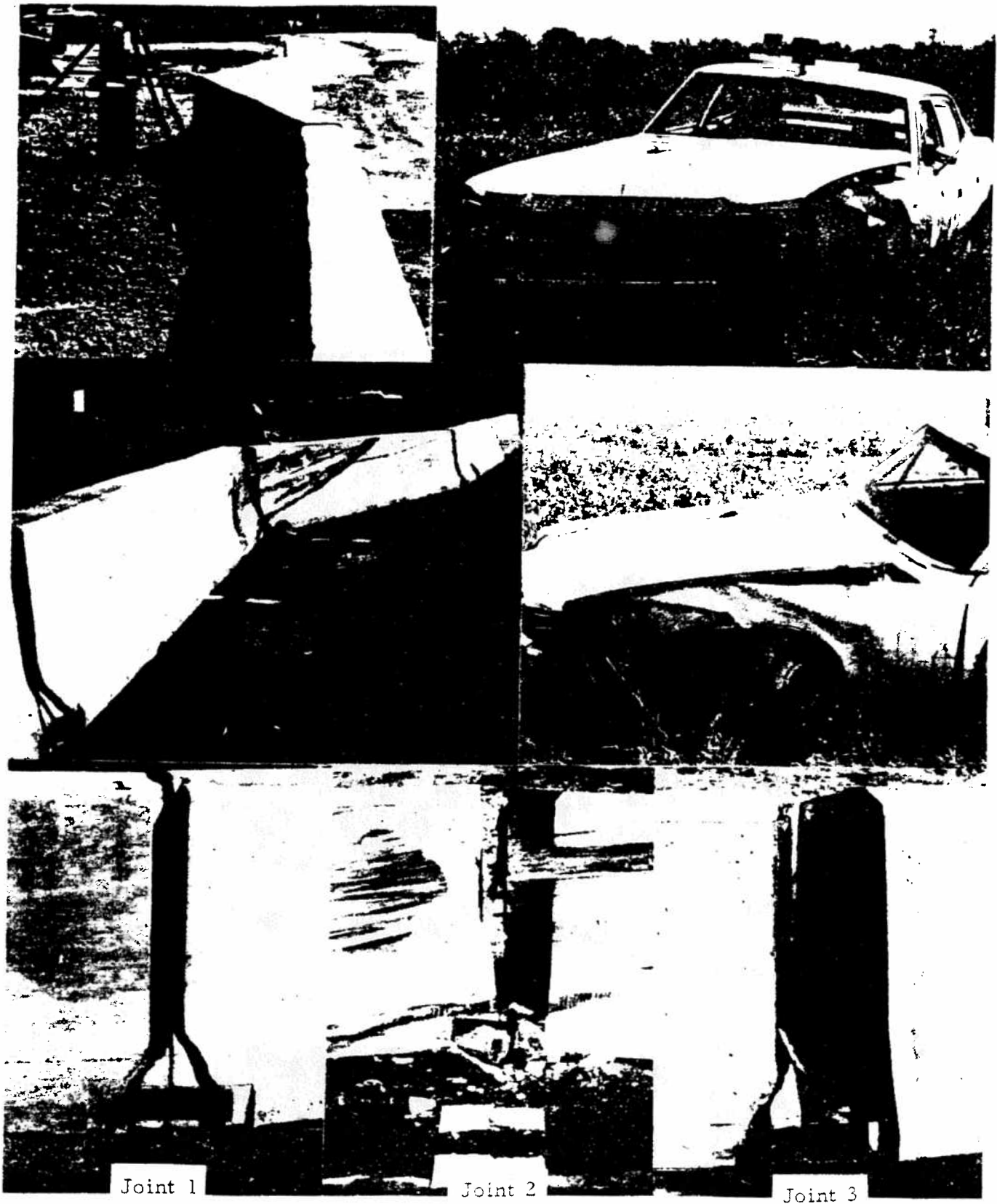


Foto 2. Overzicht test 9, uitbuiging constructie en sterkte verbindingen.

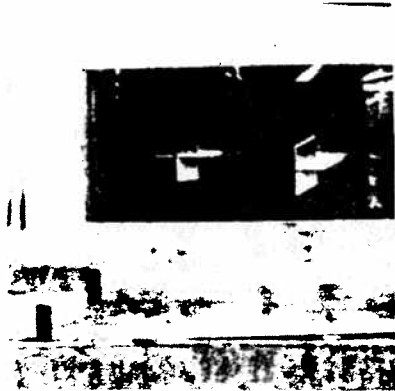
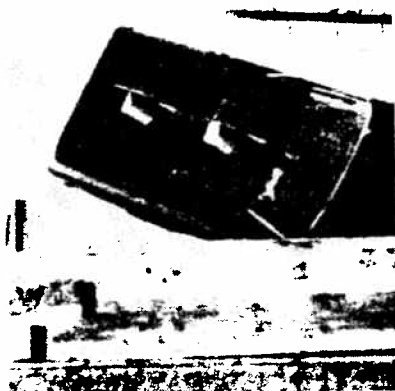
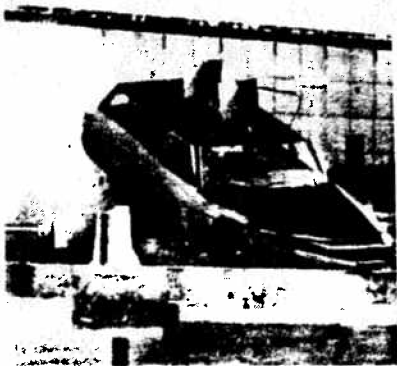
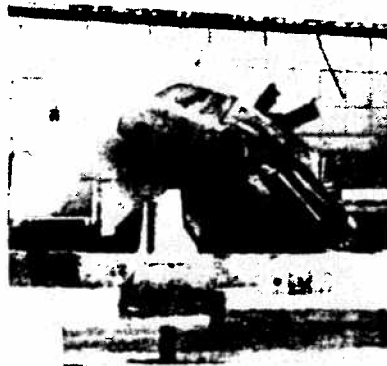
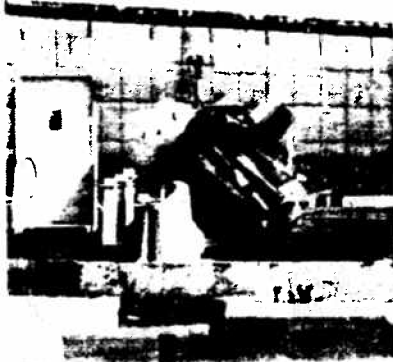


Foto 3. Verloop test 7, voertuigbewegingen tijdens de test.

BIJLAGE 1

HET ASI-CRITERIUM

De vertragingen die het voertuig tijdens de botsing ondergaat zijn een belangrijke maatstaf bij de beoordeling van de kans op letsel voor de inzittenden. Naarmate de voertuigvertragingen groter zijn, is ook de kans op (ernstig) letsel voor de inzittenden van het voertuig groter.

Naast specifieke voertuigeigenschappen heeft vooral het gebruik van autogordels een belangrijke invloed op de grootte van de kans (ernstig) gewond te raken. De acceptabele voertuigvertragingen zijn voor de inzittenden met autogordels groter dan voor inzittenden zonder autogordels.

In de meeste gevallen zal een voertuigvertraging niet in één, maar in meerdere richtingen werken. Dan is het gewenst een criterium te hebben waaraan de samengestelde vertragingen van het voertuig beoordeeld kunnen worden. Het tot nu toe meest gebruikte criterium is gebaseerd op berekeningen volgens de Acceleration Severity Index (ASI). Hierbij worden de geregistreerde voertuigvertragingen gerelateerd aan "acceptabele" referentiewaarden van het voertuig in de drie volgende richtingen te weten: longitudinaal, lateraal en verticaal.

De formule voor de ASI luidt:

$$ASI = \sqrt{\left(\frac{G_{long}}{G_{longa}}\right)^2 + \left(\frac{G_{lat}}{G_{lata}}\right)^2 + \left(\frac{G_{vert}}{G_{verta}}\right)^2}$$

long = longitudinaal

lat = lateraal

vert = verticaal

index a= acceptabel

In de teller van deze formule worden de geregistreerde voertuigvertragingen ingevuld. Als waarden voor deze vertragingen worden uit de vertragingcurven de gemiddelde vertragingen over een periode van 50 ms bepaald. Deze periode wordt zo gekozen dat de waarde voor de gemiddelde vertraging daarmee zo groot mogelijk wordt. In de noemers worden de genoemde "acceptabele" referentiewaarden ingevuld. Voor inzittenden die geen autogordel dragen zijn deze waarden voor de longitudinale, laterale en verticale richting resp. 7, 5 en 6 G.

Als criterium voor de ASI wordt een dimensieloze waarde voor de ASI van 1 gehanteerd. Als de waarde voor de ASI onder de 1 blijft is de kans groot dat inzittenden die geen autogordel dragen geen ernstig letsel oplopen. Wordt door de inzittenden wel een autogordel gedragen, dan worden de te verdragen vertragingsgroter. Arbitrair worden door de longitudinale, laterale en verticale richting resp. de volgende waarden gehanteerd: 12, 9 en 10 G. Ingevuld in de formule komt dit per verdragingsrichting overeen met een waarde voor de ASI minimaal gelijk aan ca. 1,6 (de referentiewaarden blijven dus 7, 5 en 6 G).

Analoog aan de bepaling van de acceptabele ASI-waarde van 1 voor inzittenden zonder autogordel, wordt de acceptabele waarde van de ASI voor inzittenden met autogordel 1,6. Wordt bij het invullen van de geregistreeerde voertuigvertragingen in de formule een waarde beneden 1,6 gevonden, duidt dit erop dat inzittenden die een autogordel dragen geen ernstig letsel oplopen.

Omdat dit ASI-criterium nog niet op een wetenschappelijk geheel verantwoorde wijze kon worden vastgesteld, dient zij met de nodige voorzichtigheid te worden gehanteerd.

LITERATUUR

Ross, H.E. & Post, E.R. (1972). Criteria for guardrail need and location on embankments; Volume 1: Development of criteria. Research Report 140-4. Texas Transportation Institute, 1972.